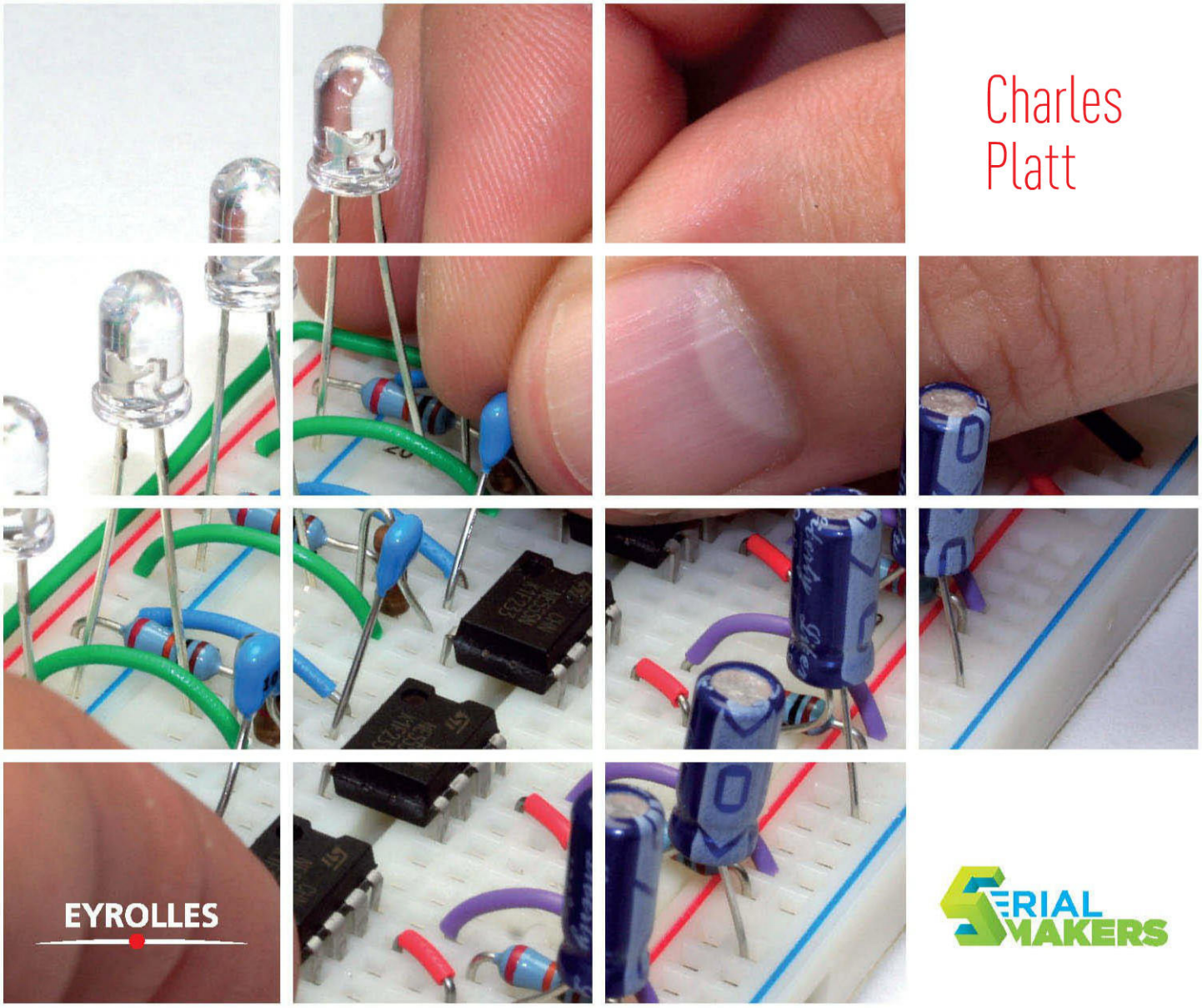
L'ÉLECTRONIQUE EN PRATIQUE

36 expériences ludiques

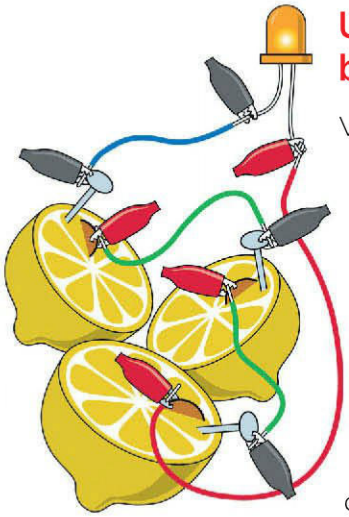


Charles Platt

EYROLLES

SERIAL MAKERS

opyright © 2013 Eyrolles.



Un peu de théorie, beaucoup de pratique !

Vous souhaitez vous mettre à l'électronique, mais à condition de pratiquer tout de suite ? Vous voulez en connaître les grands fondements, mais sans risquer l'overdose de théorie ? Avec ce livre d'introduction, vous commencerez à monter des circuits simples dès la première page.

Par le biais de 36 expériences, toutes plus amusantes les unes que les autres, vous découvrirez les principaux composants et les concepts essentiels de l'électronique. Vous serez guidé pas à pas dans la réalisation de montages de plus en plus complexes, allant d'un commutateur basique aux circuits intégrés, d'une LED qui clignote aux microcontrôleurs programmables. Ludique, inventif, foisonnant d'illustrations (plus de 500 photos, schémas et dessins), écrit dans un langage vivant et accessible, cet ouvrage remarquable met l'électronique à la portée de tous.

À qui s'adresse ce livre ?

- Aux électroniciens en herbe, amateurs, bricoleurs, bidouilleurs, geeks, étudiants, musiciens...
- À tous les makers qui souhaitent découvrir l'électronique par la pratique.

Dans ce livre, vous apprendrez à :

- vous aménager un bel espace de travail, équipé de tous les outils nécessaires
- identifier les principaux composants électroniques et leurs fonctions dans un circuit
- fabriquer une alarme anti-intrusion, une radio, un bijou électronique, un testeur de réflexe et un verrou à combinaison
- construire un petit véhicule qui réagit à son environnement et évite les obstacles

Charles Platt est un passionné d'électronique depuis son enfance. Auteur de plusieurs ouvrages de science-fiction, il a enseigné le graphisme, puis est devenu l'un des principaux rédacteurs du magazine *Wired*. Aujourd'hui, il contribue régulièrement à la revue américaine *Make*, bien connue de la communauté des makers.

Make: makezine.com

SERIAL MAKERS
www.serialmakers.com

Code éditeur : G13507
ISBN : 978-2-212-13507-7
www.editions-eyrolles.com

Copyright © 2013 Eyrolles.

L'électronique en pratique

opyright © 2013 Eyrolles.

opyright © 2013 Eyrolles.

L'électronique en pratique

Charles Platt

avec les photos et illustrations de l'auteur

EYROLLES

opyright © 2013 Eyrolles.

ÉDITIONS EYROLLES
61, bld Saint-Germain
75240 Paris Cedex 05
www.editions-eyrolles.com

Authorized French translation of the English edition of *Make: Electronics* ISBN 978-0-596-15374-8 © 2009 Helpful Corporation. This translation is published and sold by permission of O'Reilly Media, Inc., which owns or controls all rights to sell the same.

Traduction autorisée de l'ouvrage en langue anglaise intitulé *Make: Electronics* de Charles Platt (ISBN : 978-0-596-15374-8), publié par Maker Media, Inc.

Adapté de l'anglais par Xavier Guesnu, Éric Bernauer et Antoine Derouin

En application de la loi du 11 mars 1957, il est interdit de reproduire intégralement ou partiellement le présent ouvrage, sur quelque support que ce soit, sans l'autorisation de l'Éditeur ou du Centre Français d'exploitation du droit de copie, 20, rue des Grands Augustins, 75006 Paris.

© Charles Platt pour les photos et illustrations de la présente édition

© Groupe Eyrolles, 2013, pour la présente édition, ISBN : 978-2-212-13507-7

Copyright © 2013 Eyrolles.

À mon très cher Erico

opyright © 2013 Eyrolles.

opyright © 2013 Eyrolles.

Avant-propos

Un ouvrage à toutes fins utile

Tout le monde utilise des appareils électroniques, mais sans trop savoir comment ils fonctionnent.

Peu importe, me direz-vous. Si vous savez conduire une voiture sans connaître le principe d'un moteur à combustion, vous pouvez certainement utiliser un iPod en ignorant tout des circuits intégrés.

Toutefois, il peut être intéressant de posséder des notions en électricité et en électronique, et ce pour trois raisons :

- Si les technologies vous sont familières, vous contrôlerez davantage votre environnement au lieu de le subir. Si votre appareil électronique ne fonctionne plus, vous serez plus à même de le réparer au lieu d'éprouver un sentiment d'incompétence.
- L'apprentissage de l'électronique peut être amusant s'il est bien mené. Les outils sont relativement bon marché, un dessus de table suffit pour travailler et vous pouvez n'y consacrer qu'un temps limité (à moins que vous n'en décidiez autrement).
- La maîtrise de l'électronique peut accroître votre valeur dans votre cadre professionnel, voire vous conduire à une carrière totalement nouvelle !

Apprendre par la pratique

La plupart des ouvrages d'initiation commencent par des définitions et des faits, puis vous amènent progressivement à l'étape de montage d'un circuit simple.

Ce livre procède de manière inverse. Dès le début, vous êtes invité à assembler des composants et à observer ce qui se passe. Je suis persuadé que cette méthode d'apprentissage par la pratique est plus efficace et plus marquante.

opyright © 2013 Eyrolles.

Ne dépassez pas les limites !

Même si je pense que toutes les expériences décrites dans cet ouvrage sont sans risque, j'espère que vous ne dépasserez pas les limites indiquées. Suivez toujours les instructions et prêtez attention aux différents avertissements, signalés par l'icône ci-dessus. Si vous franchissez les limites imparties, vous vous exposerez à des risques inutilement.

On retrouve cet apprentissage par la pratique dans le monde de la recherche, lorsque les scientifiques observent un phénomène qu'aucune théorie ne peut expliquer : ils commencent alors par l'étudier pour essayer de le comprendre. Nous allons procéder à l'identique, à notre niveau bien sûr.

En cours de route, vous commettrez quelques erreurs. Ne vous en souciez pas : ces erreurs sont bénéfiques, elles constituent la meilleure façon d'apprendre. Dans le livre, je vous demanderai même de brûler et de démonter des composants, car c'est une excellente façon d'en connaître les limites. Comme nous n'utiliserons que des tensions faibles, vous ne courrez aucun risque d'électrocution et, si vous limitez le flux du courant en respectant les procédures décrites, il n'y aura aucun danger que vous vous brûliez les doigts ou déclenchiez un incendie !

Figure 1. *L'apprentissage par la pratique vous permet de monter aussitôt des circuits simples, à l'aide de composants bon marché, quelques piles et des pinces crocodile.*

L'apprentissage sera-t-il difficile ?

Je pars du principe que vous n'avez aucune connaissance préalable en électronique. Par conséquent, les toutes premières expériences seront extrêmement simples : pour créer un circuit, vous n'aurez même pas besoin de soudure ni de cartes de prototypage, il vous suffira de maintenir les fils avec des pinces crocodile.

Très rapidement cependant, vous utiliserez des transistors dans les expériences, si bien qu'à la fin du chapitre 2, vous aurez monté un circuit digne d'intérêt.

Je ne pense pas que l'électronique amateur soit difficile à comprendre. Bien sûr, si vous souhaitez l'étudier de façon formelle et inventer vos propres circuits, cela peut devenir plus ardu. Mais dans ce livre, les outils et les fournitures seront très abordables, les objectifs clairement définis, et les seules connaissances mathématiques nécessaires se résumeront aux opérations d'addition, de soustraction, de multiplication et de division.

Copyright © 2013 Eyrolles.

Comment ce livre est-il structuré ?

En règle générale, il existe deux façons de présenter les informations dans ce genre d'ouvrage : sous forme de travaux pratiques, ou bien dans différents passages de texte plus formels. Dans ce livre, j'utiliserai les deux méthodes.

Les travaux pratiques concerneront :

- Les sections « Matériel des expériences… »
- Les sections « Expérience… »
- Les encadrés « Pratique »

Les textes plus formels figureront dans :

- Les encadrés « Fondamentaux »
- Les encadrés « Théorie »
- Les encadrés « Histoire »

Libre à vous de naviguer entre ces textes comme vous le souhaitez. Ainsi, vous pouvez très bien sauter certains encadrés formels pour y revenir plus tard. En revanche, si vous passez outre la plupart des expériences, ce livre ne vous sera pas d'une grande utilité. L'apprentissage par la pratique nécessite que vous « mettiez la main à la pâte », que vous achetiez des composants de base et que vous les manipuliez. Vous n'apprendrez pas grand-chose si vous vous contentez simplement d'imaginer les expériences.

Le matériel dont vous aurez besoin est abordable et facile à trouver. Il est probable que, non loin de chez vous, se trouve un magasin vendant des composants électroniques ainsi que les outils de base pour les manipuler. Vous pourrez également vous fournir sur Internet, sans avoir à vous déplacer. Consultez l'annexe A en fin d'ouvrage, qui répertorie la liste du matériel nécessaire et indique les principaux fournisseurs d'électronique en France.

opyright © 2013 Eyrolles.

opyright © 2013 Eyrolles.

Table des matières

1. **À la découverte de l'électricité** 1
   - Matériel des expériences 1 à 5 1
   - Expérience 1 : goutez à l'électricité ! 5
   - Expérience 2 : maltraitez une pile ! 9
   - Expérience 3 : votre premier circuit 13
   - Expérience 4 : faites varier la tension 18
   - Expérience 5 : créez une pile 32

2. **Principes de commutation** 39
   - Matériel des expériences 6 à 11 39
   - Expérience 6 : une commutation très simple 43
   - Expérience 7 : des LED alimentées par relais 55
   - Expérience 8 : un oscillateur à relais 60
   - Expérience 9 : temps de chargement d'un condensateur 68
   - Expérience 10 : un interrupteur à transistor 73
   - Expérience 11 : un projet modulaire 82

3. **Notions plus avancées** 95
   - Matériel des expériences 12 à 15 95
   - Expérience 12 : une jonction de deux fils 104
   - Expérience 13 : grillez une LED ! 114
   - Expérience 14 : un voyant qui clignote 117
   - Expérience 15 : amélioration de l'alarme d'intrusion 127

opyright © 2013 Eyrolles.

4. Circuits intégrés 147
Matériel des expériences 16 à 24 147
Expérience 16 : émission d'une impulsion 153
Expérience 17 : réglage de fréquence 162
Expérience 18 : un testeur de réflexes 170
Expérience 19 : apprentissage de la logique 181
Expérience 20 : un code secret 197
Expérience 21 : un jeu de rapidité 205
Expérience 22 : bascule et rebond 211
Expérience 23 : des dés électroniques 214
Expérience 24 : finalisation de l'alarme d'instrusion 223

5. Et après ? 227
Matériel des expériences 25 à 36 228
Votre espace de travail 228
Sources de référence en électronique 233
Expérience 25 : autour du magnétisme 236
Expérience 26 : une alimentation électrique manuelle 239
Expérience 27 : démontez un haut-parleur 242
Expérience 28 : faites réagir une bobine 246
Expérience 29 : filtrez certaines fréquences 249
Expérience 30 : autour de la distorsion 257
Expérience 31 : une radio sans soudure ni alimentation 262
Expérience 32 : un petit véhicule à guidage automatique 268
Expérience 33 : déplacement pas à pas 282
Expérience 34 : à la croisée du matériel et du logiciel 291
Expérience 35 : à l'épreuve de la réalité 304
Expérience 36 : verrou revu et corrigé 309
Conclusion 315

Annexe. Principaux fournisseurs et liste du matériel 317

Index 325

Remerciements 329

À propos de l'auteur 331

opyright © 2013 Eyrolles.

À la découverte de l'électricité

1

Mon objectif est de vous offrir ici un avant-goût (au sens littéral !) de l'électricité, dès la première expérience. À l'issue de ce chapitre, vous saurez :

- définir et mesurer l'électricité et la résistance ;
- manipuler et brancher les composants, sans risque de les endommager ou de les soumettre à une surcharge.

Même si vous possédez déjà certaines connaissances en électronique, ne faites pas l'impasse sur les expériences proposées dans ce premier chapitre avant de poursuivre votre lecture.

Matériel des expériences 1 à 5

Les expériences décrites dans cet ouvrage nécessitent du matériel, que vous pourrez acquérir en magasin ou sur Internet. Pour regrouper au mieux vos achats, je vous conseille de consulter l'annexe A qui liste l'ensemble du matériel nécessaire à toutes les expériences.

Dans ce premier chapitre, je mentionne la référence exacte et la marque de chaque pièce utilisée. Par la suite, ces informations ne seront plus fournies, car vous aurez acquis suffisamment d'expérience pour les rechercher par vous-même.

Outils

Petite pince

Pince à longs becs miniature pour tous les travaux d'électronique, poignées isolées (par exemple : Go Tronic, réf. 13972), ou pince à becs effilés pour l'électronique (par exemple : Conrad, réf. 822950). Ces pinces (fig. 1-1 à 1-3) sont disponibles en magasin ou sur les sites Internet mentionnés dans la préface.

Une fois que vous les aurez un peu utilisées, vous saurez quelles pinces vous préférez. Si, par exemple, les pinces à ressort ne vous conviennent pas, une seconde pince vous sera alors nécessaire pour ôter les ressorts.

opyright © 2013 Eyrolles.

Pince coupante

Pince coupante oblique ESD 110 mm (par exemple : Conrad, réf. 820719) ou pince coupante fine antistatique (par exemple : Pro'sKit Selectronic, réf. 5902-1).

Utilisez-la pour couper les fils de cuivre, mais pas les matériaux plus durs (fig. 1-4).

Figure 1-1. *La pince classique à becs longs est le meilleur outil pour manipuler les pièces de petite taille.*

Figure 1-2. *Pince à becs plus longs, permettant d'atteindre les tout petits espaces.*

Figure 1-3. *Pince à becs effilés utilisée en joaillerie, mais tout aussi efficace en éléctronique pour attraper les très petits composants.*

Figure 1-4. *Pince coupante, un outil indispensable.*

Multimètre

Modèle Amprobe 5XP-A (par exemple : Radiospares, réf. 411-772) ou multimètre digital M9912 (par exemple : Go Tronic, réf. 14512). Choisissez un multimètre bon marché pour les premières expériences. En cas d'achat sur Internet, n'hésitez pas à comparer les prix et à consulter eBay, et surtout n'oubliez pas de lire les commentaires clients afin de vous assurer de la fiabilité du multimètre.

L'électricité étant invisible, un multimètre est nécessaire pour mesurer la tension et l'intensité (fig. 1-5 à 1-7). Préférez un appareil numérique à un modèle analogique désuet, où l'aiguille se déplace entre des graduations. Dans ce livre, je partirai du principe que vous disposez d'un multimètre numérique.

Je vous déconseille – bien entendu, cela n'engage que moi – les modèles à sélection automatique. Ce type de multimètre pourra vous sembler utile lorsque vous testez une pile de 9 V, l'appareil comprenant que vous ne mesurez pas des centaines ni des centièmes de volts. Mais si la pile est quasiment déchargée, vous risquez de ne pas remarquer que la mesure indiquée n'est qu'une fraction de volt. Le seul indice sera la lettre m (pour millivolts) située à côté d'un chiffre élevé.

Copyright © 2013 Eyrolles.

De plus, je trouve que ces modèles mettent trop de temps à déterminer la plage appropriée à chaque mesure.

Préférez donc un modèle à sélection manuelle. Si, après avoir fixé la plage de valeurs, la mesure se situe en dehors, ce type d'appareil vous indiquera que vous avez commis une erreur.

Figure 1-5. *Mon multimètre préféré. Il possède toutes les fonctions de base et mesure aussi la capacité (section F, pour farads). Il contrôle également les transistors. Choix des plages manuel.*

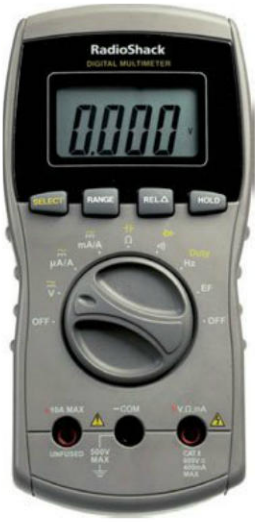


Figure 1-6. *Multimètre RadioShack de milieu de gamme, avec fonctions élémentaires. L'affichage à double interprétation peut s'avérér déroutant. Sélection automatique.*

Figure 1-7. *Multimètre Extech à sélection automatique. En plus des fonctions élémentaires, il possède une sonde de température, utile pour détecter des composants anormalement chauds comme l'alimentation.*

Fournitures

Piles

1 pile de 9 V.

6 piles AA d'1,5 V chacune.

Plusieurs piles alcaline jetables, bon marché, car vous allez en endommager certaines. Attention, n'utilisez surtout pas de piles rechargeables au cours des expériences 1 et 2.

Coupleurs de piles et connecteurs

1 connecteur à pression pour pile de 9 V, avec fils (fig. 1-8). Par exemple : Selectronic, réf. 0759.

1 coupleur pour 1 pile AA, avec fils attachés (fig. 1-9). Par exemple : Go Tronic, réf. 09580.

Figure 1-8. *Connecteur à pression pour pile de 9 V.*

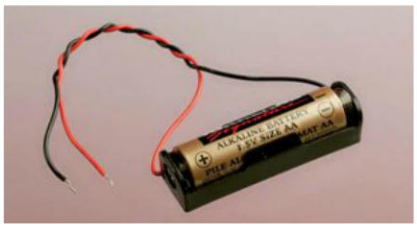


Figure 1-9. *Coupleur de piles AA avec fils.*

opyright © 2013 Eyrolles.

Figure 1-10. *Coupleur de 4 piles AA montées en série, qui délivre une tension de 6 V.*

Figure 1-11. *Pince crocodile gainée en vinyle, ce qui réduit le risque de courts-circuits accidentels.*

Figure 1-12. *Fusible de 3 A destiné principalement au secteur automobile.*

Figure 1-13. *Les potentiomètres existent sous différentes tailles et formes, avec diverses longueurs d'axes et de boutons. Privilégiez un potentiomètre de grande taille, plus aisé à manipuler.*

1 coupleur de 4 piles AA, avec fils attachés (fig. 1-10). Par exemple : Selectronic, réf. 0762, ou Conrad, réf. 615579. Achetez également un coupleur de 2 piles AA, du même fabricant.

Pince crocodile

Au moins 6 pinces crocodile avec isolation vinyle. Par exemple : Go Tronic, réf. 08329, Selectronic, réf. 8217 (fig. 1-11).

Composants

Peut-être ne connaissez-vous pas certains des composants énoncés ci-après. Regardez simplement les références et les descriptions, et faites-les correspondre aux photos proposées. Très vite, vous découvrirez à quoi ils servent.

Fusibles

3 fusibles pour voiture, mini-lame, de 3 ampères (ou 3 A). Par exemple : Conrad, réf. 839647, ou Radiospares, réf. 563-740 ; vous pouvez éventuellement vous en procurer auprès de fournisseurs de pièces automobiles (fig. 1-12).

Sachez qu'un fusible de type lame est plus facile à saisir avec une pince crocodile qu'un fusible à cartouche rond.

Potentiomètres

2 potentiomètres linéaires à montage en façade, monotour, 2 kΩ, 0,1 W minimum. Par exemple : Go Tronic, réf. 22187, ou Selectronic, réf. 5300 (fig. 1-13).

La valeur en watts indique la puissance que la pièce peut supporter. Nul besoin d'une puissance supérieure à 0,5 W.

Résistances

Assortiment d'au moins 100 résistances de puissance 1/4 W minimum, comprenant obligatoirement des résistances de 470 ohms, 1 kΩ et 2 kΩ ou 2,2 kΩ. Par exemple : Go Tronic, réf. 04099.

Diodes LED

10 LED de n'importe quelle taille ou couleur (fig. 1-14 et 1-15). Par exemple : Go Tronic, réf. 03025, ou Conrad, réf. 182225.

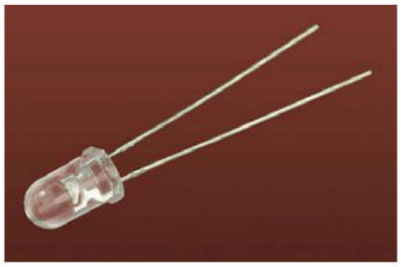


Figure 1-14. *Diode LED classique de 5 mm de diamètre.*

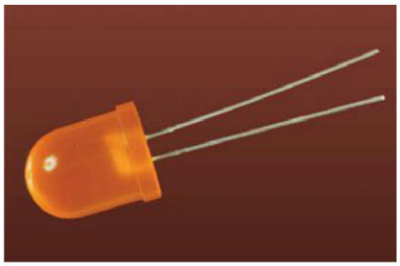


Figure 1-15. *Diode LED d'1 cm de diamètre, qui n'est pas nécessairement plus brillante ou plus chère. Pour la plupart des expériences de ce livre, tout modèle convient !*

opyright © 2013 Eyrolles.

Expérience 1 : goûtez à l'électricité !

Vous allez découvrir que l'électricité peut se goûter.

Procurez-vous :

- 1 pile de 9 V
- 1 connecteur à pression pour les bornes de la pile
- 1 multimètre

Humectez le bout de votre langue et posez-le sur les bornes métalliques d'une pile de 9 V. Le brusque picotement est dû au passage de l'électricité d'une borne à l'autre, via l'humidité de la langue (fig. 1-16). Comme la peau de la langue (en réalité, une membrane muqueuse) est très fine et que les nerfs sont proches de sa surface, l'électricité se ressent très aisément.

Répétez à présent l'expérience en gardant la langue sèche : le picotement doit être beaucoup moins vif.

Que se passe-t-il ? Pour le savoir, vous allez utiliser un multimètre.

Pas plus de 9 volts

Une pile de 9 V ne vous fera aucun mal. Mais ne tentez surtout pas cette expérience avec une pile de tension ou de puissance plus élevées. Par ailleurs, si vous portez des bagues dentaires métalliques, veillez à ce qu'elles n'entrent pas en contact avec la pile.

Figure 1-16. *Première étape : le test de la langue sur une pile de 9 V.*

Configuration du multimètre

Lisez les instructions de l'appareil pour savoir s'il est fourni avec une pile ou non.

La plupart des multimètres possèdent des fils amovibles, appelés aussi conducteurs, ainsi que trois prises femelles (ou bornes) en façade. Celle à gauche est réservée à la mesure des courants électriques élevés ; pour l'heure, ignorons-la.

Les conducteurs seront probablement de couleur noire et rouge. Branchez le premier sur la prise COM et le second sur la prise V (pour volts), voir fig. 1-17 à 1-20.

À leur autre extrémité, les conducteurs sont pourvus d'une pointe métallique, appelée sonde. Ce sont ces sondes que vous mettez en contact avec les composants d'un circuit lorsque vous procédez à des mesures électriques. Les sondes détectent l'électricité, mais ne l'émettent pas en quantités importantes. Par conséquent, vous ne courez pas de danger, à moins de vous piquer avec leur extrémité.

Si votre multimètre n'est pas à sélection automatique, un numéro – signifiant « inférieur ou égal à » – figure en face de chaque position du sélecteur. Par exemple, si vous vérifiez la tension d'une pile de 6 V, le sélecteur se trouve dans le secteur circulaire des tensions (souvent noté V) ; s'il est en face du nombre 2 V, vous pourrez mesurer une tension inférieure ou égale à 2 V. Dans cette situation, vous devez placer le sélecteur sur la position 20 V pour mesurer une tension allant jusqu'à 6 V.

Si vous vous trompez et mesurez un composant inapproprié, le multimètre affiche un symbole d'erreur, tel que E. Tournez alors le sélecteur et réessayez.

Figure 1-17. *Le fil noir se branche sur la borne COM et le rouge sur la borne rouge, presque toujours située sur le côté droit du multimètre.*

opyright © 2013 Eyrolles.

Figure 1-18

Figure 1-19

Figure 1-20. *Pour mesurer la résistance et la tension, branchez le cordon noir sur la prise COM et le rouge sur la prise V. La plupart des multimètres possèdent une prise distincte sur laquelle vous branchez le cordon rouge quand vous mesurez des intensités élevées.*

FONDAMENTAUX

Les ohms

Nous mesurons les distances en mètres ou kilomètres, les poids en grammes ou kilogrammes, les températures en degrés Celsius et les résistances électriques en ohms.

L'ohm est une unité internationale, représentée par le symbole grec oméga (Ω, fig. 1-21 et 1-22). La lettre K (ou kΩ) équivaut à un kilo-ohm, soit 1 000 ohms, et la lettre M (ou MΩ) à 1 000 000 ohms.

Nombre d'ohms	Expression	Abréviation
1 000	1 kilo-ohm	1 kΩ ou 1K
10 000	10 kilo-ohms	10 kΩ ou 10K
100 000	100 kilo-ohms	100 kΩ ou 100K
1 000 000	1 mégaohm	1 MΩ ou 1 M
10 000 000	10 mégaohms	10 MΩ ou 10 M

Un matériau avec une très haute résistance à l'électricité est appelé isolant. La plupart des plastiques, dont les gaines de couleur autour des fils, sont des isolants.

Un matériau avec une très faible résistance est appelé conducteur. Les métaux (le cuivre, l'aluminium, l'argent ou l'or) sont d'excellents conducteurs.

Figure 1-21. *Symbole oméga. Il exprime la valeur de la résistance en ohms.*

Figure 1-22. *Différents styles du symbole oméga.*

Copyright © 2013 Eyrolles.

Mesure de la résistance électrique

À l'aide du multimètre, vous allez mesurer la résistance électrique de votre langue. Placez le sélecteur en face du symbole de résistance. Si le multimètre est à sélection automatique, vérifiez qu'il affiche l'unité K (kilo-ohms) ou M (mégaohms). En cas de sélection manuelle, commencez par une valeur supérieure ou égale à 100 kΩ.

Placez les fiches sur votre langue, à 2 cm environ l'une de l'autre. Notez la valeur, qui doit se situer autour de 50 kΩ. Ensuite, réitérez le test après avoir séché soigneusement votre langue. La valeur affichée doit être plus élevée. Enfin, appuyez les sondes contre la peau de la main ou du bras : aucune valeur ne pourra être lue tant que vous n'aurez pas mouillé votre peau.

> *Quand votre peau est humide, sa résistance électrique diminue. Ce principe est utilisé dans les détecteurs de mensonge : un individu qui ment sciemment, en situation de stress, a tendance à transpirer.*

Une pile de 9 V contient des éléments chimiques qui libèrent des électrons (particules d'électricité). Ceux-ci, suite à une réaction chimique interne, circulent d'une borne à l'autre. Imaginez les piles comme deux cylindres, l'un plein d'eau et l'autre vide. Si vous les reliez par un tuyau, l'eau s'écoule d'un cylindre à l'autre jusqu'à ce que les niveaux soient égaux (fig. 1-26). De même, si vous créez un chemin électrique entre les deux bornes d'une pile, les électrons circulent entre eux, même si le chemin n'est constitué que de l'humidité de la langue.

Notez que les électrons circulent plus facilement au travers de certaines substances, comme une langue humide, que d'autres (langue sèche).

Figure 1-26. *Imaginez les piles comme deux cylindres, l'un empli d'eau et l'autre vide. Créez un branchement entre les deux : l'eau s'écoulera jusqu'à ce que les niveaux soient égaux. Moins le branchement offre de résistance, plus l'écoulement est rapide.*

Figure 1-23

Figure 1-24

Figure 1-25. *Pour mesurer des ohms, tournez le sélecteur sur le symbole Ω. Sur un multimètre à sélection automatique, appuyez plusieurs fois sur le bouton de choix de gamme pour afficher les différentes gammes de résistances et attendez que le multimètre sélectionne automatiquement une gamme. Dans le cas d'un multimètre manuel, déterminez, via le sélecteur, la gamme souhaitée (100 kΩ ou plus, pour mesurer la résistance de la peau). Si la valeur affichée n'est pas significative, changez de gamme.*

opyright © 2013 Eyrolles.

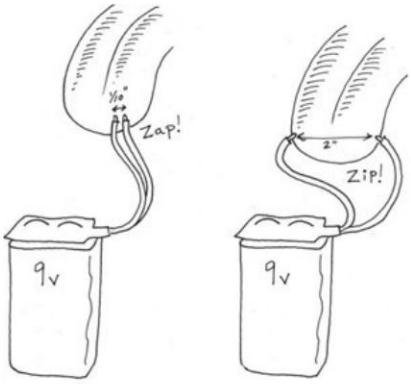


Figure 1-28. *Modification du test de la langue illustrant qu'une distance plus courte, avec une résistance moindre, correspond à un flux d'électricité plus important et à un bruit plus fort.*

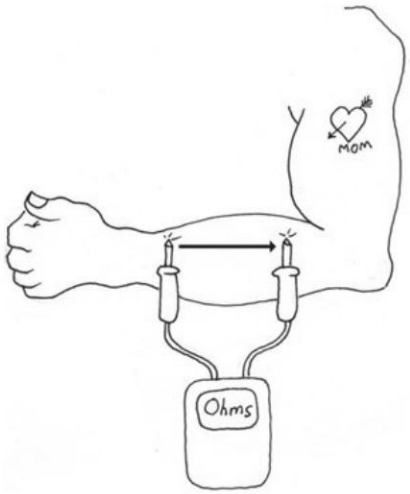


Figure 1-29. *Mouillez la peau avant de mesurer sa résistance. Celle-ci augmente au fur et à mesure que vous éloignez les fiches. La résistance est proportionnelle à la distance.*

HISTOIRE

L'homme qui a découvert la résistance

Georg Simon Ohm, né en Bavière en 1787, a travaillé dans l'ombre une grande partie de sa vie. Il a étudié la nature de l'électricité à partir de fils métalliques qu'il fabriquait lui-même.

Malgré ses connaissances limitées en mathématiques et son manque de ressources, Ohm parvient à démontrer en 1827 que la résistance électrique d'un conducteur, tel que le cuivre, est inversement proportionnelle à l'aire de sa section, et que le courant électrique qui la traverse est proportionnel à la tension, à température constante. Quatorze ans plus tard, la Royal Society de Londres reconnaît l'importance de ses travaux et lui décerne la médaille Copley. Sa découverte est restée sous le nom de loi d'Ohm.

Figure 1-27. *Georg Simon Ohm, honoré pour son travail fondateur, mené dans une relative obscurité.*

Suite de l'expérience

Fixez le connecteur à pression (fig. 1-8) sur les bornes de la pile de 9 V. Maintenez les deux fils de telle sorte que leurs extrémités nues ne soient séparées que de quelques millimètres, et effleurez-les de la langue. Puis éloignez légèrement les deux extrémités et touchez-les à nouveau avec la langue (fig. 1-28). Notez-vous une différence ?

À l'aide d'un multimètre, mesurez la résistance électrique de la langue en variant, cette fois, la distance entre les fiches. Quand l'électricité se déplace sur une plus courte distance, elle rencontre une résistance totale moindre. En conséquence, le courant (flux d'électricité par seconde) augmente. Répétez l'expérience avec le bras (fig. 1-29).

Vous pouvez également mesurer la résistance électrique de l'eau. Réitérez l'expérience avec de l'eau dans laquelle vous aurez dissous un peu de sel. Puis mesurez la résistance de l'eau distillée (dans un verre propre).

Le monde environnant regorge de matériaux conducteurs d'électricité et de résistance variable.

Copyright © 2013 Eyrolles.

Réutilisation des composants

Vous pourrez sûrement réutiliser la pile, car l'expérience n'a pas dû la décharger considérablement ni l'endommager. N'oubliez pas d'éteindre le multimètre avant de le ranger !

Expérience 2 : maltraitez une pile !

Pour mieux comprendre la nature de l'électricité, vous allez faire ce que la plupart des livres déconseillent : créer un court-circuit dans la pile, à savoir une mise en connexion directe entre les deux côtés d'une source d'alimentation.

Les courts-circuits

Les courts-circuits peuvent être très dangereux. N'en provoquez pas chez vous au niveau d'une prise de courant : il y aura probablement une forte détonation accompagnée d'un éclair, et le fil ou l'appareil utilisé risque de fondre en partie, tandis que les particules volantes du métal fondu pourront vous brûler ou vous rendre aveugle.

En cas de court-circuit dans la batterie d'un véhicule, le courant est tellement élevé qu'elle pourra exploser et vous asperger d'acide.

Les piles au lithium sont également dangereuses. Lors d'un court-circuit, elles peuvent prendre feu et vous brûler (fig. 1-31).

Procurez-vous :

- 1 pile AA d'1,5 V
- 1 coupleur pour pile unique
- 1 fusible de 3 A
- des lunettes de sécurité (de vue ou de soleil) en cas de pile défectueuse
- 1 pince crocodile (taille indifférente)

Marche à suivre

Attention, n'utilisez qu'une pile alcaline, et surtout pas de pile rechargeable.

Placez la pile dans le coupleur, pourvu de deux fils isolés (fig. 1-32). N'employez aucun autre type de coupleur.

Connectez les extrémités nues des fils à l'aide d'une pince crocodile. Aucune étincelle ne se produit, la pile n'étant que d'1,5 V. Au bout d'une minute, les fils deviennent chauds puis, au bout de deux minutes, c'est au tour de la pile.

La chaleur est due à l'électricité qui traverse les fils et l'électrolyte (substance conductrice) de la batterie. Si vous avez déjà gonflé vos pneus avec une pompe manuelle, vous aurez sûrement remarqué qu'elle chauffe. L'électricité se comporte de la même manière. Les particules (électrons) qui la composent chauffent le fil lors de leur passage.

Figure 1-30. *Quiconque a laissé tomber une clé à molette sur les bornes d'une batterie de voiture sait que, même avec seulement 12 V, un court-circuit peut être spectaculaire.*

Figure 1-31. *La faible résistance interne des piles au lithium (souvent présentes dans les ordinateurs portables) permet la circulation de courants à haute intensité, avec des résultats inattendus. Soyez toujours très prudent avec ce type de pile.*

Figure 1-32. *Vous pouvez créer un court-circuit dans une pile alcaline en toute sécurité si vous suivez attentivement les instructions. Attention cependant, la pile est susceptible de devenir trop chaude pour être manipulée. N'utilisez pas de pile rechargeable pour cette expérience.*

Copyright © 2013 Eyrolles.

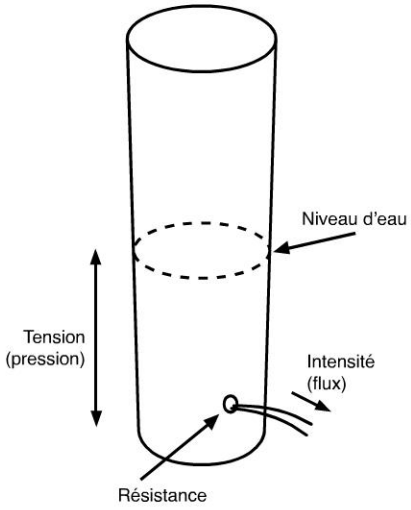


Figure 1-33. *Imaginez la tension comme une pression, et l'intensité comme un flux.*

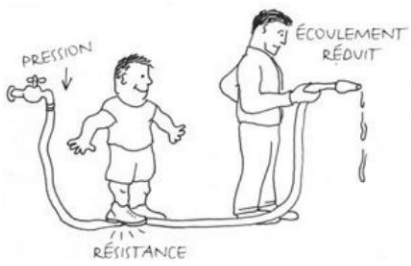


Figure 1-34. *Une résistance plus élevée se traduit par un flux plus faible, mais si vous augmentez la pression, elle peut vaincre la résistance et accroître le flux.*

Les réactions chimiques à l'intérieur de la batterie créent une pression électrique, appelée tension. Elle est mesurée en volts, d'après le nom du physicien Alessandro Volta.

Reprenons l'exemple de l'eau. La pression de l'eau dans un réservoir est proportionnelle à sa hauteur, et comparable à la tension (fig. 1-33).

Ce n'est pas tout. On désigne par intensité ou ampérage – du nom du physicien français André-Marie Ampère – la quantité d'électricité qui circule dans le fil. Le flux lui-même est généralement appelé courant. C'est le courant – l'intensité – qui produit la chaleur.

FONDAMENTAUX

Pourquoi notre langue ne brûle-t-elle pas ?

Lorsque vous avez touché la pile de 9 V avec votre langue, vous avez ressenti un picotement, mais aucune chaleur réelle. Quand vous avez créé un court-circuit dans la pile d'1,5 V, vous avez perçu une certaine quantité de chaleur, alors que la tension en jeu était inférieure.

En effet, la résistance de la langue est très élevée et réduit le flux d'électrons. Celle du fil reliant les deux bornes de la pile étant très faible, la quantité de courant qui le traverse est plus importante et la chaleur produite également. En supposant que les autres facteurs demeurent constants :

- plus la résistance est faible, plus la quantité de courant est élevée (fig. 1-34) ;
- la chaleur générée par l'électricité est proportionnelle à la quantité de courant.

Autres concepts élémentaires à connaître :

- l'intensité du courant se mesure en ampères ;
- la tension, exprimée en volts, provoque le flux électrique ;
- la résistance au courant s'exprime en ohms ;
- plus la résistance augmente, moins le courant circule ;
- une tension plus élevée surmonte la résistance et accroît le courant.

Il est difficile de déterminer la quantité exacte de courant qui circule entre les bornes d'une pile lors d'un court-circuit. Si vous la mesurez avec un multimètre, vous risquez de faire sauter le fusible qu'il comporte. Toutefois, vous pouvez utiliser votre propre fusible de 3 A et le sacrifier, sans regret au vu de son prix dérisoire.

Examinez soigneusement le fusible, si possible avec une loupe. Un S minuscule apparaît dans la fenêtre transparente au centre du fusible. Cette section en métal fond facilement.

La pile sur laquelle vous avez créé le court-circuit n'est plus utilisable ; recyclez-la. Placez une nouvelle pile dans le compartiment et connectez le fusible (fig. 1-35). Vous devriez voir apparaître une fêlure au centre du S, où le métal a fondu presque instantanément. La fig. 1-36 présente le fusible avant son

Copyright © 2013 Eyrolles.

branchement et la fig. 1-37 un fusible ayant sauté. En fait, le fusible fond pour protéger le reste du circuit. La minuscule fêlure à l'intérieur empêche le courant de continuer à passer.

FONDAMENTAUX

Les volts

La tension électrique s'exprime en volts. Le volt est une unité internationale. Un millivolt est égal à 1/1 000 d'un volt.

Nombre de volts	Expression	Abréviation
0,001	1 millivolt	1 mV
0,01	10 millivolts	10 mV
0,1	100 millivolts	100 mV
1	1 000 millivolts	1 V

Les ampères

L'intensité électrique s'exprime en ampères. L'ampère est une unité internationale. Un milliampère est égal à 1/1 000 d'un ampère.

Nombre d'ampères	Expression	Abréviation
0,001	1 milliampère	1 mA
0,01	10 milliampères	10 mA
0,1	100 milliampères	100 mA
1	1 000 milliampères	1 A

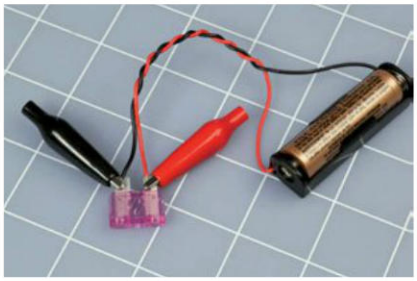


Figure 1-35. *Quand vous attachez les deux fils au fusible, la section en métal en forme de S fond presque aussitôt.*

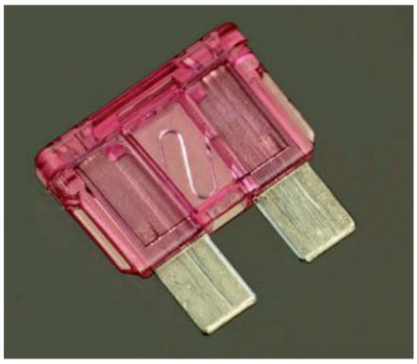


Figure 1-36. *Fusible de 3 A avant qu'une pile 1,5 V n'entraîne la fonte de l'élément central.*

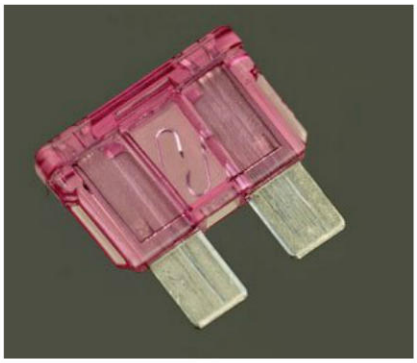


Figure 1-37. *Le même fusible après avoir fondu sous l'effet du courant électrique.*

Copyright © 2013 Eyrolles.

HISTOIRE

L'inventeur de la pile

Alessandro Volta (fig. 1-38) est né en Italie en 1745, bien avant que la science ne se scinde en spécialisations. Après l'étude de la chimie – il découvre le méthane en 1776 –, il devient professeur de physique et s'intéresse à la réaction dite galvanique, selon laquelle une jambe de grenouille se contracte en réponse à une décharge d'électricité statique.

En remplissant un verre d'eau salée, Volta démontre que la réaction chimique entre deux électrodes, l'une en cuivre, l'autre en zinc, génère un courant électrique régulier. En 1800, il empile des disques de cuivre et de zinc, séparés par des rondelles de carton humides. Cette pile voltaïque est la première pile électrique.

Figure 1-38. *Alessandro Volta a découvert que les réactions chimiques pouvaient créer de l'électricité.*

FONDAMENTAUX

Courant continu et courant alternatif

Le courant généré par une pile est appelé courant continu (CC en abrégé, ou DC pour *Direct Current* ; on choisira l'abréviation DC dans la suite de cet ouvrage). Comme l'eau qui s'écoule d'un robinet, le flux est régulier et unidirectionnel.

Le courant obtenu à partir du fil de phase d'une prise électrique domestique est très différent. En Europe, il passe d'une valeur positive à une valeur négative 50 fois par seconde. Ce courant est dit courant alternatif (CA en abrégé, ou AC pour *Alternating Current*). Il peut s'apparenter au mouvement d'un métronome qui oscille alternativement de droite à gauche, puis de gauche à droite.

Le courant alternatif est essentiel dans certains cas, comme pour accroître la tension afin de distribuer l'électricité sur de longues distances, ou dans les moteurs et les appareils ménagers. La fig. 1-39 illustre une prise de courant française.

Dans ce livre, sauf mention contraire, le courant dont je parle sera toujours le courant continu, et ce, pour deux raisons : la plupart des circuits électroniques simples sont alimentés en courant continu et son fonctionnement est beaucoup plus aisé à comprendre.

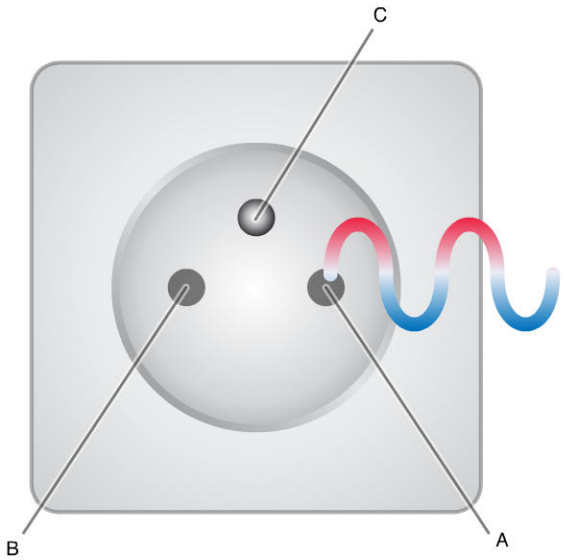


Figure 1-39. *Prise électrique française. La borne A est le côté actif de la prise (la phase) : elle fournit la tension alternative, positive ou négative par rapport à la borne B, qui est le côté neutre. Si un appareil présente un défaut, tel un fil débranché et alimenté, votre protection est assurée par l'évacuation de la tension via la prise de terre C.*

Copyright © 2013 Eyrolles.

Réutilisation des composants

La pile que vous avez court-circuitée est définitivement inutilisable. Jetez-la dans un conteneur dédié au recyclage, car elle contient des métaux lourds nocifs pour l'environnement.

Débarrassez-vous aussi du fusible, qui ne peut plus être utilisé.

La seconde pile, protégée par le fusible, doit toujours être en état de fonctionner. Le coupleur de piles sera réutilisé dans une prochaine expérience.

Expérience 3 : votre premier circuit

Il est temps d'exploiter l'électricité à des fins relativement utiles. Ici, vous allez manipuler des composants appelés résistances et une diode électroluminescente (dite aussi LED ou DEL).

Procurez-vous :

- 4 piles AA d'1,5 V
- 1 coupleur de 4 piles
- 3 résistances de valeurs respectives 470 Ω, 1K et 2K ou 2,2K
- 1 LED (type indifférent)
- 3 pinces crocodile.

Montage

La résistance, dont la valeur s'exprime en ohms, est le principal composant d'un circuit électronique. Comme son nom l'indique, elle résiste au passage du courant électrique.

Même si les résistances sont clairement étiquetées, il est préférable que vous sachiez en déterminer vous-même la valeur. Pour cela :

- utilisez un multimètre. C'est un excellent exercice pour apprendre à lire les mesures ;
- apprenez à reconnaître les codes couleur imprimés sur la plupart des résistances.

Stockez vos résistances dans des boîtes en matière plastique étiquetées en fonction de leur valeur.

HISTOIRE

Le père de l'électromagnétisme

Né en France en 1775, André-Marie Ampère est un mathématicien prodige. Il est nommé professeur de physique en 1801. Sa découverte la plus célèbre, en 1820, concerne l'électromagnétisme : il décrit de quelle façon un courant électrique génère un champ magnétique. Il conçoit aussi le premier appareil de mesure du courant, le galvanomètre, et découvre le fluor, un élément chimique.

Figure 1-40. *André-Marie Ampère a découvert que le courant électrique qui traverse un fil crée autour de lui un champ magnétique. Ce principe a été utilisé pour procéder aux premières mesures fiables de l'intensité électrique.*

Copyright © 2013 Eyrolles.

FONDAMENTAUX

Le code couleur des résistances

Si la valeur d'une résistance figure parfois directement sur le composant, elle est plus généralement codée sous forme de bandes de couleur (fig. 1-41 et 1-42). Voici comment déchiffrer ce code : tout d'abord, ignorez la couleur du corps de la résistance. Recherchez ensuite une bande de couleur or ou argent et orientez la résistance pour que cette bande se trouve du côté droit. La couleur argent signifie que la valeur de la résistance est précise à 10 % près et la couleur or à 5 % près. Si vous ne trouvez pas de bande or ou argent, orientez la résistance afin que les bandes de couleur se situent à gauche. Vous vous retrouvez alors face à trois bandes de couleur. Comme nous le verrons plus loin, le nombre de bandes peut être plus élevé.

Figure 1-41. *Certaines résistances sont marquées d'un code numérique, lisible avec une loupe. Cette résistance de 15K mesure moins d'1,5 cm.*

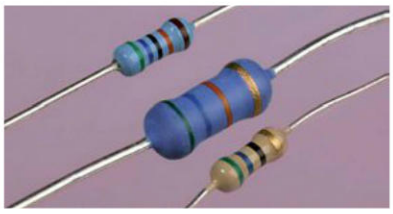


Figure 1-42. *De haut en bas : les valeurs de ces résistances sont respectivement 56K, 5,6K et 560 ohms. La taille renseigne sur la puissance que la résistance peut supporter (1/4 W pour les plus petites, 1 W pour la plus grosse) ; elle n'a pas de lien avec la valeur de la résistance.*

Les première et deuxième bandes (à partir de la gauche) sont codées selon le tableau suivant.

Noir	0
Marron	1
Rouge	2
Orange	3
Jaune	4
Vert	5
Bleu	6
Violet	7
Gris	8
Blanc	9

La troisième bande indique le nombre de zéros à ajouter (multiplicateur en puissance de dix).

Noir	–	Aucun zéro
Marron	0	1 zéro
Rouge	00	2 zéros
Orange	000	3 zéros
Jaune	0000	4 zéros
Vert	00000	5 zéros
Bleu	000000	6 zéros
Violet	0000000	7 zéros
Gris	00000000	8 zéros
Blanc	000000000	9 zéros

opyright © 2013 Eyrolles.

FONDAMENTAUX

Le code couleur des résistances *(suite)*

Notez que le code couleur est cohérent : par exemple, le vert veut dire 5 (pour les deux premières bandes) ou 5 zéros (pour la troisième bande). En outre, la séquence des couleurs est identique à celle d'un arc-en-ciel.

Par exemple, une résistance marron-vert-rouge correspond à une valeur 1-2 et 5 zéros, soit 1 200 000 ohms ou 1,2 MΩ. Une résistance de couleur orange-orange-orange correspond à 3-3 et 3 zéros, soit 33 000 ohms ou 33 kΩ. Une résistance de couleur marron-noir-rouge correspond à une valeur 1-0 et 2 zéros, soit 1 kΩ. Voir fig. 1-43 pour d'autres exemples.

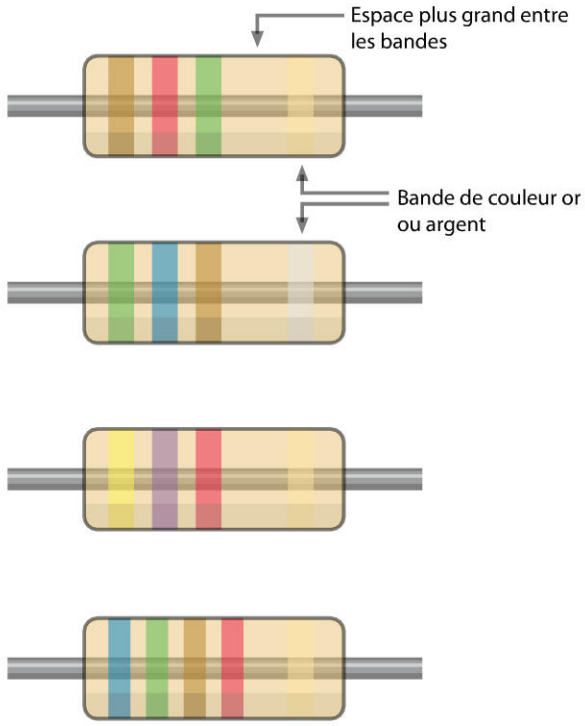


Figure 1-43. *Pour connaître la valeur d'une résistance, tournez-la de façon à ce que la bande or ou argent se trouve à droite (et les autres bandes à gauche). De haut en bas : la première résistance possède une valeur 1-2 et 5 zéros, soit 1,2 MΩ ; la deuxième une valeur 5-6 et 1 zéro, soit 560 Ω ; la troisième une valeur 4-7 et 2 zéros, soit 4,7 kΩ ; la dernière une valeur 6-5-1 et 2 zéros, soit 65,1 kΩ.*

Si une résistance possède quatre bandes au lieu de trois, les trois premières se traduisent par des chiffres et la quatrième correspond au nombre de zéros. La troisième bande permet d'affiner la tolérance de la résistance.

Déroutant ? Parfaitement ! Aussi est-il plus aisé de mesurer ces valeurs à l'aide d'un multimètre. Mais sachez que la valeur mesurée peut être légèrement différente de celle affichée par la résistance. Cette différence est due à la marge d'erreur du multimètre et/ou à celle de la résistance. Tant que l'écart ne dépasse pas 5 %, cela n'a pas de conséquences sur vos expériences.

Copyright © 2013 Eyrolles.

Allumer une LED

Étudions à présent votre LED. À la différence des anciennes ampoules qui gaspillent beaucoup d'énergie en la transformant en chaleur, les LED convertissent presque la totalité de l'énergie électrique qu'elles reçoivent en lumière et durent presque indéfiniment, pour autant que vous les traitiez correctement…

La quantité d'énergie reçue par une LED et la manière dont elle la récupère sont deux sujets assez complexes. Respectez toujours certaines règles :

- le fil long qui dépasse de la LED doit recevoir une tension positive plus élevée que le fil court ;
- la tension entre le fil long et le fil court ne doit pas dépasser la limite définie par le fabricant ;
- le courant qui passe dans la LED ne doit pas excéder la limite définie par le fabricant.

Que se passe-t-il si vous enfreignez ces règles ? Vous le saurez bientôt !

Assurez-vous d'utiliser des piles neuves. Pour cela, placez le sélecteur du multimètre sur Volts CC (ou DC) et mettez en contact les fiches avec les bornes de chaque pile. Chacune d'elles doit générer une tension d'au moins 1,5 V ; il se peut que la valeur affichée soit légèrement supérieure. En effet, une pile neuve fournit une tension supérieure à celle indiquée et délivre une tension moindre au fur et à mesure de son utilisation. Les piles perdent aussi en tension si on ne s'en sert pas.

Insérez correctement les piles dans le coupleur, les extrémités négatives contre les ressorts. Utilisez le multimètre pour vérifier la tension entre les fils qui sortent du compartiment. Elle doit être au moins égale à 6 V.

Choisissez maintenant une résistance de 2 kΩ, soit 2 000 ohms. Si elle présente des bandes de couleur, elles doivent être rouge-noir-rouge, soit 2-0 et 2 zéros. Éventuellement, utilisez une résistance de 2,2K (rouge-rouge-rouge), plus courante.

Connectez-la au circuit (fig. 1-44 et 1-45), à l'aide d'une pince crocodile. La diode doit émettre une très légère lueur.

opyright © 2013 Eyrolles.

Remplacez la résistance 2K par celle d'1K, aux bandes marron-noir-rouge, soit 1-0 et 2 zéros. La lueur doit être plus vive.

Remplacez ensuite la résistance d'1K par celle de 470 Ω, aux bandes jaune-violet-marron, soit 4-7 et 1 zéro. La LED devrait être encore plus brillante.

Le point suivant peut sembler élémentaire, mais il est important. La résistance bloque un pourcentage de la tension du circuit, à la manière d'un nœud sur un tuyau d'arrosage. Plus la résistance est élevée, plus elle bloque la tension et moins elle en laisse pour la diode.

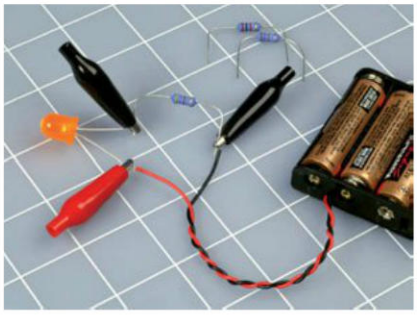


Figure 1-44. *Montage de l'expérience 3, avec des résistances de 470 Ω, 1 kΩ et 2 kΩ. Placez les pinces crocodile à l'endroit indiqué, pour établir un contact sécurisé. Essayez ensuite chacune des résistances au même point du circuit, tout en surveillant la diode.*

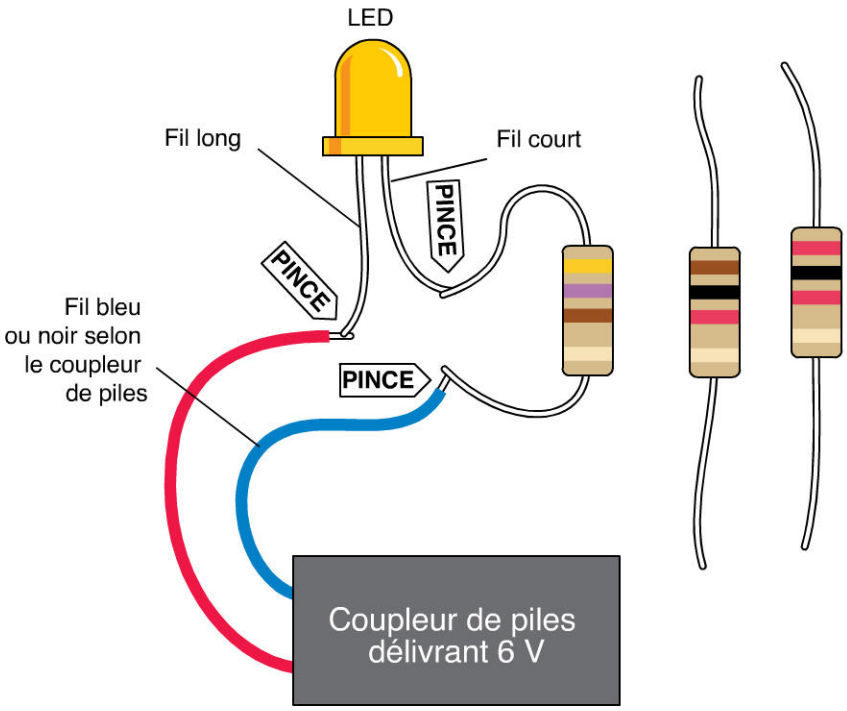


Figure 1-45. *Fonctionnement d'une LED de grande taille. Si vous démarrez par la résistance à la valeur la plus élevée, la diode brille très faiblement. La résistance fait baisser la tension et la diode se retrouve avec un courant insuffisant pour briller intensément.*

Réutilisation des composants

Conservez piles et LED pour la prochaine expérience. Les résistances seront aussi réutilisées ultérieurement.

opyright © 2013 Eyrolles.

Expérience 4 : faites varier la tension

De différentes tailles et formes, les potentiomètres permettent de faire varier la tension et le courant en fonction de la résistance. Cette expérience vous permettra d'en savoir plus sur la tension, l'intensité et leurs relations, et de décrypter la fiche technique d'un composant.

Outre les piles, le coupleur de piles, les pinces crocodile et la diode de l'expérience précédente, il vous faut :

- 2 potentiomètres linéaires 2K (fig. 1-46). Préférez un grand modèle, même s'ils sont moins répandus que les petits formats
- 1 autre LED
- 1 multimètre

À l'intérieur du potentiomètre

Vous allez d'abord ouvrir le potentiomètre pour en examiner le fonctionnement (fig. 1-47 et 1-48). Prévoyez un second appareil dans le cas où vous n'arriveriez pas à réassembler le premier.

La plupart des potentiomètres sont maintenus à l'aide de petites cosses métalliques. Vous devez pouvoir les saisir avec la pince coupante ou les autres pinces, puis les plier vers le haut et l'extérieur.

Figure 1-46

Figure 1-47

Figure 1-48. *Ouvrez le potentiomètre en faisant levier sur l'extrémité des quatre cosses métalliques (fig. 1-47). À l'intérieur se trouve une bobine de fil autour d'une bande de plastique plate et une paire de contacts élastiques (le balai) qui acheminent l'électricité depuis ou vers n'importe quel point de la bobine lorsque vous tournez l'axe.*

Selon la qualité du modèle, le potentiomètre se compose d'une piste de plastique conducteur (fil conducteur bobiné) ou d'une bobine de fil en spirale – mais le principe reste le même. Le plastique et le fil possèdent une certaine résistance (ici, 2K au total), et lorsque vous tournez l'axe du potentiomètre, un balai frotte contre la résistance, ce qui crée un raccourci vers n'importe quel point de la borne centrale.

Copyright © 2013 Eyrolles.

Réassemblez le potentiomètre, sinon utilisez celui de secours.

Pour tester le potentiomètre, placez le sélecteur du multimètre sur la mesure de résistance (ohms) et touchez les bornes de l'appareil avec les sondes tout en tournant son axe d'avant en arrière (fig. 1-49).

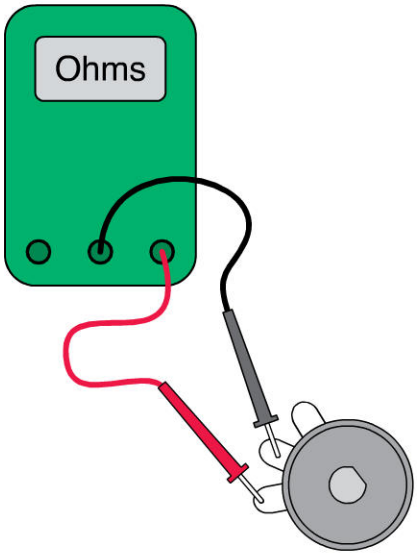


Figure 1-49. *Mesurez la résistance entre les deux bornes du potentiomètre tout en tournant l'axe d'avant en arrière.*

Réduire la lumière de la LED

Commencez par tourner entièrement le potentiomètre dans le sens inverse des aiguilles d'une montre, sinon vous risquez de brûler la LED avant même d'avoir démarré l'expérience. (De très rares potentiomètres augmentent et diminuent la résistance dans le sens opposé à celui décrit ici, mais si le vôtre s'apparente à celui de la fig. 1-48, ma description reste valable.)

Maintenant, connectez les différents éléments (fig. 1-50 et 1-51) en prenant soin que les parties métalliques des pinces crocodile ne se touchent pas. Puis tournez le potentiomètre très lentement. La lueur de la LED devient de plus en plus vive, jusqu'à s'éteindre. Vous comprenez alors à quel point l'électronique moderne est fragile… Jetez la LED, elle ne brillera plus jamais. Remplacez-la par une diode neuve, et soyez désormais plus prudent.

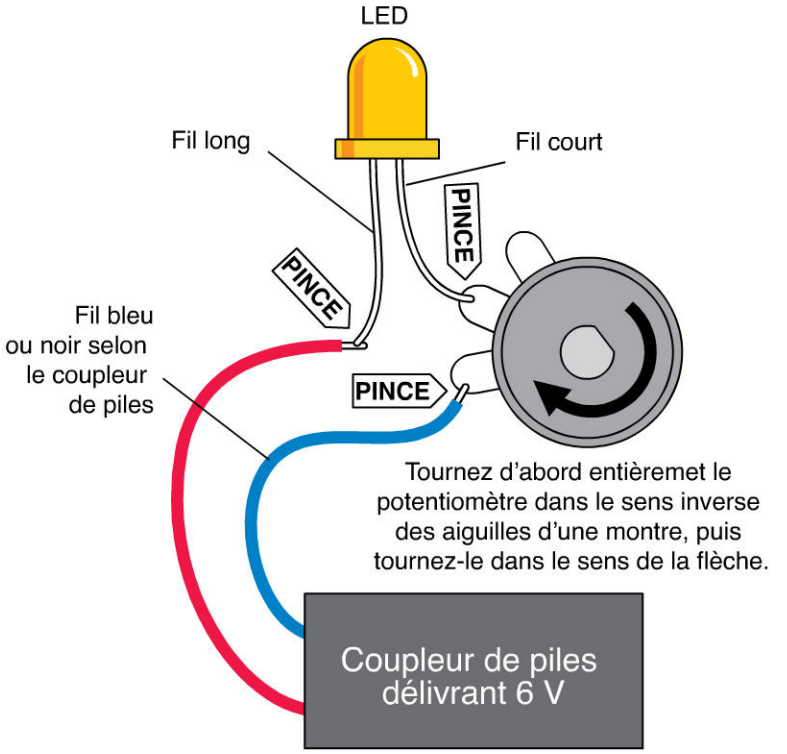


Figure 1-50. *Montage de l'expérience 4. Lorsque vous tournez l'axe du potentiomètre 2K, la résistance varie de 0 à 2 000 Ω. Celle-ci protège la diode contre les 6 V du coupleur de piles.*

Figure 1-51. *La LED reste éteinte, car le potentiomètre a été tourné un peu trop loin.*

opyright © 2013 Eyrolles.

Figure 1-52

Figure 1-53

Figure 1-54. *Chaque multimètre mesure différemment les volts en courant continu. Celui ajusté manuellement (en haut) requiert de glisser l'interrupteur sur la position DC et de sélectionner la tension la plus élevée à mesurer. Ici, la tension est de 20 V (2 V serait une valeur trop faible). Avec le multimètre RadioShack à sélection automatique (au milieu), vous sélectionnez V et la plage à utiliser est automatiquement déterminée.*

Les piles étant connectées au circuit, placez le sélecteur du multimètre sur la mesure de la tension en courant continu (fig. 1-52 à 1-54). Puis amenez les sondes en contact de chaque côté de la LED. Maintenez-les en place lorsque vous tournez le potentiomètre, légèrement dans chaque sens. La tension aux bornes de la LED doit varier en conséquence. Cette différence entre les deux fils de la LED est appelée différence de potentiel.

Si vous utilisez une ampoule miniature à la place d'une LED, la variation de la différence de potentiel est plus grande, car l'ampoule se comporte comme une résistance « pure », alors qu'une LED s'ajuste automatiquement et adapte sa résistance à la variation de tension.

Placez les sondes sur les deux bornes du potentiomètre, afin d'en mesurer la différence de potentiel. Comme le potentiomètre et la LED partagent la tension totale disponible, quand la différence de potentiel au niveau du potentiomètre augmente, celle au niveau de la LED diminue, et inversement (fig. 1-55 à 1-57). Voici quelques points à ne pas oublier.

- Si vous additionnez les différences de potentiel des éléments du circuit, le total obtenu est identique à la tension fournie par les piles.
- La tension mesurée est une tension relative, entre deux points du circuit.
- Appliquez le multimètre comme un stéthoscope, sans risque de perturber ou d'interrompre les connexions du circuit.

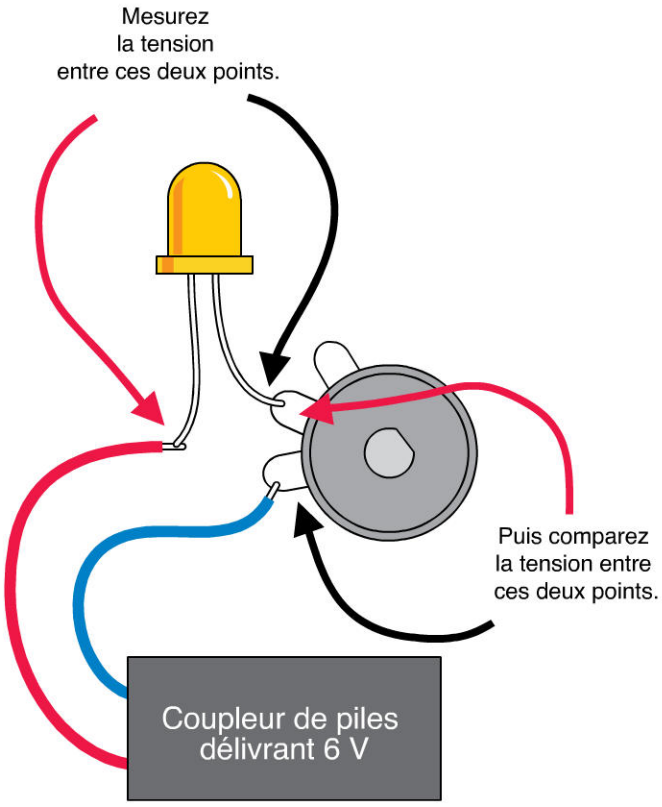


Figure 1-55. *Mesure de la tension dans un circuit simple.*

Copyright © 2013 Eyrolles.

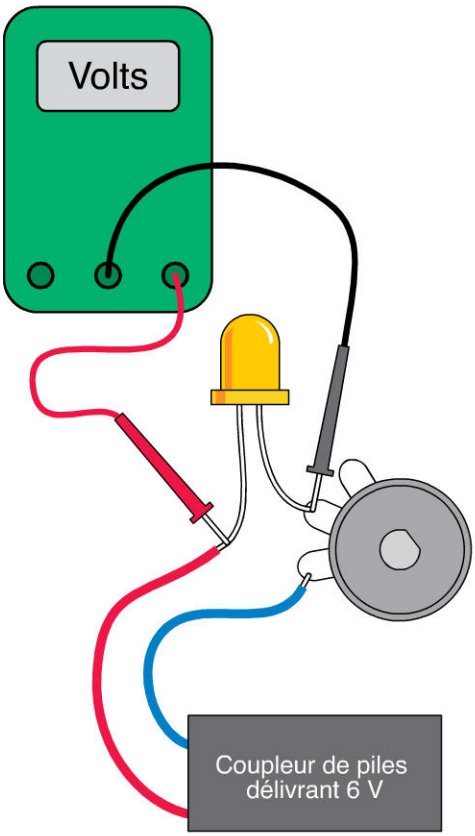


Figure 1-56. *Le multimètre affiche la tension de la LED.*

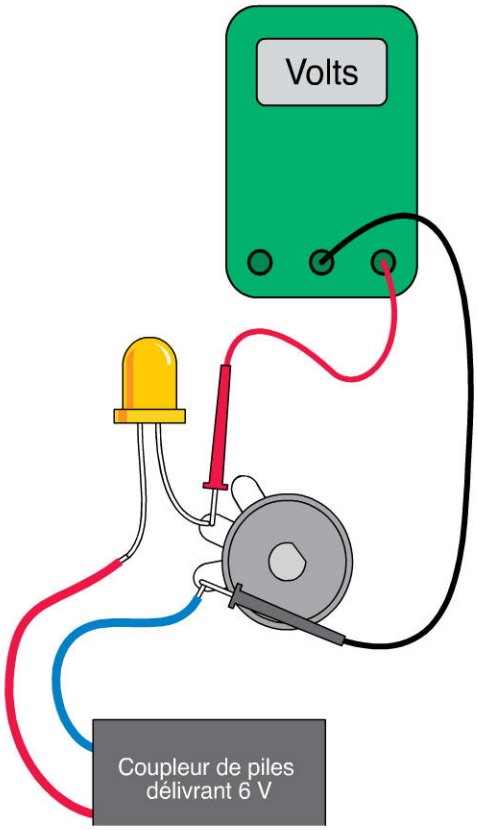


Figure 1-57. *Le multimètre affiche la tension du potentiomètre.*

Contrôle du courant

Vous allez maintenant procéder à la mesure du courant qui passe dans le circuit, après avoir sélectionné mA (milliampères) sur le multimètre. Pour ce faire :

- vous ne pouvez mesurer le courant que lorsqu'il passe à travers le multimètre ;
- vous devez insérer le multimètre dans le circuit ;
- sachez qu'une trop grande quantité de courant fera sauter le fusible du multimètre.

Veillez bien à mesurer des mA et non des V. Sur certains multimètres, vous serez obligé de brancher l'un des fils sur une borne différente du multimètre (fig. 1-58 à 1-61).

opyright © 2013 Eyrolles.

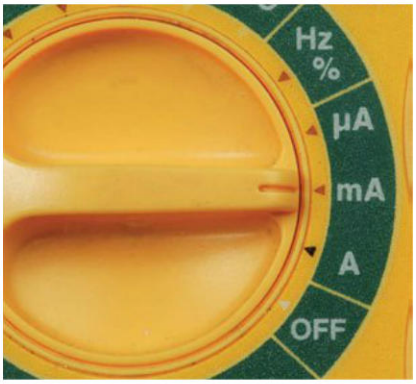


Figure 1-58. *Le fusible du multimètre sautera si vous mesurez une tension trop élevée. Dans votre circuit, il n'y a pas de risques si vous maintenez le potentiomètre en milieu de plage. Choisissez la graduation mA et souvenez-vous que les nombres affichés représentent des millièmes d'ampères.*

Figure 1-59

Figure 1-60

Figure 1-61. *Sur un multimètre manuel comme celui-ci, il faut brancher le fil rouge sur une autre borne pour mesurer les milliampères. Mais ce n'est pas nécessaire sur la plupart des modèles récents tant que vous ne mesurez pas des courants élevés.*

Insérez le multimètre dans le circuit (fig. 1-62). Ne tournez pas le potentiomètre au-delà de la moitié de sa course. La résistance protège le multimètre, ainsi que la LED. Si le multimètre reçoit trop de courant, vous devez alors remplacer le fusible interne.

Si vous tournez légèrement le potentiomètre dans un sens ou dans l'autre, vous remarquez que la résistance du circuit modifie l'intensité. C'est la raison pour laquelle la LED a brûlé au cours de l'expérience précédente : elle a fondu sous l'effet de la chaleur, comme précédemment le fusible. Une résistance de grande valeur limite l'intensité du courant.

Placez maintenant le multimètre à un autre endroit du circuit (fig. 1-63). Lorsque vous augmentez ou diminuez la résistance du potentiomètre, vous obtenez les mêmes résultats qu'avec la configuration de la fig. 1-62. En effet, le courant est le même en tout point d'un circuit similaire. Il doit l'être, car le flux d'électrons n'a aucun autre emplacement où se rendre.

Copyright © 2013 Eyrolles.

Enfin, remplacez la LED par une résistance d'1 kΩ (fig. 1-64). La résistance totale du circuit est maintenant d'1 kΩ, à laquelle il faut ajouter la résistance du potentiomètre (le multimètre possède aussi une résistance, mais si faible que vous pouvez l'ignorer).

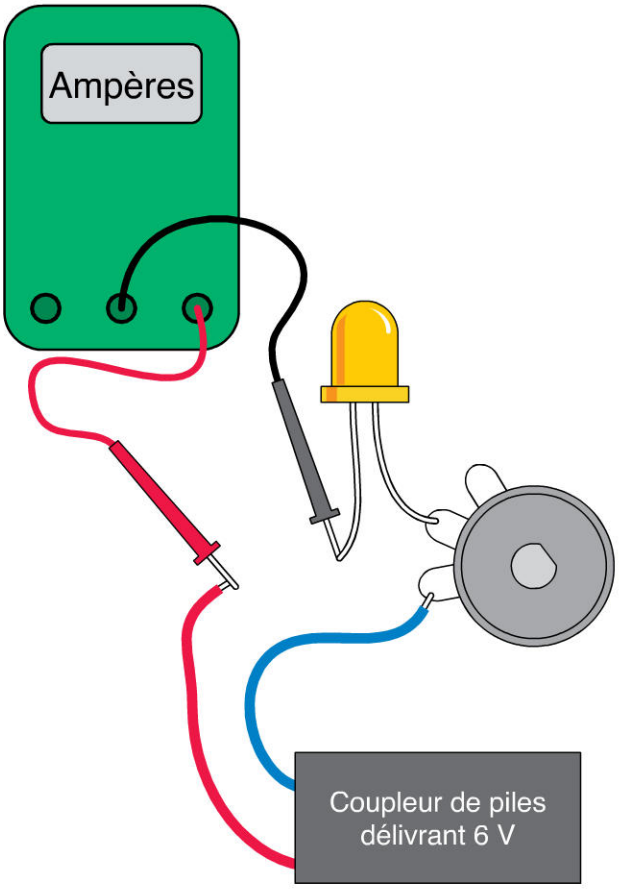


Figure 1-62. *Pour mesurer les ampères, comme illustré ici et sur la fig. 1-63, le courant doit passer dans le multimètre. Quand vous augmentez la résistance, vous limitez le courant et la lueur de la LED diminue.*

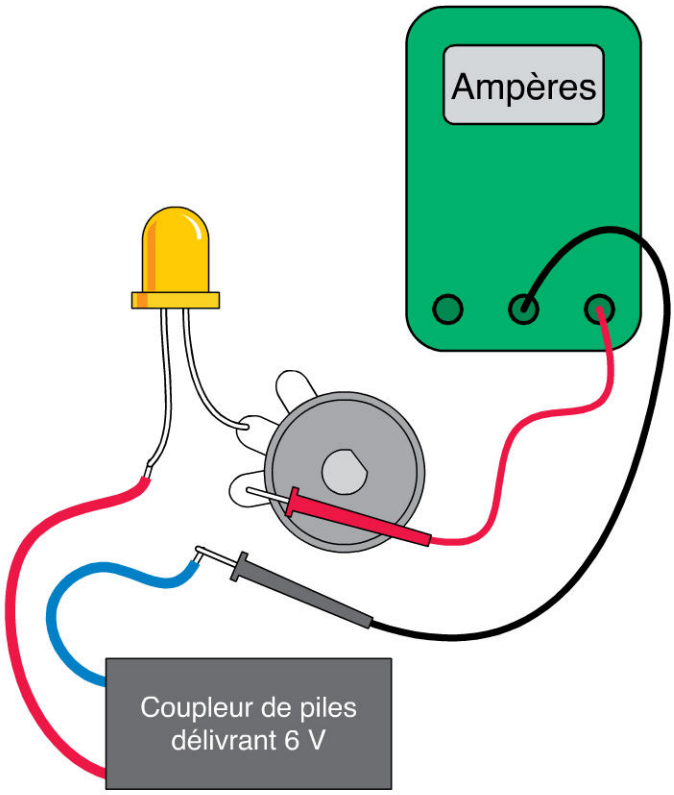


Figure 1-63

opyright © 2013 Eyrolles.

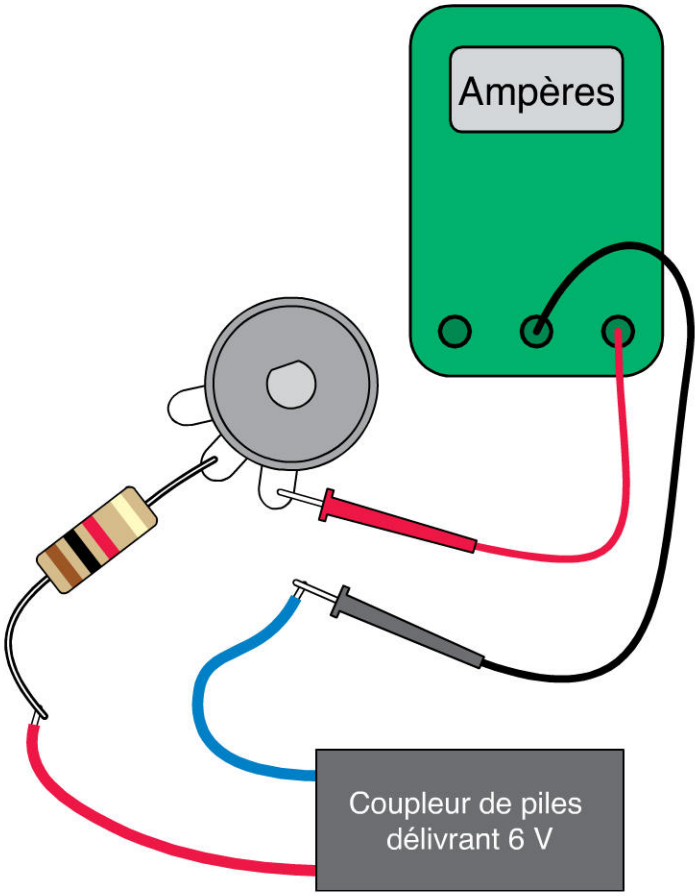


Figure 1-84. *Si vous remplacez la LED par une résistance, vous pouvez vérifier que le courant qui passe dans le circuit varie avec la résistance totale du circuit, si la tension demeure la même.*

Tournez entièrement le potentiomètre dans le sens inverse des aiguilles d'une montre. Vous obtenez une résistance totale de 3K dans le circuit et le multimètre doit afficher une intensité de 2 mA environ. Tournez ensuite le potentiomètre de moitié : la résistance totale sera de 2K et l'intensité de 3 mA environ. Puis tournez le potentiomètre intégralement dans le sens des aiguilles d'une montre : la résistance est alors égale à 1K et l'intensité à 6 mA. Vous noterez que si vous multipliez la résistance par l'intensité, vous obtenez 6 à chaque fois, ce qui correspond à la tension appliquée au circuit. Reportez-vous au tableau suivant.

Résistance totale (kΩ)	Courant (mA)	Tension (volts)
3	2	6
2	3	6
1	6	6

Copyright © 2013 Eyrolles.

Vous pouvez établir les égalités suivantes :

tension = kilo-ohms × milliampères

Comme 1K équivaut à 1 000 ohms et 1 mA à 1/1 000 A, la formule devient :

tension = (ohms × 1 000) × (ampères/1 000)

Pour simplifier :

tension = ohms × ampères

Cette loi est appelée loi d'Ohm.

FONDAMENTAUX

Montages en série et en parallèle

Avant de poursuivre, il importe que vous sachiez comment la résistance d'un circuit augmente selon qu'elle est montée en série ou en parallèle (fig. 1-65 à 1-67).

- Les résistances montées en série se trouvent l'une à la suite de l'autre.
- Les résistances montées en parallèle se trouvent côte à côte.

Si vous placez en série deux résistances de valeur égale, vous doublez la résistance totale, car l'électricité doit les franchir l'une après l'autre.

Si vous les montez en parallèle, vous divisez par deux la résistance totale, car vous offrez deux trajets au courant, au lieu d'un seul.

En pratique, les résistances sont rarement montées en parallèle, contrairement à d'autres composants, tels que les ampoules domestiques. Il est donc utile de savoir que plus vous montez d'éléments en parallèle, plus la résistance du circuit diminue.

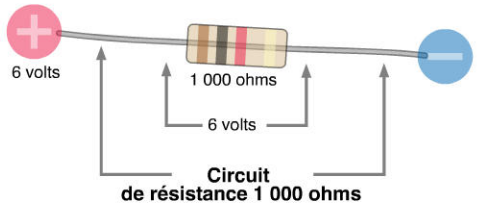


Figure 1-65. *Une seule résistance reçoit la totalité de la tension. Selon la loi d'Ohm, le circuit délivre V/R = 6/1 000 = 0,006 A de courant.*

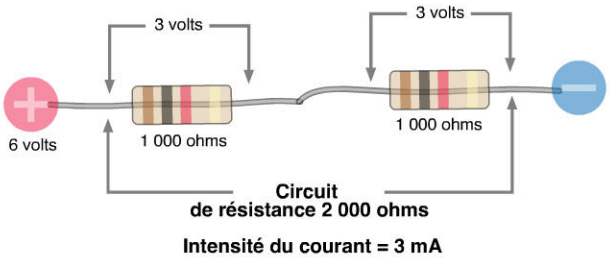


Figure 1-66. *Quand deux résistances sont montées en série, l'électricité doit les franchir l'une après l'autre. Par conséquent, chacune reçoit la moitié de la tension. La résistance totale est, ici, de 2 000 ohms. Selon la loi d'Ohm, le circuit délivre V/R = 6/2 000 = 0,003 A = 3 mA de courant.*

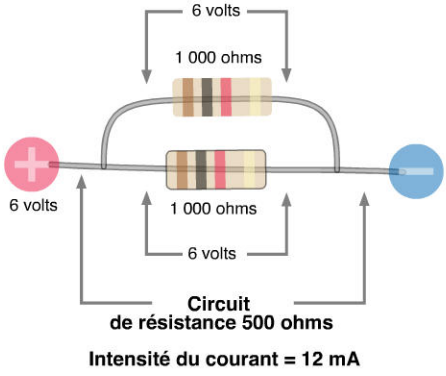


Figure 1-67. *Quand deux résistances sont montées en parallèle, chacune est exposée à la totalité de la tension, soit 6 V. Comme l'électricité peut les franchir simultanément, la résistance totale du circuit se trouve divisée de moitié. Selon la loi d'Ohm, le courant est de V/R = 6/500 = 0,012 A = 12 mA.*

Copyright © 2013 Eyrolles.

FONDAMENTAUX

La loi d'Ohm

Les ampères sont normalement symbolisés par la lettre I. La lettre V désigne les volts et R la résistance, exprimée en ohms (car le symbole Ω n'est pas facile à obtenir sur la plupart des claviers). À l'aide de ces symboles, vous pouvez écrire la loi d'Ohm de trois façons :

$$V = R \times I$$
$$I = V/R$$
$$R = V/I$$

V désigne la différence de tension entre deux points d'un circuit simple, R la résistance en ohms entre ces deux mêmes points, et I le courant en ampères qui traverse le circuit entre les deux points.

On utilise la lettre I car, à l'origine, le courant était mesuré par son inductance, à savoir la capacité à induire des effets magnétiques. Il serait moins déroutant d'utiliser la lettre A pour désigner les ampères, mais il est malheureusement trop tard.

Utilisation de la loi d'Ohm

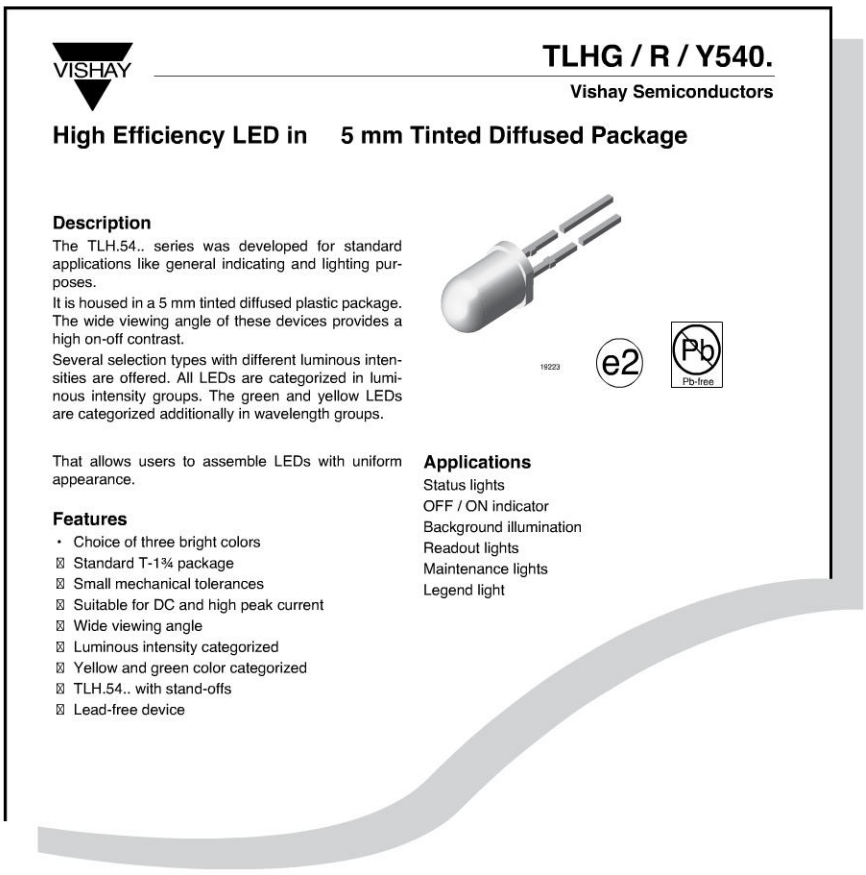
Cette loi est très utile car elle permet, par exemple, de savoir si un composant peut être utilisé en toute sécurité dans un circuit, et ainsi éviter qu'il brûle.

Par exemple, la première fois où vous avez tourné le potentiomètre, vous ne saviez pas réellement jusqu'où vous pouviez aller avant de brûler la LED. N'est-il pas utile de savoir précisément quelle résistance placer en série avec une LED, pour la protéger et fournir en même temps autant de lumière que possible ?

Comment lire une fiche technique ?

Internet permet d'obtenir toutes les informations relatives à un composant.

Pour consulter la fiche technique d'un composant (fig. 1-68), saisissez son nom dans la barre de votre moteur de recherche, ainsi que la référence de la pièce et le nom du fabricant. Généralement, la fiche technique apparaît en première position dans les résultats.



VISHAY

TLHG / R / Y540.

Vishay Semiconductors

High Efficiency LED in 5 mm Tinted Diffused Package

Description

The TLH.54.. series was developed for standard applications like general indicating and lighting purposes.

It is housed in a 5 mm tinted diffused plastic package. The wide viewing angle of these devices provides a high on-off contrast.

Several selection types with different luminous intensities are offered. All LEDs are categorized in luminous intensity groups. The green and yellow LEDs are categorized additionally in wavelength groups.

That allows users to assemble LEDs with uniform appearance.

Features

- Choice of three bright colors
- Standard T-1¾ package
- Small mechanical tolerances
- Suitable for DC and high peak current
- Wide viewing angle
- Luminous intensity categorized
- Yellow and green color categorized
- TLH.54.. with stand-offs
- Lead-free device

Applications

Status lights
OFF / ON indicator
Background illumination
Readout lights
Maintenance lights
Legend light

Figure 1-68. *Début d'une fiche technique, disponible gratuitement sur Internet, et incluant toutes les informations pertinentes.*

Copyright © 2013 Eyrolles.

COMPLÉMENTS

Quelle tension consomme un fil électrique ?

Normalement, vous pouvez ignorer la résistance des fils électriques, comme ceux issus des résistances elles-mêmes, car elle est négligeable. Cependant, si vous essayez de faire passer un fort courant à travers un long fil mince, sa résistance peut être importante.

Jusqu'à quel point ? Une fois encore, utilisez la loi d'Ohm.

Imaginez qu'un long morceau de fil ait une résistance de 0,2 Ω et que vous vouliez y faire passer un courant de 15 A. Quelle tension le fil dérobe-t-il au circuit en raison de sa résistance ?

Vous pouvez écrire :

$R = 0{,}2$

$I = 15$

Comme vous cherchez la valeur de V, utilisez la forme suivante de la loi d'Ohm :

$V = R \times I$

Soit, ici :

$V = 15 \times 0{,}2 = 3$ volts

Cette différence de potentiel n'est pas très grande si vous disposez d'une alimentation électrique à haute tension, mais si vous utilisez une batterie de voiture de 12 V, le fil absorbera 1/4 de la tension disponible.

Voilà pourquoi les câbles dans les voitures sont relativement épais : pour réduire leur résistance bien en deçà de 0,2 Ω (fig. 1-69).

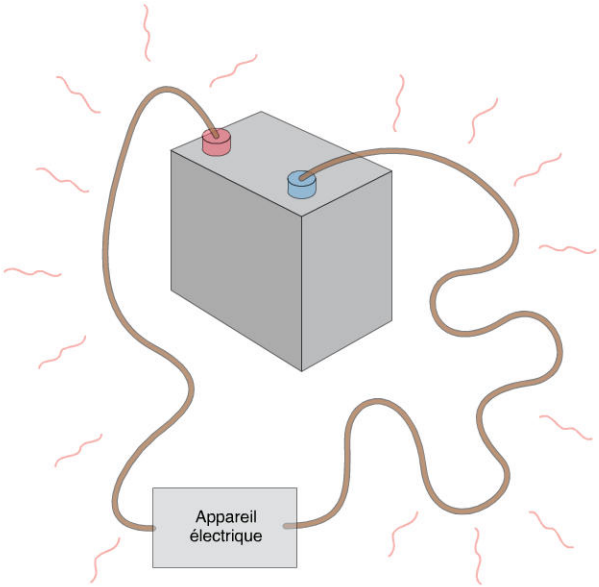


Figure 1-69. *Quand une batterie de voiture de 12 V alimente un appareil électrique via un long fil mince, la résistance de ce dernier absorbe une partie de la tension et la dissipe sous forme de chaleur.*

opyright © 2013 Eyrolles.

HISTOIRE

Les origines du watt

James Watt (fig. 1-70) est considéré comme l'inventeur de la machine à vapeur. Né en Écosse en 1736, il travaille dans un atelier de fabrication de machines à l'université de Glasgow, où il cherche à optimiser l'utilisation de la vapeur pour déplacer le piston d'un cylindre. Mais des problèmes financiers et une mauvaise connaissance du travail du métal, encore balbutiant, l'empêchent de produire toute application pratique avant 1776. Malgré leurs difficultés à obtenir des brevets, Watt et son associé finissent alors par s'enrichir grâce à leurs innovations.

Même si Watt a vécu bien avant les pionniers de l'électricité, son nom est attribué en 1889 à l'unité de base de la puissance électrique, égale au produit des ampères par les volts (voir l'encadré « Le watt » page 31).

Figure 1-70. *La machine à vapeur de James Watt a contribué à la révolution industrielle. Son nom a été donné à l'unité de puissance, à titre d'hommage posthume.*

Suppsons que vous souhaitiez acquérir une LED rouge, comme la référence Vishay TLHR5400. Cliquez sur le lien de la fiche technique du fabricant, Vishay Semiconductor : une page PDF apparaît alors à votre écran. La fiche technique concerne les trois types de diodes TLHR, TLHG et TLHY (rouge, vert et jaune). Faites défiler la page jusqu'à la section traitant des caractéristiques optiques et électriques. Vous y apprendrez que, dans le cas d'un courant de 20 mA, la LED supporte une tension caractéristique de 2 V et une tension maximale de 3 V.

Toutes les fiches techniques ne sont pas rédigées de la même manière. Prenons l'exemple d'une LED de référence Kingbright WP7113SGC. Allez sur le site du fabricant. Sur la fiche technique sont mentionnées une tension caractéristique de 2,2 V, une tension maximale de 2,5 V, et une intensité maximale de 25 mA. D'autres informations sont précisées : une tension inverse maximale de 5 V et une intensité inverse maximale de 10 µA. Que pouvez-vous en déduire ? Qu'il faut éviter d'appliquer une tension excessive à la diode, sans quoi elle risque de brûler. Et toujours respecter la polarité !

Kingbright indique aussi la température maximale que la diode peut supporter : 260 °C, pendant quelques secondes. Ce détail est utile, puisque vous laisserez bientôt de côté vos pinces crocodile et utiliserez de la soudure fondue à chaud pour connecter les composants électriques. Comme vous avez déjà mis hors d'usage une pile, un fusible et une LED en quatre expériences seulement, vous ne serez pas surpris d'apprendre que vous allez détruire au moins deux autres composants en testant leurs limites à l'aide d'un fer à souder.

Maintenant que vous connaissez les limites d'utilisation d'une LED, vous allez découvrir comment les respecter (si les nombres décimaux vous posent quelques difficultés, reportez-vous à l'encadré « Nombres décimaux » page ci-contre, avant de poursuivre).

Quelle résistance pour quelle LED ?

Supposons que vous utilisiez la LED Vishay. Souvenez-vous de ses contraintes d'utilisation : un maximum de 3 V et une intensité de 20 mA.

Pour des raisons de sécurité, limitez la tension à 2,5 V. L'alimentation est de 6 V. En soustrayant 2,5 de 6, vous obtenez 3,5. Par conséquent, vous devez utiliser une résistance qui ôte 3,5 V au circuit et laisse 2,5 V à la LED.

Le courant est le même en tout point d'un circuit. Si vous voulez que la LED soit traversée par un courant maximal de 20 mA, la même quantité de courant doit traverser la résistance.

Notez à présent ce que vous savez de la résistance du circuit. Toutes les unités doivent être converties en volts, ampères et ohms. Ainsi, écrivez 20 mA sous la forme de 0,02 A :

V = 3,5 (différence de potentiel à travers la résistance).
I = 0,02 (courant traversant la résistance).

opyright © 2013 Eyrolles.

Pour connaître R, la résistance, utilisez la loi d'Ohm sou la forme suivante :

$R = V/I$

Puis remplacez les termes par les valeurs numériques :

$R = 3,5/0,02$

Soit :

$R = 175\ \Omega$

Il s'avère que 175 Ω n'est pas une valeur standard de résistance. Contentez-vous donc d'une résistance de 180 Ω ou 220 Ω, dont la valeur demeure proche de 175 Ω.

Il est clair que la résistance de 470 Ω utilisée dans l'expérience 3 était un choix très prudent. Mon objectif était de vous permettre d'utiliser n'importe quelle LED sans dommage.

Réutilisation des composants

Vous pouvez vous débarrasser de la LED. Le reste du matériel est réutilisable.

FONDAMENTAUX

Nombres décimaux

Winston Churchill est célèbre pour s'être toujours plaint de « ces maudits points ». Il désignait par là les points décimaux, qui correspondent aux virgules dans notre pays. Comme il était alors ministre des Finances et responsable des dépenses gouvernementales, sa difficulté à manier les nombres décimaux posait quelques problèmes... Cependant, il parvint à se débrouiller, et il en sera donc de même pour vous !

Vous pouvez utiliser une calculatrice, ou bien respecter deux règles de base.

Multiplication : déplacer la virgule décimale

Imaginons que vous vouliez multiplier 0,03 par 0,002.

1. Déplacez la virgule à droite des deux nombres. Ici, cela revient à effectuer cinq déplacements pour obtenir 3 et 2.
2. Multipliez les deux nombres et notez le résultat, soit $3 \times 2 = 6$.
3. Déplacez la virgule vers la gauche d'autant de crans qu'à l'étape 1. Le résultat devient : 0,00006.

Division : supprimer les zéros

Imaginons que nous vouliez diviser 0,006 par 0,0002.

1. Déplacez les virgules vers la droite d'autant de crans sur les deux nombres, jusqu'à ce que ceux-ci soient supérieurs à 1. Dans le cas présent, la virgule est déplacée de 4 crans sur les deux nombres. Vous obtenez 60 divisé par 2.
2. Le résultat est 30.

Copyright © 2013 Eyrolles.

THÉORIE

Des calculs sur le bout de la langue

Je reviens à la question posée dans l'expérience précédente : pourquoi votre langue ne brûle-t-elle pas ?

Maintenant que vous connaissez la loi d'Ohm, vous pouvez trouver une réponse chiffrée. Supposons qu'il s'agisse d'une pile de 9 V et que la langue ait une résistance de 50K. Vous pouvez écrire :

V = 9

R = 50 000

Comme vous voulez connaître l'intensité du courant, voici comment écrire la loi d'Ohm :

I = V/R

Remplacez les termes par les valeurs correspondantes :

I = 9/50 000 = 0,00018 A

L'intensité est si faible qu'elle ne produira guère de chaleur.

Que se passe-t-il si la pile subit un court-circuit ? Quelle intensité est nécessaire pour que les fils deviennent chauds ? Supposons que la résistance des fils soit égale à 0,1 ohm. Vous pouvez alors écrire :

V = 1,5

R = 0,1

Comme vous recherchez l'intensité :

I = V/R

Remplacez les termes par les valeurs numériques :

I = 1,5/0,1 = 15 A

Cela représente 100 000 fois le courant passé dans votre langue, ce qui aurait généré beaucoup plus de chaleur, même avec une tension plus faible.

Cette minuscule pile peut-elle réellement absorber 15 A ? N'oubliez pas que la pile a chauffé, tout comme le fil. Vous savez ainsi que les électrons ont pu rencontrer une certaine résistance à l'intérieur de la pile, ainsi que dans le fil (sinon, d'où proviendrait la chaleur ?). Normalement, vous pouvez ignorer la résistance interne d'une pile, car elle est infime. Mais si le courant est élevé, elle entre en ligne de compte.

J'avais hésité à créer un court-circuit dans la pile, via le multimètre, pour mesurer l'intensité, de peur que le multimètre brûle si l'intensité dépassait 10 A. Cependant, j'ai bel et bien tenté d'insérer d'autres fusibles dans le circuit afin de voir s'ils sauteraient. Quand j'ai utilisé un fusible de 10 A, il n'a pas fondu. Par conséquent, pour la marque de pile utilisée, je suis à peu près sûr que le courant présent lors du court-circuit était inférieur à 10 A, mais supérieur à 3 A, car le fusible a sauté sur-le-champ.

La résistance interne de la pile d'1,5 V a empêché que le courant, lors du court-circuit, soit trop élevé. Vous comprenez la raison de ma mise en garde contre l'utilisation d'une plus grande pile (comme la batterie d'une voiture). Ces piles ont une résistance interne bien moindre et acceptent des intensités dangereusement élevées qui génèrent des quantités de chaleur explosives. Une batterie de voiture est conçue pour fournir des centaines d'ampères à l'allumage du démarreur. Il s'agit là d'un courant suffisant pour faire fondre les fils et provoquer des brûlures. De fait, il est possible de souder du métal avec une batterie de voiture.

Les piles au lithium ont aussi une résistance interne faible, ce qui les rend très dangereuses en cas de court-circuit. Une intensité élevée est tout aussi périlleuse qu'une forte tension.

opyright © 2013 Eyrolles.

FONDAMENTAUX

Le watt

Le watt est une unité de travail. Les ingénieurs ont leur propre définition du travail : pour eux, il y a travail quand une personne, un animal ou une machine exerce une poussée pour vaincre une résistance mécanique. Par exemple, quand une machine à vapeur tire un train sur une voie en palier, elle doit vaincre le frottement et la résistance de l'air, ou quand une personne monte un escalier, elle doit triompher de la force de gravitation.

Quand les électrons se fraient un chemin à travers un circuit, ils se heurtent à un type de résistance et, de ce fait, accomplissent un « travail », mesuré en watts. La définition est simple :

watts = volts × ampères

En utilisant les symboles habituels, on en déduit les trois formules ci-après, qui sont équivalentes :

$W = V \times I$

$V = W/I$

$I = W/V$

Comme les volts, les watts peuvent être précédés de la lettre m (pour milli).

Nombre de watts	Expression	Abréviation
0,001	1 milliwatt	1 mW
0,01	10 milliwatts	10 mW
0,1	100 milliwatts	100 mW
1	1 000 milliwatts	1 W

Comme les centrales électriques, les installations solaires et les parcs d'éoliennes manipulent des valeurs bien plus élevées, on trouve aussi kilowatts (avec la lettre k) et des mégawatts (M majuscule, afin de ne pas les confondre avec les milliwatts).

Nombre de watts	Expression	Abréviation
1 000 watts	1 kilowatt	1 kW
1 000 000 watts	1 mégawatt	1 MW

Les puissances des ampoules sont exprimées en watts. Le watt tire son nom de l'inventeur de la machine à vapeur, James Watt. Les watts peuvent être convertis en chevaux-vapeur, ou inversement.

THÉORIE

Mesure de la puissance

J'ai déjà évoqué le fait que les résistances sont calibrées pour des puissances d'1/4 W, 1/2 W, 1 W, etc. Je vous ai conseillé d'acheter une résistance d'1/4 W ou plus. Pourquoi ?

Revenons au circuit de la LED. Nous souhaitions que la résistance baisse la tension de 3,5 V, avec un courant de 20 mA. Dès lors, quelle doit être la puissance en watts de la résistance ?

Vous avez les données suivantes :

V = 3,5 (différence de potentiel imposée par la résistance)

I = 20 mA = 0,02 A (courant traversant la résistance)

Comme vous cherchez W, utilisez la formule suivante :

$W = V \times I$

Remplacez les termes par les valeurs énoncées précédemment :

W = 3,5 × 0,02 = 0,07 W (puissance dissipée par la résistance)

Comme 1/4 W équivaut à 0,25 W, une résistance d'1/4 W offrira donc une puissance presque quatre fois supérieure à celle nécessaire. En réalité, vous auriez pu utiliser une résistance d'1/8 W (même s'il est tout à fait possible d'employer une résistance dont la puissance est supérieure à celle requise) mais, dans les prochaines expériences, vous allez avoir besoin de résistances d'1/4 W.

Copyright © 2013 Eyrolles.

Expérience 5 : créez une pile

Quand Internet ou le téléphone portable n'existaient pas, les adolescents, pour passer le temps, se livraient à des expériences sur la table de la cuisine, comme fabriquer une pile simple en enfonçant un clou et une pièce de monnaie dans un citron.

L'expérience est désuète, certes, mais vous allez la reproduire pour réaliser à quel point il est aisé d'obtenir de l'électricité à partir des objets environnants. En outre, si vous utilisez assez de citrons, vous pourrez générer une tension suffisante pour alimenter une LED.

Les composants élémentaires d'une pile sont les deux électrodes métalliques plongées dans un électrolyte (voir l'encadré « La nature de l'électricité » page ci-contre). Pour l'instant, sachez que le jus de citron fera office d'électrolyte, et que le cuivre et le zinc constitueront les électrodes.

Une pièce de monnaie (1, 2 ou 5 centimes) fournira le cuivre nécessaire. Pour le zinc, achetez des clous de toiture au rayon quincaillerie, qui sont zingués afin d'être protégés de la rouille. Certaines équerres métalliques ou pattes de fixation utilisées en aménagement intérieur ou dans le bâtiment sont également plaquées en zinc. Elles doivent présenter un aspect argenté, légèrement terne. Sachez que si leur finition est brillante tel un miroir, il est probable qu'elles soient plaquées en nickel.

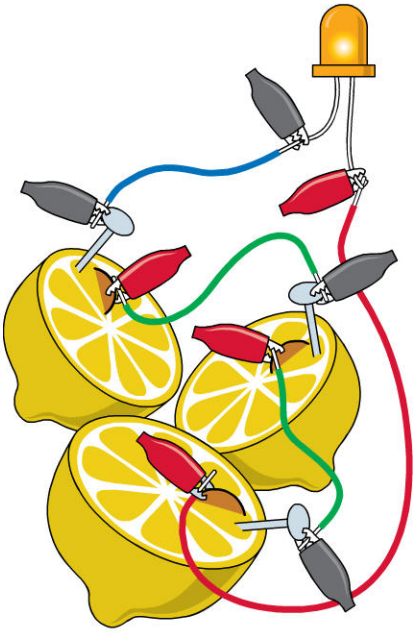


Figure 1-71. *Pile composée de trois citrons. Ne soyez pas déçu si la LED ne s'allume pas. Comme les citrons ont une résistance électrique élevée, ils ne peuvent pas fournir beaucoup de courant, notamment au travers de la surface réduite des clous et des pièces de monnaie. Cependant, cette pile génère une tension que vous pouvez mesurer avec votre multimètre.*

Coupez un citron en deux, placez le sélecteur du multimètre sur la position 2 V DC et posez l'une des fiches sur la pièce de monnaie, tout en appuyant l'autre sur le clou de toiture (ou autre objet zingué). Enfoncez à présent le clou et la pièce dans la chair du citron, aussi près l'un de l'autre que possible, sans qu'ils se touchent. Le multimètre doit afficher une valeur comprise entre 0,8 et 1 V.

Répétez l'expérience avec différents objets et liquides pour voir ceux qui fonctionnent le mieux. Pour améliorer l'efficacité de la pile, plongez le clou et la pièce dans le jus du citron que vous aurez pressé dans un verre ou une tasse. Vous pouvez aussi utiliser du jus de raisin ou du vinaigre.

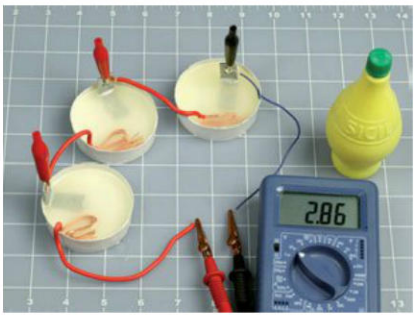


Figure 1-72. *Le jus de citron en bouteille peut également faire l'affaire. J'ai coupé la partie inférieure de trois coupelles en papier, dans lesquelles j'ai placé une équerre de fixation galvanisée. J'ai aussi utilisé des fils de cuivre torsadés comme électrodes positives.*

Pour alimenter une LED classique, vous aurez besoin de plus d'1 V. Comment générer la tension électrique supplémentaire ? En plaçant les piles en série, bien sûr. Autrement dit, vous aurez besoin d'encore plus de citrons et de fils pour connecter les différentes électrodes (voir chapitre 2, où j'explique comment enlever l'isolant du fil électrique). Les fig. 1-71 et 1-72 illustrent les configurations obtenues.

Si vous effectuez soigneusement le montage, en vous assurant que les électrodes ne se touchent pas, vous pourrez allumer la LED grâce à deux ou trois piles au jus de citron placées en série. Certaines LED sont plus sensibles aux très faibles courants que d'autres. J'aborderai plus loin dans l'ouvrage les LED à très faible intensité, mais si vous voulez que votre pile au citron ait les meilleures chances de fonctionner, achetez sur Internet quelques LED à faible intensité.

opyright © 2013 Eyrolles.

THÉORIE

La nature de l'électricité

Pour bien comprendre l'électricité, certaines notions élémentaires sur les atomes sont indispensables. Chaque atome est constitué en son centre d'un noyau, contenant les protons de charge positive. Autour du noyau se déplacent les électrons de charge négative.

La fission d'un noyau atomique exige une énergie considérable et en émet une tout aussi puissante, comme lors d'une explosion nucléaire. En revanche, une énergie infime suffit pour qu'une paire d'électrons quitte ou rejoigne un atome. Par exemple, quand le zinc réagit chimiquement avec un acide, il libère des électrons : tel est le cas, dans l'expérience 5, de l'électrode de zinc.

La réaction cesse rapidement, les électrons s'accumulant sur l'électrode de zinc. Ils sont soumis à une force de répulsion mutuelle, mais n'ont nulle part où aller. On pourrait les comparer à une foule de personnes hostiles, où chacune souhaite le départ de l'autre et refuse d'être rejointe par de nouveaux individus (fig. 1-73).

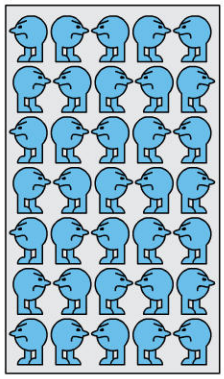


Figure 1-73. *Sur une électrode, les électrons manifestent une répulsion mutuelle.*

Maintenant, envisagez le cas où un fil relie l'électrode de zinc, qui possède un surplus d'électrons, à une autre électrode, d'un métal différent et manquant d'électrons. Les électrons peuvent traverser le fil sans peine en sautant d'un atome au suivant, et s'échapper ainsi de l'électrode de zinc, propulsés par leur profond désir de s'éloigner les uns des autres (fig. 1-74). Cette propulsion mutuelle est à l'origine du courant électrique.

Une fois que le nombre d'électrons sur l'électrode de zinc a diminué, la réaction zinc-acide peut se poursuivre. Les électrons manquants sont remplacés par des nouveaux, qui aussitôt imitent leurs prédécesseurs et se fuient mutuellement en s'évadant le long du fil. Le processus continue jusqu'à ce que la réaction zinc-acide s'arrête, généralement parce qu'elle crée une couche d'un composé, tel que l'oxyde de zinc, qui ne réagit pas avec l'acide et empêche la réaction de celui-ci avec le zinc sous cette couche. C'est pour cette raison que l'électrode de zinc semble noire comme de la suie quand vous la retirez de l'électrolyte d'acide.

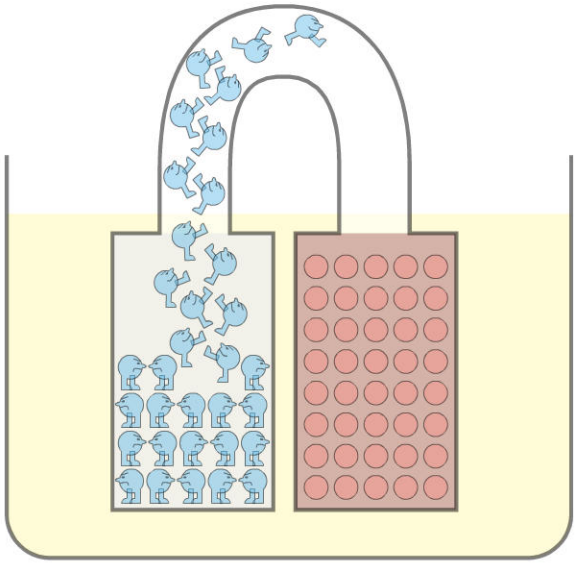


Figure 1-74. *Dès que vous créez un chemin entre une électrode de zinc encombrée d'électrons et une électrode de cuivre, comportant des emplacements vides, la répulsion mutuelle des électrons les conduit à échapper les uns aux autres et à se ruer vers leur nouvelle demeure.*

Cette description s'applique à une pile primaire, prête à générer de l'électricité dès qu'une connexion entre ses bornes permet aux électrons de passer d'une électrode à l'autre. La quantité de courant généré est déterminée par la vitesse à laquelle les réactions chimiques à l'intérieur de la pile libèrent les électrons. Si elles ont entièrement utilisé le métal brut, la pile est totalement déchargée : elle ne peut plus générer d'électricité. Il est aussi impossible de la recharger, car les réactions chimiques ne sont pas facilement réversibles et les électrodes ont pu s'oxyder.

Dans une pile rechargeable, appelée aussi pile secondaire, il est possible d'inverser les réactions chimiques grâce à un choix plus judicieux d'électrodes et d'électrolytes.

opyright © 2013 Eyrolles.

Quelle quantité de courant est générée dans la pile au citron ? Placez le sélecteur du multimètre sur la mesure des mA, et connectez ce dernier entre le clou et la pièce de monnaie. J'ai mesuré environ 2 mA, mais obtenu 10 mA en utilisant du fil de cuivre torsadé de 10 mm à la place de la pièce de monnaie et une équerre de fixation au lieu d'un clou de toiture, plongée dans une tasse de jus de citron. Quand il existe un meilleur contact entre une grande surface métallique et l'électrolyte, vous obtenez un courant plus important. (Ne connectez jamais le multimètre pour mesurer directement les ampères entre les bornes d'une véritable pile. Le courant sera trop élevé et risque de faire sauter le fusible à l'intérieur du multimètre.)

Quelle est la résistance interne du citron ? Mettez de côté les électrodes de cuivre et de zinc, et insérez les fiches du multimètre plaquées en nickel dans le jus. La valeur affichée est approximativement de 30K quand les deux fiches se trouvent dans le même quartier du citron, mais de 40K ou plus si elles sont dans deux quartiers distincts. La résistance est-elle moindre quand vous testez le liquide dans une tasse ?

Voici quelques autres questions auxquelles vous souhaiterez peut-être répondre. Pendant combien de temps la pile au citron produira-t-elle de l'électricité ? Et pourquoi les électrodes plaquées en zinc perdent-elles leur couleur après avoir été utilisées pendant un moment ?

L'électricité est générée dans une pile par échange d'ions, ou d'électrons libres, entre des métaux (voir l'encadré « La nature de l'électricité » page précédente).

Réutilisation des composants

Le matériel plongé dans le jus de citron a peut-être perdu sa couleur, mais il demeure réutilisable. Libre à vous ensuite de consommer ou non les citrons !

opyright © 2013 Eyrolles.

HISTOIRE

Charges positives et négatives

Si l'électricité est un flux d'électrons, lesquels ont une charge négative, pourquoi dit-on qu'elle s'écoule de la borne positive à la borne négative dans une pile ?

Cette affirmation s'explique par les tâtonnements de la recherche en électricité. Pour diverses raisons, quand Benjamin Franklin tente de comprendre la nature du courant électrique en étudiant le phénomène de la foudre, il conclut qu'il s'agit d'un flux de « fluide électrique » allant du positif vers le négatif, et avance cette théorie en 1747.

En réalité, Franklin commet une erreur fâcheuse, qui ne sera réparée qu'en 1897, lorsque le physicien J. J. Thomson découvre les électrons, soit 150 ans plus tard. En fait, l'électricité circule d'une zone de charge négative vers une zone de charge « moins négative », donc « plus positive ». En d'autres termes, l'électricité est un flux de particules négatives. Dans une pile, ces particules se déplacent de la borne négative vers la borne positive.

On pouvait penser qu'avec cette découverte, le concept de Franklin aurait été abandonné. Mais quand un électron parcourt un fil électrique, vous pouvez toujours imaginer qu'à la place, une charge positive égale se déplace dans la direction opposée. Quand l'électron quitte son foyer initial, il emporte avec lui une petite charge négative qui rend son lieu de départ un peu plus positif. Quand l'électron parvient à destination, son lieu d'arrivée devient un peu moins positif. Il se passerait donc pratiquement la même chose si une charge positive imaginaire voyageait dans le sens inverse. Qui plus est, les descriptions mathématiques du comportement électrique demeurent valables dans le cas d'un flux imaginaire de charges positives.

C'est pourquoi, pour des raisons historiques et de commodité, le concept erroné de Franklin a été conservé car, au fond, cela ne change rien. Sur les symboles des composants comme les diodes et les transistors, vous trouverez ainsi des flèches indiquant leur sens de placement – et ces flèches sont toutes orientées du positif vers le négatif, même si la réalité est bien différente !

Pour en revenir à Benjamin Franklin, il aurait été surpris d'apprendre que même si la foudre est généralement due à la libération d'une charge négative dans les nuages pour neutraliser une charge positive au sol, certains types d'éclairs correspondent à un flux d'électrons depuis la surface chargée négativement de la Terre jusqu'à une charge positive dans les nuages. Autrement dit, une personne foudroyée peut l'être aussi bien par émission d'électrons que par réception (fig. 1-75).

Figure 1-75. *Sous certaines conditions météorologiques, le flux d'électrons lié à la foudre peut aller du sol aux nuages, via les pieds et la tête.*

Copyright © 2013 Eyrolles.

THÉORIE

Unités de mesure

Le potentiel électrique se mesure en additionnant les charges des électrons. L'unité de mesure est le coulomb, égal à la charge totale de près de 6 250 000 000 000 000 000 électrons.

Si vous connaissez le nombre d'électrons parcourant une portion de fil électrique chaque seconde, vous avez l'intensité, exprimée en ampères. De fait, 1 ampère peut se définir comme 1 coulomb par seconde. Ainsi :

1 ampère = 1 coulomb/s = 6,25 quintillions d'électrons/s

Il est impossible de visualiser le nombre d'électrons traversant un conducteur (fig. 1-76), mais il existe un moyen d'obtenir cette information indirectement. En effet, quand un électron parcourt un fil, il crée une onde de force électromagnétique autour. Cette force, qui peut être mesurée, permet de déduire l'intensité. Le compteur électrique de votre habitation fonctionne sur ce principe.

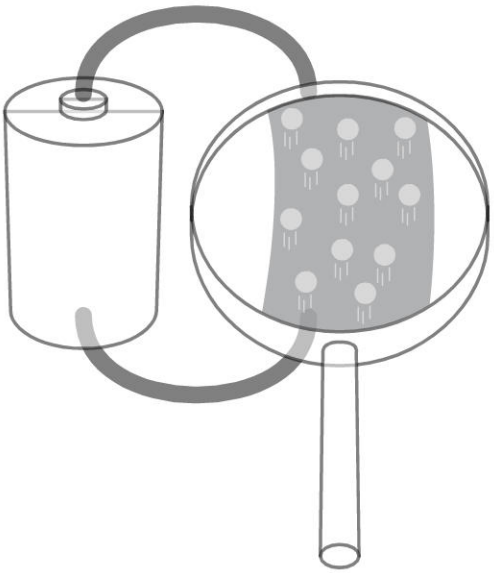


Figure 1-76. *Si vous pouviez regarder à l'intérieur d'un fil électrique avec une loupe suffisamment grossissante et si le fil était traversé à cet instant par un flux d'1 A, vous pourriez observer, chaque seconde, près de 6,25 quintillions d'électrons.*

Si les électrons se déplacent librement, ils n'accomplissent aucun travail. Dans le cas d'un flux d'électrons dans une boucle de fil de résistance, ceux-ci se contentent de s'agiter indéfiniment (il en est – presque – ainsi dans un supraconducteur).

En temps normal, même un fil de cuivre offre une certaine résistance. La force nécessaire au déplacement des électrons est appelée tension et crée un courant producteur de chaleur, comme vous l'avez vu lors du court-circuit de la pile (si le fil utilisé a une résistance nulle, l'électricité ne génère aucune chaleur). La chaleur peut être utilisée directement, comme dans un four électrique, ou indirectement, pour faire tourner un moteur par exemple. Dans tous les cas, nous exploitons l'énergie des électrons pour accomplir un certain travail.

1 V peut être défini comme la tension nécessaire pour produire une intensité égale à 1 A, soit un travail d'1 W. Comme vu précédemment, 1 W = 1 V × 1 A, mais la formule d'origine est la suivante :

1 V = 1 W/1 A

Cette écriture a plus de sens, car un watt peut se définir en termes non électriques. Vous pouvez aussi raisonner à l'envers, à partir des unités du système métrique :

1 watt = 1 joule/seconde

1 joule = force d'1 newton agissant sur 1 mètre

1 newton = force requise pour accélérer 1 kilogramme d'1 mètre/seconde, chaque seconde

Sur cette base, les unités électriques peuvent toutes être reliées aux notions de masse, de temps et de charge des électrons.

Copyright © 2013 Eyrolles.

D'un point de vue pratique

Pour des raisons pratiques, une compréhension intuitive de l'électricité peut être plus utile que la théorie. Personnellement, j'apprécie l'analogie avec l'eau, utilisée depuis des décennies dans les manuels. La fig. 1-77 illustre un conteneur d'eau à moitié plein, avec un trou près de sa base. Assimilez le conteneur à une pile. La hauteur de l'eau est comparable à la tension, et le volume de liquide qui s'écoule par le trou chaque seconde, à l'intensité. La dimension du trou correspond à la résistance (fig. 1-79).

Où se trouvent les watts sur la fig. 1-79 ? Supposez que vous placiez une petite roue hydraulique à la sortie du trou et que vous lui attachiez un mécanisme quelconque. Le flux exécute alors un travail (souvenez-vous que le watt mesure un travail).

Vous pouvez penser que, dans cette expérience, le résultat produit ne provient de rien, puisque vous extrayez un travail de la roue sans réintégrer l'énergie dans le système. Mais, en considérant que le niveau d'eau diminue dans le conteneur et qu'il faut bien imaginer une solution pour l'y réintégrer (fig. 1-78), vous constatez que tout travail en entrée produit un travail en sortie.

De même, une pile semble fournir de l'alimentation à partir de rien. En réalité, les réactions chimiques qui s'y produisent changent les métaux purs en composés métalliques, et la puissance générée par la pile est activée par cette modification d'état. Dans le cas d'une pile rechargeable, la puissance doit être réintroduite dans la pile de façon à inverser les réactions chimiques.

Revenez au conteneur et imaginez que vous ne puissiez pas en extraire une puissance suffisante pour actionner la roue. Une solution peut consister à lui ajouter de l'eau. La hauteur de l'eau créera une force supplémentaire. De manière similaire, on peut brancher deux piles bout à bout, du positif au négatif, en série, pour doubler la tension (fig. 1-80). Tant que la résistance du circuit reste la même, plus la tension est élevée, plus l'intensité le sera aussi, puisque intensité = tension/résistance.

Comment faire pour actionner deux roues au lieu d'une ? Vous pouvez percer un second trou à la même hauteur que le premier dans le conteneur, et la force (tension) sera identique au niveau de chaque trou. Cependant, le niveau d'eau baissera deux fois plus vite. En vérité, vous feriez mieux de prendre un second conteneur et, ici encore, l'analogie avec la pile convient parfaitement. Si vous branchez deux piles côte à côte, en parallèle, vous obtenez la même tension, mais deux fois plus longtemps. Les deux piles pourront aussi fournir un courant plus important qu'une seule (fig. 1-81).

En résumé :

- deux piles en série fournissent deux fois plus de tension ;
- deux piles en parallèle fournissent deux fois plus de courant.

Assez de théorie ! Dans le prochain chapitre, des expériences fondées sur votre connaissance de l'électricité vous conduiront progressivement à concevoir des dispositifs aussi utiles que ludiques.

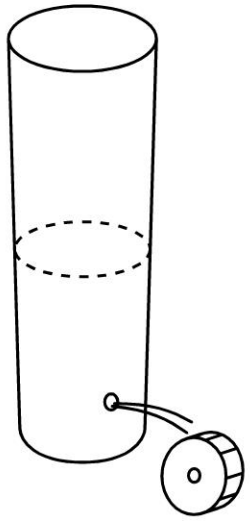


Figure 1-77. *Pour qu'un système fournisse un certain travail...*

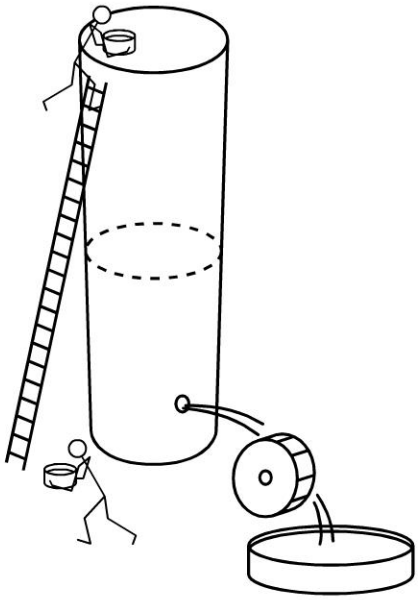


Figure 1-78. *...vous devez d'une façon ou d'une autre en fournir un en retour.*

Copyright © 2013 Eyrolles.

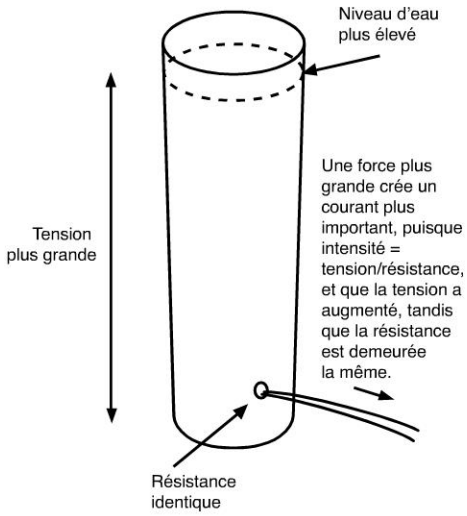


Figure 1-79. *Le courant généré est proportionnel à la force, sous réserve que la résistance demeure la même.*

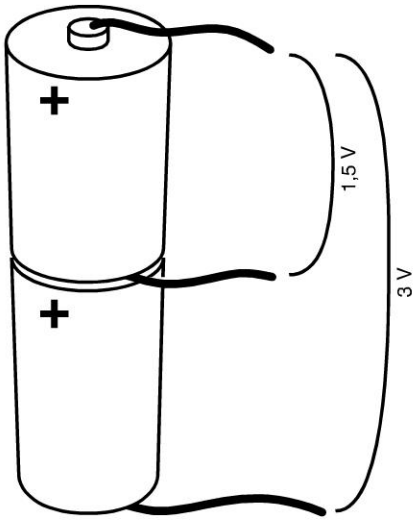


Figure 1-80. *Deux piles de même voltage montées en série doublent la tension.*

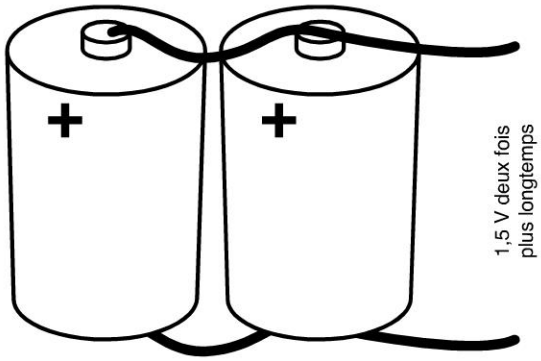


Figure 1-81. *Deux piles de même voltage branchées en parallèle fournissent la même tension deux fois plus longtemps.*

Copyright © 2013 Eyrolles.

2

Principes de commutation

La notion de commutation est fondamentale en électronique et va bien au-delà des interrupteurs d'alimentation. Par commutation, il faut comprendre l'emploi d'un flux d'électricité destiné à interrompre ou à commander un autre flux. Tout appareil électronique utilise ce principe.

Aujourd'hui, la commutation est surtout assurée par les semi-conducteurs. Comme je les aborderai plus loin dans l'ouvrage, j'illustrerai la notion de commutateur à l'aide de relais, qui sont plus faciles à comprendre car vous pouvez observer ce qui se passe à l'intérieur. Mais au préalable, je vais vous présenter les interrupteurs ON/OFF (marche/arrêt) qui peuvent paraître très simples, mais dont vous devrez parfaitement assimiler les bases.

J'aurai aussi l'occasion de parler de capacitance qui, avec la résistance, sont deux notions fondamentales des circuits électroniques. À la fin de ce chapitre, vous aurez acquis de bonnes bases en électronique qui vous permettront de créer une petite alarme anti-intrusion. Cela sera votre premier circuit utile !

Matériel des expériences 6 à 11

Comme pour les expériences précédentes, procurez-vous le matériel nécessaire sur Internet. Consultez les sites des fournisseurs (voir annexe A) pour connaître les tarifs et les délais de livraison.

Dispositifs

1 bloc d'alimentation ou 1 adaptateur secteur universel, délivrant une tension continue de 3 à 12 V sous 1 A. Par exemple : Go Tronic, adaptateur PSU05RS, 3-12 V DC 7 W, réf. 14654, ou Selectronic, bloc secteur régulé multitension 1 000 mA, réf. 8091.

1 plaque ou platine de montage adaptée aux circuits intégrés (fig. 2-2 et 2-3). Plus coûteuse qu'une plaque sans bornes, une platine équipée d'un bornier à vis est surtout plus facile à utiliser.

Figure 2-1. *Les adaptateurs secteur de ce type fournissent une plage de tensions continues comprises entre 3 et 12 V.*

opyright © 2013 Eyrolles.

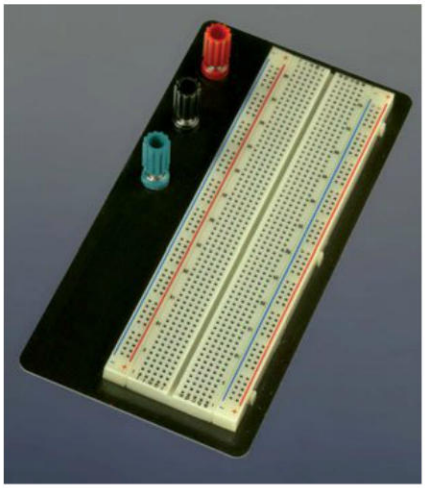


Figure 2-2. *Cette plaque de montage destinée à la construction rapide de circuits électroniques possède une base en métal et des bornes à vis pour connecter les fils d'alimentation.*

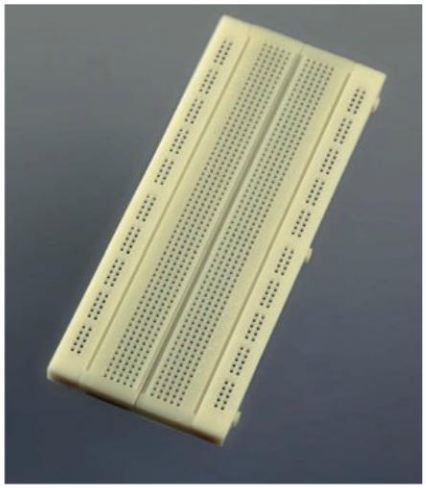


Figure 2-3. *Une platine de montage sans bornes à vis est moins chère, mais aussi moins pratique à utiliser.*

Outils

Pinces à dénuder

Par exemple : modèle de marque Ideal 45-121 (fig. 2-4) pour un fil de diamètre compris entre 1,29 et 0,40 mm (soit entre 1,32 et 0,13 mm^2 de section), Radiospares, pince à dénuder 16-26 AWG, réf. 540-1515, ou Go Tronic, pince à dénuder 95001 C&K automatique pour câbles de 10 à 24 AWG, réf. 30130.

Les pinces à dénuder automatiques permettent d'extraire d'une seule main l'isolant d'un fil. Mais attention, elles ne sont pas vraiment adaptées aux fils particulièrement fins.

Figure 2-4. *Pour utiliser une pince à dénuder, insérez le morceau de fil isolé dans le trou de diamètre approprié des parties tranchantes. Pressez la pince et enlevez l'isolant.*

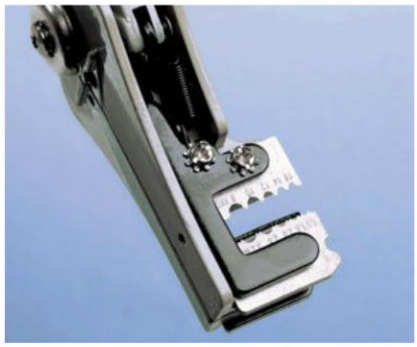


Figure 2-5. *Cette pince à dénuder automatique permet de travailler d'une seule main, mais elles ne convient pas aux fils de très petit diamètre (voir page 44).*

opyright © 2013 Eyrolles.

Fournitures

Fils de câblage

Fil conducteur solide (un brin) de diamètre 0,6 mm, environ 8 m minimum de chaque couleur, ou assortiment de fils (fig. 2-6). Par exemple : Go Tronic, fil de câblage 0,20 mm² noir ou rouge, vendu au mètre, réf. MD500N ou MD500R.

Pour les expériences de ce chapitre, procurez-vous un fil rigide à un seul conducteur à l'intérieur de l'isolant en plastique (fig. 2-7), car vous n'arriverez pas à introduire un fil souple multibrin (donc avec plusieurs conducteurs à l'intérieur de l'isolant, fig. 2-8) dans les trous de la plaque de montage. Le même problème se posera avec un fil d'un diamètre supérieur à 0,6 mm.

Vous pouvez aussi acheter un assortiment de fils précoupés, aux extrémités dénudées et prêtes à l'emploi. Certes, le coût sera un peu plus élevé, mais vous gagnerez du temps ! Par exemple : Reboul, coffret de pontage 140 pièces, 14 longueurs différentes de 3,5 à 125 mm, réf. 1269-7885 (fig. 2-9).

Cordons de raccordement

Bien qu'ils ne soient pas indispensables, les cordons de raccordement sont très pratiques. N'achetez pas les cordons audio ou vidéo avec une fiche à chaque extrémité, mais ceux avec une pince crocodile, parfois appelés fils d'essai. Par exemple : Go Tronic, 10 câbles de plusieurs couleurs avec pinces crocodile, réf. 08329, ou Conrad, set de câbles 280 mm/0,1 mm² à pinces crocodile, réf. 108489 (fig. 2-10).

Figure 2-6. *Avec des fils de câblage avec une isolation plastique de plusieurs couleurs, il est facile de différencier les fils du circuit.*

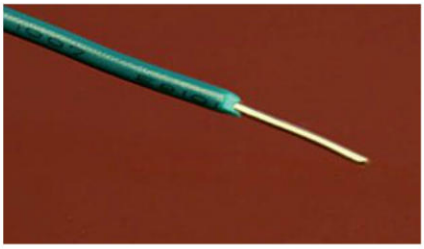


Figure 2-7. *Fil conducteur rigide de diamètre 0,5 ou 0,6 mm adapté à la majorité des expériences de ce chapitre.*

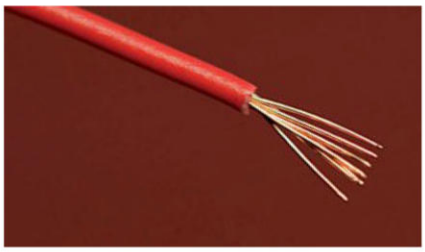


Figure 2-8. *Le fil multibrin est plus souple, mais difficile à utiliser avec les platines de montage.*

Figure 2-9. *Les fils précoupés avec des extrémités dénudées vous feront gagner du temps, mais leur coût est un peu plus élevé.*

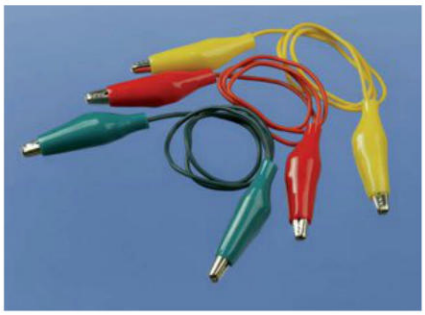


Figure 2-10. *Les cordons de raccordement se composent de fils dont les extrémités sont équipées de pinces crocodile, ce qui facilite les montages électroniques.*

Copyright © 2013 Eyrolles.

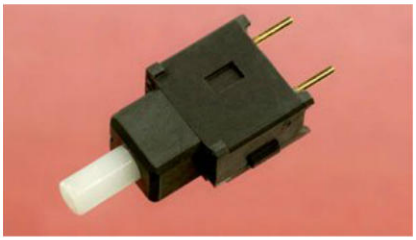


Figure 2-11. *Les bornes de ce minuscule bouton-poussoir sont séparées de 0,508 cm. Il est idéal pour la platine de montage que vous utiliserez.*

Figure 2-12. *Interrupteur à bascule relativement grand, fabriqué par NKK, et pourvu de bornes à vis qui faciliteront la connexion des fils de câblage.*

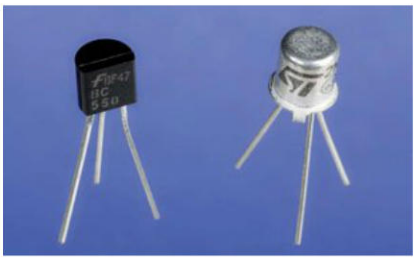


Figure 2-13. *Les transistors sont disponibles sous la forme de boîtiers métalliques ou plastiques. Cela n'a pas d'importance pour nous.*

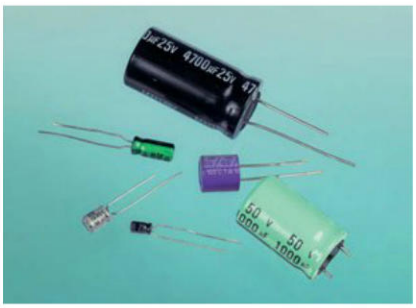


Figure 2-14. *Assortiment de condensateurs électrolytiques.*

Composants

Bouton-poussoir

1 bouton-poussoir à action de commutation momentanée (SPST), parfois appelé bouton de type OFF-(ON) ou (ON)-OFF. Bouton pour circuit imprimé PCB ou PC, extrêmement petit avec de fins contacts acérés en bas (fig. 2-11).

Par exemple : Conrad, bouton-poussoir droit SDT21SP, OFF-(ON), réf. 07446, ou Selectronic, poussoir subminiature 1R droit, réf. 6146-1. Choisissez-en un pas trop coûteux, car vous allez interrompre un courant de très faible intensité.

Interrupteurs

2 interrupteurs à bascule unipolaires bidirectionnels (SPDT), appelés parfois interrupteurs de type ON-ON (fig. 2-12).

Un modèle équipé de bornes à vis est idéal, car il rend superflues les pinces crocodile. Par exemple : Reboul, inverseur unipolaire cosses à vis, réf. 1015-2959 (fabricant APEM, réf. 636H), ou Go Tronic, inverseur unipolaire 80-13, cosses à souder, réf. 07005.

Vous n'allez pas interrompre des courants de grande intensité ou de haute tension, il n'est donc pas utile de se procurer un modèle précis d'interrupteur. Mais sachez que les bornes des interrupteurs de plus grande taille sont plus espacées et donc plus faciles à manipuler.

Relais

2 relais DPDT (bipolaires bidirectionnels), monostables, 12 V DC.

Il est important d'acheter le bon type de relais (FTR-F1CA012V ou FTR-F1CG012V chez Fujitsu, G2RL chez Omron, ou OMI-SH-212D chez Tyco).

Par exemple : Reboul, relais circuit imprimé bas profil, réf. 1136-0360 (fabricant Omron, réf. G2RL212DC).

Potentiomètre

1 potentiomètre linéaire d'1 mégaohm. Par exemple : Reboul, réf. 1278-2727, ou Go Tronic, réf. 22195.

Transistors

4 transistors NPN. Par exemple : Go Tronic, transistor 2N2222A, NPN, réf. 02412, ou Selectronic, transistor 2N2222A, NPN, réf. 3362 (fig. 2-13).

4 transistors unijonctions programmables 2N6027 de marque On Semiconductor ou Motorola (dont 2 de rechange).

Condensateurs

Assortiment de condensateurs électrolytiques capables de supporter une tension minimale de 25 V, contenant au minimum un condensateur de 1 000 µF (microfarads) et deux de 2,2 µF. Attention, n'achetez que des condensateurs électrolytiques. En revanche, cela ne pose pas de problème s'ils supportent des tensions supérieures à 25 V et si leur taille est plus grande que nécessaire (fig. 2-14).

Copyright © 2013 Eyrolles.

Assortiment de condensateurs céramiques contenant un condensateur de 0,0047 µF (ou 4,7 nF, fig. 2-15).

Résistances

Normalement, vous avez dû acheter, pour les premières expériences, un assortiment de 100 résistances. Sinon, procurez-vous-en d'autres d'une valeur minimale d'1/4 W.

Haut-parleur

N'importe quel haut-parleur 8 Ω de 3 cm environ (fig. 2-16) fera l'affaire.

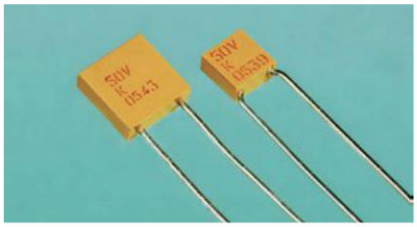


Figure 2-15. *Condensateurs en céramique. Ils peuvent aussi avoir une forme arrondie.*

Expérience 6 : une commutation très simple

Figure 2-16. *Haut-parleur miniature de 3 cm de diamètre, utile pour contrôler directement la sortie audio depuis les circuits à transistors.*

Procurez-vous :

- 2 piles AA
- 1 coupleur de 2 piles AA
- 1 LED
- 2 interrupteurs à bascule (fig. 2-12)
- 1 résistance de 220 Ω ou de valeur équivalente, d'1/4 W minimum
- 8 pinces crocodile
- Des cordons de raccordement (fig. 2-10)
- Des pinces coupantes et des pinces à dénuder si vous n'utilisez pas de cordons de raccordement (fig. 2-4)

Dans l'expérience 3, vous avez allumé et éteint une LED simplement en la reliant ou non à une pile. Mais pour des questions pratiques, les circuits disposent d'interrupteurs appropriés pour contrôler l'alimentation, comme vous allez le voir ici.

Assemblez tous les éléments (fig. 2-17 et 2-18). Vous devez relier le fil court de la LED à la résistance, car il s'agit de la borne la plus négative du circuit. Ajoutez aussi des fils, par exemple verts pour vous souvenir que ces sections ne sont pas connectées directement à l'alimentation positive ou négative. Bien évidemment, vous pouvez utiliser des fils de la couleur de votre choix ou, si vous en avez, des cordons de raccordement.

opyright © 2013 Eyrolles.

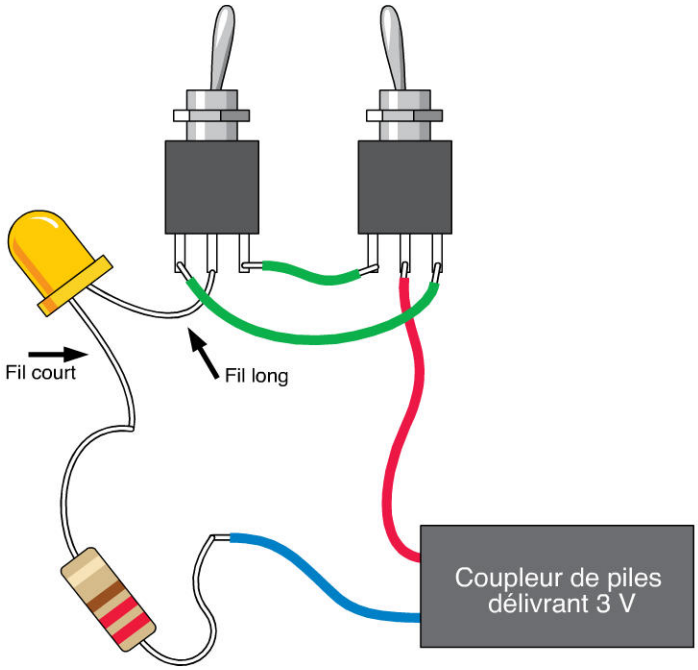


Figure 2-17. *Si la LED est allumée, l'inversion des deux interrupteurs l'éteindra, et vice versa. Utilisez des pinces crocodile pour attacher les fils ensemble et pour les fixer aux interrupteurs s'ils ne sont pas dotés de bornes à vis. Veillez à ce que les pinces ne se touchent pas.*

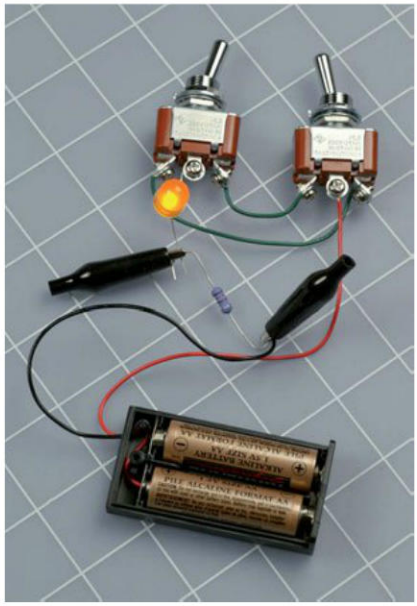


Figure 2-18. *Les commutateurs à bascule avec bornes à vis facilitent le raccordement de ce circuit simple.*

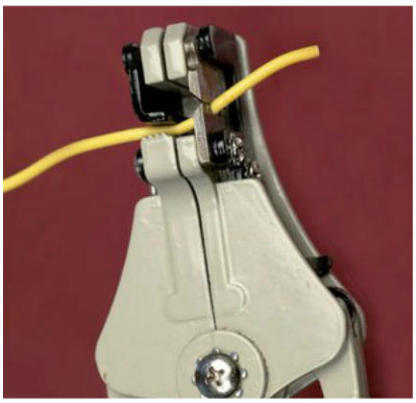


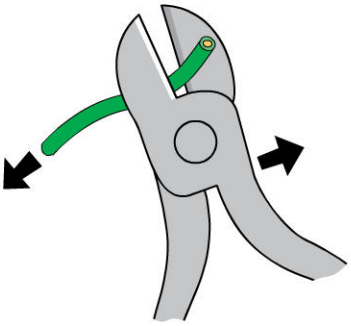
Figure 2-19. *Lorsque vous utilisez des pinces coupantes automatiques (ici, un modèle américain) et que vous appuyez sur les branches, la mâchoire de gauche serre le fil et les rainures de droite mordent sur la gaine isolante. Serrez plus fortement pour que les mâchoires s'éloignent en séparant l'isolant du fil.*

Outils

Si les pinces à dénuder automatiques (fig. 2-19) ne serrent pas suffisamment un fil de diamètre 0,6 mm, essayez le modèle Ideal (fig. 2-4) ou choisissez une pince coupante simple (fig. 2-20). Tenez le fil dans une main et l'outil dans l'autre, en appuyant modérément sur les branches, de façon à « mordre » sur l'isolant sans couper le fil. Rabattez le fil tout en relevant les parties coupantes. Avec un peu de pratique, cette opération vous paraîtra très simple !

Les machos de l'électronique préféreront utiliser leurs dents pour dénuder un fil. Quand j'étais plus jeune, c'est ce que je faisais : j'ai deux dents légèrement ébréchées qui le prouvent. Voilà pourquoi je vous conseille vraiment d'utiliser une pince à dénuder…

Copyright © 2013 Eyrolles.



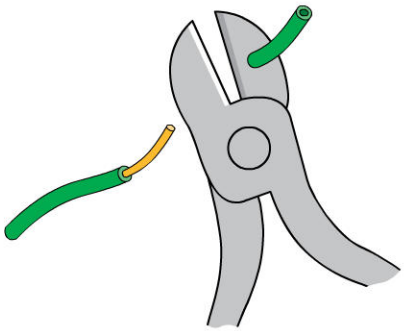


Figure 2-20. *Pour retirer l'isolant de l'extrémité d'un fil mince, vous pouvez aussi utiliser une pince coupante. Un peu d'entraînement vous sera nécessaire.*

Figure 2-21. *Si vous ne retrouvez pas votre pince coupante, évitez d'utiliser vos dents pour enlever l'isolant du fil !*

Problèmes de connexion

Selon la taille des interrupteurs à bascule, vous pouvez rencontrer quelques difficultés à placer correctement toutes les pinces crocodile pour maintenir les fils ensemble. En effet, cela peut s'avérer très délicat avec les interrupteurs miniatures (fig. 2-22). Cette opération sera plus simple avec une plaque de montage, qui dispense presque totalement d'utiliser des pinces crocodile.

Test

Veillez à connecter le fil long de la LED à la branche positive de l'alimentation (ici, la résistance) et basculez un des deux interrupteurs, indifféremment. Si la LED est allumée, elle s'éteint, et inversement. Si la LED ne s'allume pas, c'est qu'elle est probablement mal branchée, ou deux pinces crocodile ont pu créer un court-circuit dans la pile.

Si on part du principe que les deux interrupteurs fonctionnent comme je l'ai décrit, que se passe-t-il ? Le moment est venu de préciser quelques notions élémentaires…

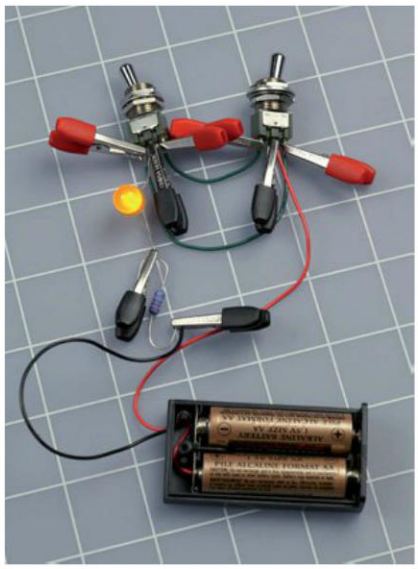


Figure 2-22. *Des interrupteurs à bascule miniatures peuvent être associés à des pinces crocodile, mais gare aux courts-circuits.*

opyright © 2013 Eyrolles.

FONDAMENTAUX

Tout sur les interrupteurs

Lorsque vous basculez l'interrupteur de l'expérience 6, il connecte la borne centrale avec l'une des bornes externes. Si vous le basculez dans sa position initiale, il connecte cette fois la borne centrale à l'autre borne externe (fig. 2-23).

Cette borne centrale est aussi appelée pôle de l'interrupteur. Lorsque ce dernier peut se basculer pour créer deux connexions possibles, il est appelé interrupteur bidirectionnel. Lorsqu'il est unipolaire et bidirectionnel, il est dit SPDT *(Single-Pole Double-Throw)*.

Certains interrupteurs, comme les interrupteurs domestiques, sont de type ON/OFF (marche/arrêt) : ils établissent un contact que dans une seule direction. Ce sont donc des interrupteurs unidirectionnels. Quand ils sont unipolaires et unidirectionnels, ils sont dits SPST *(Single-Pole Single-Throw)*.

D'autres interrupteurs ont deux pôles totalement distincts : deux connexions peuvent alors être établies simultanément lorsque vous basculez l'interrupteur. Ces interrupteurs sont dits bipolaires.

Les fig. 2-24 à 2-26 vous fournissent une représentation simple de ces différents interrupteurs, à l'aide d'interrupteurs à couteau, certes obsolètes mais toujours utilisés dans l'enseignement. La fig. 2-27 illustre divers interrupteurs à contacts scellés.

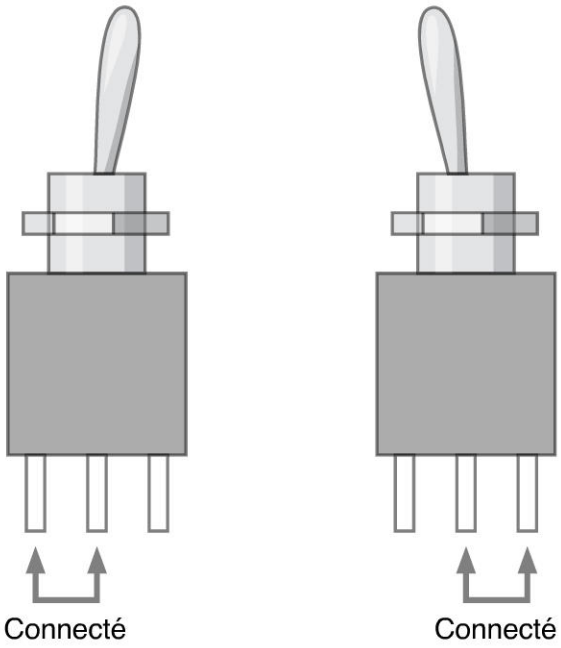


Figure 2-23. *La borne centrale est le pôle de l'interrupteur. Lorsque vous basculez ce dernier, la connexion précédemment établie est modifiée.*

Figure 2-24. *Cet interrupteur SPDT, à l'aspect désuet, remplit les mêmes fonctions que les interrupteurs des fig. 2-23 et 2-27.*

Figure 2-25. *Cet interrupteur SPST n'établit qu'une seule connexion avec un pôle. Deux états sont possibles : ouvert/fermé et marche/arrêt (ON/OFF).*

Figure 2-26. *Cet interrupteur DPST crée deux connexions marche/arrêt (ON/OFF) distinctes.*

opyright © 2013 Eyrolles.

FONDAMENTAUX

Tout sur les interrupteurs *(suite)*

Figure 2-27. *Interrupteurs à bascule. Plus l'interrupteur est grand, plus il supporte un courant élevé.*

Si vous désirez approfondir les expériences, munissez-vous d'interrupteurs à trois ou quatre pôles. Sachez aussi que certains interrupteurs bipolaires possèdent une position *center off* qui ferme le circuit.

Lorsque vous consultez un catalogue de pièces détachées, reportez-vous au tableau ci-dessous pour connaître la signification des abréviations.

	Unipolaire	Bipolaire	Tripolaire	Quadripolaire
Uni-directionnel	SPST ON-OFF	DPST ON-OFF	3PST ON-OFF	4PST ON-OFF
Bi-directionnel	SPDT ON-ON	DPDT ON-ON	3PDT ON-ON	4PDT ON-ON
Bi-directionnel avec center off	SPDT ON-OFF-ON	DPDT ON-OFF-ON	3PDT ON-OFF-ON	4PDT ON-OFF-ON

Figure 2-28. *Tableau récapitulatif des types possibles d'interrupteurs à bascule et de boutons-poussoir.*

Les boutons-poussoir sont un autre type d'interrupteur, par exemple lorsque vous appuyez sur la sonnette d'une porte, vous créez un contact électrique. En réalité, sa dénomination exacte est « interrupteur à action momentanée », car il ne crée qu'un contact temporaire. Tout bouton ou interrupteur à ressort qui retourne à sa position initiale est un interrupteur momentané. Dans les exemples suivants, l'état momentané est mentionné entre parenthèses.

- OFF-(ON) : ON est l'état momentané. Il s'agit donc d'un interrupteur unipolaire qui n'établit le contact que lorsqu'on appuie dessus. Quand l'interrupteur retourne à sa position initiale OFF, le contact est supprimé. Il est appelé interrupteur momentané normalement ouvert.
- ON-(OFF) : type inverse de l'interrupteur précédent. Sa position initiale est ON. Lorsque vous appuyez dessus, vous interrompez la connexion ; l'état OFF est donc momentané. Cet interrupteur est appelé interrupteur momentané normalement fermé.
- (ON)-OFF-(ON) : l'interrupteur possède une position center off qui ferme le circuit. Quand vous appuyez dessus, il crée un contact momentané, puis retourne à la position centrale.

Il existe aussi d'autres variantes, telles que ON-OFF-(ON) ou ON-(ON).

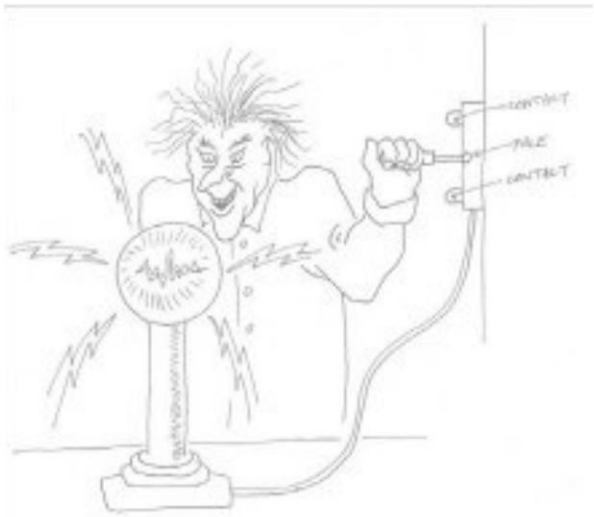


Figure 2-29. *Ce savant fou s'apprête à alimenter en électricité son expérience, grâce à un interrupteur à couteau SPDT installé sur le mur de son laboratoire.*

opyright © 2013 Eyrolles.

FONDAMENTAUX

Tout sur les interrupteurs *(suite)*

Étincelles

Toute création ou interruption d'une connexion électrique tend à produire une étincelle, néfaste pour les contacts de l'interrupteur. En effet, ces étincelles les usent jusqu'à ce que l'interrupteur ne puisse plus établir une connexion fiable. Aussi, il est important d'utiliser un interrupteur adapté à la tension et à l'intensité du circuit. Comme les circuits électroniques sont à faible courant et à faible tension, n'importe quel commutateur est adapté. En revanche, si vous souhaitez allumer un moteur, il nécessitera au démarrage une surtension initiale deux fois supérieure à celle requise par le fonctionnement constant du moteur. Il faudra probablement opter pour un interrupteur 4 A pour allumer et éteindre un moteur 2 A.

Vérifier un interrupteur

Pour contrôler un interrupteur et savoir quelles connexions sont établies à son ouverture et à sa fermeture, il vous faut un multimètre. Servez-vous-en également pour déterminer si le bouton-poussoir utilisé est de type normalement ouvert (vous appuyez dessus pour établir une connexion) ou normalement fermé (vous appuyez dessus pour interrompre une connexion). Placez le sélecteur du multimètre sur la mesure des ohms, mettez les sondes en contact avec les bornes de l'interrupteur et appuyez sur ce dernier.

Vous devez attendre que le multimètre procède à une mesure exacte. Pour vérifier simplement la présence d'une connexion, l'appareil est doté de la fonction de test de continuité (fig. 2-30 à 2-32). Il émet un signal sonore lorsqu'une connexion est détectée. La fig. 2-33 présente un test de continuité sur un interrupteur à bascule.

N'utilisez la fonction de test de continuité de votre multimètre que sur des circuits ou des composants non alimentés

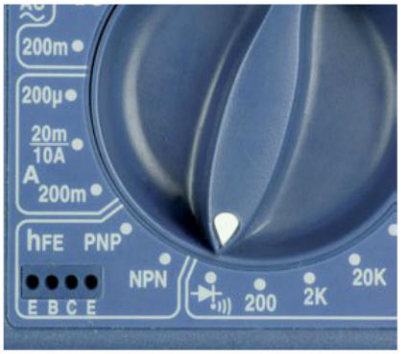


Figure 2-30

Figure 2-31

Figure 2-32. *Pour vérifier la continuité d'un circuit, placez le sélecteur du multimètre sur le symbole illustré. Attention, cette fonction est à utiliser seulement si le composant ou le circuit testé n'est pas alimenté électriquement.*

Figure 2-33. *Quand l'interrupteur connecte deux de ses bornes, le multimètre affiche une résistance égale à zéro et émet un signal sonore si vous testez la continuité.*

Copyright © 2013 Eyrolles.

HISTOIRE

Les premiers interrupteurs

Les interrupteurs sont si ancrés dans notre quotidien et leur principe est tellement simple, qu'on a tendance à oublier qu'ils ont connu beaucoup d'améliorations au fil des années.

Les pionniers de l'électricité se contentèrent des rudimentaires interrupteurs à couteau, puisqu'ils cherchaient juste à établir ou interrompre une liaison électrique avec l'un de leurs appareils de laboratoire. Mais avec le développement des dispositifs téléphoniques, de nouveaux besoins se firent sentir. Comment l'opérateur d'un standard téléphonique pouvait-il connecter n'importe quelle paire des 10 000 lignes de son tableau ?

En 1878, Charles E. Scribner (fig. 2-34) mit au point l'interrupteur à couteau de poche *(jack-knife switch)*, ainsi nommé car il était doté d'un manche ressemblant à celui d'un canif. Une fiche dépassait de l'interrupteur qui, une fois insérée dans une prise, établissait le contact à l'intérieur. En fait, la prise constituait l'interrupteur.

Figure 2-34. *À la fin des années 1800, Charles E. Scribner invente l'interrupteur à couteau* (jack-knife switch) *pour répondre aux besoins en commutation des systèmes téléphoniques. Aujourd'hui, les prises jacks audio fonctionnent sur le même principe.**

Les connecteurs audio des guitares et des amplificateurs fonctionnent toujours selon ce principe. On les appelle d'ailleurs aussi *jacks*, en référence à l'invention de Scribner.

Aujourd'hui, les standards téléphoniques sont devenus aussi rares que les opérateurs. Ils ont d'abord été remplacés par des relais (c'est-à-dire des interrupteurs commandés électriquement, voir plus loin dans ce chapitre), puis par des transistors, qui contrôlent le courant sans avoir besoin de déplacer quoi que ce soit.

* La photo dont s'inspire le dessin de la fig. 2-34 a été publiée dans *The History of the Telephone* de Herbert Newton Casson en 1910 (Chicago : A.C. McClurg & Co).

Copyright © 2013 Eyrolles.

Compréhension des schémas

Pour faciliter la lecture, les circuits seront à présent illustrés par des schémas. Il est donc important que vous sachiez les interpréter.

Comparez ainsi le schéma de la fig. 2-35 (qui symbolise l'expérience 6) avec la fig. 2-17. Tous deux représentent les composants et leurs connexions : sur la fig. 2-35, les rectangles gris schématisent les interrupteurs, le zigzag, la résistance, et le symbole avec les deux flèches, la LED. Ces flèches précisent que la LED émet de la lumière, ce qui n'est pas toujours le cas (voir plus loin). Notez que le triangle à l'intérieur de la diode pointe toujours du positif vers le négatif.

Tracez le chemin que l'électricité emprunte à travers le circuit et imaginez que vous appuyez sur les interrupteurs dans un sens ou dans l'autre. Vous devez maintenant être en mesure de comprendre clairement pourquoi chaque interrupteur inverse l'état de la LED et la bascule de l'état allumé à l'état éteint, ou inversement.

Ce type de circuit est utilisé dans les maisons, par exemple quand deux interrupteurs, un en bas et un en haut de l'escalier, commandent la même ampoule. Même si, dans ce cas, les fils sont plus longs et serpentent derrière les murs, vous pouvez les représenter avec le même schéma de base (fig. 2-36), car leurs connexions restent les mêmes. En effet, un schéma précise seulement comment relier les composants et non où les placer.

Mais attention, selon les schémas, les composants peuvent être représentés par différents symboles (voir l'encadré ci-contre).

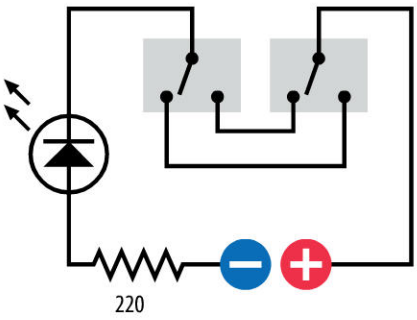


Figure 2-35. *Ce schéma représente le circuit de la fig. 2-17 et simplifie la compréhension du fonctionnement des interrupteurs.*

Figure 2-36. *On retrouve le circuit à deux interrupteurs des fig. 2-17 et 2-35 dans le câblage des maisons, par exemple lorsque les interrupteurs sont situés en haut et en bas d'un escalier (montage en va-et-vient). Dans ce cas, les fils sont joints à l'aide de serre-fils à l'intérieur de boîtes dissimulées à la vue.*

opyright © 2013 Eyrolles.

FONDAMENTAUX

Symboles de base en électronique

Tout comme les mots d'une langue, les symboles utilisés en électronique ont évolué au fil du temps en une multitude de déclinaisons. Ainsi, un interrupteur (unipolaire, unidirectionnel ou SPST) peut être représenté indifféremment par un des symboles de la fig. 2-37.

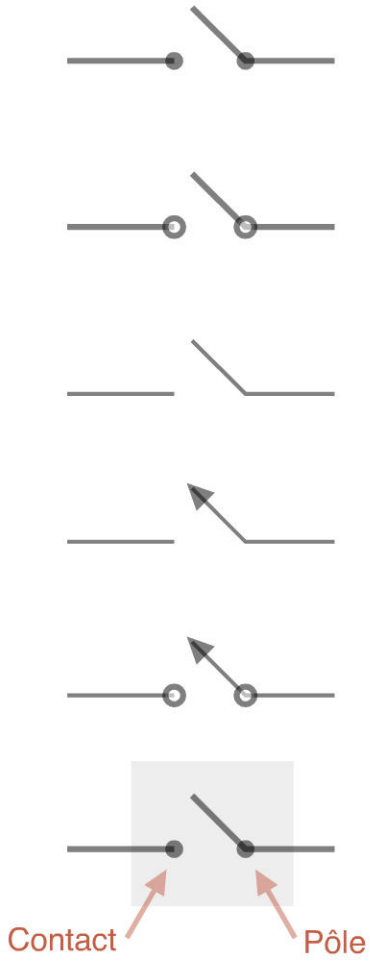


Figure 2-37. *Voici quelques-unes des représentations graphiques d'un interrupteur SPST. C'est celle en bas qui sera utilisée dans cet ouvrage.*

La fig. 2-38 schématise les interrupteurs bipolaires bidirectionnels DPDT. Les pointillés indiquent une liaison mécanique à l'intérieur de l'interrupteur : lorsque vous le basculez, les deux pôles sont affectés simultanément. Gardez en tête que les pôles sont isolés électriquement l'un de l'autre.

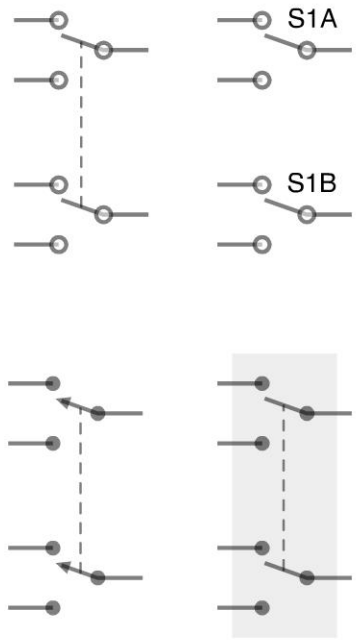


Figure 2-38. *Voici différentes représentations des interrupteurs DPDT. C'est celle en bas à droite qui sera utilisée dans cet ouvrage.*

Sur certains schémas, les interrupteurs vous paraîtront dispersés, mais leur dénomination (S1A, S1B, S1C, etc.) vous indiquera qu'il s'agit en réalité d'un même interrupteur possédant plusieurs pôles.

Sur les schémas de ce livre, chaque interrupteur est placé dans un rectangle gris pour vous rappeler que les éléments qui s'y trouvent font partie d'un même ensemble. Attention, cette représentation est propre à cet ouvrage et n'est en aucun cas une convention.

La manière de représenter les connexions entre les fils peut également varier. Sur les anciens schémas, un petit demi-cercle symbolisait le croisement de deux fils sans connexion. Mais maintenant, on ne le figure plus ainsi, car les logiciels de dessin de circuits n'emploient plus ce symbole. Aujourd'hui :

- un point reliant deux fils indique une connexion électrique ;
- une absence de point traduit une absence de connexion.

opyright © 2013 Eyrolles.

FONDAMENTAUX

Symboles de base en électronique *(suite)*

Malheureusement, ces représentations ne sont pas très intuitives. En effet, lorsque deux fils se croisent sur un schéma, vous pouvez imaginer à juste titre qu'il existe une connexion entre les deux, même en l'absence de point d'intersection. C'est pourquoi, pour plus de clarté, j'ai opté pour le symbole du demi-cercle s'il n'y a pas de connexion (fig. 2-39) :

- un point reliant deux fils indique une connexion électrique ;
- un demi-cercle sur un fil croisant un autre fil symbolise une absence de connexion.

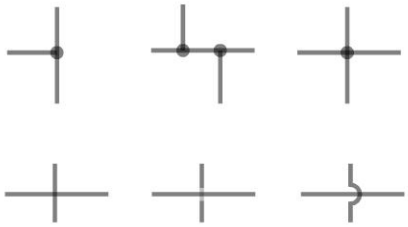


Figure 2-39. *Dans les schémas de câblage, un point indique toujours une connexion électrique. Attention, la représentation en haut à droite est considérée comme mauvaise car, si le point est omis par inadvertance ou mal imprimé, elle peut se confondre avec celle en bas à gauche, où aucune connexion n'est créée. Les trois schémas en bas représentent une absence de connexion : le premier est le plus courant, le deuxième est moins fréquent et le troisième est le plus rare. Dans ce livre, j'ai décidé, pour des raisons de clarté, d'opter pour ce dernier.*

Dans un schéma de circuit alimenté par pile, vous pouvez trouver le symbole d'une pile, mais le plus souvent, une note indiquera à quel endroit une tension positive alimente le système, tandis que la tension négative sera représentée par le symbole terre. En réalité, ce dernier peut être présent partout. N'oubliez pas que lorsque vous montez un circuit, tous les fils qui conduisent à la terre doivent être connectés entre eux, sur la borne négative de la source de tension.

L'origine du symbole terre date de l'époque où les dispositifs électroniques étaient montés sur un châssis métallique, qui était connecté à la borne négative de l'alimentation. Le symbole terre signifie donc au départ « connecté au châssis ». La fig. 2-40 propose quelques variantes du symbole terre.

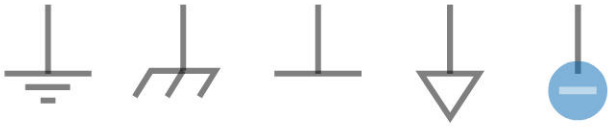


Figure 2-40. *Tous ces symboles signifient la même chose : connecter le fil à la terre, au châssis ou à la branche négative de l'alimentation. Dans ce livre, j'ai opté pour la représentation la plus à droite.*

Pour préciser clairement à quel endroit l'alimentation est connectée, je préfère ne pas utiliser le symbole terre. Pour réduire le risque de malentendu, j'indique simplement en rouge la branche positive et en bleu la branche négative.

Une des grandes incohérences des schémas est la représentation des résistances. En Europe, le symbole traditionnel en forme de zigzag a été remplacé par un rectangle contenant la valeur en ohms de la résistance (fig. 2-41). Les Européens ont aussi modifié la représentation du point décimal : il est souvent omis car, si le schéma est mal imprimé, le point décimal peut être pris pour une bavure d'encre ou ne pas apparaître clairement. Une résistance d'4,7 kΩ est ainsi notée 4K7 et une résistance d'1,2 MΩ, 1M2. C'est cette notation qui sera utilisée dans cet ouvrage, mais je vais également conserver le symbole du zigzag.

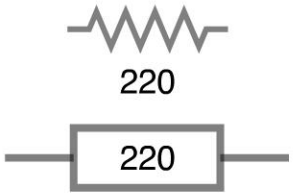


Figure 2-41. *Symboles d'une résistance de 220 Ω, utilisés aux États-Unis (en haut) et en Europe (en bas).*

Copyright © 2013 Eyrolles.

FONDAMENTAUX

Symboles de base en électronique *(suite)*

Il existe la même incohérence pour la représentation des potentiomètres. Toutefois, en Europe comme aux États-Unis, une flèche indique à quel endroit le balai, ou le contact glissant (généralement, la borne centrale), touche la résistance (fig. 2-42). En ce qui concerne la LED, elle est, selon les cas, schématisée ou non dans un cercle. En ce qui me concerne, je préfère la représenter dans un cercle (fig. 2-46).

Figure 2-42. *Symboles du potentiomètre, utilisés aux États-Unis (à gauche) et en Europe (à droite). Dans les deux cas, la flèche représente le balai (généralement, la borne centrale).*

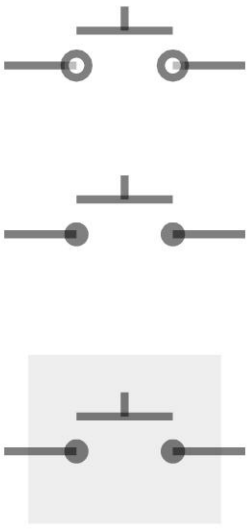


Figure 2-43. *Trois versions de la représentation d'un interrupteur à bouton-poussoir.*

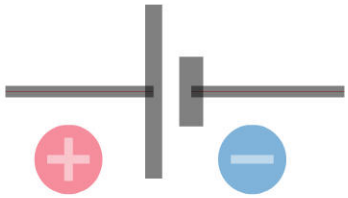


Figure 2-44. *Généralement, une pile n'est pas représentée par les symboles + et –. Je les ai ajoutés pour plus de clarté.*

Figure 2-45. *Symbole d'une ampoule à incandescence.*

Vous trouverez plus loin d'autres variantes de symboles. Pour l'instant, retenez que :

- la manière de représenter les composants dans les schémas n'est pas importante ;
- les liens entre les composants sont, à l'inverse, extrêmement importants.

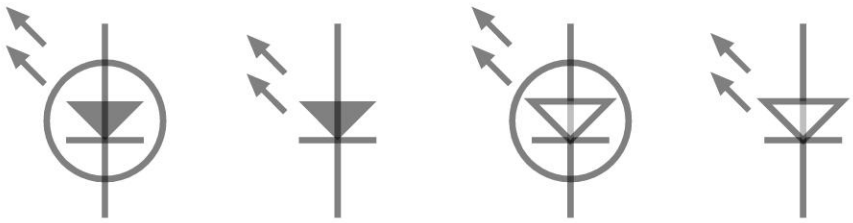


Figure 2-46. *Selon les schémas, une LED peut être entourée ou non d'un cercle. Dans cet ouvrage, j'ai opté pour le cercle. Sachez que les flèches symbolisent la lumière émise.*

opyright © 2013 Eyrolles.

FONDAMENTAUX

Symboles de base en électronique *(suite)*

Par exemple, les schémas de la fig. 2-47 (qui représentent le circuit de l'expérience 4, fig. 1-50) fonctionnent tous de la même manière (leurs connexions sont identiques), même si les composants ne sont pas positionnés de la même manière et que leurs symboles sont différents.

Sachez que, sur un schéma, les symboles sont placés, le plus souvent, de façon à rendre le circuit le plus compréhensible possible, quel que soit le montage réel. Comparez par exemple la fig. 2-48, avec ses deux interrupteurs DPDT, et la fig. 2-35, qui est une autre représentation du même montage. La fig. 2-35 ressemblait davantage à votre montage sur table, tandis que la fig. 2-48 montre plus clairement la circulation de l'électricité.

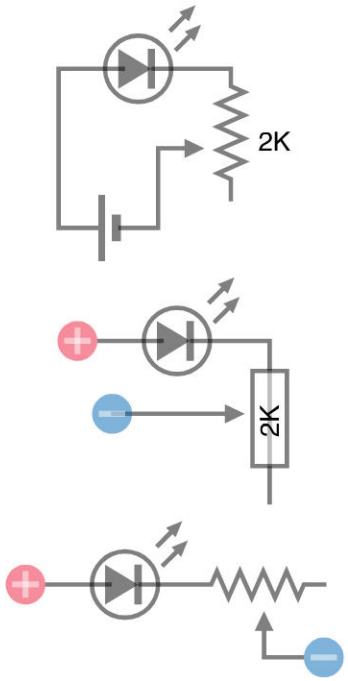


Figure 2-47. *Les trois schémas représentent le circuit monté avec le potentiomètre dans l'expérience 4.*

Dans la plupart des schémas, la borne positive de l'alimentation apparaît en haut et la borne négative ou la terre en bas. L'entrée (par exemple, l'entrée audio d'un circuit amplificateur) est généralement représentée à gauche et la sortie à droite. Par conséquent, la tension positive se déplace de haut en bas, tandis qu'un signal parcourt le schéma de gauche à droite.

Lorsque j'ai commencé l'écriture de ce livre, j'avais dans l'idée de suivre ces conventions, mais très vite, au fur et à mesure que je concevais et testais les circuits, j'ai changé d'avis. En effet, pour créer les circuits, il faut utiliser une carte de test dont les connexions internes nécessitent que la disposition des composants soit très différente de celle d'un schéma classique. En outre, je pense qu'il est déroutant, pour ceux qui débutent en électronique, de placer les composants sur la plaque de montage différemment du schéma. Ainsi, dans ce livre, les schémas proposés reproduisent le circuit tel que vous allez le monter.

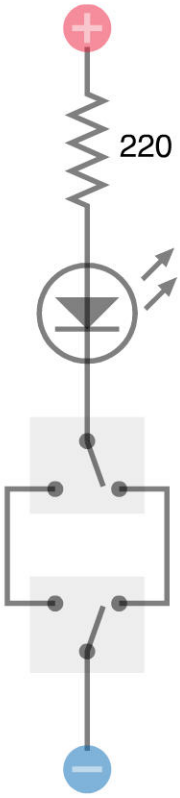


Figure 2-48. *Représentation plus simple et plus lisible du circuit de la fig. 2-35.*

opyright © 2013 Eyrolles.

Expérience 7 : des LED alimentées par relais

Procurez-vous :

- 1 adaptateur AC, 1 pince coupante et 1 pince à dénuder
- 1 relais DPDT
- 2 LED
- 1 résistance de 680 Ω environ
- 1 bouton-poussoir SPST
- 1 fil de câblage de diamètre 0,6 mm, ou des cordons de raccordement
- 8 pinces crocodile et 1 cutter à lame rétractable.

Dans cette expérience, vous allez continuer à explorer la commutation via un interrupteur contrôlé à distance, c'est-à-dire un interrupteur auquel vous enverrez un signal pour l'allumer ou l'éteindre. Appelé aussi relais, il transmet une instruction d'une partie à une autre du circuit. Très souvent, il est commandé par une tension ou par un courant faible, et déclenche une tension plus élevée ou une plus forte intensité.

Ce type d'installation peut s'avérer très économique. Par exemple, lorsque vous démarrez votre voiture, un interrupteur relativement petit et bon marché envoie un signal, le long d'un fil long et mince, vers un relais proche du démarreur. Le relais active le moteur via un fil plus court, plus épais et plus onéreux, capable de transmettre jusqu'à 100 A. De même, quand vous ouvrez le couvercle d'une machine à laver pendant son cycle d'essorage, vous fermez un interrupteur qui envoie un signal à un relais le long d'un fil. Le relais se charge alors d'arrêter le moteur entraînant le tambour.

Avant de commencer, il est nécessaire de modifier la source d'alimentation utilisée jusqu'à présent, car la plupart des relais nécessitent plus de 6 V. Le plus simple est de remplacer les piles par un adaptateur secteur.

Vous commencerez par préparer l'adaptateur, puis l'utiliserez pour alimenter le relais. Ce dernier sera tout d'abord employé pour alimenter l'une ou l'autre des deux LED. Puis vous modifierez le circuit pour que les diodes clignotent automatiquement. Enfin, vous monterez le circuit sur une platine de montage et laisserez de côté les pinces crocodile.

Préparation de l'adaptateur secteur

Un adaptateur secteur convertit l'alimentation alternative haute tension de la maison en basse tension continue sécurisée pour les appareils électroniques. Il se branche dans une prise murale. Notez que le chargeur pour téléphone portable, iPod ou ordinateur est un adaptateur secteur spécifique qui ne délivre qu'une seule tension via un type de prise particulier. Je préconise l'achat d'un adaptateur universel qui fournit différentes valeurs de tension. Commencez par retirer son connecteur.

FONDAMENTAUX

Mesure de la tension avec un adaptateur secteur

Si vous branchez l'adaptateur secteur sur une prise électrique et que vous y reliez un multimètre (sélecteur positionné sur Volts CC), vous risquez d'obtenir une valeur étonnamment haute. En effet, la tension fournie par certains adaptateurs est significativement plus haute quand l'adaptateur n'est pas fortement chargé : comme la résistance interne du multimètre est élevée, l'adaptateur se comporte comme s'il n'était soumis à aucune charge. Pour un test plus significatif, choisissez une résistance de 680 Ω et placez-la à la sortie de l'adaptateur. La tension de celui-ci chute alors à un niveau plus approprié. Montez le multimètre en parallèle avec la résistance.

Il est déconseillé d'utiliser une résistance inférieure à 680 Ω, étant donné que les résistances proposées dans la liste du matériel sont de l'ordre d'1/4 W ; si vous les soumettez à une puissance plus élevée, elles vont chauffer et brûler. Quand une résistance 680 Ω est reliée à une alimentation de 12 V, la loi d'Ohm nous apprend que l'intensité du courant est approximativement égale à 17,7 mA et que, par conséquent, la dissipation d'énergie est d'environ 0,21 W. Cependant, vous pouvez placer plusieurs résistances en parallèle sur la sortie de l'adaptateur AC si vous souhaitez que sa tension de sortie varie avec une plus lourde charge.

opyright © 2013 Eyrolles.

Figure 2-49. *Coupez tout d'abord le connecteur basse tension de l'adaptateur secteur (ici, un modèle américain), puis jetez-le.*

Figure 2-50. *Retirez ensuite les fils et conservez-en un plus court que l'autre afin qu'ils ne se touchent pas. Marquez, grâce à un feutre rouge, le fil positif de l'adaptateur.*

1. Assurez-vous tout d'abord que l'adaptateur n'est pas branché.
2. Coupez le connecteur situé à l'extrémité du fil (fig. 2-49).
3. À l'aide d'un cutter à lame rétractable ou de ciseaux, réalisez une entaille d'1 cm environ entre les deux conducteurs, puis écartez-les de quelques centimètres.
4. Avec la pince coupante, coupez un des deux conducteurs plus court que l'autre, afin que les fils de cuivre dénudés ne puissent pas se toucher facilement une fois l'isolant retiré. Vous éviterez ainsi un court-circuit dans l'adaptateur qui risquerait de le brûler.
5. Retirez l'isolant des deux conducteurs à l'aide de la pince à dénuder. Torsadez les fils de cuivre entre le pouce et l'index de façon à n'en laisser dépasser aucun (fig. 2-50).
6. Assurez-vous que les deux fils ne se touchent pas et branchez l'adaptateur secteur sur une prise murale. Placez le sélecteur du multimètre sur Volts CC et posez les sondes du multimètre sur les fils de l'adaptateur. Si la valeur de la tension est précédée du signe négatif (-), cela signifie que les sondes n'ont pas été correctement placées ; vous devez donc les inverser. De ce fait, vous savez quel est le fil positif.
7. Marquez le fil positif à l'aide d'un feutre rouge si sa gaine isolante est blanche et à l'aide d'une étiquette si elle est noire. Quelle que soit la manière dont vous allez brancher l'adaptateur sur la prise murale, le fil demeurera positif.

Relais

Utilisez en priorité un relais qui possède, en distribution standard, de petites pattes pointues. Si vous achetez un autre modèle, à vous de découvrir quelles broches sont connectées à la bobine à l'intérieur, quelles sont celles reliées aux pôles de l'interrupteur et quelles autres mènent aux contacts normalement ouverts et fermés. Si nécessaire, consultez la fiche technique du fabricant.

Je vous conseille d'acheter deux relais afin d'en utiliser un à des fins d'expérimentation. N'hésitez donc pas à le démonter et à regarder ce qui se passe à l'intérieur.

Pour ouvrir un relais, utilisez un cutter ou un couteau à lame rétractable (fig. 2-52 à 2-54). Rabotez les bords de la protection en plastique et biseautez-les jusqu'à obtenir une ouverture de l'épaisseur d'un cheveu. N'allez pas plus loin et dégagez la partie supérieure. Vous pouvez aussi utiliser une pince à bec effilé pour extraire la partie restante de la protection. Après avoir lu l'encadré page 58, alimentez le relais pour observer son fonctionnement.

opyright © 2013 Eyrolles.

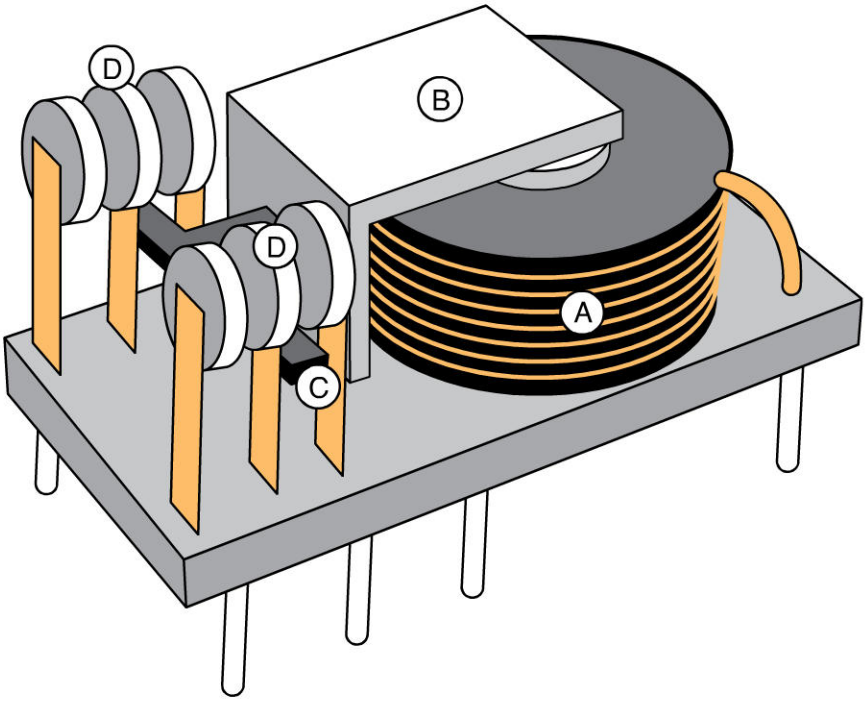


Figure 2-51. *Disposition des différents éléments d'un relais. La bobine (A) génère une attraction magnétique qui incline le levier (B) vers le bas. Une extension en plastique (C) pousse en direction des bandes métalliques souples et déplace les pôles du relais (D) entre les contacts.*

Figure 2-52. *Pour observer le contenu d'un relais, rabotez les bords supérieurs de la protection en plastique jusqu'à obtenir une fine ouverture.*

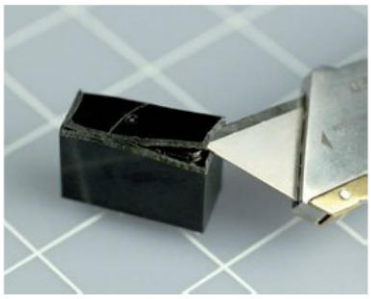


Figure 2-53. *Insérez la lame du cutter pour ouvrir le haut du relais en faisant levier, puis répétez l'opération sur les côtés.*

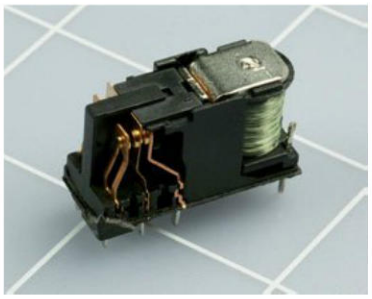


Figure 2-54. *Si vous êtes très minutieux, le relais doit toujours fonctionner après ouverture.*

Figure 2-55

Figure 2-56. *La patience est essentielle lorsque vous rabotez les bords d'un relais pour l'ouvrir. Il existe, certes, des méthodes plus rapides, mais les résultats sont alors imprévisibles.*

Figure 2-57. *Quatre relais 12 V avec et sans leur protection. Celui de gauche est le plus simple et le plus facile à comprendre, parce qu'il a été conçu sans contraintes de taille. Les petits relais, plus intelligemment conçus, sont plus complexes. Généralement mais pas toujours, un petit relais est destiné à commuter moins de courant qu'un plus gros.*

Copyright © 2013 Eyrolles.

FONDAMENTAUX

À l'intérieur d'un relais

Un relais se compose d'un noyau de fer enveloppé d'une bobine de fil. Quand l'électricité parcourt la bobine, le noyau exerce une force magnétique. Celle-ci actionne un mécanisme, qui pousse ou tire une lame métallique souple, et les deux contacts se ferment. Aussi longtemps que la bobine est parcourue par l'électricité, le relais est alimenté et ses contacts demeurent fermés.

Quand l'électricité ne passe plus dans la bobine, le relais se libère ; la lame reprend son état initial et les deux contacts s'ouvrent – seule exception : le relais bistable qui nécessite une deuxième impulsion à travers une bobine distincte pour retourner à l'état initial (ce type de relais sera utilisé plus loin dans ce livre).

Les relais sont classés à la manière des interrupteurs : SPST, DPST, SPDT, etc.

Comparez les schémas de la fig. 2-38 avec ceux de la fig. 2-58. La principale différence est qu'à la fig. 2-58, le relais possède une bobine qui active l'interrupteur. L'interrupteur apparaît ici en mode relâché, quand aucune électricité ne parcourt la bobine.

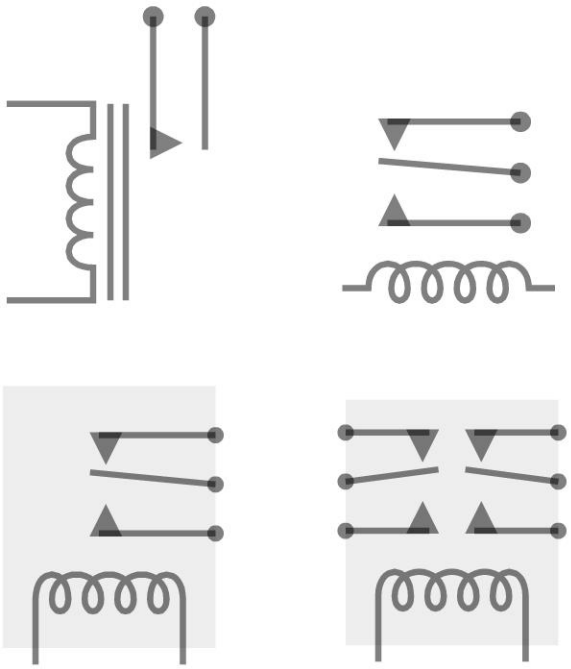


Figure 2-58. *Différents symboles pour représenter un relais. En haut à gauche : SPST ; en haut à droite et en bas à gauche : SPDT ; en bas à droite : DPDT. J'utilise dans ce livre les symboles entourés d'un rectangle gris.*

Les contacts sont représentés par des triangles. Quand il y a deux pôles au lieu d'un, la bobine active les deux interrupteurs en même temps.

La plupart des relais sont non polarisés. Dans ce cas, peu importe le sens de circulation de l'électricité dans la bobine. La majorité des relais à basse tension utilisent le courant continu – c'est-à-dire un flux régulier d'électricité tel que celui fourni par une pile –, même si certaines bobines de relais fonctionnent sous tension alternative. Dans ce livre, j'utilise des relais à courant continu.

Les relais rencontrent les mêmes limites que les interrupteurs : si vous commutez une tension trop élevée, les contacts sont alors érodés par les étincelles. N'essayez pas d'économiser quelques euros en utilisant un relais calibré pour une intensité et une tension inférieures à celles requises. Le relais lâchera au moment où vous en aurez le plus besoin et sera difficile à remplacer.

Avant d'acheter un relais, vérifiez ses spécifications.

- **Tension de la bobine** : tension qu'elle est censée recevoir quand vous l'alimentez.
- **Tension définie** : tension minimale nécessaire au relais pour fermer son interrupteur. Elle doit être légèrement inférieure à la tension idéale de la bobine.
- **Courant de fonctionnement** : consommation électrique de la bobine, généralement en milliampères (ou en milliwatts), quand le relais est alimenté.
- **Capacité de commutation** : intensité maximale qu'il est possible de commuter avec les contacts du relais. Généralement, il s'agit d'une charge résistive, à savoir un dispositif passif tel qu'une ampoule. Quand vous utilisez un relais pour démarrer un moteur, ce dernier absorbe un pic d'intensité élevée avant d'accélérer. Dans ce cas, choisissez un relais calibré pour supporter un courant deux fois plus élevé que celui nécessaire au fonctionnement du moteur.

Copyright © 2013 Eyrolles.

Marche à suivre

Retournez le relais et connectez les fils et les LED (fig. 2-59), avec une résistance de 680 Ω (ou, à défaut, 1K). Ajoutez un interrupteur à bouton-poussoir (s'il est différent de celui ci-contre, cela n'a pas d'importance tant qu'il s'agit d'un bouton-poussoir SPST avec deux contacts en bas). Lorsque vous appuyez sur le bouton, le relais entraîne l'extinction de la première LED et l'allumage de la seconde. Si vous le relâchez, l'inverse se produit : la première LED s'allume et la seconde s'éteint.

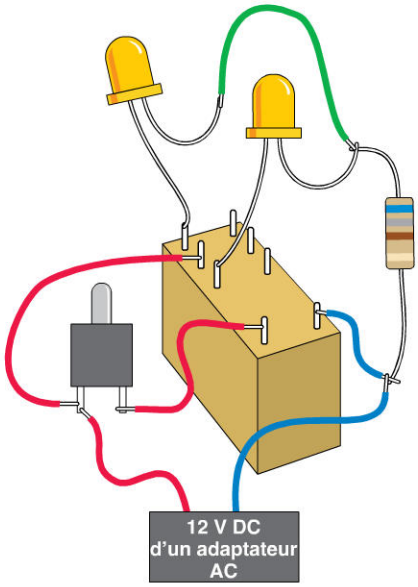


Figure 2-59. *Comme précédemment, remplacez les connexions câblées représentées ci-dessus par des cordons de raccordement.*

Fonctionnement

Consultez le schéma de la fig. 2-60 et comparez-le à celui de la fig. 2-59. Reportez-vous aussi à la fig. 2-62 qui montre comment les connexions à l'intérieur du relais s'établissent sur les broches extérieures, selon que la bobine est alimentée ou non.

Il s'agit d'un relais DPDT, même si nous n'utilisons qu'un seul pôle. Pourquoi ne pas acheter alors un relais SPDT ? En fait, l'espacement des broches de ce type de relais convient bien au montage sur plaque, qui sera réalisé après.

Sur le schéma, l'interrupteur situé à l'intérieur du relais est représenté dans son état relâché. Quand la bobine est alimentée, l'interrupteur bascule vers le haut, ce qui semble illogique, mais correspond à la façon dont ce relais particulier est conçu.

Lorsque vous êtes sûr d'avoir compris le fonctionnement du circuit, passez à l'étape suivante. Dans l'expérience 8, vous allez apporter une légère modification pour que le relais s'allume et s'éteigne automatiquement.

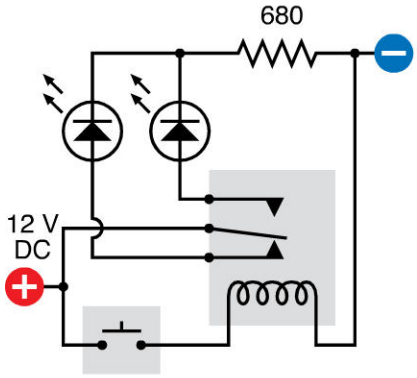


Figure 2-60. *Schéma du circuit de la fig. 2-59.*

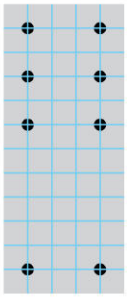


Figure 2-61. *Disposition des broches du relais, superposées sur une grille de carrés de 0,254 cm. Ce type de relais est utilisé à l'expérience 8.*

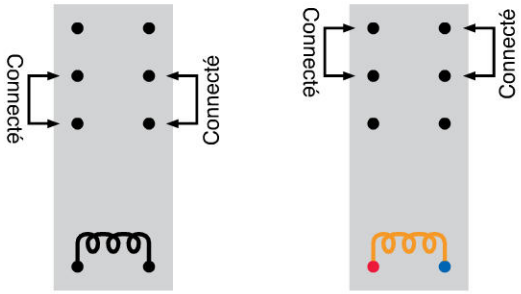


Figure 2-62. *Connexion des broches selon que le relais est alimenté (à gauche) ou non (à droite).*

opyright © 2013 Eyrolles.

Expérience 8 : un oscillateur à relais

Procurez-vous :

- 1 adaptateur secteur, 1 platine de montage, 1 fil, des pinces coupantes et des pinces à dénuder
- 1 relais DPDT
- 2 LED
- 1 bouton-poussoir, de type SPST
- 8 pinces crocodile
- 1 résistance de 680 Ω environ
- 1 condensateur électrolytique de 1 000 µF

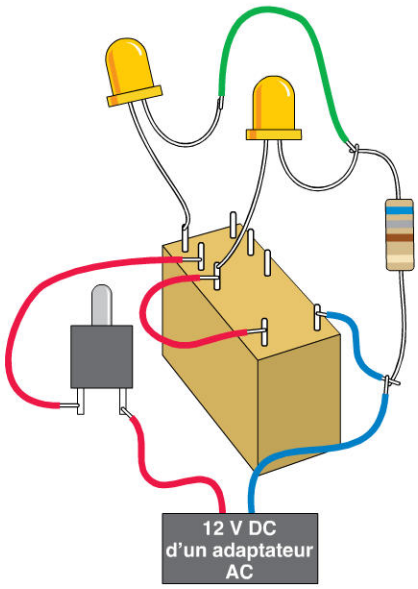


Figure 2-63. *Après une légère modification du circuit précédent (fig. 2-59), le relais commence à osciller dès qu'il est alimenté.*

Reportez-vous aux fig. 2-63 et 2-64 et comparez-les aux schémas 2-59 et 2-60. Au départ, il existait une connexion directe entre le bouton-poussoir et la bobine. Dans le nouveau schéma, l'alimentation parvient à la bobine en passant, d'abord, par les contacts du relais.

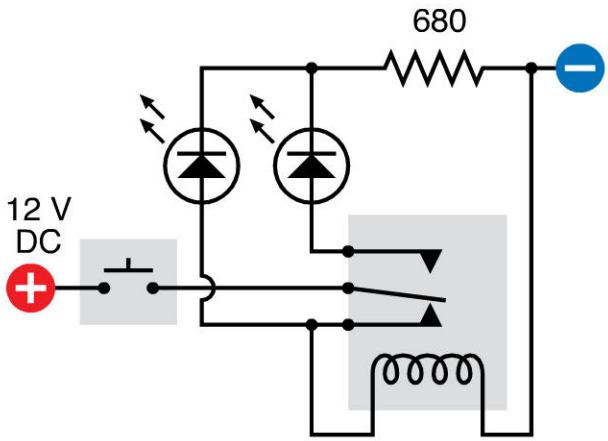


Figure 2-64. *Schéma du circuit oscillateur.*

Quand vous appuyez sur le bouton-poussoir, les contacts dans leur état relâché alimentent la bobine, ainsi que la LED située à gauche (fig. 2-64). La bobine provoque alors l'ouverture des contacts et son alimentation est interrompue : le relais se relâche et les contacts se ferment à nouveau. Ils fournissent ensuite une nouvelle impulsion à la bobine, qui rouvre les contacts. Ce cycle se répète indéfiniment.

Le relais utilisé étant très petit, il commute extrêmement rapidement. De fait, il oscille environ 50 fois par seconde (trop rapidement pour que les LED témoignent de ce qui se passe réellement). Assurez-vous que votre circuit est similaire à celui du schéma, puis appuyez brièvement sur le bouton-poussoir. Le relais doit émettre une sorte de bourdonnement. Si vous avez des problèmes d'audition, touchez légèrement le relais pour ressentir une vibration.

Contraindre un relais à osciller de cette manière risque de le brûler ou de détruire ses contacts. C'est pourquoi, il faut presser le bouton que très brièvement. Pour améliorer cet oscillateur, vous devez ajouter un condensateur qui ralentira le fonctionnement du relais et empêchera sa destruction.

opyright © 2013 Eyrolles.

Ajout d'un condensateur

Ajoutez un condensateur électrolytique (fig. 2-14) de 1 000 µF en parallèle avec la bobine du relais (fig. 2-65 et 2-66). Sa valeur doit être inscrite sur le côté.

Assurez-vous que le fil court du condensateur est bien connecté au côté négatif du circuit, sinon cela ne fonctionnera pas. Pour trouver le côté négatif du condensateur, cherchez le signe négatif (-).

À présent, lorsque vous appuyez sur le bouton-poussoir, le relais doit émettre un clic lent et non plus un bourdonnement. Que se passe-t-il ?

Un condensateur est comme une minuscule pile rechargeable. Il est si petit qu'il se charge en une fraction de seconde, avant que le relais n'ait le temps d'ouvrir sa paire inférieure de contacts. Puis, une fois les contacts ouverts, le condensateur se comporte comme une pile et fournit l'alimentation au relais. Il maintient alimentée la bobine du relais pendant près d'une seconde. Quand le condensateur a épuisé sa réserve d'alimentation, le relais se relâche et le processus se répète.

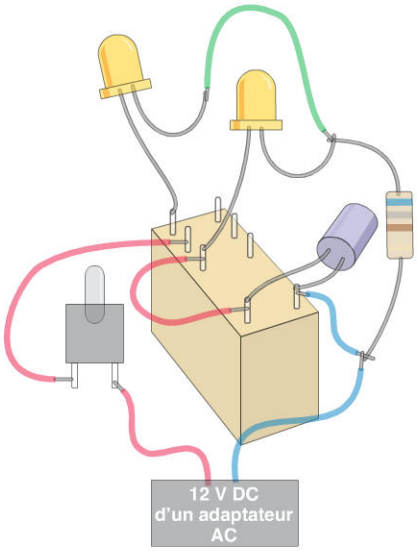


Figure 2-65. *L'ajout d'un condensateur ralentit l'oscillation du relais.*

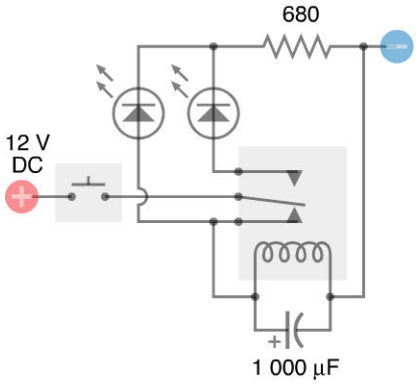


Figure 2-66. *Le condensateur se trouve en bas du schéma.*

FONDAMENTAUX

Les farads

Le farad est l'unité internationale de mesure de la capacité d'un condensateur. Comme les circuits actuels nécessitent généralement de petits condensateurs, il est fréquent de rencontrer des condensateurs mesurés en microfarads (un millionième de farad), voire en picofarads (un trillionième de farad). En Europe, on utilise aussi les nanofarads.

0,001 nanofarad	1 picofarad	1 pF
0,01 nanofarad	10 picofarads	10 pF
0,1 nanofarad	100 picofarads	100 pF
1 nanofarad	1,000 picofarads	1 000 pF
0,001 microfarad	1 nanofarad	1 nF
0,01 microfarad	10 nanofarads	10 nF
0,1 microfarad	100 nanofarads	100 nF
1 microfarad	1 000 nanofarads	1 000 nF
0,000001 farad	1 microfarad	1 µF
0,00001 farad	10 microfarads	10 µF
0,0001 farad	100 microfarads	100 µF
0,001 farad	1 000 microfarads	1 000 µF

Il existe aussi des capacités supérieures à 1 000 microfarads, mais c'est très rare.

Copyright © 2013 Eyrolles.

Attention aux condensateurs !

Si un condensateur de grande taille utilise une tension élevée, il peut la conserver durant un long moment. Comme les circuits de ce livre utilisent des basses tensions, vous ne courez aucun risque. Cependant, si vous êtes assez imprudent pour ouvrir un vieux poste de télévision et pour l'explorer (ce que je vous déconseille fortement), vous allez au devant d'une désagréable surprise. En effet, un condensateur non déchargé vous tuera aussi simplement que si vous introduisez votre doigt dans une prise électrique. Ne touchez jamais un condensateur de grande taille, sauf si vous savez vraiment ce que vous faites.

FONDAMENTAUX

Les condensateurs

Le courant continu ne traverse pas un condensateur. La tension peut s'accumuler très rapidement à l'intérieur jusqu'à ce que l'alimentation soit coupée. Les fig. 2-67 et 2-68 donnent une idée de ce qui se produit dans un condensateur quand il est entièrement chargé.

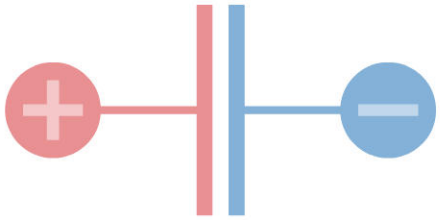


Figure 2-67. *Quand une tension continue parvient au condensateur, aucun courant ne circule, mais le condensateur se charge comme une pile. Les charges positives et négatives sont égales et opposées.*

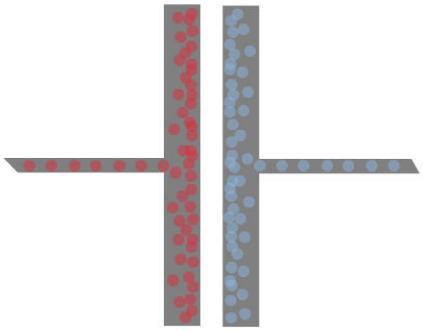


Figure 2-68. *Vous pouvez imaginer les particules de charge positive s'accumulant d'un côté du condensateur et attirant les particules de charge négative du côté opposé.*

Dans la plupart des condensateurs électrolytiques, les plaques sont réduites à deux pellicules métalliques fines et souples, souvent enveloppées l'une autour de l'autre et séparées par un mince isolant électrique. Les condensateurs en céramique se composent généralement d'un seul disque en matériau non conducteur, au métal peint des deux côtés et aux fils soudés.

Les condensateurs (fig. 2-14 et 2-15) les plus répandus sont :

- en céramique, qui se présentent sous la forme d'un disque de couleur jaune. Ils sont capables de stocker une charge relativement petite ;
- électrolytiques, qui se présentent sous la forme de canettes miniatures en aluminium (peu importe la couleur). Ils sont capables d'emmagasiner une charge beaucoup plus grande.

Copyright © 2013 Eyrolles.

FONDAMENTAUX

Les condensateurs *(suite)*

Les condensateurs en céramique n'ont pas de polarité ; de ce fait, vous pouvez appliquer une tension négative à l'un ou l'autre des deux côtés. Les condensateurs électrolytiques possèdent, quant à eux, une polarité et ne fonctionnent que si vous les connectez correctement.

Un condensateur se schématise soit par deux lignes droites (symbolisant les plaques du condensateur), soit par une ligne droite et une ligne incurvée (fig. 2-69). S'il y a une ligne courbe, elle doit correspondre à la plaque plus négative du condensateur. Le schéma peut aussi comporter un signe positif (+). Malheureusement, d'aucuns oublient de dessiner une ligne incurvée sur un condensateur polarisé, alors que d'autres la tracent sur un condensateur qui ne l'est pas.

Figure 2-69. *À gauche : schéma général d'un condensateur ; à droite : condensateur polarisé qui nécessite que la plaque de gauche soit plus positive que celle de droite. Le signe positif (+) est souvent omis.*

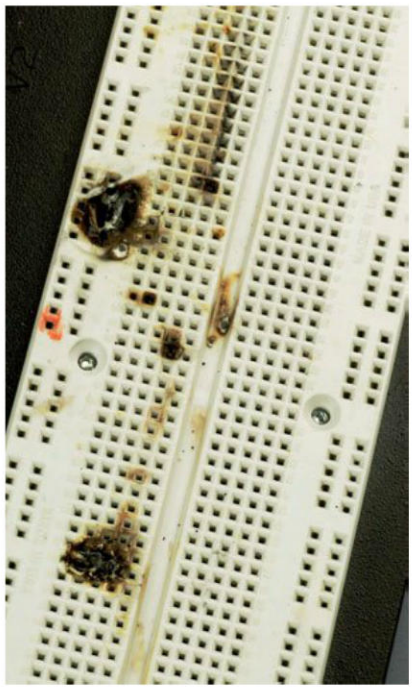


Figure 2-70. *Un condensateur en tantale a été branché sur cette plaque de montage et accidentellement relié à une source d'alimentation fournissant un courant élevé. Après une minute ou deux, le condensateur s'est fendu en deux et a dispersé de petites pièces en flammes, qui, à leur tour, ont brûlé le plastique de la plaque. Surtout, respectez la polarité !*

Polarité du condensateur

Connectez un condensateur électrolytique de telle sorte que son fil le plus long soit plus positif que le plus court. Le signe négatif (-) se trouve généralement à proximité du fil le plus court.

Sachez que certains condensateurs ne se comportent pas correctement si leur polarité n'est pas respectée. Un jour, j'ai connecté un condensateur en tantale à un circuit, à l'aide d'une alimentation capable de fournir un courant important, mais le circuit n'a pas fonctionné. Pire, le condensateur a pris feu projetant des petits morceaux en flammes. J'avais oublié que les condensateurs en tantale peuvent se montrer quelque peu délicats quant aux connexions positives et négatives. La fig. 2-70 en illustre les conséquences.

Copyright © 2013 Eyrolles.

HISTOIRE

Michael Faraday et les condensateurs

Les premiers condensateurs se composaient de deux plaques métalliques séparées par un minuscule espace (fig. 2-67 et 2-68).

- Si une plaque était connectée à une source positive, les charges positives attiraient les charges négatives sur l'autre plaque.
- Si une plaque était connectée à une source négative, les charges négatives attiraient les charges positives sur l'autre plaque.

La capacité d'un condensateur mesure sa faculté à stocker de l'électricité (cette propriété se nomme parfois capacitance). Elle s'exprime en farads, du nom de Michael Faraday (1791-1867), chimiste et physicien anglais, et génie de l'électricité (fig. 2-71).

Après une éducation primaire, il travaille comme apprenti chez un libraire-relieur. Grâce à la lecture, il parvient à se former seul. (Notez qu'il a vécu à une époque où les propriétés fondamentales de l'électricité étaient mises en évidence à l'aide d'expériences relativement simples.) Il est l'auteur de découvertes majeures, comme l'induction électromagnétique, qui a conduit au développement des moteurs électriques. Il a également découvert que le magnétisme affectait les rayons de lumière.

Ses travaux lui ont valu de nombreux honneurs. Son portrait a figuré, de 1991 à 2001, sur les billets anglais de 20 livres.

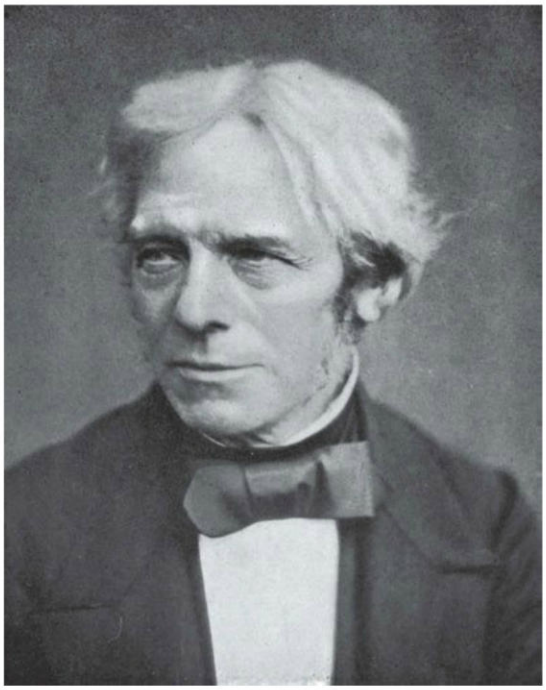


Figure 2-71. *Michael Faraday.*

Copyright © 2013 Eyrolles.

Montage du circuit sur la plaque

La platine de montage permet de monter très facilement un circuit, de le tester et de le modifier tout aussi simplement. Les composants peuvent ensuite être retirés pour de futures expériences. Comment fonctionne-t-elle ? Lorsque vous insérez les composants dans les trous, les bandes de métal masquées à l'intérieur de la plaque établissent automatiquement un contact électrique entre les composants.

Quasiment toutes les plaques de montage sont conçues pour être compatibles avec les puces de circuits intégrés (qui seront utilisées au chapitre 4). La puce enjambe un canal vide au centre de la plaque de montage, avec de part et d'autre des rangées de petits trous (généralement, cinq par rangée) dans lesquels vous allez insérer d'autres composants. De plus, la platine de montage comporte des colonnes de trous pour distribuer l'alimentation positive et négative.

La fig. 2-72 présente une vue de dessus de la partie supérieure d'une plaque de montage. La fig. 2-73 montre la même plaque comme si elle était passée aux rayons X, ce qui révèle les bandes métalliques glissées derrière les trous.

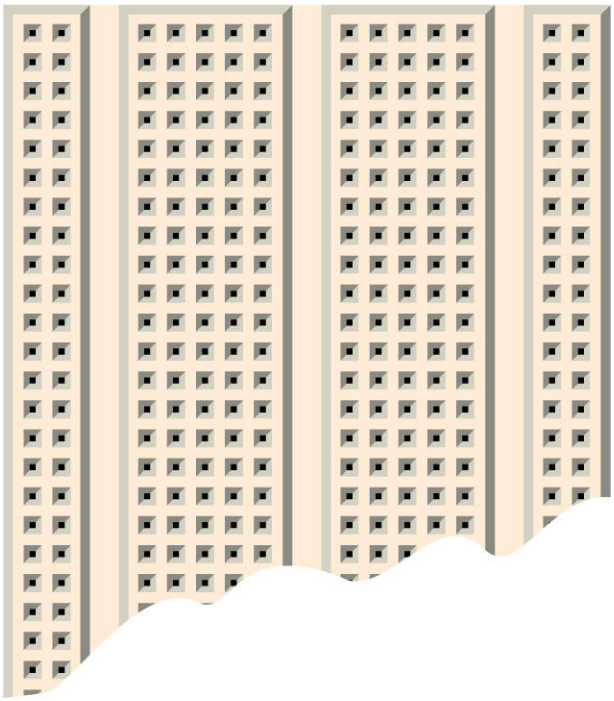


Figure 2-72. *Plaque de montage classique. Branchez les composants dans les trous pour tester très rapidement le circuit.*

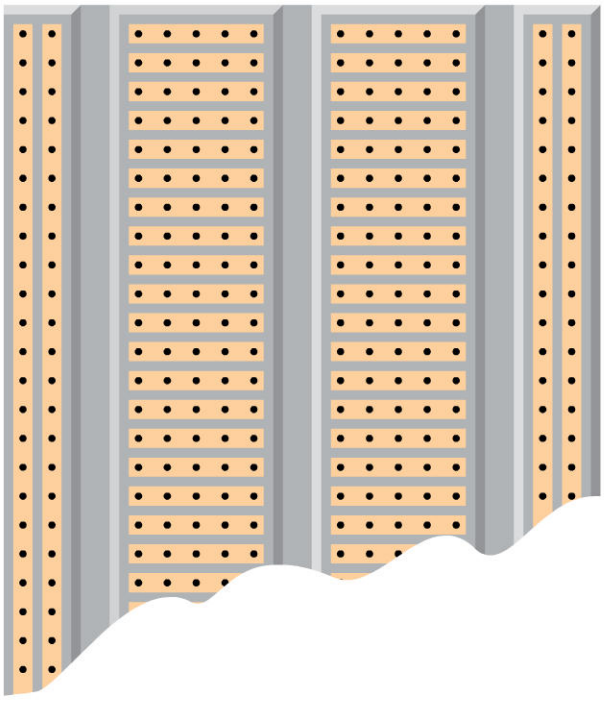


Figure 2-73. *Représentation aux rayons X de la plaque de montage faisant apparaître les bandes de cuivre, qui acheminent l'électricité d'un composant à l'autre.*

opyright © 2013 Eyrolles.

Sachez que sur certaines plaques de montage, les colonnes verticales latérales sont séparées en deux sections distinctes. Utilisez la fonction de test de continuité du multimètre pour savoir si la plaque de montage conduit l'électricité sur toute sa longueur. Si nécessaire, ajoutez des fils de liaison pour relier la moitié supérieure et la moitié inférieure.

La fig. 2-74 montre comment utiliser la plaque de montage pour reproduire l'oscillateur à relais. Pour cela, vous devez alimenter la plaque à partir de l'adaptateur secteur. Comme le fil de votre adaptateur est probablement constitué de plusieurs brins torsadés, vous allez sûrement rencontrer quelques difficultés à l'introduire dans les petits trous. Pour contourner le problème, prenez des morceaux de fil de diamètre 0,6 mm et utilisez-les comme bornes auxquelles vous allez fixer le fil de l'adaptateur (fig. 2-75), et aidez-vous de pinces crocodile. Le plus pratique est d'employer une plaque de montage avec bornes d'alimentation intégrées.

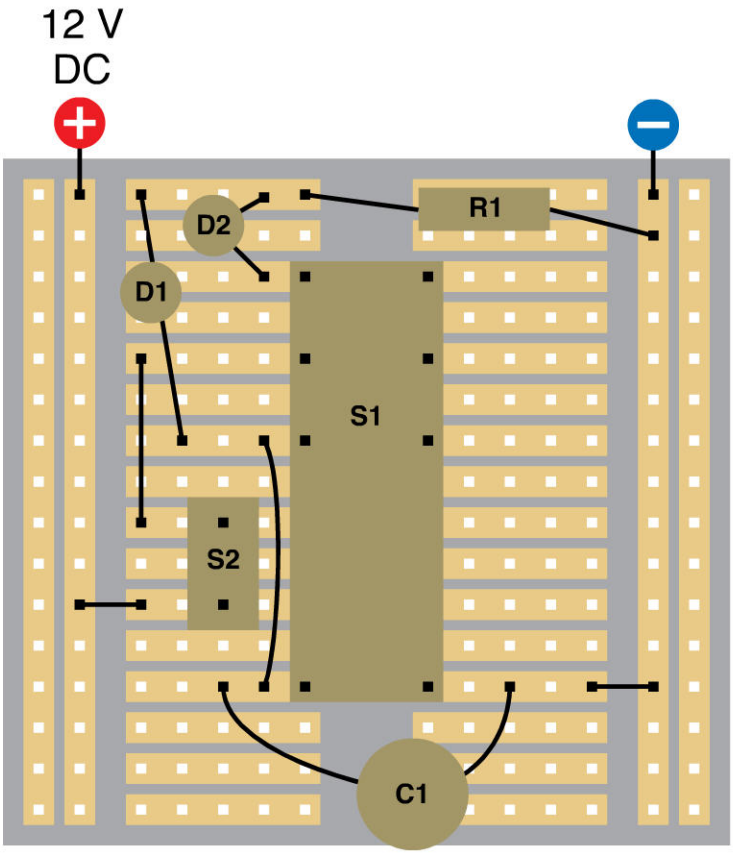


Figure 2-74. *Si vous placez les composants sur la plaque de montage comme illustré, ils forment le même circuit que celui conçu à l'aide de fils et de pinces crocodile de l'expérience 8.*

D1, D2 : LED
S1 : relais DPDT
S2 : interrupteur momentané SPST
C1 : condensateur électrolytique de 1 000 µF
R1 : résistance de 680 Ω minimum

Figure 2-75. *Si la plaque de montage ne possède pas de bornes à vis, insérez deux morceaux de fil rigide aux extrémités dénudées, puis attachez les fils torsadés de l'adaptateur à l'aide de pinces crocodile.*

opyright © 2013 Eyrolles.

Pour alimenter les composants branchés sur la plaque de montage (fig. 2-76 et 2-77), munissez-vous de fils de diamètre 0,6 mm ou de fils de câblage précoupés. Si toutes les connexions sont bien établies, le circuit doit fonctionner aussi bien qu'auparavant.

La disposition des bandes de connexion métalliques oblige généralement à connecter les composants par un moyen détourné. Le bouton-poussoir, par exemple, fournit l'alimentation au pôle du relais, mais ne peut pas être connecté, par manque de place, directement au côté opposé.

N'oubliez pas que les bandes de la platine de montage qui ne comportent aucun branchement de fil ou de composant ne jouent aucun rôle.

Dans la suite de l'ouvrage, je vais vous suggérer, pour les circuits, des dispositions de composants sur la plaque de montage. Surtout, n'hésitez pas à en imaginer d'autres ; c'est là que réside tout l'intérêt de l'électronique !

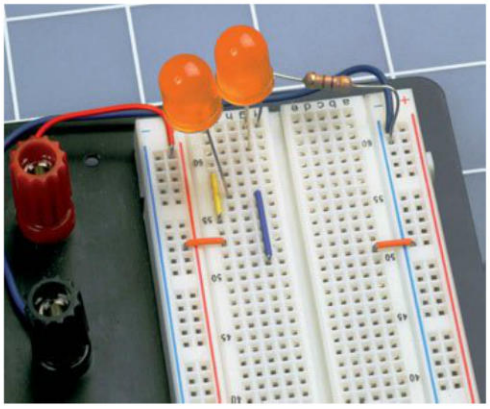


Figure 2-76. *Deux LED, une résistance et les fils de liaison nécessaires ont été ajoutés à la plaque de montage.*

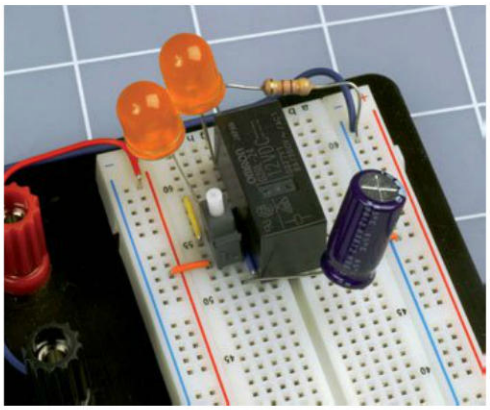


Figure 2-77. *Le bouton-poussoir, le relais et le condensateur ont été ajoutés pour compléter le circuit. Quand vous appuyez sur le bouton-poussoir, le relais oscille et les LED clignotent.*

Copyright © 2013 Eyrolles.

Expérience 9 : temps de chargement d'un condensateur

Procurez-vous :

- 1 adaptateur secteur, 1 plaque de montage, 1 fil, des pinces coupantes et des pinces à dénuder
- 1 multimètre et 1 bouton-poussoir SPST
- 1 assortiment de résistances et de condensateurs électrolytiques

Dans l'expérience 8, le condensateur placé en parallèle avec la bobine du relais s'est chargé presque instantanément avant de se décharger via cette même bobine. Si vous ajoutez une résistance en série avec un condensateur, ce dernier sera plus long à se charger. De cette manière, vous pouvez mesurer une donnée essentielle : le temps.

Retirez les composants de la plaque de montage et utilisez-la pour monter le circuit de la fig. 2-78, où C1 représente un condensateur de 1 000 µF et S1 le bouton-poussoir déjà utilisé. Positionnez le sélecteur du multimètre sur la mesure Volts CC, puis placez les sondes autour du condensateur et maintenez le bouton-poussoir enfoncé. Au fur et à mesure que la tension s'accumule dans le condensateur, la valeur affichée par le multimètre croît. (Notez que cette opération est plus simple à réaliser avec un multimètre qui n'a pas la fonction de sélection automatique de plages, car vous ne perdrez pas de temps à attendre que l'appareil détermine la plage de valeurs adéquate.) La résistance R1 ralentit le temps de chargement du condensateur.

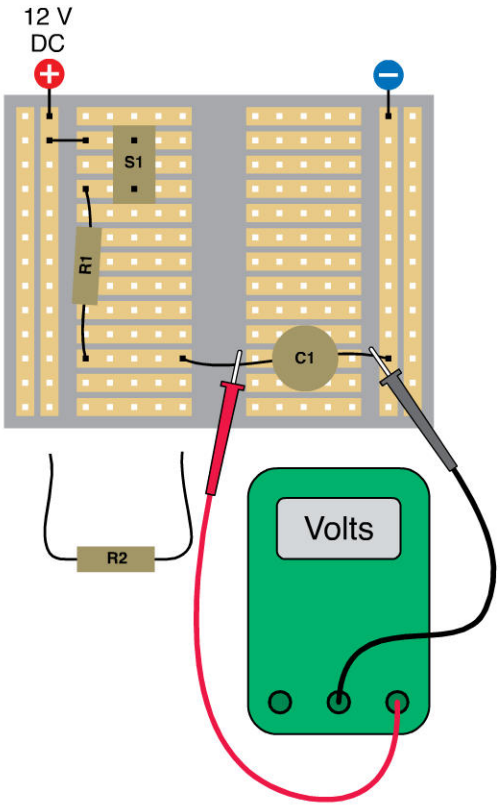


Figure 2-78. *Surveillez la tension du condensateur tout en maintenant le bouton-poussoir enfoncé. Remplacez R1 par une résistance d'une autre valeur, puis déchargez le condensateur au travers de R2 et répétez les mesures.*

S1 : bouton-poussoir à action momentanée, OFF (ON)
R1 : valeur initiale de 100K
R2 : 100 Ω
C1 : 1 000 µF

Copyright © 2013 Eyrolles.

Relâchez le bouton-poussoir et mettez de côté le multimètre. Puis déchargez le condensateur au travers de R2 : pour cela, placez simplement R2 en parallèle avec le condensateur pendant une seconde ou deux en tenant la résistance à la main. Remplacez ensuite la résistance R1 par une résistance de 50K et répétez la mesure. La valeur affichée par le multimètre doit croître deux fois plus vite que précédemment.

Tension, résistance et capacitance

On peut comparer la résistance à un robinet et le condensateur à un ballon qu'on remplit d'eau. Lorsque vous fermez le robinet pour qu'il ne s'écoule plus qu'un mince filet d'eau, le ballon met plus de temps à se remplir. Mais, même si l'eau s'écoule très lentement, le ballon finit par être rempli, à condition que vous attendiez suffisamment longtemps. Si le ballon n'explose pas avant, le processus s'achève quand la pression à l'intérieur du ballon est égale à celle de l'eau dans le tuyau alimentant le robinet (fig. 2-79).

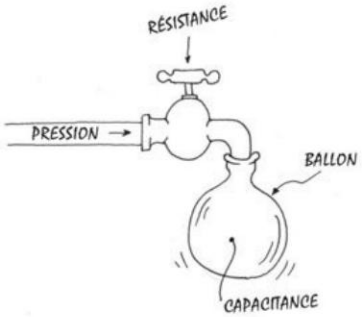


Figure 2-79. *Quand le robinet est à demi fermé, le ballon met plus de temps à se remplir, mais contiendra au final autant d'eau et sous la même pression.*

De même, dans le circuit électrique alimenté en 12 V que vous avez construit, la tension aux bornes du condensateur finit par être égale à celle de l'alimentation, soit 12 V (même si cela peut prendre plus de temps que prévu).

Oubliez un instant le condensateur et rappelez-vous comment vous avez testé deux résistances d'1K. Chaque résistance, qui représentait la moitié de la résistance totale du circuit, diminuait la tension de moitié. Si vous aviez posé la sonde négative du multimètre sur la borne négative de l'alimentation et placé la sonde positive au milieu des deux résistances, la tension mesurée aurait ainsi été égale à 6 V (fig. 2-80).

À présent, imaginez que vous remplaciez une des résistances d'1K par une de 9K. La résistance totale du circuit serait alors de 10K et, par conséquent, la résistance de 9K ferait chuter 90 % des 12 V, soit 10,8 V. Essayez et vérifiez la valeur affichée par le multimètre. (Il est peu probable que vous trouviez une résistance de 9K, car ce n'est pas une valeur standard ; choisissez-en une approchante.)

Remplacez maintenant la résistance de 9K par une résistance de 99K. Elle fait chuter de 99 % la tension disponible, soit 11,88 V. Autrement dit, plus la résistance est grande, plus elle contribue à faire chuter la tension.

Cependant, j'ai précisé précédemment qu'aucun courant ne circule à l'intérieur d'un condensateur et qu'il accumule la tension. Ainsi, il se comporte comme une résistance offrant une résistance infinie au passage du courant (en réalité, l'isolant à l'intérieur du condensateur permet une légère fuite de courant, mais un condensateur parfait posséderait une résistance infinie).

En comparaison, la valeur d'une résistance, quelle qu'elle soit, placée en série avec le condensateur est insignifiante. En effet, le condensateur constitue une résistance bien plus grande dans le circuit. Ainsi, le condensateur absorbe presque entièrement la chute de tension du circuit, et la différence de tension entre les deux extrémités de la résistance est égale à zéro (en ne tenant pas compte des petites imperfections des composants). La fig. 2-80 permet de mieux comprendre ce concept.

Copyright © 2013 Eyrolles.

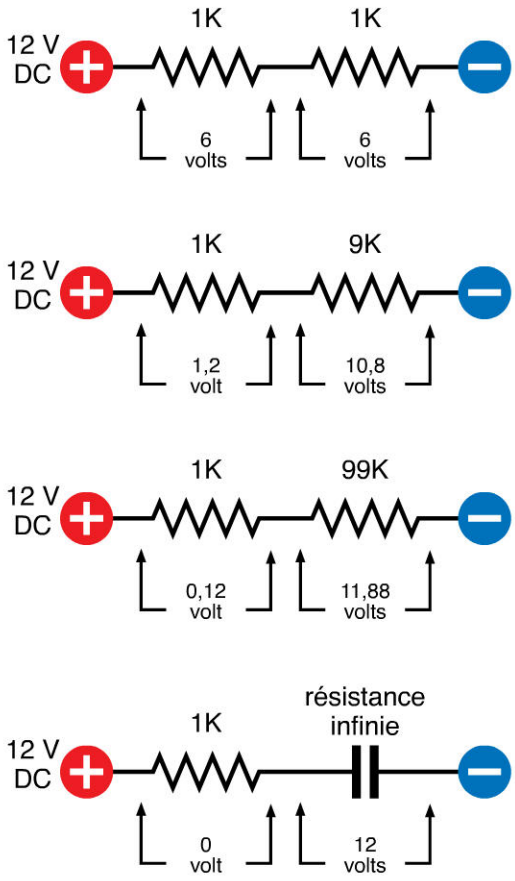


Figure 2-80. *Quand deux résistances sont placées en série, la résistance la plus élevée fait davantage chuter la tension que l'autre. Si la plus élevée devient infinie (comme dans le cas d'un condensateur), l'autre ne contribue plus de manière significative à la chute de tension : la tension est alors pratiquement identique aux deux extrémités.*

Effectuez l'expérience à l'aide de véritables résistances et condensateurs : vous devez tout de même vous heurter à un petit problème. Lorsque vous utilisez le multimètre en mode Volts CC, il détourne une infime quantité de courant pour effectuer la mesure. Cette quantité est si faible qu'elle n'affecte pas de façon significative la valeur affichée lorsque vous contrôlez la tension d'une résistance. La résistance interne du multimètre est plus élevée que la plupart des autres résistances. Cependant, n'oubliez pas que la résistance interne d'un condensateur est presque infinie : dans ce cas, la résistance interne du multimètre devient alors significative. Comme vous n'aurez jamais de multimètre idéal, pas plus que vous n'aurez de condensateur ou de résistance idéaux, le multimètre interférera toujours légèrement avec le circuit et vous n'obtiendrez qu'une indication approximative.

Si vous tentez de mesurer la tension d'un condensateur qui a été chargé mais qui n'est connecté à rien d'autre, la valeur affichée diminue lentement, car le condensateur se décharge de lui-même à travers le multimètre.

Copyright © 2013 Eyrolles.

THÉORIE

La constante de temps

Vous vous demandez peut-être s'il existe un moyen de prévoir exactement le temps de chargement d'un condensateur quand il est couplé à une résistance. Existe-t-il une formule de calcul ?

La réponse est évidemment oui. Attention, la méthode de mesure est quelque peu délicate, car un condensateur ne se charge pas à une vitesse constante. Il emmagasine le premier volt très rapidement, le deuxième un peu moins vite, le troisième encore moins vite, et ainsi de suite. Imaginez que les électrons s'accumulant sur la plaque d'un condensateur sont comme les personnes déambulant dans un théâtre à la recherche d'une place : moins il reste de sièges, plus il faut de temps pour les trouver.

Pour décrire ce phénomène, on utilise le concept de constante de temps. La définition est très simple :

$$\tau = R \times C$$

où τ désigne la constante de temps, en secondes, C le condensateur, en farads, et R la résistance, en ohms.

Retournez à votre circuit et utilisez-le, cette fois, avec une résistance d'1K et un condensateur de 1 000 µF. Convertissez ces valeurs en farads et en ohms avant de les placer dans la formule. Sachant que 1 000 µF valent 0,001 farad et que 1K correspond à 1 000 ohms :

$$\tau = 1\,000 \times 0{,}001$$

Autrement dit, $\tau = 1$; un résultat qui ne devrait pas être trop difficile à mémoriser : **une résistance d'1K montée en série avec un condensateur de 1 000 µF possède une constante de temps égale à 1 s.**

Cela signifie-t-il que le condensateur sera entièrement chargé en 1 s ? Non, cela n'est pas si simple. La constante de temps τ désigne le temps mis par un condensateur pour acquérir 63 % de la tension qui lui est fournie, en supposant qu'il n'est pas chargé au départ (0 volt). Mais d'où viennent ces 63 % ?

La réponse est trop complexe pour cet ouvrage ; je vous conseille donc de consulter d'autres livres pour plus de renseignements. Le cas échéant, sachez que vous devez être prêt à affronter les équations différentielles. Pour l'heure, voici une définition formelle : la constante de temps τ est le temps mis par un condensateur pour acquérir 63 % de la différence entre sa charge courante et la tension qui lui est appliquée. Quand $\tau = 1$, le condensateur acquiert 63 % de sa charge totale en 1 s. Quand $\tau = 2$, le condensateur acquiert 63 % de sa charge totale en 2 s. Et ainsi de suite.

Que se passe-t-il si vous continuez d'appliquer une tension aux bornes du condensateur ? Le phénomène se reproduit. Le condensateur accumule à nouveau 63 % de la différence restante entre sa charge courante et la tension appliquée.

Prenez l'exemple d'un individu qui mange un gâteau. À la première bouchée, il est tellement affamé qu'il en dévore 63 % en 1 s. À la deuxième, il est déjà moins vorace et met 1 s pour manger 63 % de ce qui reste. À la troisième, il a encore moins faim et avale en 1 s 63 % du gâteau restant. Et ainsi de suite. De fait, ce mangeur se comporte comme un condensateur avec l'électricité (fig. 2-81).

Figure 2-81. *Si notre glouton ne mange à chaque fois que 63 % du gâteau qui reste dans l'assiette, il remplit son estomac de la même façon qu'un condensateur se charge. Quel que soit le temps qu'il y passera, son estomac ne sera jamais complètement rempli.*

opyright © 2013 Eyrolles.

THÉORIE

La constante de temps *(suite)*

Il restera toujours quelques miettes à grignoter à notre mangeur, puisqu'il n'avale jamais 100 % de ce qu'il reste. De même, le condensateur ne parvient jamais à une charge totale. Dans un monde idéal où les composants seraient parfaits, le processus se poursuivrait à l'infini.

Dans la réalité, il est établi arbitrairement qu'après 5 × τ, le condensateur est presque entièrement chargé, et que la différence de charge qui subsiste avec la valeur théorique peut être ignorée.

Le tableau ci-dessous illustre (par des nombres arrondis à deux chiffres après la virgule) l'accumulation de la charge d'un condensateur d'un circuit 12 V où la constante de temps est égale à 1 s.

V1 désigne la charge courante du condensateur. Pour trouver la différence qui existe entre la tension appliquée aux bornes du condensateur et la valeur courante, il faut soustraire cette valeur de la tension d'alimentation (12 V) : le résultat obtenu est V2. Prenez 63 % de V2 et ajoutez cette valeur à la charge V1 : le résultat obtenu est V4. Il s'agit de la nouvelle charge du condensateur après 1 s. Copiée à la ligne suivante du tableau, elle devient la nouvelle valeur de V1.

La fig. 2-82 illustre de manière graphique quelques étapes de ce processus. Notez qu'après 5 s, le condensateur a acquis 11,92 V, soit 99 % de la tension d'alimentation. Cette valeur est suffisamment élevée pour répondre de façon satisfaisante aux impératifs réels.

Si vous souhaitez vérifier ces valeurs en mesurant la tension du condensateur tandis qu'il se charge, rappelez-vous que votre multimètre détourne toujours un peu de courant ; il y aura un léger écart qui ira en s'accroissant au fil du temps. Mais en pratique, le système fonctionne assez bien.

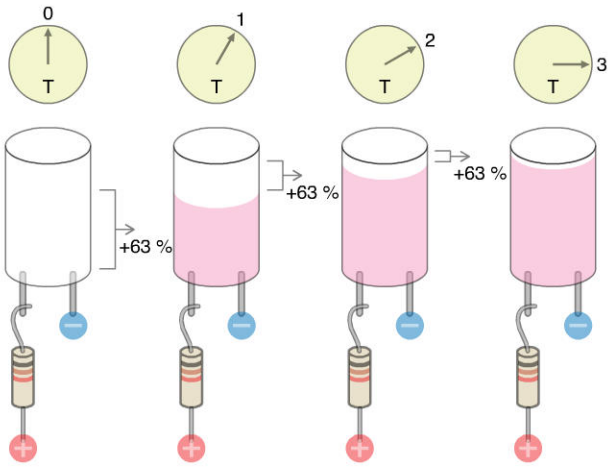


Figure 2-82. *Un condensateur de charge nulle acquiert 63 % de la tension disponible au bout d'1 constante de temps. Après une autre constante de temps, sa charge augmente de nouveau de 63 %, et ainsi de suite.*

Temps en secondes	V1 : charge du condensateur	V2 : 12 – V1	V3 : 63 % de V2	V4 : V1 + V3
0	0,00	12,00	7.56	7,56
1	7,56	4,44	2.80	10,36
2	10,36	1,64	1.03	11,39
3	11,39	0,61	0.38	11,77
4	11,77	0,23	0.15	11,92
5	11,92			

Copyright © 2013 Eyrolles.

Expérience 10 : un interrupteur à transistor

Procurez-vous :

- 1 adaptateur secteur, 1 plaque de montage, 1 fil et 1 multimètre
- 1 LED
- Des résistances diverses
- 1 bouton-poussoir SPST
- 1 transistor 2N2222, ou équivalent
- 1 potentiomètre linéaire d'1 mégaohm

Un transistor peut interrompre le passage du courant électrique, tout comme un relais. Mais il est bien plus sensible et versatile, comme vous le verrez dans cette première expérience élémentaire.

Nous allons commencer avec le transistor 2N2222, le semi-conducteur le plus largement utilisé (créé en 1962 par Motorola, il n'a jamais cessé d'être fabriqué).

La période de brevetabilité du 2N2222 ayant expiré, n'importe quelle société peut fabriquer son propre modèle. Les transistors se présentent sous la forme d'une pièce en plastique noir ou d'un petit cylindre métallique (fig. 2-83). Le transistor se compose d'un morceau de silicium divisé en trois parties : le collecteur, la base et l'émetteur. Le collecteur reçoit le courant, qui sera contrôlé par la base, puis transmis par l'émetteur.

Utilisez votre platine de montage pour assembler le circuit illustré à la fig. 2-85. Veillez à placer correctement le transistor (fig. 2-84). Si vous disposez d'un des transistors en plastique mentionnés dans la liste du matériel, veillez à orienter le côté plat vers la droite ; si vous avez opté pour un transistor en métal, placez l'ergot vers le bas et vers la gauche.

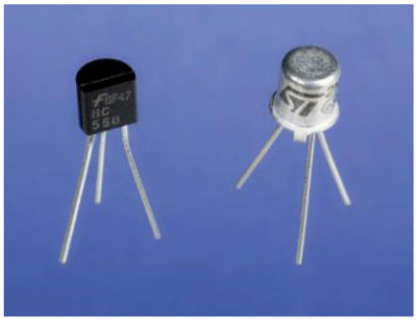


Figure 2-83. *Un transistor se présente sous la forme d'un demi-cylindre en plastique noir ou d'un cylindre en métal. Consultez la fiche technique du fabricant pour repérer les trois broches par rapport à la partie plate d'un transistor en plastique ou à l'ergot d'un transistor métallique.*

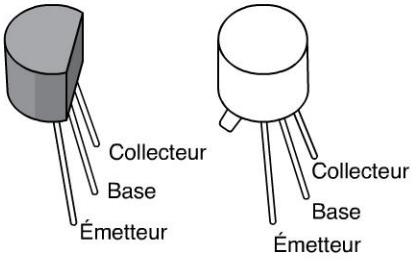


Figure 2-84. *Le transistor 2N2222 peut se présenter sous différentes formes. À gauche : un modèle Fairchild ; à droite : un modèle STMicroelectronics (notez le petit ergot en bas à gauche). Si vous choisissez une autre marque, reportez-vous bien à la fiche technique du fabricant. Insérez le transistor dans la plaque de montage avec le côté plat dirigé vers la droite, ou l'ergot pointé vers le bas et vers la gauche (voir ci-dessus).*

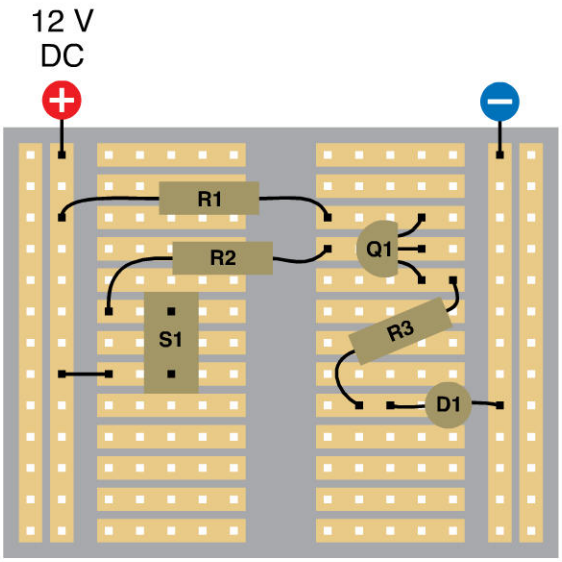


Figure 2-85. *Le transistor bloque le courant qui lui arrive via R1. Quand vous appuyez sur le bouton-poussoir S1, le transistor autorise alors le passage du courant. Notez que les transistors sont toujours identifiés par la lettre Q dans les schémas de câblage.*

S1 : bouton-poussoir à action momentanée, OFF (ON)
R1 : 180 Ω
R2 : 10K
R3 : 680 Ω
Q1 : 2N222 ou équivalent
D1 : LED

Copyright © 2013 Eyrolles.

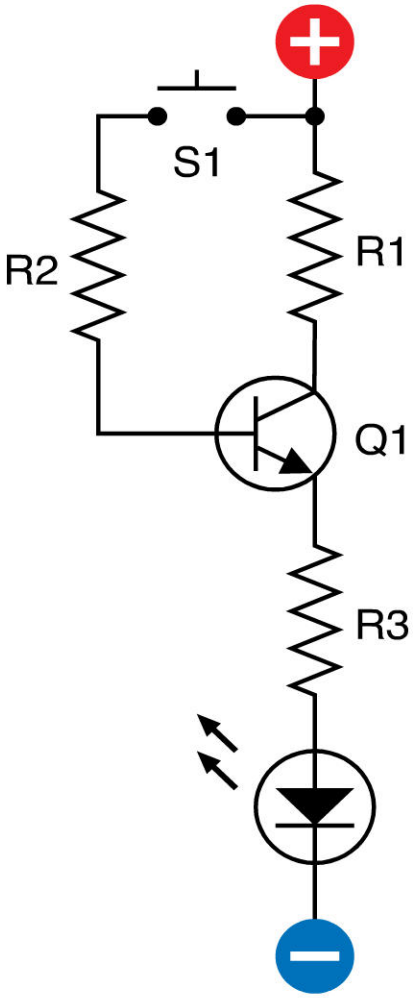


Figure 2-86. *Voici le même circuit que dans le schéma de la plaque de montage de la fig. 2-85.*

Au départ, la LED doit être sombre, car elle est éteinte. Appuyez sur le bouton-poussoir : la LED doit alors émettre une lumière vive. L'électricité emprunte ici deux chemins. Reportez-vous au schéma de la fig. 2-86, qui montre le même circuit, mais de façon plus claire. J'ai placé la borne positive de l'alimentation en haut et la borne négative en bas, comme dans la plupart des schémas, parce que cela permet de clarifier le fonctionnement de ce circuit particulier. Si vous regardez le schéma de côté, la similitude avec le montage sur la plaque est plus aisée à établir.

Via R1, la tension atteint la broche supérieure (le collecteur) du transistor, qui autorise seulement le passage d'un courant extrêmement faible. De ce fait, la LED reste éteinte. Quand vous appuyez sur le bouton-poussoir, la tension s'applique différemment, via R2, jusqu'à la broche médiane (la base) du transistor. Le transistor reçoit l'ordre de fermer son interrupteur à semi-conducteur et autorise le courant à passer dans la troisième broche (l'émetteur), via R3, jusqu'à la LED.

Vous pouvez utiliser le multimètre en mode Volts CC pour vérifier la tension à différents points du circuit. Lorsque vous placez la sonde positive sur les broches supérieure, médiane et inférieure du transistor, évitez que la sonde négative du multimètre ne touche la source de tension négative. Quand vous appuyez sur le bouton, la tension doit changer.

Commutation du bout du doigt

Voici maintenant une expérience encore plus remarquable. Enlevez R2 et le bouton-poussoir, et insérez deux petits morceaux de fil (fig. 2-87). Le fil supérieur est connecté à la source de tension positive et le fil inférieur à la broche médiane du transistor (la base). À présent, touchez les deux fils du bout du doigt. Une fois encore, la diode doit s'allumer, bien que moins vivement que précédemment. Léchez ensuite le bout de votre doigt et réitérez l'expérience : la diode doit émettre une lueur plus brillante.

Ne jamais utiliser les deux mains

Cette démonstration est sans risque si l'électricité passe juste à travers votre doigt. Vous ne la sentirez même pas, car ce n'est qu'une tension 12 V DC d'une source d'alimentation d'1 A au plus. Mais attention, ne mettez jamais vos deux mains en contact avec les fils. En effet, l'électricité passe alors à travers votre corps. Même si les chances sont minimes pour que les conséquences soient graves, faites en sorte que l'électricité ne circule jamais d'une main à l'autre. De même, lorsque vous touchez les fils, ne les laissez pas entrer dans votre peau.

opyright © 2013 Eyrolles.

Le doigt achemine une tension positive jusqu'à la base du transistor. Même si votre peau offre une résistance élevée, le transistor continue de répondre. Il ne se contente pas d'allumer ou d'éteindre la diode : il amplifie le courant appliqué à sa base. C'est là un concept essentiel : un transistor amplifie toute modification du courant appliqué à sa base. Reportez-vous à la fig. 2-88 pour mieux comprendre ce qui se passe.

Si vous avez lu l'encadré « Charges positives et négatives » du chapitre 1 (voir page 35), vous avez appris qu'il n'existe pas de tension positive à proprement parler. En réalité, il y a soit une tension négative, créée par la pression des électrons libres, soit une absence de tension négative, là où se trouvent moins d'électrons libres. Mais la théorie du flux d'électricité allant du côté positif au côté négatif a été si universellement admise jusqu'à la découverte de l'électron que nous pouvons continuer à prétendre que l'électricité va du positif vers le négatif. D'autant que le fonctionnement interne d'un transistor implique des « trous » correspondant à une absence d'électrons et pouvant être considérés comme positifs (voir l'encadré « Tout sur les transistors NPN et PNP » page suivante).

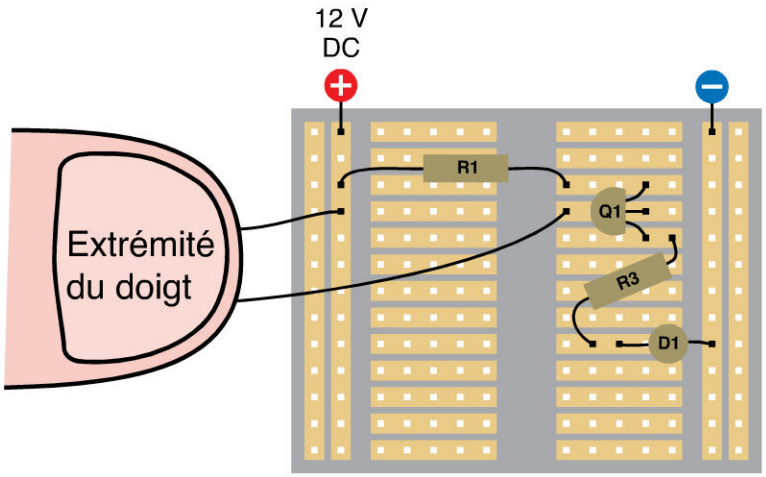


Figure 2-87

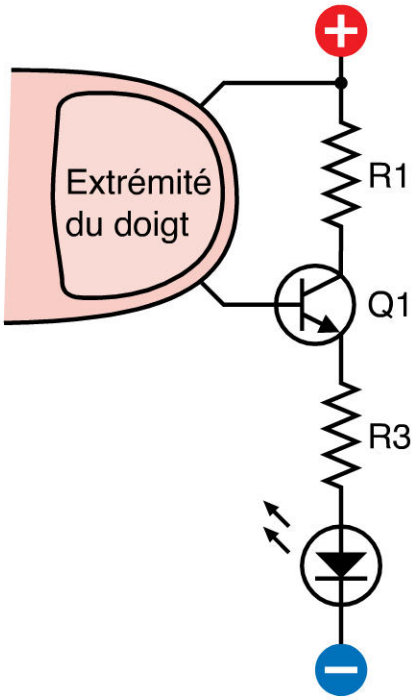


Figure 2-88. *Ces deux schémas utilisent les mêmes composants que précédemment, avec le bout du doigt en guise de résistance R2. Même si un simple filet d'électricité atteint la base du transistor, il suffit à provoquer la réponse du composant.*

opyright © 2013 Eyrolles.

FONDAMENTAUX

Tout sur les transistors NPN et PNP

Un transistor est un semi-conducteur : autrement dit, il peut acheminer ou non l'électricité. Sa résistance interne varie selon la puissance appliquée à sa base.

Les transistors NPN et PNP sont des semi-conducteurs bipolaires. Contenant deux types de silicium légèrement différents, ils acheminent l'électricité à l'aide des polarités des transporteurs de charges, les trous et les électrons.

Le type NPN s'apparente à un sandwich avec du silicium de type P au milieu, et le type PNP à un sandwich avec du silicium de type N au milieu. Pour plus d'informations sur la terminologie et le comportement des électrons lorsqu'ils franchissent une jonction NP ou une jonction PN, consultez un ouvrage dédié. Pour l'essentiel, retenez les points suivants :

- tous les transistors bipolaires ont trois connexions : le collecteur, la base et l'émetteur, abrégés en C, B et E sur les fiches techniques des fabricants ;
- les transistors sont activés par une tension positive sur la base par rapport à l'émetteur ;
- les transistors sont activés par une tension négative sur la base par rapport à l'émetteur.

Dans leur état passif, les deux types de transistors bloquent le flux d'électricité entre le collecteur et l'émetteur, tout comme un relais SPST dans lequel les contacts sont normalement ouverts (en réalité, un transistor autorise une infime partie du courant à circuler, courant considéré comme une perte).

Vous pouvez vous représenter un transistor bipolaire comme s'il possédait à l'intérieur un petit bouton (fig. 2-89 et 2-90). Lorsqu'on appuie dessus, un courant important circule. Pour commander le bouton, vous devez injecter un courant beaucoup plus réduit dans la base en appliquant à celle-ci une petite tension. Dans un transistor NPN, la tension de commande est positive, et dans un transistor PNP, elle est négative.

Transistors NPN

- Pour autoriser le passage du courant du collecteur à l'émetteur, il faut appliquer une tension relativement positive à la base.
- Sur le symbole du schéma, la flèche pointe de la base vers l'émetteur et montre la direction du courant positif.
- La tension appliquée à la base doit être supérieure d'au moins 0,6 V à celle appliquée à l'émetteur.
- Le collecteur doit être plus positif que l'émetteur.

Transistors PNP

- Pour autoriser le passage du courant de l'émetteur au collecteur, il faut appliquer une tension relativement négative à la base.
- Sur le symbole du schéma, la flèche pointe de l'émetteur vers la base et montre la direction du courant positif.
- La tension appliquée à la base doit être inférieure d'au moins 0,6 V à celle appliquée à l'émetteur.
- L'émetteur doit être plus positif que le collecteur.

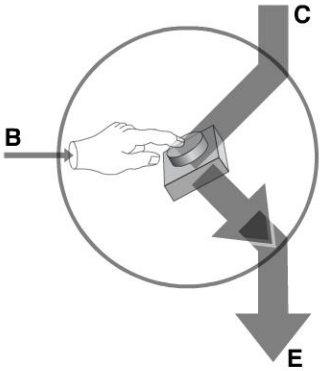


Figure 2-89. *Représentez-vous un transistor bipolaire comme s'il contenait un bouton connectant le collecteur et l'émetteur. Dans un transistor NPN, un léger potentiel positif déclenche la pression du bouton.*

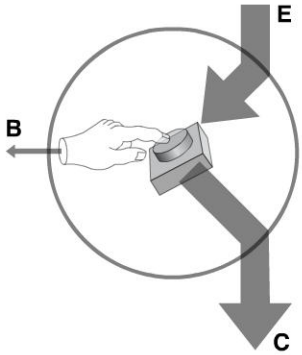


Figure 2-90. *Dans un transistor PNP, un léger potentiel négatif produit le même effet. La flèche indique la direction du courant positif.*

Copyright © 2013 Eyrolles.

FONDAMENTAUX

Tout sur les transistors NPN et PNP *(suite)*

Principes applicables à tous les transistors

- N'appliquez jamais directement une source d'alimentation sur un transistor, car un courant trop élevé risquerait de le brûler.
- Protégez un transistor avec une résistance, de la même façon que vous protégeriez une LED.
- Évitez d'inverser la connexion d'un transistor entre la tension positive et la tension négative.
- Selon les circuits, un transistor NPN peut être plus pratique qu'un transistor PNP, et inversement. Les deux fonctionnent comme des interrupteurs et des amplificateurs, la seule différence étant que vous appliquez une tension relativement positive à la base d'un transistor NPN, et une tension relativement négative à la base d'un transistor PNP.
- Les transistors PNP sont assez rarement utilisés, principalement parce qu'ils étaient plus difficiles à fabriquer aux premiers temps des semi-conducteurs : l'habitude a été prise de concevoir des circuits avec des transistors NPN.
- Souvenez-vous que les transistors bipolaires amplifient le courant et non la tension. Une légère fluctuation du courant dans la base entraîne une modification importante de courant entre l'émetteur et le collecteur.
- Selon les schémas, les transistors sont représentés ou non entourés d'un cercle. Dans ce livre, j'utilise le cercle pour attirer l'attention sur ce type de composant (fig. 2-91 et 2-92).
- Sur un schéma, l'émetteur peut se trouver en haut et le collecteur en bas, ou inversement. La base peut aussi être placée à gauche ou à droite, selon ce qu'a choisi l'auteur du schéma. Attention, si vous ne connectez pas correctement un transistor, vous risquez de l'endommager. Il est donc primordial de bien vérifier la direction de la flèche du transistor et de s'assurer qu'il s'agit d'un transistor NPN ou PNP.
- Les transistors peuvent avoir différentes tailles et configurations. La plupart du temps, il est impossible de savoir quelles broches sont connectées à l'émetteur, au collecteur ou à la base, et certains transistors ne comportent aucune inscription. Avant de jeter l'emballage du transistor, pensez à vérifier que le repérage des broches n'y figure pas.
- Si vous ne souvenez plus du brochage d'un transistor particulier, sachez que certains multimètres disposent d'une fonction qui identifie automatiquement l'émetteur, le collecteur et la base. Pour plus d'informations, reportez-vous au manuel du multimètre.

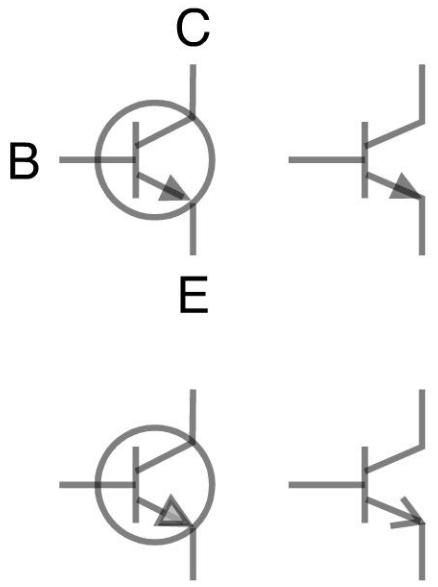


Figure 2-91. *Le symbole d'un transistor NPN comporte toujours une flèche pointant de sa base vers l'émetteur. Le transistor peut être entouré ou non d'un cercle. Même si le style de la flèche varie, sa signification demeure la même. Dans le livre, j'ai opté pour la version en haut à gauche.*

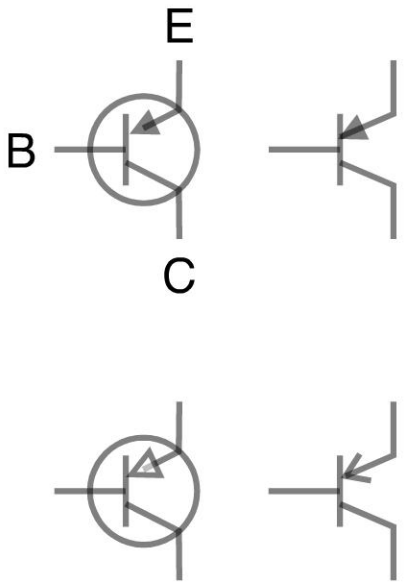


Figure 2-92. *Le symbole d'un transistor PNP comporte toujours une flèche pointant de son émetteur vers sa base. Le transistor peut être entouré ou non d'un cercle. Même si le style de la flèche varie, sa signification demeure la même. Dans ce livre, j'ai opté pour la version en haut à gauche.*

Copyright © 2013 Eyrolles.

HISTOIRE

Les origines du transistor

Même si certains historiens font remonter les origines du transistor à l'invention des diodes (qui permettent au courant électrique de circuler dans une direction tout en empêchant l'inversion du flux), nul doute que l'un des premiers transistors a été développé par les laboratoires Bell, en 1948, par John Bardeen, William Shockley et Walter Brattain (fig. 2-93).

Shockley est le leader de l'équipe – il comprend intuitivement tout le potentiel du commutateur à semi-conducteur – Bardeen, le théoricien et Brattain, le praticien. La collaboration a été extrêmement productive, jusqu'à sa réussite. Mais, Shockley œuvre pour que le transistor soit breveté sous son seul nom, ce qui déçoit ses collaborateurs.

Malheureusement, une photographie largement diffusée n'a pas contribué à apaiser les tensions, car elle montrait Shockley au centre, assis devant un microscope, comme s'il avait effectué tout le travail pratique, tandis que ses deux collègues se tenaient debout, derrière lui, comme si leur rôle avait été secondaire. De fait, Shockley, en tant que superviseur, était rarement présent au laboratoire.

La collaboration entre les trois scientifiques s'arrête rapidement. Brattain demande à être transféré vers un autre laboratoire d'AT&T. Bardeen poursuit ses recherches en physique théorique à l'université de l'Illinois. Shockley finit par quitter les laboratoires Bell pour fonder Shockley Semiconductor dans la future Silicon Valley. Mais ses ambitions dépassent les capacités technologiques de l'époque, et son entreprise ne fabrique aucun produit rentable.

Huit collaborateurs de Shockley ont fini par le quitter et par créer leur propre entreprise, Fairchild Semiconductor, qui a connu un immense succès en tant que fabricant de transistors et, par la suite, de puces de circuits intégrés.

Figure 2-93. *Ces photographies, fournies par la fondation Nobel, montrent John Bardeen, William Shockley et Walter Brattain (de gauche à droite). En 1956, ils reçoivent le prix Nobel pour leur collaboration au développement du premier transistor en 1948.*

Copyright © 2013 Eyrolles.

COMPLÉMENTS

Transistors et relais

Il faut noter que les transistors NPN et PNP sont naturellement dans l'état OFF (arrêt), jusqu'à ce que vous les passiez dans l'état ON (marche). Ils se comportent donc comme un bouton-poussoir ouvert, qui conduit l'électricité seulement quand on le maintient enfoncé, et non comme un interrupteur normal qui demeure dans l'état ON jusqu'à ce qu'un signal lui soit appliqué pour le basculer dans l'état OFF.

Un relais offre plus d'options de commutation. Il peut être soit normalement ouvert, soit normalement fermé, ou contenir un interrupteur bidirectionnel, qui offre le choix de deux états ON. Il peut aussi comporter un interrupteur bipolaire, qui établit (ou interrompt) deux connexions entièrement distinctes quand vous l'alimentez. Les dispositifs à un seul transistor ne peuvent pas offrir de fonctionnalités bidirectionnelles ou bipolaires, même s'il est possible de concevoir des circuits plus complexes qui reproduisent ces comportements.

Voici les caractéristiques des transistors et des relais. Vous choisirez l'un ou l'autre selon les applications que vous souhaitez en faire.

	Transistor	Relais
Fiabilité à long terme	Excellente	Limitée
Configurable pour la commutation DP et DT	Non	Oui
Possibilité de commuter des courants élevés	Limitée	Bonne
Possibilité de commuter le courant alternatif (AC)	Généralement non	Oui
Peut être déclenché par le courant alternatif	Généralement non	Facultatif
Adaptation à la miniaturisation	Excellente	Très limitée
Sensibilité à la chaleur	Haute	Modérée
Possibilité de commuter à haute vitesse	Excellente	Limitée
Prix avantageux pour basse tension et basse intensité	Oui	Non
Prix avantageux pour haute tension et haute intensité	Non	Oui
Fuite de courant en position OFF	Oui	Non

opyright © 2013 Eyrolles.

THÉORIE

Voir le courant

Pour mieux comprendre le fonctionnement d'un transistor, vous allez réaliser le test suivant qui montre le comportement précis et les limites du transistor 2N2222 utilisé lors de l'expérience précédente.

Souvenez-vous que, dans un transistor NPN, le potentiel du collecteur doit toujours être plus positif que l'émetteur et que celui de la base doit être compris entre ces deux valeurs. Regardez la fig. 2-94 pour comprendre cette notion plutôt vague. Vous allez maintenant illustrer ce principe avec des chiffres réels.

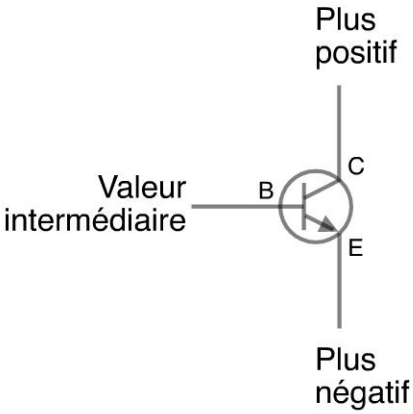


Figure 2-94. *Le bon fonctionnement d'un transistor NPN nécessite de conserver ces relations entre les tensions.*

Observez les valeurs des composants du schéma 2-95. La résistance totale (R1 + R2) au-dessus du transistor est la même que celle située en dessous (R3 + R4). Par conséquent, le potentiel de la base du transistor doit avoir une valeur médiane, jusqu'à ce que vous augmentiez ou diminuez la tension de la base grâce au potentiomètre P1.

Les deux résistances R1 et R3 de 180 Ω protègent le transistor contre tout passage de courant excessif. Les deux résistances R2 et R4 de 10K protègent la base quand le potentiomètre est tourné au maximum, dans un sens ou dans l'autre.

Pour comprendre le comportement du transistor, mesurez l'intensité du courant de base au point A1 et l'intensité totale circulant à travers l'émetteur au point A2. Pour ce faire, munissez-vous de deux multimètres. Sinon, reportez-vous aux fig. 2-96 et 2-97 pour savoir comment permuter un multimètre entre les deux emplacements.

Pour mesurer des milliampères, le courant doit passer dans le multimètre. Il faut donc l'insérer en série dans le circuit. À chaque fois que vous retirez le multimètre, vous devez rétablir la connexion à l'emplacement où il se trouvait. Le schéma de la plaque de montage montre comment procéder. Heureusement, il est très facile d'enlever et de remettre des fils dans la platine. Vous devrez peut-être établir les connexions des fils au potentiomètre à l'aide de pinces crocodile.

Commencez par tourner le potentiomètre à moitié environ de sa plage de valeurs. Mesurez le courant en A1 et en A2. Tournez-le ensuite légèrement vers le haut, et mesurez à nouveau le courant. Le tableau ci-après recense quelques valeurs obtenues à l'aide de deux multimètres numériques.

Courant (mA) circulant en A1	Courant (mA) circulant en A2
0,01	1,9
0,02	4,9
0,03	7,1
0,04	9,9
0,05	12,9
0,06	15,5
0,07	17,9
0,08	19,8
0,09	22,1
0,10	24,9
0,11	26,0
0,12	28,3

Il existe manifestement une relation entre A1 et A2. Le courant qui sort de l'émetteur du transistor en A2 est à peu près 240 fois supérieur à celui passant en A1. Le rapport entre le courant de l'émetteur d'un transistor NPN et celui de la base est appelé valeur bêta d'un transistor. Cette valeur exprime la puissance d'amplification du transistor.

Ce rapport demeure constant dans des limites raisonnables. Au-dessus de 0,12 mA, ce transistor particulier devient « saturé », ce qui signifie que sa résistance interne ne peut plus baisser.

Copyright © 2013 Eyrolles.

THÉORIE

Voir le courant *(suite)*

Dans mon expérience, le courant maximal en A2 est de 33 mA. Un simple calcul à l'aide de la loi d'Ohm montre que cela signifie que la résistance interne du transistor est proche de zéro. C'est la raison pour laquelle il est nécessaire de protéger un transistor en plaçant une autre résistance dans le circuit. Si vous ne le faites pas, sa faible résistance interne va alors autoriser le passage d'un courant élevé qui le brûlerait sur-le-champ.

Qu'en est-il de l'autre extrémité de la plage ? Quand il ne passe que 1,9 mA, le transistor possède une résistance interne de 6 000 Ω environ. On peut donc conclure que selon la quantité de courant appliquée au transistor, sa résistance interne varie entre 0 et 6 000 Ω environ.

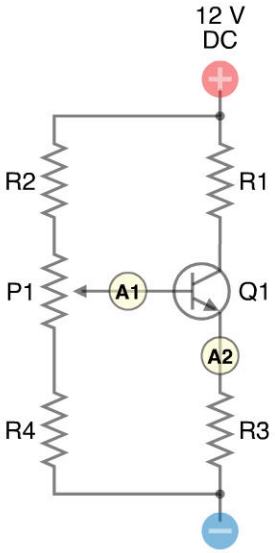


Figure 2-95. *Circuit similaire au précédent avec ajout d'un potentiomètre et retrait de la LED.*

R1 : 180 Ω
R2 : 10K
R3 : 180 Ω
R4 : 10K
P1 : potentiomètre linéaire d'1 M
Q1 : transistor 2N2222

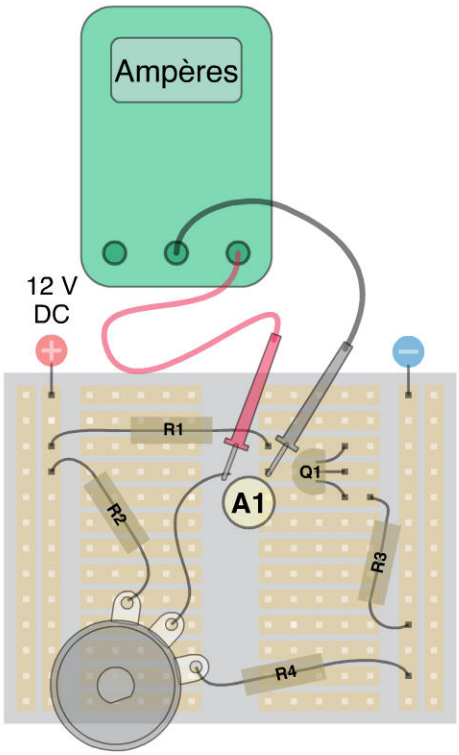


Figure 2-96. *Le multimètre mesure le courant circulant entre le potentiomètre et la base du transistor en A1 (fig. 2-95).*

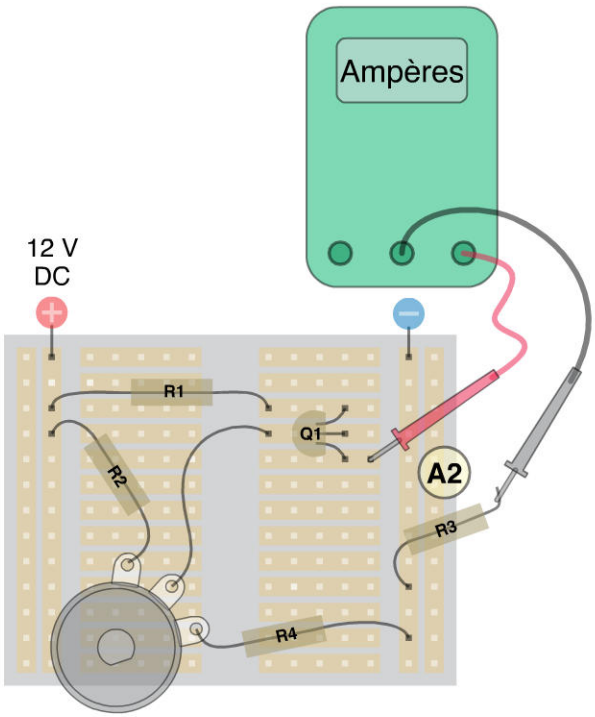


Figure 2-97. *Une des extrémités de la résistance R3 a été débranchée de la plaque de montage de telle sorte que le multimètre puisse mesurer le courant entre l'émetteur du transistor et R3, en A2.*

opyright © 2013 Eyrolles.

Expérience 11 : un projet modulaire

Procurez-vous :

- 1 adaptateur secteur, 1 plaque de montage, 1 fil et 1 multimètre
- 1 LED
- Des résistances diverses
- Des condensateurs divers
- 2 transistors 2N2222, ou équivalent
- 2 transistors unijonctions programmables 2N6027
- 1 haut-parleur miniature 8 Ω

Jusque-là, vous avez monté de petits circuits réalisant des actions très simples. Il est temps maintenant d'assembler des modules pour créer un dispositif plus complexe.

À l'issue de cette expérience, vous obtiendrez un circuit qui émet le bruit d'une sirène, que vous pourrez utiliser comme une alarme anti-intrusion. Même si vous n'avez pas l'utilité d'un tel dispositif, dites-vous que les quatre étapes de sa fabrication vous apprendront à établir une communication entre différents groupes de composants.

Je vais commencer par vous montrer comment utiliser un transistor pour créer la version à semi-conducteur de l'oscillateur, que vous avez réalisé avec un relais lors de l'expérience 8. Souvenez-vous, le relais était câblé de telle sorte que la bobine était alimentée via les contacts du relais eux-mêmes. Dès que cette bobine était mise sous tension, elle ouvrait les contacts, coupant ainsi sa propre alimentation. Et aussitôt que les contacts se relâchaient, ils rétablissaient l'alimentation, ce processus se répétant indéfiniment.

Normalement, cette opération ne peut être réalisée qu'avec deux transistors bipolaires, que vous activerez et désactiverez alternativement. Mais cette manière de procéder est relativement difficile à comprendre. Le plus simple consiste alors à utiliser un transistor unijonction programmable (*Programmable Unijonction Transistor* ou PUT).

Les transistors unijonctions ont été développés dans les années 1950. On ne les a plus utilisés dès lors que les puces de silicium ont été capables d'exécuter les mêmes fonctions, et ce, de manière plus précise et économique. Toutefois, le transistor unijonction programmable est encore très utilisé, notamment dans les variateurs de lumière ou pour la commande de moteurs. Comme sa fonction première est de générer un flux de pulsations, il convient parfaitement ici.

Associez les composants comme sur la fig. 2-98 : la LED doit commencer à clignoter dès l'alimentation du circuit.

Notez que ce circuit fonctionne en 6 V, mais vous pouvez tout aussi bien l'utiliser sur du 12 V, et ce, sans provoquer de dégâts. Toutefois, au fur et à mesure que vous lui ajouterez des composants, vous remarquerez qu'il marche mieux sur du 6 V (voir l'encadré « Transistors unijonctions programmables » page ci-contre).

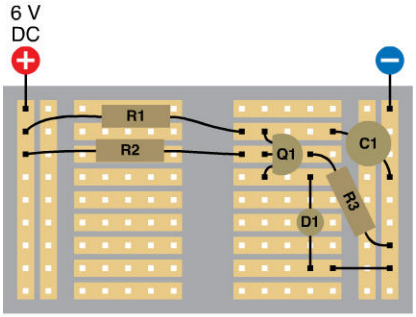


Figure 2-98. *Assemblez les composants et mettez-les sous tension : la LED doit commencer à clignoter.*

R1 : 470K
R2 : 15K
R3 : 27K
C1 : condensateur électrolytique de 2,2 µF
D1 : LED
Q1 : transistor unijonction programmable 2N6027

Copyright © 2013 Eyrolles.

COMPLÉMENTS

Transistors unijonctions programmables

La représentation schématique d'un transistor unijonction programmable semble très différente de celle d'un transistor bipolaire ; ses éléments portent aussi des noms différents. Néanmoins, il possède une fonction similaire à celle d'un interrupteur à semi-conducteur. Les symboles et les noms des trois connexions de ce composant sont illustrés sur la fig. 2-99.

Le transistor unijonction programmable se schématise toujours de la même manière (fig. 2-99). C'est peut-être le seul composant en électronique qui n'a pas plusieurs représentations. Personnellement, je trouve qu'il serait plus clair de l'entourer d'un cercle...

Le transistor 2N6027 est sans doute le transistor unijonction programmable le plus courant et semble normalisé quant à sa présentation et ses broches. La fig. 2-100 illustre les fonctions d'un 2N6027 fabriqué par Motorola ou On Semiconductor. Si votre transistor provient d'un autre constructeur, consultez sa fiche technique.

Remarquez que le côté plat du boîtier en plastique se trouve à l'opposé, à l'inverse du transistor bipolaire 2N222, alors que les deux composants fonctionnent de manière similaire.

Le PUT bloque le courant jusqu'à ce que sa résistance interne chute et en permette la circulation de l'anode vers la cathode. Il semble donc très similaire à un transistor NPN, mais il y a cependant une grande différence : quand la tension dépasse un certain seuil (déterminé par la tension de la gâchette), le transistor autorise le courant à circuler.

Imaginez que vous commenciez par appliquer 1 V à l'anode et que vous augmentiez lentement la tension. Le transistor bloque le passage du courant jusqu'à ce que la tension sur l'anode soit proche de 6 V. Brusquement, cette tension rompt la résistance et le courant déferle de l'anode vers la cathode. Si la tension redescend à nouveau, le transistor retourne à son état d'origine et bloque le flux.

J'ai adapté l'illustration représentant un transistor bipolaire (fig. 2-89) pour expliciter le fonctionnement d'un transistor unijonction programmable. Ici, la tension de l'anode est responsable de la pression sur le bouton qui ouvre le passage du courant vers la cathode (fig. 2-101).

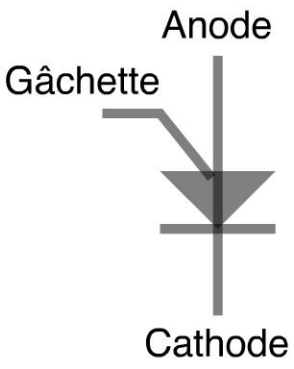


Figure 2-99. *Représentation schématique d'un transistor unijonction programmable.*

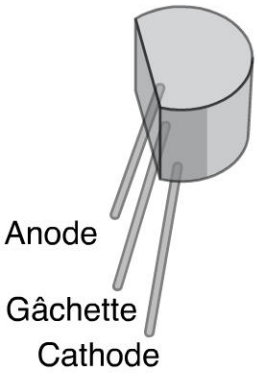


Figure 2-100. *Brochages des transistors unijonctions programmables conçus par On Semiconductor et Motorola.*

Copyright © 2013 Eyrolles.

COMPLÉMENTS

Transistors unijonctions programmables *(suite)*

Sans doute vous interrogez-vous sur le fonctionnement de la gâchette. Vous pouvez la considérer comme une aide à l'appui sur le bouton. En réalité, la gâchette est la partie « programmable » du transistor. En choisissant la tension qui lui est appliquée, vous définissez le seuil à partir duquel le courant commence à circuler.

Voici un récapitulatif de ce qu'il faut retenir.

- La tension de l'anode doit toujours être plus positive que celle de la cathode, et la tension appliquée sur la gâchette doit se situer à mi-chemin entre ces deux valeurs.
- Si la tension de l'anode s'accroît au-delà du seuil, le courant passe brusquement de l'anode à la cathode.
- Si la tension de l'anode chute en dessous du seuil, le transistor interrompt le flux de courant.
- La tension appliquée sur la gâchette détermine le seuil.
- La tension sur la gâchette se règle avec les deux résistances, R1 et R2 (fig. 2-102). Chaque résistance se situe généralement autour de 20K. Le transistor unijonction programmable est protégé d'une tension positive intégrale par R3, qui peut avoir une valeur élevée, 100K ou plus, car il faut très peu de courant pour influer sur le transistor.
- Vous ajoutez votre signal d'entrée sous la forme d'une tension positive à l'anode. Quand elle dépasse le seuil, le courant sort de la cathode et peut faire fonctionner toutes sortes de composants en sortie.

La seule question qu'il nous reste à traiter est de savoir comment faire osciller un transistor unijonction programmable, afin de créer un flux de pulsations ON/OFF (marche/arrêt). La réponse réside dans le condensateur que vous avez inséré dans la plaque de montage au début de l'expérience 11.

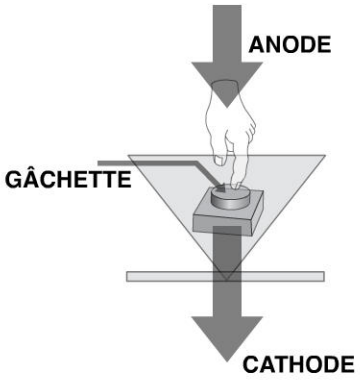


Figure 2-101. *Quand la tension à l'anode d'un transistor unijonction programmable franchit un seuil (déterminé par la tension appliquée sur la gâchette), le courant passe brusquement de l'anode à la cathode. La tension de l'anode agit donc comme si elle pressait un bouton pour ouvrir une connexion à l'intérieur du transistor unijonction programmable, avec l'assistance de la tension appliquée à la gâchette.*

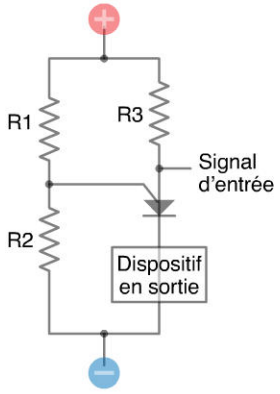


Figure 2-102. *Ce schéma montre l'utilisation d'un transistor unijonction programmable. R1 et R2 déterminent la tension appliquée à la gâchette, qui définit le seuil de la tension d'entrée à l'anode. Au-dessus de ce seuil, le courant circule de l'anode à la cathode.*

Copyright © 2013 Eyrolles.

Étape 1 : oscillation à basse vitesse

La fig. 2-103 est une représentation schématique du précédent circuit à transistor unijonction programmable (fig. 2-98), la plus proche possible du montage sur plaque.

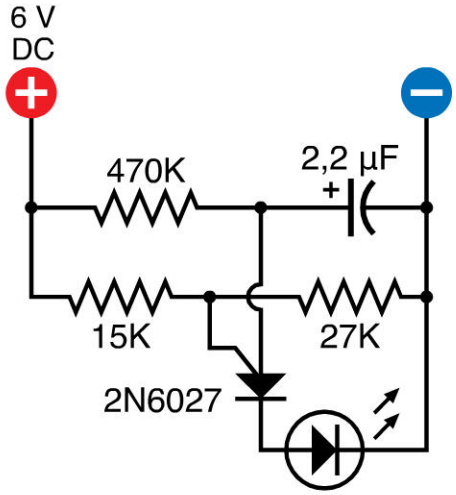


Figure 2-103. *Ce schéma permet de comprendre plus facilement ce qui se passe dans le circuit câblé sur la plaque de montage.*

Les résistances de 15K et 27K établissent la tension de la gâchette. La résistance de 470K alimente l'anode du transistor unijonction programmable, mais celui-ci se trouve dans l'état OFF et bloque le passage du courant. Ainsi, le condensateur de 2,2 µF commence à se charger.

Vous vous souvenez peut-être qu'une résistance ralentit le rythme auquel un condensateur accumule la tension. Plus la résistance et/ou le condensateur sont élevés, plus ce dernier met de temps à se charger intégralement. Dans ce circuit, le condensateur accumule une tension proche de 6 V en environ 5 s.

Notez que le transistor unijonction programmable est directement connecté au condensateur. Par conséquent, la tension accumulée sur ce dernier est également appliquée au PUT. Au fur et à mesure que cette tension croît, elle finit par atteindre le seuil, et le transistor unijonction programmable bascule dans l'état ON (marche). Le condensateur se décharge lui-même via le PUT, par l'intermédiaire de la LED, et jusqu'à la branche négative de l'alimentation.

Le condensateur s'épuise. Sa tension chute à nouveau et le transistor unijonction programmable retourne à son état d'origine. Le condensateur doit alors se recharger intégralement, et le processus entier se répète.

Si vous remplacez le condensateur par un autre de 22 µF, le cycle de charge/décharge doit durer environ 10 fois plus longtemps, ce qui vous laisse le temps de le mesurer. Placez le sélecteur du multimètre sur la position Volts CC et les sondes de chaque côté du condensateur. Vous pouvez alors observer l'accroissement de la charge jusqu'à ce qu'elle parvienne au seuil, à partir duquel le condensateur se décharge et la tension baisse à nouveau.

Nous avons ainsi obtenu un oscillateur. Et ensuite ?

THÉORIE

Durée de chargement du condensateur

Le temps nécessaire à un condensateur pour atteindre sa charge maximale est égal à 5 R × C, où R désigne la résistance (en ohms) et C la capacité (en farads) du condensateur. Dans le cas présent, on obtient 5 × 470 000 × 0,000022 = 5,17 s.

Copyright © 2013 Eyrolles.

Étape 2 : au-delà de la persistance de la vision

Si vous remplacez le condensateur par un autre plus petit, il se chargera beaucoup plus rapidement et la LED clignotera plus vite. Supposons que vous utilisez un condensateur de 0,0047 µF (autrement dit, 4,7 nanofarads ou 4,7 nF). Même si cette valeur peut vous paraître étrange, il s'agit d'une valeur standard pour un condensateur. La capacié s'en trouve réduite d'environ 500 fois et, par conséquent, la LED doit clignoter près de 500 fois plus vite, soit au rythme de 1 000 fois par seconde environ. L'œil humain ne peut pas détecter des pulsations aussi rapides, mais l'oreille humaine peut entendre des fréquences de l'ordre de 10 000 pulsations par seconde et au-delà. Si vous remplacez la LED par un haut-parleur miniature, vous devriez entendre ces oscillations.

La fig. 2-104 illustre la façon dont j'aimerais que cela se produise. Ne touchez pas au circuit d'origine, à clignotements lents, et dupliquez-le sur l'autre moitié de la plaque d'essai, en modifiant les valeurs de quelques composants, comme indiqué. Sur le schéma de la fig. 2-105, la nouvelle partie du circuit est en noir, et celle d'origine, en gris.

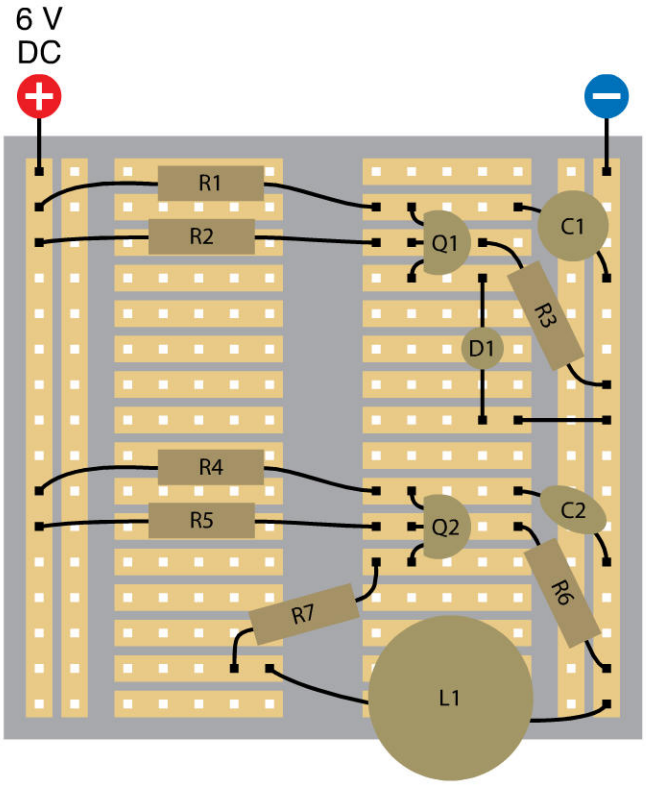


Figure 2-104. *Les composants supplémentaires ajoutés sur la moitié inférieure de la plaque de montage ont les mêmes fonctions que ceux de la moitié supérieure, mais certaines valeurs varient légèrement.*

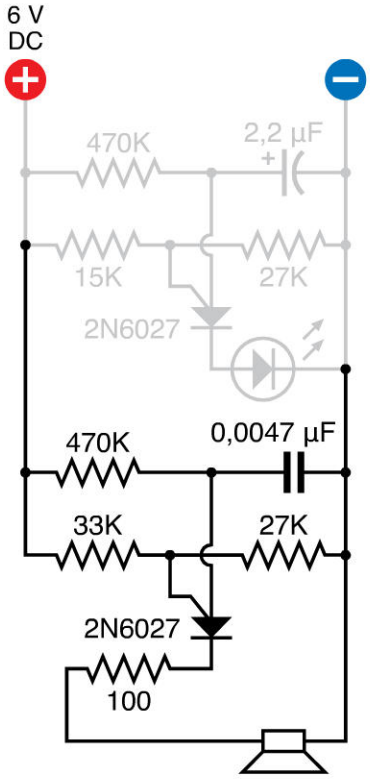


Figure 2-105. *La partie déjà montée est en gris. Ajoutez simplement la nouvelle partie en noir.*

R4 : 470K
R5 : 33K
R6 : 27K
R7 : 100 Ω
C2 : 0,0047 µF
Q2 : 2N6027
L1 : haut-parleur 8 Ω de 3 cm

Copyright © 2013 Eyrolles.

Mettez de côté le circuit à clignotements lents sans y toucher ; vous pouvez laisser clignoter la diode. Vous l'utiliserez à nouveau un peu plus tard.

Le haut-parleur doit être câblé en série avec une résistance de 100 Ω pour limiter le courant qui sort du PUT (*Programmable Unijunction Transistor* ou transistor unijonction programmable). Il n'est pas polarisé, même s'il est pourvu d'un fil rouge et d'un fil noir, et il se connecte dans un sens ou dans l'autre.

Au début, vous risquez d'être déçu, car le circuit ne semble pas faire quoi que ce soit. Approchez votre oreille très près du haut-parleur : si vous avez câblé le circuit correctement, vous devriez entendre un léger bourdonnement, tel celui d'un insecte. Le bruit n'est pas assez puissant pour avoir une quelconque utilité pratique. Il faut donc l'amplifier.

Le transistor 2N2222 (voir précédemment) peut être utilisé comme amplificateur.

Étape 3 : amplification

Déconnectez le haut-parleur et sa résistance de 100 Ω en série. Puis ajoutez le transistor 2N2222, relié à la sortie du PUT via une résistance d'1K pour le protéger d'un courant excessif (fig. 2-107).

L'émetteur du 2N2222 est relié à la terre, et le collecteur est alimenté via le haut-parleur et sa résistance de 100 Ω en série. Ainsi, les légères fluctuations de la sortie du PUT sont détectées par la base du 2N2222 qui les convertit en fluctuations plus importantes entre le collecteur et l'émetteur (fig. 2-108).

À présent, le son est plus fort que le bourdonnement d'un insecte, mais il n'est toujours pas assez puissant. Que faire ?

Que se passerait-il si vous ajoutiez un autre transistor 2N2222 ? Les transistors bipolaires peuvent être placés en série, de telle sorte que la sortie du premier parvienne à la base du second. À l'amplification d'un facteur 240 produite par le premier transistor s'ajoute une nouvelle amplification d'un facteur 240 par le second, ce qui conduit à une amplification totale d'un facteur supérieur à 50 000.

Cette technique présente des limites. Le transistor 2N2222 ne peut acheminer autant de courant sans risque réel de surcharge, et une amplification excessive peut entraîner une distorsion. Cependant, quand j'ai conçu le circuit, j'ai utilisé un multimètre pour vérifier qu'on restait bien dans les limites, établies par le constructeur, d'un 2N2222 ; de plus, pour ce projet, peu importe que le son soit légèrement déformé.

PRATIQUE

Montage d'un haut-parleur

Le diaphragme ou le cône d'un haut-parleur est conçu pour émettre le son, mais comme il oscille de long en large, le son est émis aussi bien par l'avant que par l'arrière. Comme ces signaux sonores sont en opposition de phase, ceux-ci tendent à s'annuler l'un l'autre.

Le son perçu d'un haut-parleur peut s'accroître de façon spectaculaire si vous lui ajoutez un cornet sous la forme d'un tube destiné à séparer les sons produits par l'avant et l'arrière du haut-parleur. À un haut-parleur miniature de 3 cm, vous pouvez adjoindre une fiche cartonnée roulée (fig. 2-106).

Mieux encore, placez le haut-parleur dans une boîte afin que celle-ci absorbe le son qui provient de l'arrière du haut-parleur. Dans cette expérience simple, nous n'aborderons pas les détails de conception d'enceintes comme les enceintes bass-reflex.

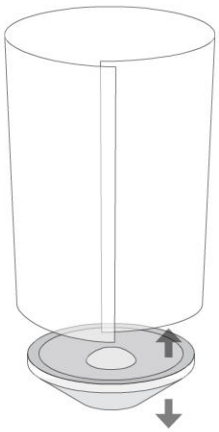


Figure 2-106. *Un haut-parleur émet un son aussi bien depuis sa face supérieure que sa face inférieure. Pour augmenter le volume audio perçu, utilisez un tube en carton pour séparer les deux sources sonores ou placez le haut-parleur dans une petite boîte.*

opyright © 2013 Eyrolles.

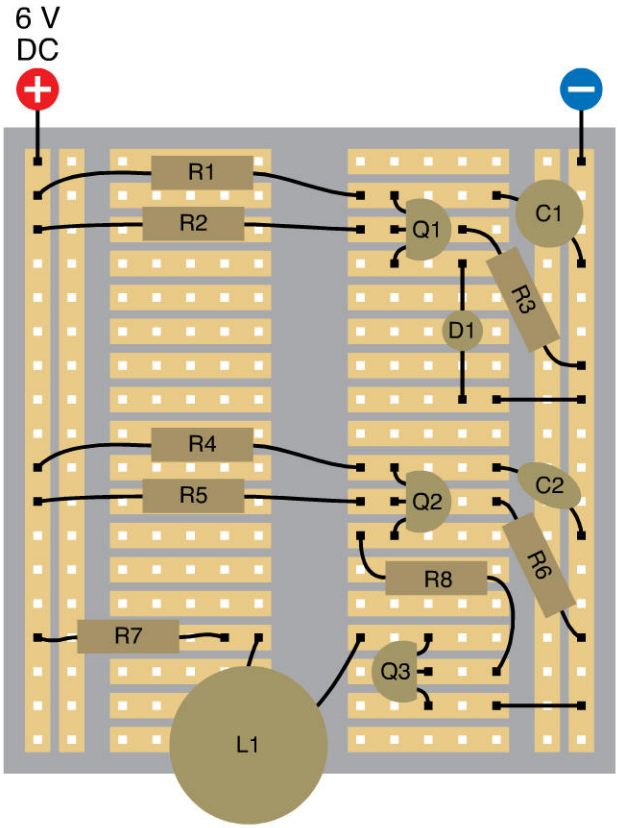


Figure 2-107. *En ajoutant un transistor 2N2222, vous amplifiez le signal qui sort de Q2.*

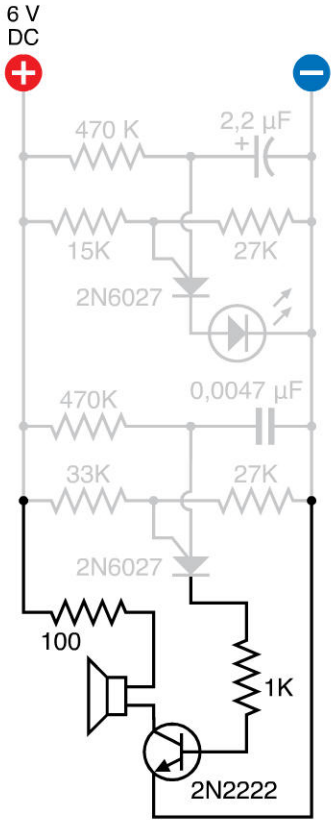


Figure 2-108

R8 : 1K
Q3 : 2N2222

Les autres composants sont les mêmes qu'à l'étape précédente de la construction de ce circuit.

Ajoutez le second transistor 2N2222 (fig. 2-109). Sur la fig. 2-110, une fois encore, la partie du circuit déjà câblée est en gris.

Si l'accumulation de composants électriques commence à vous paraître déroutante, souvenez-vous que chaque groupe d'éléments obéit à une fonction distincte. Vous pouvez tracer un schéma à titre d'illustration, tel que celui de la fig. 2-112.

Avec le second transistor 2N2222, la sortie devrait être plus clairement audible, du moins dans les limites de votre haut-parleur miniature. Entourez celui-ci de vos mains pour diriger le son : le volume du son augmente. Vous pouvez aussi essayer d'utiliser un haut-parleur de 8 cm environ, ce qui créera une sortie audio généralement meilleure, tout en demeurant dans les limites du transistor 2N2222 (fig. 2-106 et 2-111).

Copyright © 2013 Eyrolles.

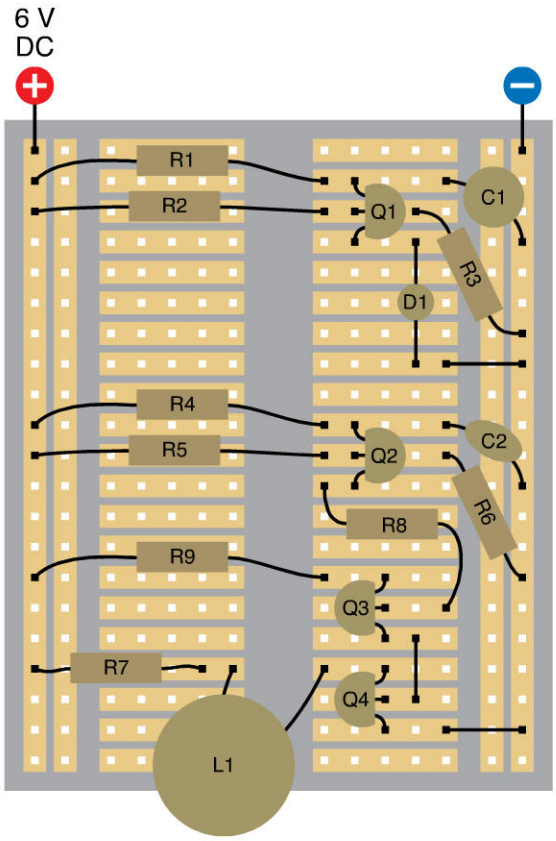


Figure 2-109. *Q4 est un autre transistor 2N2222 qui amplifie encore le signal. Il est alimenté via R9 : 2,2K.*

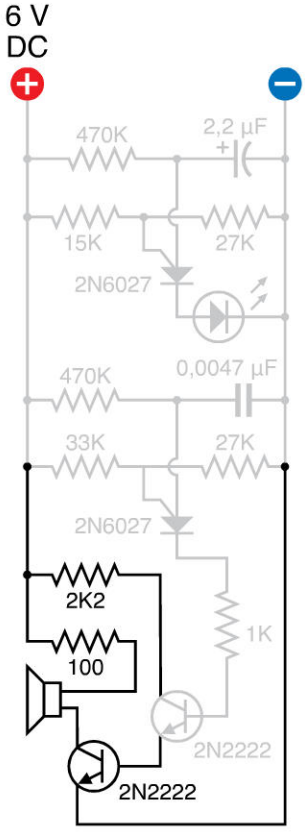


Figure 2-110. *Schéma de la représentation sur plaque de la fig. 2-109.*

Figure 2-111. *Le transistor 2N2222 est parfaitement capable d'alimenter un haut-parleur de 8 cm, lequel produira un bien meilleur son.*

opyright © 2013 Eyrolles.

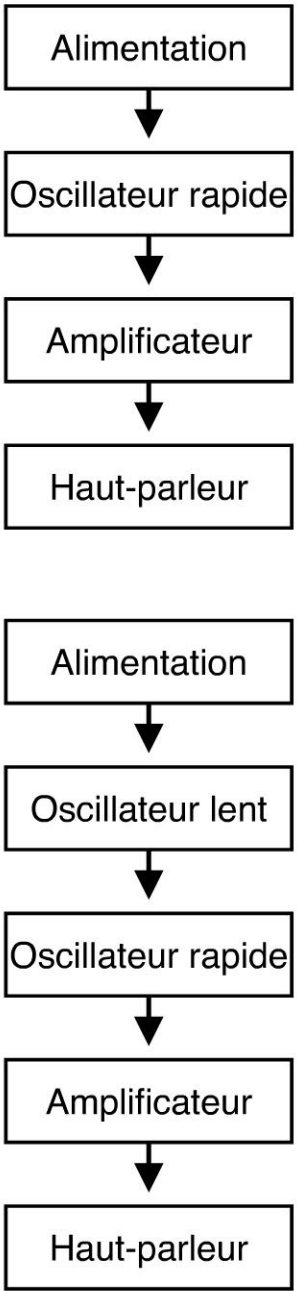


Figure 2-112. *En haut : les fonctions élémentaires du circuit de l'oscillateur sonore représentées sous forme de blocs. En bas : les mêmes fonctions avec ajout d'un oscillateur lent pour contrôler l'oscillateur rapide.*

Étape 4 : sortie à impulsions

Si vous souhaitez utiliser ce signal audio comme une sorte d'alarme, un bourdonnement régulier ne sera guère satisfaisant : une sortie à impulsions attirera davantage l'attention.

La première partie du circuit que vous avez assemblée produisait deux impulsions par seconde. Vous l'avez utilisée pour que la diode clignote. Peut-être pouvons-nous faire fi de la LED et utiliser cette sortie pour alimenter la deuxième partie. Le bas de la fig. 2-112 illustre cette idée.

En réalité, est-ce aussi simple ? Pas tout à fait. Car il faut que la sortie de la première partie soit compatible avec l'entrée de la seconde. Si vous connectez simplement un fil de la cathode du premier PUT à l'anode du second PUT, cela ne fonctionnera pas, parce que le second PUT oscille déjà entre basse et haute tension, environ 1 000 fois par seconde. Ajoutez une tension supplémentaire, et vous perturberez l'équilibre qui permet l'oscillation.

Cependant, n'oubliez pas que la tension de la gâchette d'un PUT détermine son seuil de conduction de l'électricité. Peut-être que si vous connectez la sortie de Q1 à la gâchette de Q2, vous pourrez ajuster ce seuil automatiquement, à condition que cette tension appartienne à une plage de valeurs acceptables par le PUT. Vous pouvez tester différentes résistances pour identifier celle qui fonctionne le mieux.

Il s'agit ici d'une technique de recherche par tâtonnements. Se lancer dans des calculs pour prédire le comportement d'un tel circuit est bien trop complexe, en tout cas pour moi. Je me suis donc contenté de consulter la fiche technique du fabricant, de rechercher la plage des valeurs de résistance que le PUT accepte et de choisir celle qui semblait la plus appropriée.

Si vous enlevez la LED et la remplacez par la résistance R10 comme illustré à la fig. 2-113, vous pouvez remarquer que la sortie fluctuante de Q1 entraîne l'émission par Q2 d'un signal à deux tons. Ce résultat est déjà plus intéressant, mais ne correspond toujours pas à ce que je souhaite. Je réalise qu'en rendant les impulsions venant de Q1 moins abruptes, le résultat pourrait être plus satisfaisant. Pour lisser une série d'impulsions, il suffit de brancher un autre condensateur qui se chargera et se déchargera respectivement au début et à la fin de chaque impulsion. C'est le rôle de C3 sur la fig. 2-114, qui complète le circuit de façon à ce qu'il produise une sorte de hurlement semblable à une véritable alarme.

Si vous n'obtenez aucune sortie audio, vérifiez très soigneusement le câblage. Une erreur de branchement sur la plaque de montage est vite arrivée, notamment entre les trois broches du transistor. Utilisez le multimètre, en plaçant le sélecteur sur Volts CC, pour vérifier que chaque partie du circuit possède une tension positive se rapportant à la branche négative de l'alimentation.

La fig. 2-115 montre votre circuit tel qu'il devrait se présenter sur la plaque de montage.

opyright © 2013 Eyrolles.

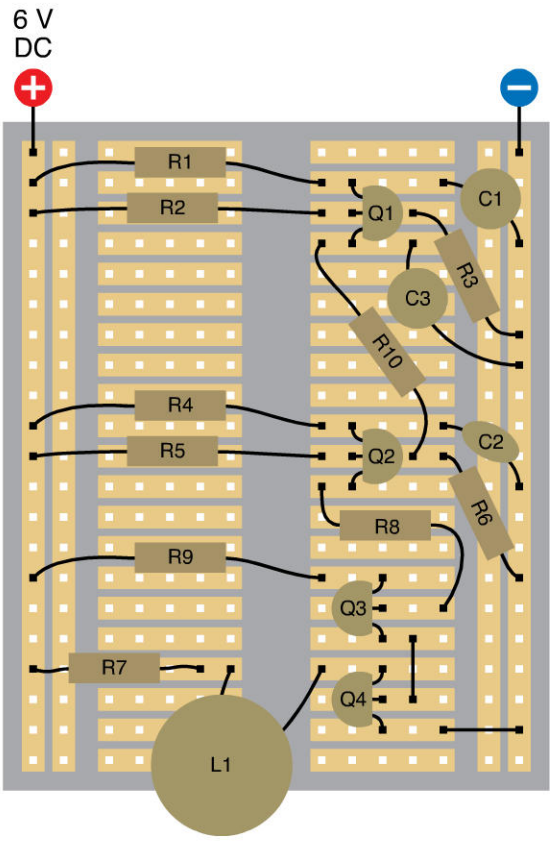


Figure 2-113. *R10 connecte l'oscillateur lent en haut de la plaque de montage à la gâchette de Q2, le transistor unijonction programmable (PUT) situé au milieu de la platine. Il s'ensuit une modulation de l'oscillateur audio, avec ajout d'un condensateur de filtrage.*

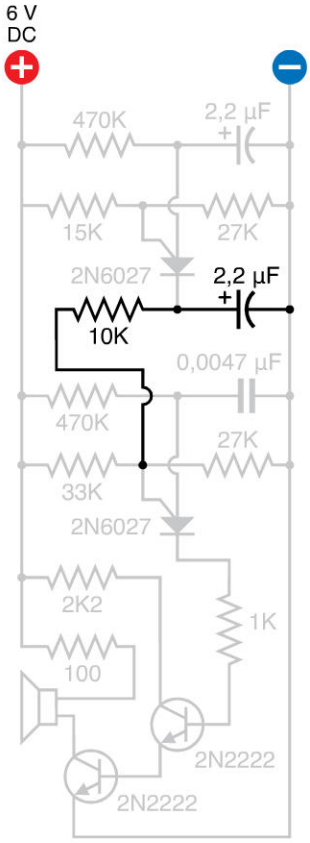


Figure 2-114. *Ce schéma illustre le même circuit que celui de la fig. 2-113.*

R10 : 10K
C3 : 2,2 µF

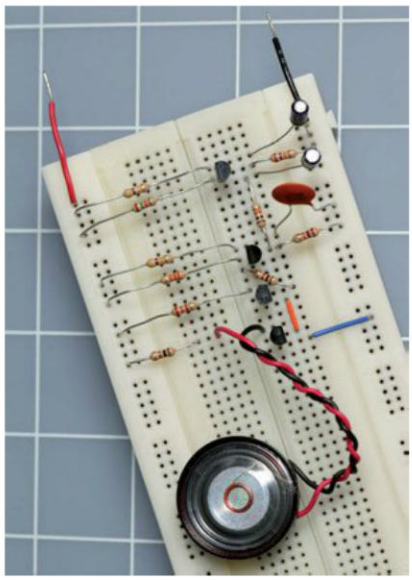


Figure 2-115. *Circuit complet d'alarme audio câblé sur une plaque de montage.*

opyright © 2013 Eyrolles.

Voici quelques pistes pour améliorer votre système.

- Ajustez la fréquence du son. Remplacez C2 par un condensateur plus petit ou plus grand (moitié ou double de la valeur courante) et choisissez une valeur plus petite ou plus grande pour R5.
- Ajustez la pulsation. Remplacez C1 par un condensateur plus petit ou plus grand (moitié ou double de la valeur courante) et choisissez une valeur plus petite ou plus grande pour R2.
- Réglez les performances générales. Testez une valeur plus élevée pour R1. Testez des valeurs plus petites ou plus grandes pour C3.
- Faites fonctionner le circuit à 7,5 V, 10 V et 12 V.

N'hésitez pas à améliorer les montages proposés dans ce livre pour créer vos propres circuits. Mais n'oubliez jamais de protéger les transistors et les LED par des résistances, et de respecter leurs impératifs en termes de tension positive et négative, afin d'éviter qu'ils ne grillent. Cela dit, de petits accidents peuvent toujours arriver : j'ai moi-même grillé plusieurs diodes en me trompant dans les branchements…

Étape 5 : améliorations

Pour l'instant, votre alarme émet seulement un simple bruit. Vous pourriez lui apporter quelques améliorations pour qu'elle soit plus performante. Voici quelques pistes.

1. Ajouter un détecteur d'intrusion. Peut-être des interrupteurs magnétiques pour les fenêtres et les portes ?
2. Trouver un moyen pour que l'alarme démarre si l'un des capteurs est déclenché. En général, il faut faire passer un courant très faible mais constant à travers tous ces interrupteurs en série. Si l'un d'eux est ouvert ou si le fil lui-même est rompu, le courant est interrompu et l'alarme se déclenche. Pour ce faire, vous pourriez utiliser un relais bidirectionnel, en le maintenant alimenté pendant toute la durée où l'alarme ne doit pas sonner, jusqu'à ce qu'une intrusion provoque le relâchement de ce relais, ouvrant alors une paire de contacts et fermant l'autre paire, et alimentant ainsi le circuit bruiteur.

   L'inconvénient, c'est qu'un relais absorbe un courant important quand il est alimenté et qu'il tend aussi à chauffer. Or je souhaite qu'une fois activée (mais non déclenchée), mon alarme consomme très peu de courant afin qu'elle puisse être alimentée par une pile. En effet, un système d'alarme ne doit jamais dépendre totalement du courant continu de votre habitation.

   Peut-on remplacer ce relais par un transistor pour activer le reste du circuit quand l'alimentation des capteurs est interrompue ? La réponse est oui !
3. Mais comment armer l'alarme au préalable ? En fait, la procédure doit se dérouler en trois étapes. D'abord, vérifier l'allumage d'un petit voyant quand toutes les portes et vitres sont fermées. Ensuite, appuyer sur un

Copyright © 2013 Eyrolles.

bouton qui déclenche un compte à rebours de 30 secondes et vous laisse ainsi, le cas échéant, le temps de sortir. Enfin, après 30 secondes, l'alarme s'arme d'elle-même.

4. Si l'alarme se déclenche, que doit-il se passer ensuite ? Si une fenêtre est forcée, l'alarme doit-elle s'arrêter dès que la fenêtre est refermée ? Non, l'alarme doit se verrouiller en position déclenchée jusqu'à ce que vous la désactiviez.
5. Pour désactiver l'alarme, vous pouvez envisager d'adjoindre un clavier où il faudra saisir un code secret.
6. Pour ne pas rendre fou votre entourage en provoquant le déclenchement de l'alarme quand vous êtes absent, elle doit pouvoir s'arrêter d'elle-même, disons après 10 minutes. Au-delà, elle devra être silencieuse, mais allumer une LED pour vous indiquer qu'une intrusion a peut-être eu lieu. Vous pourrez alors appuyer sur un bouton de réinitialisation pour éteindre la LED.

Le problème quand on réalise un circuit qui se veut utile au quotidien et qu'on va au-delà du simple montage de démonstration, c'est que le projet devient cinq fois plus compliqué qu'il ne l'est déjà, car on se trouve confronté à toutes sortes de situations.

Je vous montrerai en temps et en heure comment répondre à toutes ces pistes d'améliorations, qui nécessitent au préalable quelques connaissances complémentaires en électronique. Si vous êtes amené à concevoir un dispositif relativement complexe, vous souhaiterez certainement qu'il soit plus abouti, et probablement plus compact, qu'une simple plaque de montage où quelques composants auront été insérés. Vous devrez donc d'abord apprendre à relier des composants de façon définitive, en les soudant sur un morceau de carte perforée, que vous pourrez placer dans une petite boîte avec interrupteurs et lumières à l'extérieur.

Dans le prochain chapitre, nous allons ainsi aborder la soudure et le conditionnement, puis nous reviendrons au projet de l'alarme.

opyright © 2013 Eyrolles.

opyright © 2013 Eyrolles.

3

Notions plus avancées

Dans les deux premiers chapitres, je vous ai montré plusieurs expériences d'électronique, réalisables avec quelques composants, des fils, une plaque de montage et des outils appropriés. Mais pour aller plus loin, vous devrez acquérir du matériel supplémentaire et en savoir davantage sur :

- la soudure ;
- les circuits intégrés ;
- l'électronique numérique ;
- les microcontrôleurs ;
- les moteurs.

Les outils qu'il faudra vous procurer ne sont pas particulièrement insolites ni onéreux, et il est bien plus facile d'apprendre à souder deux fils que de maîtriser la soudure des bijoux !

Quant aux connaissances à acquérir, elles ne sont pas plus complexes que celles exposées jusqu'à présent.

À la fin de ce chapitre, vous saurez transférer les composants d'une plaque de montage sur une plaque perforée *(perfboard)*, dont vous souderez les divers éléments. Puis vous installerez la carte dans un petit boîtier avec interrupteurs et voyants sur la face avant.

Matériel des expériences 12 à 15

Outils

Chacun des outils suivants est classé comme nécessaire, recommandé ou facultatif. Les outils nécessaires vous accompagneront tout au long du chapitre. Si vous leur associez ceux qui sont recommandés, vous parviendrez jusqu'à la fin du livre. Les outils considérés comme facultatifs vous faciliteront la tâche, mais à vous de décider s'ils en valent l'investissement. Les sites Internet des fabricants figurent dans l'annexe A.

Je suppose que vous possédez déjà certains outils de base courants, tels qu'une perceuse électrique.

opyright © 2013 Eyrolles.

Figure 3-1. *La faible puissance de ce fer crayon permet de l'utiliser sans risque sur les composants sensibles et la pointe fine permet d'appliquer la chaleur de façon sélective.*

Figure 3-2. *Le fer à plus haute puissance fournit la chaleur supplémentaire nécessaire pour les fils plus épais ou les composants plus imposants. La perte de couleur surviendra rapidement en cas d'utilisation quotidienne, mais elle est sans effet sur la capacité du fer, aussi longtemps que la pointe restera propre.*

Figure 3-3. *La troisième main est pourvue de deux pinces crocodile pour maintenir en place le matériel sur lequel vous travaillez. La spirale métallique est un emplacement adapté pour un fer à souder chaud, tandis que l'éponge permet d'en nettoyer la pointe.*

Fer à souder crayon de 15 W (nécessaire)

Par exemple : Radiospares, réf. 2315376, Go Tronic, réf. 13327, ou Conrad, réf. 588539 (fig. 3-1). Les fers à souder de 15 W sont moins fréquents que les fers de 25 W ou plus. Cependant, celui de 15 W est mieux adapté au travail à petite échelle que vous mènerez, et réduira considérablement le risque d'endommager les composants par l'application d'une chaleur excessive.

Lorsque vous comparerez les prix, souvenez-vous qu'une pointe plaquée sera moins onéreuse et plus facile à nettoyer, durera plus longtemps et conduira la chaleur de façon plus fiable qu'une simple pointe en cuivre. Si les spécifications du fabricant ne mentionnent pas de pointe plaquée, il est probable que le fer n'en possède pas.

Fer à souder de 30 ou 40 W (nécessaire)

Même si la plupart des expériences de ce livre ne font intervenir que des composants de petite taille et sensibles à la chaleur ou des fils fins, vous serez certainement amené plus tard à réaliser des soudures plus larges avec des composants plus grands et/ou du fil plus épais. Aussi, essayez d'avoir en réserve un fer plus puissant – généralement bon marché.

Ma préférence va au Weller Therma-Boost (fig. 3-2), parce qu'il possède un bouton supplémentaire qui délivre plus de chaleur sur demande. C'est utile quand vous voulez que le fer chauffe rapidement, ou lorsque vous essayez de souder un fil très épais, qui absorbe une quantité importante de chaleur.

Si vous ne trouvez pas ou n'aimez pas le Weller, pratiquement n'importe quel fer de 30 ou 40 W conviendra.

Étau troisième main (nécessaire)

L'étau troisième main (appelé aussi simplement troisième main ou support à pinces) possède deux pinces crocodile qui maintiennent les composants ou les fils en place lorsque vous les soudez ensemble. Certaines versions proposent une loupe, une spirale (ou support de fer) pour poser le fer et une petite éponge qui permet d'en nettoyer la pointe. Ces fonctions sont souhaitables. Par exemple : Go Tronic, réf. 13173, ou Conrad, réf. 826054 (fig. 3-3).

Loupe (nécessaire)

Quelle que soit la qualité de votre vue, une loupe demeure essentielle pour vérifier la qualité des cordons de soudure sur une plaque perforée. Conçue pour être tenue à proximité de l'œil, la loupe à trois verres de la fig. 3-4 est bien plus puissante que la grosse loupe d'une troisième main. La loupe pliante de la fig. 3-5 est utile pour les opérations en mains libres. Les deux sont disponibles chez Conrad ou Seletronic, mais divers fabricants en proposent des modèles similaires. Vous pouvez aussi opter pour une loupe en plastique, si vous la traitez avec soin.

opyright © 2013 Eyrolles.

Figure 3-4. *Un ensemble de trois loupes en plastique sera très utile si vous le traitez avec soin. Une loupe portative est essentielle pour examiner la qualité des cordons de soudure sur la plaque perforée.*

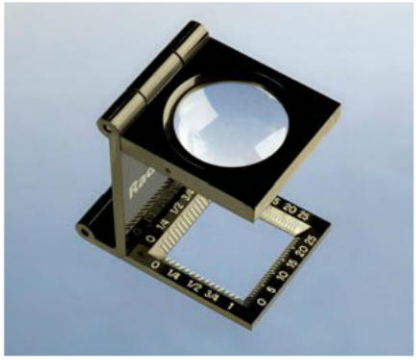


Figure 3-5. *Ce type de loupe pliante, qui peut demeurer sur votre table de travail, permet de vérifier les références des composants les plus petits.*

Cordons de mesure grippe-fil (nécessaire)

Les sondes fournies avec le multimètre requièrent que vous les manteniez en contact avec le point de mesure pour lire une valeur. Elles sollicitent donc vos deux mains et vous empêchent de réaliser quoi que ce soit d'autre pendant ce temps.

Quand vous utilisez une paire de sondes miniatures avec de petites pinces à ressort aux extrémités, vous pouvez attacher le fil COM (négatif ou *Common*) de votre multimètre à la branche négative de votre circuit et l'y laisser, tandis que vous fixez la sonde positive à un autre emplacement.

Vous pouvez acquérir le modèle 6244-48-0 de Pomona (fig. 3-6) ou 3782-24-0 de Conrad, ou tout modèle similaire. Si vous avez du mal à en trouver un ou qu'il vous paraît trop cher, vous pouvez créer votre propre modèle en achetant une paire de fiches banane (Go Tronic, réf. 08250) adaptées au multimètre et un fil souple (torsadé) de diamètre 1,29 mm ou plus pour les relier à un grippe-fil seul (Go Tronic, réf. 08340). Voir fig. 3-7 et 3-8.

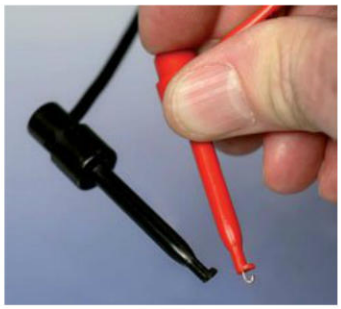


Figure 3-6. *Ces pinces grippe-fil miniatures facilitent la lecture des mesures de tension ou d'intensité. Appuyez sur le bouton à ressort et un crochet en cuivre apparaît. Attachez-le à un fil, relâchez le bouton et vos mains sont ainsi libres pour d'autres tâches. Hélas, les multimètres n'en sont pas équipés de façon standard.*

Figure 3-7. *Pour fabriquer vos propres grippe-fils, attachez une fiche banane à un fil en faisant glisser le fil dans la fiche à travers le capuchon et ressortez-le par le trou.*

Figure 3-8. *Puis vissez le collier sur la partie saillante du fil et vissez le capuchon. L'autre extrémité du fil est soudée à une sonde grippe-fil.*

Copyright © 2013 Eyrolles.

Figure 3-9. *Tel un sèche-cheveux super-puissant, le pistolet thermique est utilisé avec de la gaine thermorétractable pour créer une gaine isolante autour d'un fil nu.*

Pistolet thermique (nécessaire)

Après avoir réuni deux fils avec de la soudure, vous aurez souvent à les isoler. Le ruban isolant n'est pas facile à manier et tend à se détacher. Vous utiliserez une gaine thermorétractable, qui garantit une isolation sécurisée et permanente autour d'un fil électrique nu. Pour rétrécir la gaine, utilisez un pistolet thermique, que vous achèterez le moins cher possible. Voir fig. 3-9.

Pompe à dessouder (nécessaire)

Pour retirer un joint de soudure exécuté à un mauvais emplacement, ce petit accessoire qui absorbe la soudure chaude et fondue est très pratique. Par exemple : Selectronic, réf. 7009, ou Électronique Diffusion, réf. OUS20A (fig. 3-10).

Tresse à dessouder (nécessaire)

Vous l'utilisez en même temps que la pompe à dessouder pour absorber la soudure. Par exemple : Go Tronic, réf. 13651, ou Électronique Diffusion, réf. OU7103C00 (fig. 3-11).

Jeu de tournevis miniatures (nécessaire)

Les petites pièces électroniques comportent souvent de minuscules vis, et si vous n'utilisez pas le bon tournevis, vous risquez de détériorer la tête de ces vis. Je privilégie pour ma part le jeu Stanley, réf. 66-052, illustré à la fig. 3-12. Mais tout jeu conviendra s'il contient les tournevis Phillips et les tournevis plats.

Support de fer à souder (recommandé)

À l'image d'un étui à revolver, vous insérerez votre fer à souder dans ce support quand le fer est chaud mais que vous ne l'utilisez pas. Par exemple : Go Tronic, réf. 13560, ou Selectronic, réf. 4168 (fig. 3-13). Cet accessoire peut être intégré à la troisième main, mais vous en aurez besoin d'un autre pour le second fer à souder.

Figure 3-10. *Pour retirer un joint, chauffez la soudure jusqu'à ce qu'elle soit liquide, puis aspirez-la à l'aide de la pompe à dessouder.*

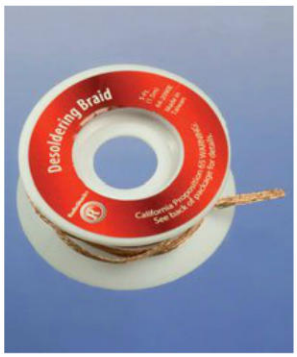


Figure 3-11. *Cette tresse de cuivre constitue une autre solution pour retirer la soudure liquide.*

Figure 3-12. *Un jeu de petits tournevis est indispensable.*

Figure 3-13. *Support simple et sécurisé pour un fer à souder chaud.*

opyright © 2013 Eyrolles.

Scie à main miniature (recommandé)

Je suppose qu'une fois votre projet électronique finalisé, vous aurez envie de lui fabriquer un joli coffret. Par conséquent, vous aurez besoin d'outils pour découper et mettre en forme du plastique fin. Vous souhaiterez peut-être aussi découper un trou carré dans ce coffret afin d'y installer un interrupteur d'alimentation.

Pour ce type de travail délicat, une scie à main miniature est l'idéal. X-Acto propose un éventail de manches et de lames de scie. Je vous conseille la lame n° 15, ainsi que le manche approprié, comme illustré à la fig. 3-14. Procurez-vous aussi les lames X-Acto n° 234 ou n° 239, qui permettent de couper la plaque perforée. Mais d'autres scies miniatures moins chères conviennent tout aussi bien.

Figure 3-14. *X-Acto propose un large éventail de lames de scie, idéales pour découper des trous carrés et monter les composants sur les panneaux de plastique.*

Étau miniature (recommandé)

Un étau miniature peut accomplir des tâches qu'une troisième main ne peut réaliser. J'utilise le mien quand je scie de petits morceaux de plastique et je m'en sers comme poids mort pour fixer une plaque perforée sur laquelle je travaille. Voir fig. 3-15.

Privilégiez un étau en fonte d'environ 2,5 cm d'ouverture ou légèrement plus grand. Regardez aussi le modèle PanaVise, qui vous permet d'observer votre travail sous de multiples angles.

Figure 3-15. *Étau miniature.*

Ébarboir (recommandé)

Un ébarboir lisse et taille instantanément en biseau tout bord irrégulier (quand vous avez scié ou percé un morceau de plastique, par exemple). Il peut également agrandir légèrement un trou, ce qui peut s'avérer utile car certains composants sont fabriqués selon un système de mesure ne correspondant pas à celui des trous percés avec les forets. Voir fig. 3-16.

Fraise à main (facultatif)

Vous aurez besoin d'une fraise pour chanfreiner les trous de vis et accueillir les vis à tête plate. Si vous utilisez le foret à fraiser d'une perceuse électrique, il ne fournira pas la précision nécessaire quand vous travaillez avec du plastique fin.

Les fraises à main que vous saisissez et manipulez comme un tournevis sont faciles à trouver. Certaines sont fournies avec un ensemble de forets (fig. 3-17).

Figure 3-16. *Cette petite lame sécurisée, avec une bosse arrondie à son extrémité, supprime d'un seul coup les bavures de découpe et peut aussi agrandir les trous.*

Piques et crochets (facultatif)

Par exemple : Stanley, réf. 82-115, ou autre (fig. 3-18).

Pied à coulisse (facultatif)

Cet outil peut sembler un luxe, mais il est très utile pour mesurer le diamètre d'un objet (comme le pas de vis d'un interrupteur ou d'un potentiomètre) ou le diamètre interne d'un trou (dans lequel vous voulez insérer un interrupteur ou un potentiomètre).

J'apprécie les pieds à coulisse Mitutoyo, et le modèle bas de gamme 505-611 (fig. 3-19) fait tout ce dont j'ai besoin. Il existe des pieds à coulisse moins chers qui conviendront aux amateurs, mais attention, car à long terme la précision en pâtira.

Copyright © 2013 Eyrolles.

Figure 3-17. *Vous manipulez la fraise à main comme une manivelle pour chanfreiner un trou afin qu'il accueille une vis à tête plate.*

Figure 3-18. *Cet ensemble de piques et de crochets se révèle utile de maintes façons.*

Figure 3-19. *Les pieds à coulisse peuvent être numériques ou analogiques comme celui-ci (nul besoin de s'inquiéter de l'état de la pile).*

Figure 3-20. *Bobines de fil de soudure de différentes épaisseurs.*

Fournitures

Fil de soudure

Vous aurez besoin de fil de soudure très fin d'environ 0,5 mm pour les très petits composants, et de fil de soudure plus épais d'1 ou 1,5 mm pour les plus épais. Évitez d'acheter du fil de soudure destiné aux plombiers ou aux bijoutiers et assurez-vous qu'il soit sans plomb.

Le fil de soudure dont vous avez besoin contient de la colophane non acide qui est adaptée aux composants électroniques. Vous en trouverez en rouleau chez vos fournisseurs habituels.

Fil

Vous aurez besoin de fil souple torsadé pour créer des connexions externes flexibles avec le circuit que vous montez. Recherchez du fil souple de diamètre 0,644 mm environ (0,3 mm^2 de section), de couleur rouge, noire et verte, long chacun de 3 m minimum.

Si vous souhaitez installer le système d'alarme qui fait l'objet du projet de l'expérience 15, vous aurez besoin de fil blanc isolé à deux conducteurs, comme celui vendu pour les sonnettes des portes ou les thermostats des fours. Disponible auprès de Go Tronic et autres fournisseurs. Vous choisirez la quantité à acheter après avoir mesuré les distances nécessaires entre les interrupteurs magnétiques à détection.

Gaine thermorétractable

À utiliser en liaison avec votre pistolet thermique, décrit précédemment. Vous aurez besoin de différentes tailles, de la couleur de votre choix (fig. 3-21). Par exemple : Go Tronic, réf. 08914, ou autre. Les prix étant très variables, achetez la moins chère.

Copyright © 2013 Eyrolles.

Pinces crocodile en cuivre

Elles absorbent la chaleur quand vous soudez des composants délicats. Les pinces Mueller BU-30C sont idéales pour une absorption maximale de chaleur. Il existe des pinces plus petites (fig. 3-22) adaptées aux minuscules composants.

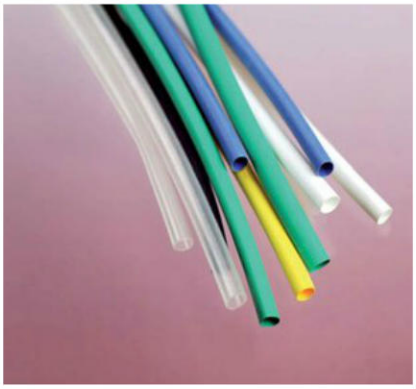


Figure 3-21. *Faites glisser une gaine thermorétractable sur un fil électrique nu et utilisez un pistolet thermique pour créer une isolation autour du fil en rétrécissant la gaine.*

Figure 3-22. *Ces petites pinces absorbent la chaleur pour protéger les composants lorsque vous les soudez.*

Plaque perforée

Lorsque vous serez prêt à transférer votre circuit d'une plaque de montage vers un emplacement plus définitif, vous serez amené à le souder sur une plaque perforée, appelée aussi perfboard ou plaque de prototypage.

Dans l'idéal, il vous faut une plaque avec des bandes de cuivre gravées au dos, avec la même disposition que les conducteurs cachés à l'intérieur d'une plaque de montage, de façon à pouvoir conserver la même disposition pour vos composants quand vous les soudez. Par exemple : RadioShack, réf. 276-150 (fig. 3-23) pour les petits projets et réf. 276-170 pour les projets plus conséquents, comme celui de l'expérience 15.

Pour les petits projets dans lesquels vous connectez les composants avec leurs fils seulement, il vous suffit d'une plaque perforée sans bandes de cuivre connectant les trous (fig. 3-25). Utilisez une scie pour découper le morceau aux mesures nécessaires. Par exemple : Go Tronic, réf. 12471, ou Électronique Diffusion, réf. CPAJP10 (la fig. 3-26 montre le modèle RadioShack 276-147 équivalent). Ces plaques possèdent de petits cercles de cuivre autour des trous, qui ne sont pas nécessaires pour nos expériences, mais pas gênants non plus.

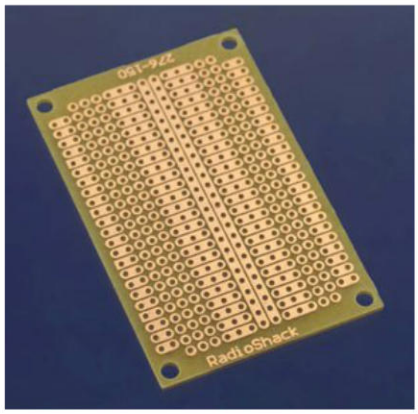


Figure 3-23. *Cette perfboard américaine possède un placage en cuivre dont le modèle est similaire à celui d'une plaque de montage. Ainsi, vous disposez les composants avec un risque minimal d'erreurs de câblage, lorsque vous êtes prêt à créer la version soudée de votre projet.*

Copyright © 2013 Eyrolles.

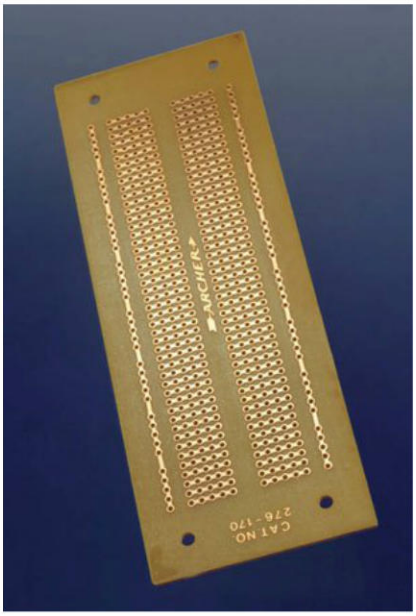


Figure 3-24. *Exemple de grande plaque perforée avec la géométrie d'une plaque de montage.*

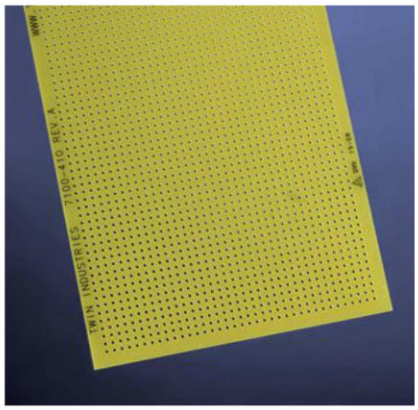


Figure 3-25. *Une plaque perforée simple (sans placage de cuivre) peut être utilisée pour monter les composants lorsque vous devez procéder à un câblage point à point.*

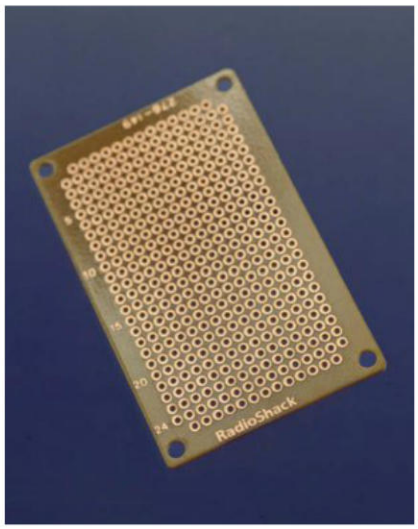


Figure 3-26. *Plaque perforée réduite avec coussinets de soudure en cuivre pour vous aider au montage des composants.*

Contreplaqué

Lorsque vous utilisez un fer à souder, de petites gouttes de soudure tombent souvent sur votre table de travail. La soudure se solidifie presque aussitôt : elle peut être alors difficile à retirer et laisser une trace. Pensez à utiliser une planche de contreplaqué à titre de protection.

Vis de mécanique

Pour monter les composants derrière un panneau, vous aurez besoin de petites vis (et écrous) de mécanique. L'idéal est qu'elles possèdent une tête plate qui s'encastrera dans le panneau. Je suggère 100 vis M1,6 ou M2 de mécanique en acier inoxydable, de longueur 12, 14, 16 et 20 mm, ainsi que 400 rondelles et 400 contre-écrous avec insert en nylon, de façon à ce qu'ils ne se desserrent pas.

Boîtier de projet

Un boîtier de projet est simplement une petite boîte en plastique, généralement avec un couvercle amovible. Vous montez les interrupteurs, potentiomètres et LED, dans les trous que vous percez à travers le boîtier, et vous fixez votre circuit sur une plaque perforée qui rentre dans le boîtier.

Il vous faut un boîtier mesurant environ 15 cm de long, 7,5 cm de large et 5 cm de haut (tel que Go Tronic, réf. 11167). Vous pouvez aussi acheter des boîtiers d'autres tailles, car ils vous serviront à l'avenir.

Copyright © 2013 Eyrolles.

Composants

Fiches, prises et bornes d'attache

Une fois votre projet terminé et placé dans un boîtier, vous devez trouver un moyen pratique de l'alimenter. Achetez une paire de douilles isolées, telles que Go Tronic, réf. 08291 (fig. 3-27). Procurez-vous aussi une prise jack montée sur panneau, de taille 5,5 × 2,5 mm, comme celle de Go Tronic (réf. 48156), et une embase pour prise d'alimentation jack de taille 5,5 × 2,5 mm, telle que Go Tronic (réf. 48153). La paire mâle/femelle est illustrée à la fig. 3-28.

Enfin, vous aurez besoin de barrettes de connecteurs adaptées à une plaque perforée percée à intervalle de 0,25 cm. Ces prises enfichables et ces barrettes mâles existent sous forme de bandes de 36 pièces ou plus, et vous pouvez en couper autant que vous voulez. Par exemple : Go Tronic, réf. 08000 pour la barrette mâle et réf. 08006 pour la barrette femelle, ou Conrad, réf. 734193 pour la barrette mâle et réf. 741120 pour la barrette femelle. La fig. 3-29 illustre les barrettes avant qu'elles n'aient été coupées en petites sections. Assurez-vous que l'espacement des bornes soit égal à 0,25 cm.

Pile

Après avoir terminé l'expérience 15 à la fin de ce chapitre, vous aurez besoin d'une pile de 12 V si vous voulez utiliser concrètement le projet. Sur Internet, vous trouverez des piles conçues pour les systèmes d'alarme. Vous aurez aussi besoin d'un chargeur.

Interrupteurs et relais

Vous aurez besoin du même relais DPDT et du même interrupteur à bascule que ceux mentionnés dans la liste du matériel du chapitre 2.

Pour l'expérience 15, vous aurez besoin d'interrupteurs magnétiques ILS à appliquer aux portes et aux fenêtres, comme Directed 8601, disponible sur Internet.

Il vous faudra aussi un interrupteur à bouton-poussoir DPDT, de type ON-(ON), avec des bornes de raccordement soudables. Par exemple : Tyco MPG206R04, NKK MB2061SS1W01-R0 ou autre modèle.

Diodes

Achetez au moins une demi-douzaine de LED 5 mm de couleur rouge 2 V environ. Par exemple : Go Tronic, réf. 03025, Selectronic réf. 2536, ou Conrad, réf. 184543. Achetez aussi une demi-douzaine de LED vertes similaires.

En outre, vous aurez besoin d'une diode de signal, de type 1N4001 (peu importe la marque). La fig. 3-30 en montre un exemple en gros plan. Achetez-en une dizaine, car elles vous seront utiles par la suite.

Figure 3-27. *Ces douilles, appelées aussi bornes, permettent une connexion sans soudure avec les fils aux extrémités dénudées. Elles existent aussi en noir.*

Figure 3-28. *La prise jack de droite peut être montée dans un boîtier de projet pour recevoir l'alimentation de la prise de gauche.*

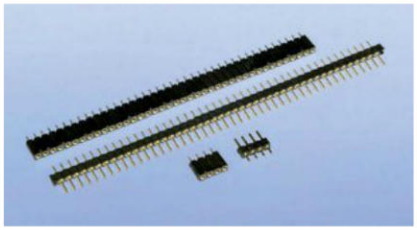


Figure 3-29. *Les parties femelles (en haut) et les parties mâles (au milieu) de ces barrettes de connecteurs permettent de créer des connexions très compactes sur une carte de circuit imprimé. Avec possibilité de les scier, couper ou casser en sections plus petites (en bas). Les connecteurs sont espacés de 0,25 cm.*

Figure 3-30. *Cette diode 1N40001 mesure environ 0,6 cm et supporte jusqu'à 50 V.*

Copyright © 2013 Eyrolles.

Fers à souder : attention aux brûlures !

Quelques précautions de base à respecter :

Utilisez un support approprié (tel que celui fourni par la troisième main) pour le fer à souder. Ne le laissez pas directement sur une table ou une planche.

Si vous avez des enfants ou des animaux domestiques, veillez à ce qu'ils ne jouent pas avec le fer à souder ou les fils. Ils pourraient se brûler gravement.

Ne laissez jamais la pointe chaude sur le cordon d'alimentation électrique du fer. Le plastique fondrait en quelques secondes et provoquerait un court-circuit spectaculaire.

Si vous laissez tomber un fer à souder, ne jouez pas au héros et n'essayez pas de le rattraper. Vous risquez fort de le saisir par la partie brûlante (c'est du vécu !). Si vous vous brûlez la main, relâchez immédiatement le fer, laissez-le tomber à terre et ramassez-le en le prenant par la partie froide.

N'oubliez pas non plus que les personnes qui vous entourent sont plus à même de se blesser avec le fer à souder que vous-même, car elles ignorent qu'il est brûlant. La plupart des fers à souder ne disposent pas d'un voyant indiquant qu'ils sont branchés. Par principe, considérez toujours qu'un fer à souder est chaud, même s'il est débranché. Il peut conserver sa chaleur plus longtemps que vous ne le croyez.

Haut-parleur

Pour mener à bien le projet de l'expérience 15, vous aurez besoin d'un haut-parleur assez petit pour entrer dans le boîtier de projet, mais plus puissant que celui utilisé précédemment. Son diamètre devrait être compris entre 50 et 60 mm. Si vous trouvez un haut-parleur de 100 Ω, il offrira une meilleure sortie, mais un haut-parleur de 8 Ω peut tout à fait convenir.

Expérience 12 : une jonction de deux fils

Votre expérience de soudeur va commencer par la jonction de deux fils et se poursuivra par la création d'un circuit électronique complet sur une plaque perforée. En route !

Vous aurez besoin des éléments suivants :

- 1 fer à souder de 30 ou 40 W
- 1 fer à souder crayon de 15 W
- Fil de soudure fin (0,5 mm environ)
- Fil de soudure moyen (1 mm environ)
- Pinces coupantes et pinces à dénuder
- Accessoire d'aide (troisième main) pour maintenir votre travail
- Assortiment de gaines thermorétractables
- Protection de la zone de travail contre les gouttes de soudure

Premier joint de soudure

Nous allons commencer par utiliser le fer à souder de 30 ou 40 W. Branchez-le, maintenez-le en sécurité sur son support et trouvez-vous une autre occupation pendant 5 minutes. Si vous utilisez le fer à souder à froid, il est clair que vous n'obtiendrez pas de bons joints.

Enlevez l'isolant des extrémités des deux fils de diamètre 0,6 mm environ et serrez-les dans la troisième main, de telle façon qu'ils se croisent et se touchent, comme illustré à la fig. 3-31.

Pour être sûr que le fer est prêt, faites fondre un peu de soudure à son extrémité. La soudure doit fondre instantanément. Sinon, cela signifie que le fer n'est pas encore assez chaud.

Copyright © 2013 Eyrolles.

Suivez à présent les étapes ci-après (fig. 3-32 à 3-36) :

1. Veillez à ce que la pointe du fer à souder soit propre (si nécessaire, nettoyez-la avec l'éponge humide placée à la base de la troisième main, suivant le modèle choisi), puis placez-la à l'intersection des fils pendant trois secondes pour les chauffer. Utilisez de préférence de l'eau distillée pour humecter l'éponge et éviter ainsi la formation de dépôts minéraux à la pointe du fer.
2. Tout en maintenant le fer en place, déposez un peu de soudure à l'intersection des fils, ainsi que sur la pointe du fer. Les deux fils, la soudure et le fer se croisent alors en un même point. La soudure doit se répandre sur les fils en deux secondes.
3. Retirez le fer et la soudure. Soufflez sur le joint pour le rafraîchir. Au bout de 10 secondes, vous devriez pouvoir le toucher.
4. Détachez les fils des pinces crocodile et essayez de les écarter. Si vous n'y parvenez pas, cela signifie que les fils sont électriquement joints et qu'ils devraient le rester. Si le joint n'est pas de bonne qualité, vous pourrez séparer les fils sans peine et il est probable que vous n'aurez pas appliqué assez de soudure ou de chaleur.

La raison pour laquelle j'ai préféré que vous commenciez à travailler avec le fer à souder le plus puissant est qu'il délivre une quantité plus importante de chaleur, ce qui en facilite l'utilisation.

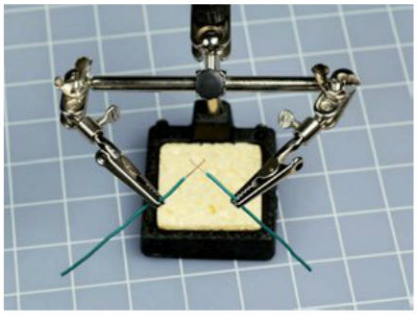


Figure 3-31. *Accessoire d'aide ou troisième main maintenant deux fils dont les extrémités se touchent.*

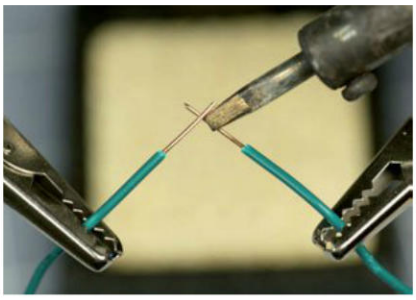


Figure 3-32

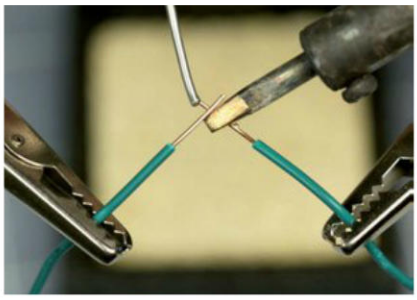


Figure 3-33

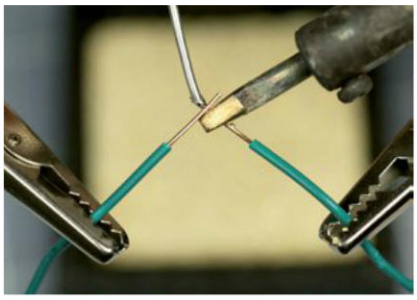


Figure 3-34

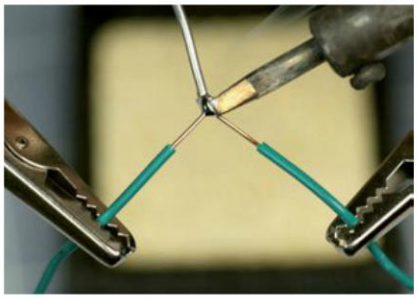


Figure 3-35. *Cette figure et les trois précédentes illustrent les quatre étapes de la fabrication d'un joint de soudure : application de la chaleur sur les fils, approche du fer tout en maintenant la chaleur, attente de la fonte de la soudure et formation d'une perle entièrement fondue. La totalité du processus doit durer entre 4 et 6 secondes.*

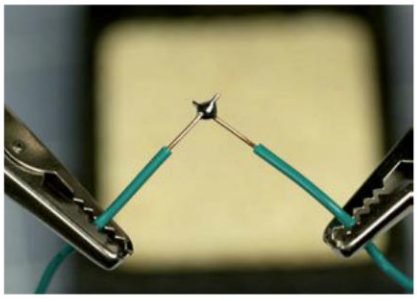


Figure 3-36. *Le joint doit être brillant, uniforme et arrondi.*

Copyright © 2013 Eyrolles.

COMPLÉMENTS

Trois idées reçues sur la soudure

Idée reçue n° 1 : souder est difficile

Des millions de personnes ont appris à souder avant vous et il n'y a pas de raison que vous n'y arriviez pas. Souffrant depuis longtemps d'un tremblement des mains, j'ai beaucoup de mal à tenir fermement un objet de petite taille. Et pourtant j'arrive à souder, donc vous aussi !

Idée reçue n° 2 : souder nécessite des produits chimiques nocifs

La soudure moderne ne contient pas de plomb. Évitez d'inhaler des émanations pendant une trop longue période, que ce soit de l'eau de Javel ou de la peinture. Si la soudure représentait un réel risque pour la santé, nous assisterions depuis des décennies à un taux de mortalité élevée chez les amateurs d'électronique !

Idée reçue n° 3 : souder est dangereux

Un fer à souder est moins dangereux qu'un fer à repasser, car il dégage moins de chaleur. Par expérience, je dirais même que souder est une activité plus sûre que la plupart des tâches que vous effectuez quotidiennement chez vous ou dans votre atelier. Mais restez vigilant quand même !

Alternatives à la soudure

Jusque dans les années 1950, les connexions à l'intérieur des appareils électroniques tels que les postes de radio étaient toujours soudées manuellement sur les chaînes de production. Mais le développement croissant des échanges téléphoniques a nécessité la recherche d'une solution à la création de connexions point-à-point fiables et rapides. L'enroulement de connexions (ou wrapping) est ainsi devenue une alternative viable.

Dans un projet électronique à connexions enroulées, les composants sont montés sur une carte de circuit imprimé pourvue de broches longues, carrées et plaquées. On utilise un fil spécial en métal argenté, l'isolant étant mis à nu sur quelques centimètres à son extrémité. Un outil, manuel ou électrique, de wrapping entortille l'extrémité du fil autour de l'une des broches et applique une tension suffisante pour souder à froid le revêtement argent du fil jusqu'à la broche elle-même. Ce processus crée un joint très fiable, notamment si l'on enroule le fil 7 à 9 fois en effleurant à chaque passage les quatre coins de la broche.

Pendant les années 1970 et 1980, ce système a été adopté par les passionnés d'électronique qui assemblaient leur propre ordinateur. La fig. 3-37 illustre la carte de circuit imprimé à connexions enroulées d'un ordinateur construit manuellement. La technique a été utilisée par la NASA pour câbler l'ordinateur de la navette spatiale Apollo, mais aujourd'hui, les connexions enroulées possèdent peu d'applications commerciales.

L'utilisation industrielle répandue des composants à insérer, tels que les puces des premiers ordinateurs de bureau, a favorisé le développement de la soudure par vague, où la soudure fondue est déposée sous la carte de circuit imprimé préchauffée sur laquelle les puces ont été insérées. Une technique de masquage empêche que la soudure n'adhère aux endroits non souhaités.

Aujourd'hui les composants montés en surface (qui sont significativement plus petits que leurs homologues à insérer) sont collés à la carte de circuit imprimé à l'aide d'une pâte à souder, puis la totalité de l'assemblage est chauffé, afin que la colle fondue crée une connexion permanente.

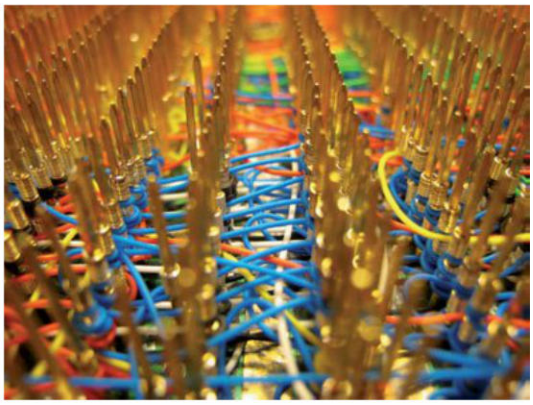


Figure 3-37. *L'image illustre quelques connexions enroulées d'un ordinateur 8 bits conçu par Steve Chamberlain. Autrefois, la connexion d'un tel réseau de fils à l'aide de joints soudés aurait nécessité un temps infini et été source de maintes erreurs. Photo : Steve Chamberlin.*

opyright © 2013 Eyrolles.

PRATIQUE

Les huit erreurs les plus fréquentes en matière de soudure

1. **Chaleur insuffisante**

   Le joint semble correct, mais comme vous n'avez pas appliqué assez de chaleur, la soudure n'a pas suffisamment fondu pour modifier sa structure moléculaire interne. Elle est restée granulaire au lieu de se transformer en une goutte solide et uniforme. Vous vous retrouvez avec un joint sec, aussi appelé joint froid, qui se défait lorsque vous écartez les fils l'un de l'autre. Chauffez à nouveau le joint et réappliquez la soudure.

   L'une des principales causes d'une soudure insuffisamment chauffée réside dans la tentation d'utiliser le fer pour déposer la soudure sur le joint. En effet, la température des fils atténue celle de la soudure. Chauffez d'abord les fils avec le fer à souder, puis appliquez la soudure. Ainsi, les fils sont chauds et facilitent la fonte de la soudure.

   Comme il s'agit d'une erreur très courante, je me répète : *ne jamais faire fondre la soudure à l'extrémité du fer, pour la déposer avec le fer sur le joint*.

   Le but n'est pas de déposer de la soudure chaude sur des fils froids, mais de la soudure froide sur des fils chauds.

2. **Chaleur excessive**

   Ce n'est pas tant le fil qui risque d'être endommagé que les éléments environnants. La partie isolante en vinyle fond, ce qui met le fil à nu et engendre un risque de court-circuit. Rien de plus facile que d'endommager les semi-conducteurs ou que de faire fondre les composants internes en plastique des interrupteurs et des connecteurs.

   Les composants endommagés peuvent être dessoudés et remplacés, mais le processus est à la fois long et complexe (voir l'encadré « Dessouder » page 109).

3. **Soudure insuffisante**

   Une fine connexion entre deux conducteurs peut ne pas être assez résistante. Lors de la jonction de deux fils, vérifiez toujours le dessous du joint et assurez-vous que la soudure a pénétré totalement.

4. **Déplacement du joint avant solidification de la soudure**

   Vous risquez de provoquer une fente que vous ne verrez pas nécessairement. Elle n'empêchera peut-être pas le fonctionnement du circuit, mais, pour cause de vibrations ou de contraintes thermiques, la fente risque de s'élargir et de rompre le contact électrique. Pour éviter ce problème, serrez les composants avant de les souder ou utilisez une plaque perforée pour les maintenir.

5. **Poussière ou graisse**

   La soudure électrique contient de la colophane qui nettoie le métal utilisé, mais les produits polluants peuvent empêcher la soudure d'adhérer. Si l'un des composants paraît sale, nettoyez-le avec un papier de verre fin avant de procéder au joint.

6. **Carbone sur l'extrémité du fer à souder**

   Les taches de carbone noir qui se déposent progressivement sur le fer finissent par faire obstacle au transfert de chaleur. Nettoyez le bout du fer avec la petite éponge placée à la base du support de fer à souder ou de la troisième main.

7. **Matériaux inappropriés**

   La soudure électronique est conçue pour les composants électroniques. Elle ne fonctionne pas avec l'aluminium et l'acier inoxydable, entre autres. Et vous ne parviendrez que difficilement à la faire adhérer aux éléments chromés.

8. **Échec du test du joint**

   Ne présumez pas que tout est pour le mieux. Testez toujours le joint, en exerçant une pression manuelle si possible (fig. 3-38 et 3-39), ou si vous ne pouvez vous saisir du joint, glissez-y dessous la lame d'un tournevis pour le plier ou utilisez une petite pince pour l'écarter. Peu importe que vous endommagiez votre travail : si le joint ne survit pas à ce traitement de choc, ce n'était pas un bon joint !

De ces huit erreurs, les joints secs/froids constituent de loin l'erreur la plus grave, car ils sont faciles à créer et donnent l'illusion d'être parfaits.

Figure 3-38. *Résultat du test d'une mauvaise soudure.*

Figure 3-39. *Résultat du test d'une bonne soudure.*

Copyright © 2013 Eyrolles.

Deuxième soudure

Il est temps d'utiliser maintenant le fer crayon. Une fois encore, laissez-le branché au moins cinq minutes pour qu'il soit assez chaud. Pendant ce temps, n'oubliez pas de retirer l'autre fer à souder et de le laisser refroidir en sécurité.

Cette fois, nous allons aligner les fils. Il est un peu plus difficile de les souder ainsi que lorsqu'ils se croisent, mais c'est un coup de main à prendre. Sinon, vous ne pourrez pas glisser la gaine thermorétractable par-dessus le joint fini et l'isoler.

Les fig. 3-40 à 3-44 illustrent un joint de ce type. Le contact entre les deux fils n'a pas à être parfait, car la soudure comblera les espaces éventuels. Cependant, les deux fils doivent être assez chauds pour que la soudure prenne, ce qui peut nécessiter quelques secondes supplémentaires avec un fer crayon de faible puissance.

Veillez à bien déposer la soudure, comme illustré dans les images ci-après. N'oubliez pas : n'essayez pas de déposer la soudure sur le joint avec la pointe du fer. Chauffez d'abord les fils, puis mettez en contact la soudure, les fils et l'extrémité du fer. Attendez que la soudure fonde et vous verrez qu'elle s'intègre sans peine au joint. Si tel n'est pas le cas, soyez patient et réappliquez la chaleur un peu plus longtemps.

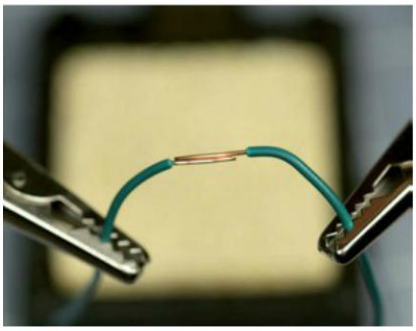


Figure 3-40

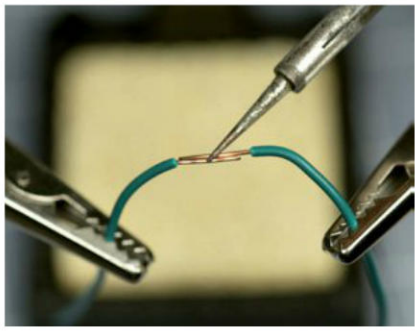


Figure 3-41

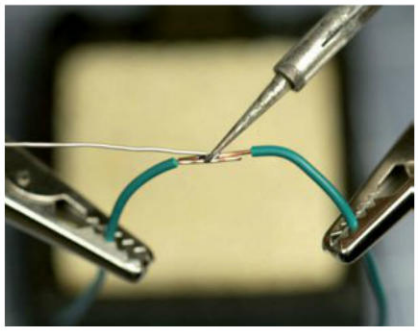


Figure 3-42

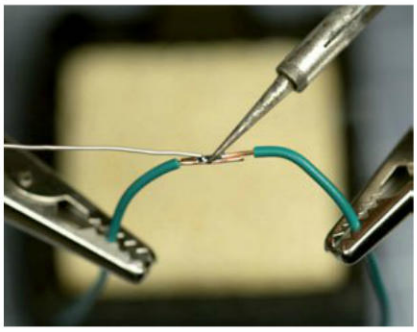


Figure 3-43. *Cette figure et les trois précédentes montrent pourquoi il est plus difficile de joindre deux fils parallèles et pourquoi le fer crayon de faible puissance nécessite de les chauffer assez longtemps pour obtenir un joint de qualité. Vous pouvez utiliser une soudure plus fine.*

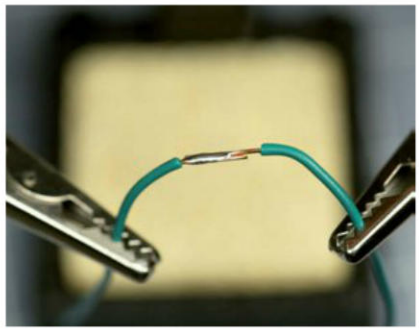


Figure 3-44. *Le joint terminé possède assez de soudure pour être résistant, mais pas trop pour que la gaine thermorétractable puisse le recouvrir.*

Copyright © 2013 Eyrolles.

THÉORIE

Principe de la soudure

Mieux vous comprendrez le principe de la soudure, mieux vous réussirez vos joints.

L'extrémité du fer à souder est chaude, et il faut transférer cette chaleur sur le joint que vous voulez créer. Dans ce cas-là, vous pouvez assimiler la chaleur à un fluide. Plus la connexion entre le fer à souder et le joint est étendue, plus la quantité de chaleur qui peut la traverser par seconde est élevée.

Pour cette raison, il importe d'ajuster l'angle du fer de façon à ce que le contact soit le plus large possible. Si le fer ne touche les fils qu'en un minuscule point, vous limitez la quantité du flux de chaleur (fig. 3-45 et 3-46). Quand la soudure commence à fondre, elle étend la zone de contact, ce qui permet de transférer une plus grande quantité de chaleur et le processus s'accélère ainsi naturellement. Vous l'aurez compris, le point délicat, c'est le début.

Autre aspect à prendre en compte, le flux de chaleur peut rapprocher la chaleur elle-même d'emplacements indésirables au détriment de ceux souhaités. Si vous essayez de souder un fil de cuivre très lourd, il se peut que le joint n'atteigne jamais une chaleur suffisante pour que la soudure fonde, car le fil éloignera la chaleur du joint. Peut-être même constaterez-vous qu'un fer de 40 W ne suffit pas à résoudre le problème, et que dans certains cas, un fer plus puissant s'impose.

En règle générale, si vous ne parvenez pas à souder en 10 secondes, la chaleur appliquée est insuffisante.

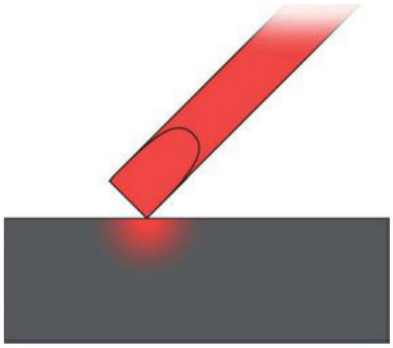


Figure 3-45. *Avec une zone de contact réduite entre le fer et la surface de travail, la quantité de chaleur transférée est insuffisante.*

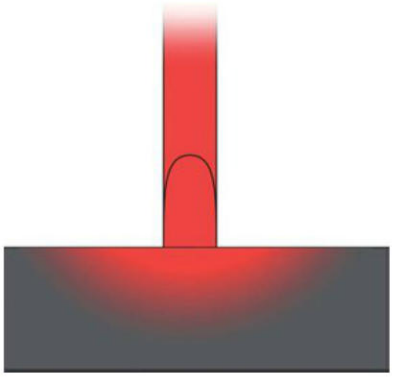


Figure 3-46. *Un contact plus étendu entre le fer à souder et la zone cible favorise le transfert de chaleur.*

PRATIQUE

Dessouder

Dessouder est beaucoup plus dur que souder ! Il existe deux outils simples à votre disposition :

- **Pompe aspirante.** D'abord, appliquez le fer pour rendre la soudure liquide. Puis essayez d'aspirer le plus de liquide possible. Généralement, la pompe ne permet pas de retirer suffisamment de métal pour écarter le joint et vous devrez recourir à l'outil suivant. Voir fig. 3-10.
- **Tresse à dessouder.** Cet outil est destiné à absorber la soudure d'un joint, mais une fois encore, il ne nettoie pas le joint intégralement et vous vous retrouverez dans l'obligation d'utiliser vos deux mains pour séparer les composants, tout en appliquant la chaleur nécessaire pour que la soudure ne se solidifie pas. Voir fig. 3-11.

Je n'ai pas beaucoup de conseils à donner quant à l'opération qui consiste à dessouder. C'est, à mes yeux, une expérience frustrante qui peut endommager les composants de manière irréversible.

Copyright © 2013 Eyrolles.

Pistolets thermiques : attention, ils brûlent aussi !

Notez la présence du tube en acier chromé à l'extrémité du pistolet thermique. Bien que l'acier soit plus onéreux que le plastique, le fabricant l'a probablement utilisé pour une bonne raison, à savoir que l'air qui sort du pistolet est si chaud qu'il pourrait faire fondre un tube en plastique.

Même plusieurs minutes après avoir été utilisé, le tube métallique demeure assez chaud pour risquer de vous brûler. Et, comme pour le fer à souder, vos proches sont également vulnérables, car ils ne savent pas nécessairement que le pistolet thermique est chaud. Surtout, veillez à ce que personne ne confonde le pistolet thermique avec un sèche-cheveux (fig. 3-47) !

Ajout de l'isolant

Une fois que vous avez connecté les deux fils convenablement, la situation devient plus simple. Choisissez une gaine thermorétractable assez grande pour recouvrir le joint en ne conservant qu'un espace libre réduit.

Figure 3-47. *Un pistolet thermique ressemble à un sèche-cheveux, mais les apparences sont parfois trompeuses...*

Faites glisser la gaine jusqu'à la centrer au-dessus du joint, maintenez-la face au pistolet thermique et enclenchez celui-ci (en maintenant vos doigts à distance du souffle d'air très chaud). Tournez le fil de façon à chauffer les deux côtés. La gaine doit alors s'ajuster autour du joint en moins de 30 secondes. Si vous surchauffez la gaine, elle risque de rétrécir au point de se fendre – vous n'aurez plus qu'à l'enlever et à recommencer. Aussitôt que la gaine enserre étroitement le fil, le travail est terminé et il est inutile d'appliquer à nouveau de la chaleur. Les fig. 3-48 à 3-50 illustrent le résultat souhaité. J'ai choisi une gaine blanche, car elle ressort mieux sur les photos.

Figure 3-48. *Faites glisser la gaine sur le joint.*

Figure 3-49. *Appliquez la chaleur sur la gaine.*

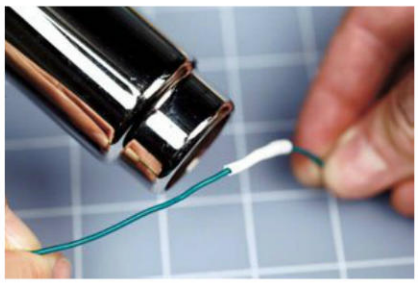


Figure 3-50. *Maintenez la chaleur sur la gaine jusqu'à ce qu'elle rétrécisse suffisamment pour recouvrir le joint.*

Copyright © 2013 Eyrolles.

Je vais maintenant vous inviter à exercer vos talents de soudeur sur deux projets pratiques. Dans le premier, vous ajouterez des fils rigides à votre adaptateur secteur ; dans le second, vous raccourcirez le câble d'alimentation d'un ordinateur portable. Dans les deux cas, vous pourrez utiliser le fer à souder le plus puissant, car aucune des deux tâches ne nécessite de composants sensibles à la chaleur.

Modifier un adaptateur secteur

Dans le chapitre précédent, j'ai évoqué la grande difficulté qu'il y avait à introduire les fils de l'adaptateur secteur dans les trous de la plaque de montage. Résolvons d'abord ce problème :

1. Coupez deux morceaux de fil rigide de diamètre 0,6 mm environ, l'un rouge, l'autre noir ou bleu. Chacun doit mesurer environ 5 cm de long. Retirez environ 0,6 cm de gaine isolante aux deux extrémités de chaque morceau.
2. Coupez le fil de l'adaptateur secteur. Dénudez un fil de cuivre neuf et propre pour permettre une meilleure adhésion de la soudure.

   Il est conseillé de faire en sorte qu'un conducteur soit plus long que l'autre afin de réduire le risque que les extrémités dénudées ne se touchent et ne créent un court-circuit. En cas de doute sur le conducteur positif, utilisez le multimètre en plaçant le sélecteur sur Volts CC.

Soudez les fils et insérez la gaine thermorétractable, comme dans l'exercice précédent. Le résultat doit s'apparenter à celui de la fig. 3-51.

Figure 3-51. *Les fils rigides, avec leur code couleur, soudés sur les fils d'un adaptateur secteur, constituent un moyen pratique d'alimenter une plaque de montage. Les fils sont de différentes longueurs pour éviter qu'ils ne se touchent.*

Raccourcir un câble d'alimentation

Lorsque je suis en déplacement, je n'aime pas m'encombrer. Aussi je trouve malcommode que le câble d'alimentation de mon ordinateur portable mesure plus d'un mètre, car je n'ai nullement besoin d'autant de fil.

opyright © 2013 Eyrolles.

Malgré de longues recherches, je n'ai pas pu trouver de câbles inférieurs à 90 cm. Aussi ai-je pris la décision d'en raccourcir un moi-même. Si vos impératifs ne sont pas les mêmes, essayez la procédure suivante sur un vieux câble, à titre de simple exercice. Ces étapes sont indispensables pour acquérir une certaine maîtrise dans la soudure des fils torsadés et lourds, et dans l'utilisation de la gaine thermorétractable.

1. Coupez le fil avec les pinces coupantes et séparez les deux conducteurs avec un couteau à lame rétractable. Lorsque vous épissez un cordon d'alimentation comportant deux ou plusieurs conducteurs, il est préférable que les joints ne se retrouvent pas face à face. Ils s'ajusteront bien mieux s'ils sont décalés et, en cas de défaillance de l'un des joints, le risque de court-circuit sera moins élevé.

Figure 3-52

Figure 3-53

Figure 3-54

Figure 3-55

Figure 3-56

Figure 3-57

Figure 3-58. *Les fig. 3-52 à 3-58 illustrent les étapes à suivre pour raccourcir le câble d'alimentation d'un ordinateur portable.*

2. Enlevez seulement 3 mm de l'isolant. Les pinces à dénuder automatiques (voir chapitre 1) sont mieux adaptées, mais les pinces à dénuder classiques conviennent parfaitement.
3. Coupez deux morceaux de gaine thermorétractable, long de 2,5 cm environ chacun, afin de pouvoir les glisser le long des conducteurs du câble. Coupez un autre morceau de gaine, de 5 cm environ, qui recouvrira intégralement le joint, une fois celui-ci terminé. Les étapes décrites jusqu'ici sont illustrées sur les fig. 3-52 à 3-58.
4. N'oubliez surtout pas que vous devez faire glisser la gaine le long du fil *avant* de procéder à la soudure elle-même, car les prises aux extrémités des fils empêcheront d'ajouter ultérieurement la moindre gaine thermorétractable.

Copyright © 2013 Eyrolles.

5. Utilisez la troisième main pour aligner le premier joint. Appuyez en même temps sur les deux fils pour qu'ils s'entremêlent, et pressez-les fermement entre le pouce et l'index afin qu'aucun morceau ne dépasse – sinon, il risquerait de percer la gaine quand celle-ci se réchauffera et ramollira, et de rétrécir autour du joint de soudure.
6. Le fil que vous joignez est plus lourd que le fil de diamètre 0,644 mm déjà utilisé. Par conséquent, il absorbe une plus grande quantité de chaleur : aussi devez-vous appliquer le fer à souder plus longtemps. Veillez à ce que la soudure se répartisse bien tout le long du joint et regardez en dessous une fois que le joint a refroidi. Il est probable que vous trouviez alors quelques fils de cuivre nus. Le joint devrait se présenter sous la forme d'une bosse brillante, ronde et solide. Maintenez la gaine thermorétractable aussi éloignée que possible du joint pendant que vous utilisez le fer à souder, afin que la chaleur ne rétrécisse pas la gaine prématurément et ne l'empêche de recouvrir le joint.

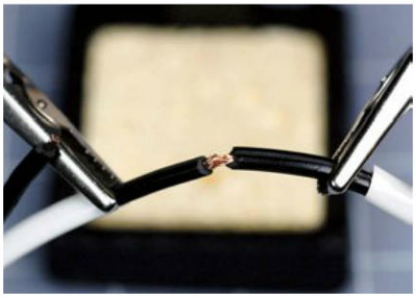


Figure 3-59

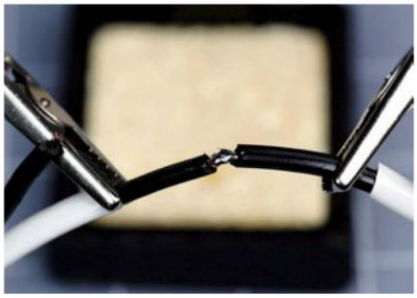


Figure 3-60

Figure 3-61

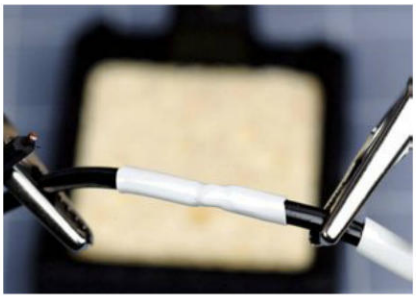


Figure 3-62

Figure 3-63

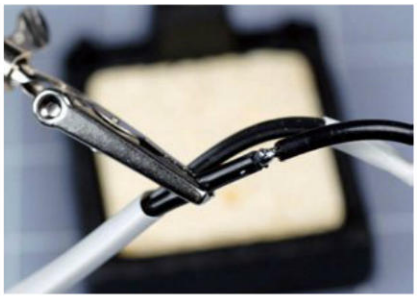


Figure 3-64

7. Quand le joint est froid, faites glisser par-dessus la gaine thermorétractable et appliquez le pistolet thermique. Répétez le processus avec l'autre conducteur. Enfin, recouvrez les joints de soudure à l'aide de la gaine la plus large. Vous n'avez pas oublié qu'il fallait placer la gaine la plus large sur le câble au début, n'est-ce pas ?

Les fig. 3-59 à 3-65 illustrent l'ensemble des étapes à suivre.

Si vous avez effectué les exercices de soudure proposés jusqu'ici, vous possédez les compétences suffisantes pour souder votre premier circuit électronique. Mais avant, je souhaite que vous soyez au courant de la vulnérabilité des composants à chauffer.

Figure 3-65. *Câble d'alimentation raccourci pour un ordinateur portable.*

Copyright © 2013 Eyrolles.

Expérience 13 : grillez une LED !

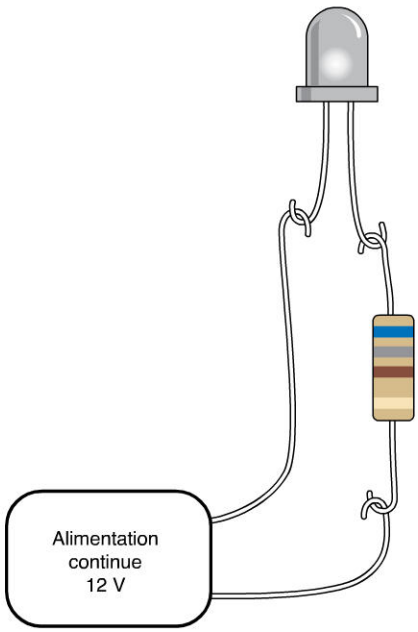


Figure 3-66. *En raccordant littéralement les broches d'une résistance et d'une LED à lumière blanche, nous réduisons la voie d'évacuation de la chaleur.*

Au chapitre 1, nous avons vu comment une LED devenait inutilisable si elle était traversée par un courant trop élevé. L'électricité avait produit de la chaleur et la LED avait fondu. Vous pouvez la faire fondre tout aussi aisément en appliquant une chaleur excessive sur l'un des fils avec un fer à souder. La question est : à partir de quelle température la chaleur sera-t-elle trop forte ?

Pour y répondre, vous aurez besoin des éléments suivants :

- 1 fer à souder de 30 ou 40 W
- 1 fer crayon de 15 W
- 2 LED
- 1 résistance de 680 Ω
- Pinces coupantes et pinces à becs effilés
- Accessoire troisième main

Ne vous servez pas des pinces crocodile pour relier la LED à une source d'alimentation, car elles détourneront et absorberont une partie de la chaleur du fer à souder. Utilisez à la place une pince à becs effilés pour plier chacune des broches de la LED sous forme de petits crochets ; procédez de même avec les broches de la résistance de 680 Ω. Enfin, courbez les nouveaux fils de l'adaptateur secteur de façon à ce qu'eux aussi s'apparentent à de minuscules crochets. À présent, vous pouvez attacher les crochets comme les maillons d'une chaîne (fig. 3-66).

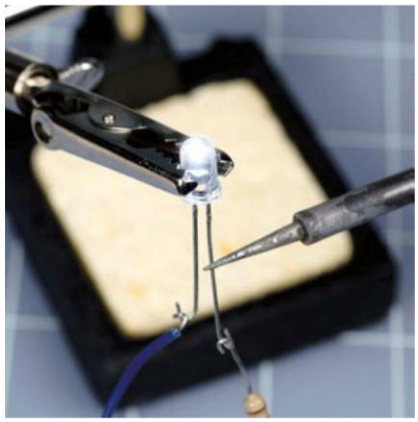


Figure 3-67. *Application de chaleur avec un fer à souder de 15 W. Une LED classique doit résister à ce traitement pendant 2 à 3 minutes, mais si vous utilisez à la place un fer de 30 W, la LED grillera en 15 secondes tout au plus.*

Placez le corps en plastique de la LED dans la troisième main. Le plastique n'est pas bon conducteur thermique, et de ce fait, la troisième main ne devrait pas détourner trop de chaleur de notre cible. La résistance peut être suspendue à l'un des fils de la LED, tout comme le fil de l'adaptateur secteur, un peu plus bas. Réglez l'adaptateur secteur pour qu'il fournisse 12 V comme auparavant et branchez-le : la LED doit émettre une lumière vive. Dans cette expérience, j'ai utilisé une LED blanche, car elle est plus facile à photographier.

Veillez bien à ce que les deux fils à souder soient réellement chauds. Ils doivent rester branchés pendant au moins cinq minutes. Prenez alors le fer crayon et appuyez fermement son extrémité sur l'un des fils de la LED allumée, tout en surveillant le temps de l'expérience avec une montre (fig. 3-67).

Je suis prêt à parier que ce contact peut être maintenu pendant trois bonnes minutes sans que la LED ne grille. C'est la raison pour laquelle vous devez utiliser ici un fer à souder de 15 W, qui est sans danger pour les travaux électroniques délicats.

Laissez le fil de la LED se refroidir, puis appliquez le fer à souder le plus puissant sur la même section de fil que précédemment. Une fois encore, veillez à ce qu'il soit complètement chaud : vous constaterez que la LED s'éteint après 10 secondes à peine (certaines LED résistent mieux aux températures élevées que d'autres). Aussi, n'utilisez pas de fer à souder de 30 W pour les tâches électroniques minutieuses.

Copyright © 2013 Eyrolles.

Le fer de 30 W n'atteint pas nécessairement une température plus élevée que le fer de 15 W. Il possède simplement une plus grande capacité de chaleur, ce qui signifie qu'il en sort, à une vitesse plus rapide, une quantité de chaleur plus élevée.

Remplacez la LED grillée par une nouvelle, branchée comme précédemment, mais ajoutez une pince crocodile en cuivre à l'une des broches près du corps de la LED, comme illustré à la fig. 3-68. Appuyez avec la pointe du fer de 30 W ou de 40 W sur la broche située juste sous la pince crocodile. Cette fois, vous devriez pouvoir maintenir en place le fer à souder pendant deux minutes sans brûler la LED.

Imaginez la chaleur qui circule entre l'extrémité du fer à souder et la broche qui conduit à la LED, excepté qu'au passage, la chaleur se heurte à la pince crocodile, comme illustré à la fig. 3-69. La pince ressemble à un bateau vide en attente de chargement. Comme elle offre beaucoup moins de résistance à la chaleur que le reste de la broche qui conduit à la LED, elle préfère passer par la pince en cuivre et la LED demeure ainsi indemne. À la fin de l'expérience, si vous touchez la pince, vous constaterez qu'elle est chaude, tandis que la LED demeure relativement froide.

Connue comme un dissipateur thermique, la pince crocodile doit être en cuivre, car le cuivre est l'un des meilleurs conducteurs de chaleur.

Le fer à souder de 15 W n'ayant pas réussi à endommager la diode, vous en conclurez peut-être que celui-ci est sans risque aucun et rend superflu tout recours à un dissipateur thermique. Peut-être aurez-vous raison, mais un problème se pose : personne ne sait réellement si certains semi-conducteurs sont plus sensibles à la chaleur que les LED. Comme griller un composant se traduit par des conséquences pour le moins désagréables, je vous conseille de jouer la carte de la sécurité et d'utiliser un dissipateur thermique dans les circonstances suivantes :

- Si vous appliquez un fer de 15 W très près d'un semi-conducteur, pendant 20 secondes ou plus.
- Si vous appliquez un fer de 30 W près de résistances ou de condensateurs, pendant 10 secondes ou plus (ne jamais l'utiliser à proximité de semi-conducteurs).
- Si vous appliquez un fer de 30 W près d'un composant susceptible de fondre, pendant 20 secondes ou plus. Parmi ces composants figurent les isolants des fils, les connecteurs en plastique et les composants en plastique des interrupteurs.

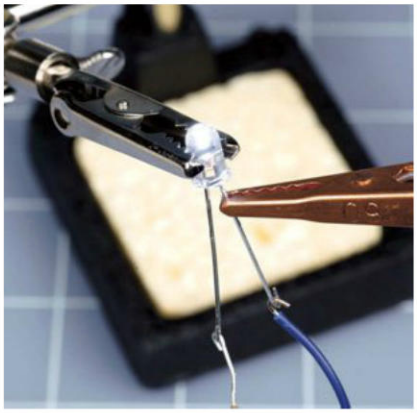


Figure 3-68. *Quand une pince crocodile en cuivre sert de dissipateur thermique, vous pouvez appliquer un fer à souder de 30 W (sous la pince) sans risque d'endommager la LED.*

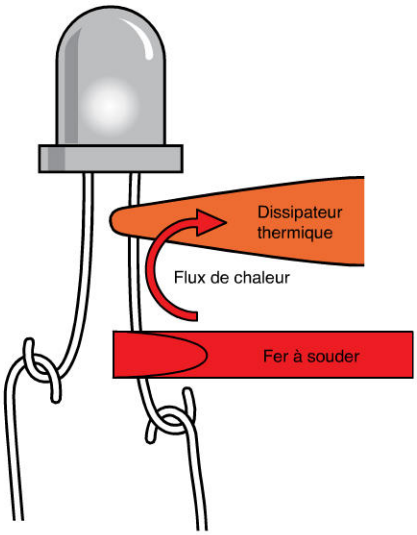


Figure 3-69. *Le dissipateur thermique intercepte la chaleur, l'absorbe et protège la LED contre les détériorations.*

Règles de la dissipation thermique

1. Les pinces crocodile en cuivre sont les mieux adaptées.
2. Fixez la pince crocodile le plus près possible du composant et le plus loin possible du point de soudure (pour ne pas détourner trop de chaleur du joint).
3. Assurez-vous qu'il existe une connexion de métal à métal entre la pince crocodile et le fil afin de permettre un bon transfert de chaleur.

opyright © 2013 Eyrolles.

FONDAMENTAUX

Tout sur les plaques perforées

Durant le reste de l'ouvrage, nous utiliserons une plaque perforée (ou plaque de prototypage) chaque fois que nous souhaiterons créer un circuit soudé et permanent. Trois solutions se présentent à vous.

1. Câblage point à point. Utilisez une plaque perforée sans connexion derrière les trous. Soit elle ne possède aucun placage de cuivre, comme sur la fig. 3-70, soit chaque trou est entouré de cuivre, comme à la fig. 3-71. Ces cercles ne sont pas connectés entre eux et servent uniquement à stabiliser les composants que vous assemblez.

   Le câblage point à point permet de placer les composants selon une disposition pratique et compacte, très similaire à un schéma. Sous la plaque, pliez les fils pour relier les composants et soudez-les, en ajoutant du fil si nécessaire. L'avantage de ce système est qu'il peut être très compact. Son inconvénient est que la disposition peut être déconcertante et conduire à des erreurs.

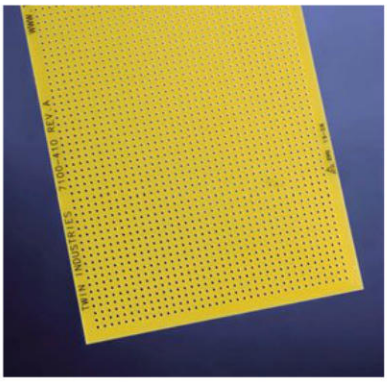


Figure 3-70

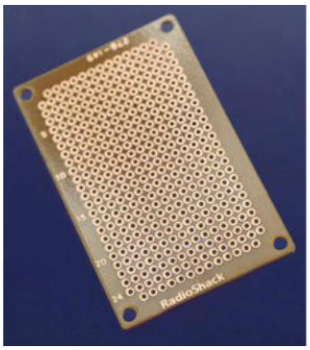


Figure 3-71. *Pour le câblage point à point de l'expérience 14, vous pouvez utiliser ce type de plaque perforée ou celui de la fig. 3-70.*

2. Câblage de type plaque de montage. Utilisez la plaque perforée avec placage de cuivre en respectant le même modèle que celui des fils conducteurs à l'intérieur d'une plaque de montage. Une fois que le circuit fonctionne sur cette dernière, transférez les composants sur la plaque perforée l'un après l'autre, en conservant leurs positions relatives. Soudez les pattes des composants au placage de cuivre. Puis coupez le fil en surplus. L'avantage de cette solution est d'être rapide, de ne nécessiter qu'une préparation minimale et de réduire le risque d'erreurs. Son inconvénient est qu'elle tend à gaspiller de l'espace. La fig. 3-72 illustre un exemplaire peu coûteux.
3. Vous pouvez graver votre propre circuit imprimé avec un placage de cuivre personnalisé pour relier les composants selon une disposition point à point. Il s'agit de la solution la plus professionnelle, mais elle requiert plus de temps, de complexité et de matériel que cet ouvrage ne l'autorise.

   Le câblage point à point revient à travailler avec des pinces crocodile, à une échelle beaucoup plus petite. Le premier projet avec soudure recourt à cette solution.

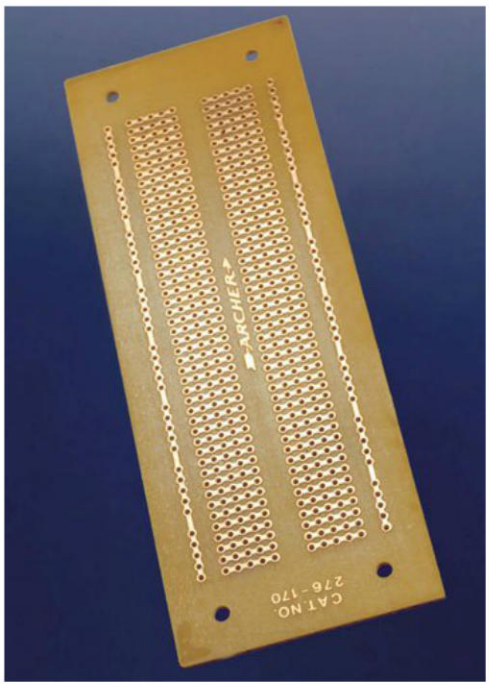


Figure 3-72. *Plaque perforée gravée avec placage de cuivre selon la disposition d'une plaque de montage. Exemple approprié à l'expérience 15.*

Copyright © 2013 Eyrolles.

Expérience 14 : un voyant qui clignote

Vous aurez besoin des éléments suivants :

- 1 plaque de montage
- 1 fer crayon de 15 W
- Fil de soudure fin (0,5 mm environ)
- Pinces coupantes et pinces à dénuder
- 1 plaque perforée simple (sans placage de cuivre)
- 1 étau pour maintenir la plaque perforée
- Résistances diverses
- Condensateurs électrolytiques de 100 µF et 220 µF, un de chaque
- 1 LED rouge, 5 mm, pour 2 V environ
- 1 transistor unijonction programmable (PUT) 2N6027

Votre premier circuit utilisant un PUT était un oscillateur à faible vitesse qui provoquait le clignotement d'une LED deux fois par seconde. Les clignotements paraissaient très électroniques, à savoir que la LED s'allumait et s'éteignait sans transition progressive entre chaque état. Est-il possible de modifier le circuit pour que l'impulsion soit plus douce, un peu à l'image du voyant d'un Apple MacBook quand il est en mode veille ? Par ailleurs, je me dis qu'un tel dispositif pourrait très bien être utilisé à des fins décoratives, s'il est assez discret et esthétique.

Ce projet initial de soudure répond à trois objectifs. Il testera et affinera votre capacité à joindre des fils, vous enseignera le câblage point à point avec la plaque perforée et vous offrira un aperçu supplémentaire sur la façon d'utiliser les condensateurs pour régler l'impulsion.

Revenez au circuit original de l'expérience 11, page 82. Souvenez-vous que le condensateur se charge au travers d'une résistance jusqu'à ce qu'il possède une tension suffisante pour surmonter la résistance interne du PUT. Puis le condensateur se décharge via le PUT et déclenche le clignotement de la LED.

Si vous dessiniez un graphique de la lumière émise par la diode, l'impulsion serait étroite et rectangulaire, comme illustré à la fig. 3-73. Comment faire pour que le graphique s'apparente plus à la courbe de la fig. 3-74, afin que le clignotement de la LED croisse et décroisse en douceur, comme un battement de cœur ?

Une chose est évidente : la LED va émettre au cours de chaque cycle une plus grande quantité de lumière et, par conséquent, nécessiter une puissance plus importante. Il s'ensuit que, dans la fig. 3-75, le condensateur C1 doit avoir une capacité plus élevée.

Plus le condensateur a une grande valeur, plus il met de temps à se charger. Afin que le clignotement conserve une fréquence raisonnable, nous avons besoin d'une résistance de valeur plus faible pour que R1 charge le condensateur suffisamment vite. En outre, en diminuant les valeurs de R2 et R3, le PUT autorisera une impulsion plus longue.

Le plus important est que le condensateur se décharge au travers d'une résistance pour que le déclenchement de l'impulsion soit progressif, et non soudain. Souvenez-vous : quand une résistance est montée en série avec un condensateur, celui-ci se charge et se décharge plus lentement.

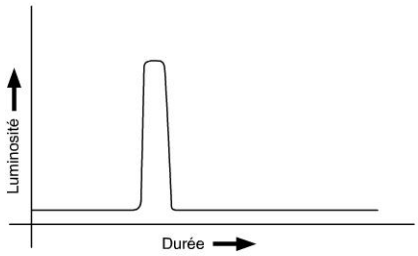


Figure 3-73

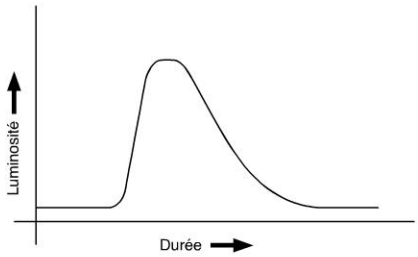


Figure 3-74. *Dans le circuit de l'expérience 11, la LED émettait des clignotements brefs. Le graphique du haut illustre ce que l'on obtiendrait si l'on mesurait le flux lumineux au fil du temps. Le graphique du bas représente un allumage plus doux pour chaque clignotement, suivi d'une lente atténuation. Les condensateurs permettent d'obtenir un tel effet.*

opyright © 2013 Eyrolles.

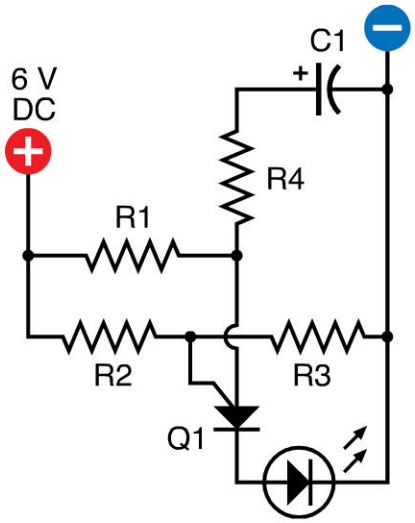


Figure 3-75. *La première étape pour créer un effet de clignotement plus en douceur consiste à utiliser un condensateur C1 plus élevé et à le décharger au travers d'une résistance R4. Des résistances de valeurs plus faibles sont nécessaires pour que le condensateur se charge rapidement.*

R1 : 33K
R2 : 1K
R3 : 1K
R4 : 1K
C1 : condensateur électrolytique de 100 µF
Q1 : 2N6027

La fig. 3-75 illustre ces caractéristiques. Comparez-la à la fig. 2-103, page 85. La résistance R1 n'est plus de 470K, mais de 33K. Les résistances R2 et R3 ont maintenant une valeur d'1K, de même que R4, ce qui explique que le condensateur mette plus de temps à se décharger. Enfin, la valeur du condensateur est désormais 100 µF et non 2,2 µF.

Assemblez le circuit sur une plaque de montage et comparez les résultats selon que vous incluez R4 ou la court-circuitez avec un morceau de fil ordinaire. L'impulsion s'en trouve légèrement atténuée. Sur la sortie du PUT, nous pouvons aussi ajouter un autre condensateur. Il se chargera automatiquement quand l'impulsion sortira du PUT, puis se déchargera progressivement via une autre résistance, de telle sorte que la lumière de la LED faiblira plus lentement.

La fig. 3-76 illustre l'installation. Comme le condensateur possède une valeur élevée de 220 µF, il absorbe l'impulsion en provenance du PUT, puis la libère progressivement via la résistance R5 de 330 Ω et la LED. Vous pouvez remarquer que la LED se comporte à présent différemment, avec un clignotement atténué. Cependant, les résistances ajoutées ont baissé l'intensité lumineuse de la LED, et pour l'augmenter, il est nécessaire d'accroître l'alimentation de 6 à 9 V.

N'oubliez pas qu'un condensateur n'impose un effet de lissage que si l'un de ses côtés est relié à la branche négative de l'alimentation. La présence de la charge négative de ce côté-là du condensateur attire l'impulsion positive de l'autre côté.

L'effet obtenu, qui évoque un battement de cœur, me plaît bien. J'imagine tout à fait un bijou électronique dont l'impulsion serait différente de celle d'un simple oscillateur. Le seul problème est de savoir s'il est possible de faire contenir les composants au sein d'un même boîtier, de façon à porter l'ensemble comme un bijou.

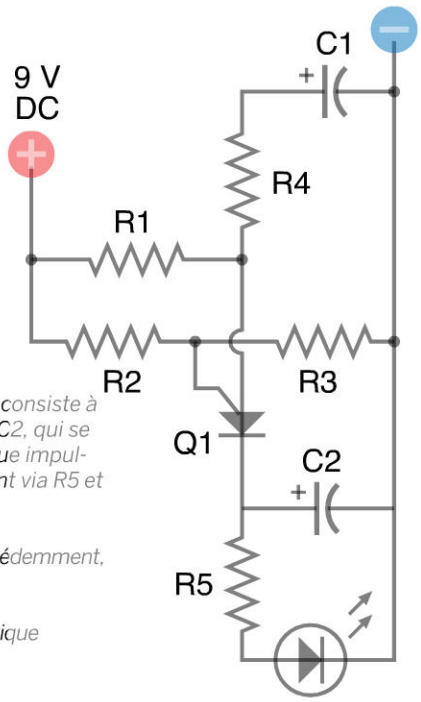


Figure 3-76. *La deuxième étape consiste à ajouter un autre condensateur C2, qui se charge plus rapidement à chaque impulsion, puis se décharge lentement via R5 et la LED située en dessous.*

Même composants que précédemment, plus :
R5 : 330 Ω
C2 : condensateur électrolytique de 220 µF
Alimentation : 9 V

Figure 3-77. *Par une nuit sombre en pleine campagne, un clignotant semblable au battement du cœur peut présenter un aspect aussi séduisant qu'inattendu.*

Copyright © 2013 Eyrolles.

Redimensionnement du circuit

La première étape consiste à examiner les composants physiques et à imaginer comment les regrouper dans un espace réduit. La fig. 3-78 illustre la vue 3D d'une disposition compacte. Vérifiez le circuit avec soin, en suivant tous les chemins, et vous constaterez qu'il est identique au schéma. Le problème est que si nous soudons les composants ainsi, ils n'auront guère de résistance. Tous les petits fils peuvent se plier aisément et il n'existe aucun moyen simple de monter le circuit sur une plaque ou autre.

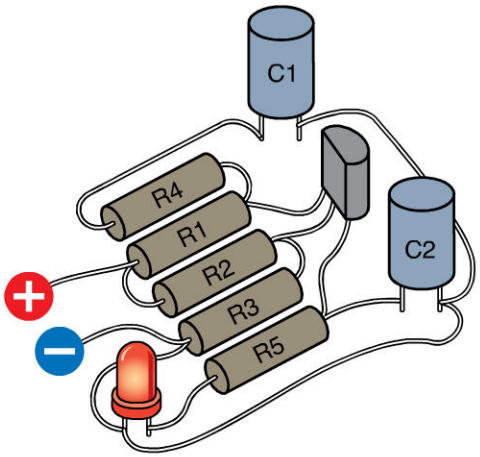


Figure 3-78. *Cette disposition des composants reproduit les connexions du schéma tout en les faisant contenir dans un espace minimal.*

La réponse consiste à le placer sur un substrat, l'un de ces termes que les férus d'électronique aiment utiliser. Quoi qu'il en soit, nous avons besoin d'une plaque perforée ; la fig. 3-79 représente les composants transférés sur un morceau de plaque de 2,54 × 2,032 cm.

Le schéma du milieu illustre par des lignes pointillées les connexions des composants sous la plaque. Pour l'essentiel, les broches qui dépassent des composants seront assez longues pour créer ces connexions.

Le schéma du bas montre la plaque perforée basculée de gauche (G) à droite (D) – j'ai utilisé une couleur plus sombre pour représenter le dessous de la plaque. Les cercles de couleur orange indiquent les emplacements des futurs joints de soudure.

Il se peut que la LED se trouve à une certaine distance du circuit ; elle doit donc ne pas pouvoir se débrancher, tout comme la source d'alimentation. Heureusement, il est possible d'acheter des connecteurs miniatures qui s'ajustent directement à la plaque perforée. Reportez-vous à la fig. 3-29 et consultez la liste du matériel des expériences 12 à 15 pour plus d'informations.

Il s'agit là d'une conception très compacte qui nécessite une utilisation minutieuse du fer crayon. Comme un morceau de plaque perforée aussi petit que celui-ci tend à s'échapper des mains, je vous conseille de fixer l'un de ses côtés à l'aide de l'étau miniature, tout en vous permettant de tourner la plaque facilement.

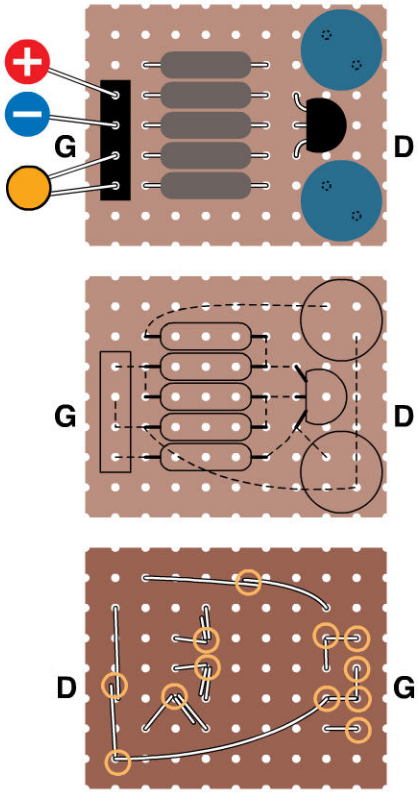


Figure 3-79. *La plaque perforée peut être utilisée pour disposer les composants. Les broches sont soudées ensemble sous la carte pour créer le circuit. Le schéma intermédiaire représente en pointillés les fils situés sous la carte. Le schéma du bas montre la carte par en dessous, basculée de gauche à droite. Les cercles de couleur orange indiquent les emplacements où les joints de soudure seront nécessaires.*

opyright © 2013 Eyrolles.

Quand je travaille sur ce type de projet, j'aime le fixer (avec l'étau attaché) sur un morceau de mousse de polyuréthane, du type de celle utilisée pour les coussins. La mousse protège les composants contre tout dégât quand la carte est retournée et évite aussi que le montage ne glisse de façon imprévue.

Étape par étape

La procédure à suivre pour le montage de ce circuit est la suivante :

1. Découpez un petit morceau de plaque perforée sans placage de cuivre. Vous pouvez à cette fin utiliser une scie miniature, ou casser avec soin la plaque le long des lignes de trous. Autre solution : utilisez un petit morceau de plaque prêt à être découpé et comportant des cercles en cuivre non connectés entre eux. Dans ce projet, nous ignorerons les cercles en cuivre.
2. Rassemblez tous les composants et insérez-les soigneusement dans les trous de la plaque, sans oublier de les compter afin de vous assurer que tout se trouve à la bonne place. Retournez la plaque et pliez les broches des composants pour les ancrer à la carte et créer les connexions comme illustré. Si l'un des fils est trop court, prolongez-le avec un fil de diamètre 0,6 mm environ. Vous pouvez supprimer toutes les parties isolantes, car la plaque perforée sera montée sur un plastique lui-même isolant.
3. Découpez approximativement les fils avec les pinces coupantes.
4. Créez les joints de soudure avec le fer crayon. Dans ce circuit, nous nous contentons de souder les fils entre eux. Les composants sont si proches qu'ils empêchent que les fils ne s'entortillent. Si vous utilisez une plaque avec des petits cercles de cuivre autour des trous et y réalisez quelques connexions soudées dessus, comme je l'ai fait, cela ne posera aucun problème, aussi longtemps que le composant voisin est préservé et qu'il n'y a pas de risque de court-circuit.
5. Vérifiez chaque point de soudure à l'aide d'une loupe en les manipulant avec une pince à becs longs. S'il n'y a pas assez de soudure pour créer un joint réellement sûr, chauffez-la à nouveau et ajoutez-en. Si la soudure a créé une connexion inutile, prenez un couteau et pratiquez deux fentes parallèles dans la soudure, puis raclez l'espace intermédiaire.

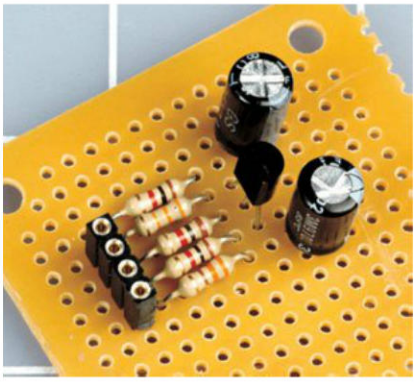


Figure 3-80. *Composants montés sur un morceau de plaque perforée.*

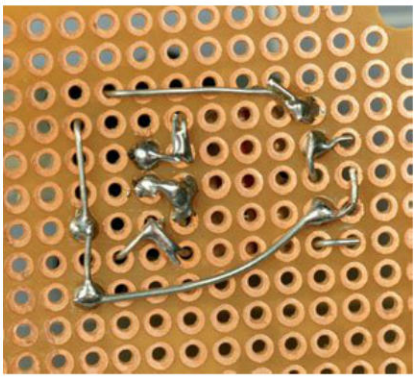


Figure 3-81. *Assemblage vu par en dessous. Les cercles en cuivre autour des trous ne sont pas nécessaires pour ce projet. Un peu de soudure s'est déposée sur certains, mais sans conséquence tant qu'aucun court-circuit involontaire ne survient.*

Généralement, j'insère trois ou quatre composants, coupe approximativement les fils, et vérifie les joints et les emplacements. Si je soude trop de composants à la suite, le risque est grand de ne pas remarquer une soudure défaillante, et si je me trompe dans le placement d'un composant, il est beaucoup plus difficile de rectifier l'erreur si celui-ci est déjà entouré d'autres composants.

Les fig. 3-80 et 3-81 illustrent la version de mon projet, avant que je ne coupe la plaque à la taille minimale.

Copyright © 2013 Eyrolles.

Segments de fil volants

Les mâchoires des pinces coupantes exercent une force croissante qui se libère brusquement lorsque le fil ou la broche d'un composant est coupé. Aussi cette force peut entraîner un mouvement brusque du segment coupé. Les fils les plus légers ne présentent pas de risques, mais les fils rigides peuvent voler dans une direction imprévisible et vous blesser à l'œil par exemple, les broches des transistors étant particulièrement dangereuses.

Je vous conseille donc de porter des lunettes de sécurité quand vous coupez un fil.

Fin de l'expérience

Je choisis toujours un éclairage très lumineux, non par luxe mais par nécessité. Mais achetez une lampe de bureau bon marché, si vous ne possédez pas déjà ce type d'éclairage. Pour ma part, j'utilise une lampe fluorescente à spectre, car elle permet d'identifier en toute fiabilité les bandes de couleur des transistors. Notez que ce type de lampe émet un fort rayonnement ultraviolet, qui ne convient pas aux yeux. Évitez de regarder de près et directement le tube de la lampe ; si vous portez des lunettes, vous bénéficierez d'une protection supplémentaire.

Quelle que soit la qualité de votre vision de près, examinez chaque joint avec la loupe. Vous serez surpris du degré d'imperfection de certains joints. Tenez la loupe aussi près que possible de l'œil.

À la fin, vous devrez vous retrouver avec un circuit en état de marche. Vous pouvez insérer les fils de l'alimentation dans deux des connecteurs, puis brancher une LED rouge dans les deux restants. Souvenez-vous que les deux bornes centrales sont négatives et que les deux bornes extérieures sont positives, car il était plus facile de câbler le circuit ainsi. Codez-les avec des couleurs différentes pour éviter toute erreur.

Vous disposez maintenant d'un minuscule circuit dont le clignotement évoque un battement de cœur. En principe. Si vous avez quelques difficultés à le faire fonctionner, examinez attentivement chaque connexion par rapport au schéma. Si vous ne décelez pas d'erreur, appliquez l'alimentation au circuit, attachez le fil noir du multimètre à la branche négative, puis parcourez le circuit avec le fil rouge afin de vérifier la tension. En chaque point doit exister une tension quand le circuit est en état de marche. Si vous découvrez une connexion défectueuse, il se peut qu'un joint ait été mal soudé ou soit manquant.

Une fois que vous avez terminé, que faire ? Peut-être réfléchir à la manière de porter sur vous l'objet créé.

D'abord, prenez en compte l'alimentation. En raison des composants utilisés, il faut une alimentation de 9 V. Comment faire pour porter en ornement ce circuit fonctionnant sous 9 V alors que le bloc d'alimentation est relativement encombrant ?

opyright © 2013 Eyrolles.

Trois réponses possibles :

1. Placez la pile dans une poche et montez le clignotant à l'extérieur, en insérant un fil à l'intérieur du tissu. Notez que le minuscule connecteur d'alimentation de la plaque perforée accepte deux fils de diamètre 0,644 mm, qu'ils soient rigides ou torsadés (comme ceux d'un connecteur de pile 9 V), mais après avoir été légèrement recouverts de soudure.
2. Montez la pile à l'intérieur d'une casquette et placez le clignotant à l'avant.
3. Superposez trois piles bouton de 3 V et maintenez-les avec une pince en plastique ou autre. Si vous testez cette option, il n'est peut-être pas conseillé de souder le fil sur la pile. En effet, le liquide à l'intérieur de la pile chauffera, ce qui ne sera pas sans danger pour la pile et pour vous-même si le liquide bout et que la pile s'ouvre violemment. En outre, la soudure n'adhère pas aisément au revêtement métallique de la plupart des bornes de pile.

La majorité des LED créent un faisceau de lumière vive, que vous souhaiterez diffuser de façon plus douce. Une solution consiste à utiliser un morceau de plastique acrylique transparent, large d'environ 2,5 cm (fig. 3-82). Passez l'acrylique au papier de verre, idéalement avec une ponceuse orbitale. Le ponçage rendra l'acrylique translucide plutôt que transparent.

Percez un trou légèrement plus grand que la LED au dos de l'acrylique, sans traverser la totalité du plastique. Retirez la poussière et les débris en projetant de l'air comprimé dans le trou ou en le nettoyant si vous n'avez pas de compresseur d'air. Une fois que la cavité est totalement sèche, utilisez du silicone transparent ou mélangez de la colle époxy à prise rapide et déposez-en une goutte au fond du trou. Puis insérez la LED de telle façon que la colle déborde et crée une fermeture étanche. Voir fig. 3-82.

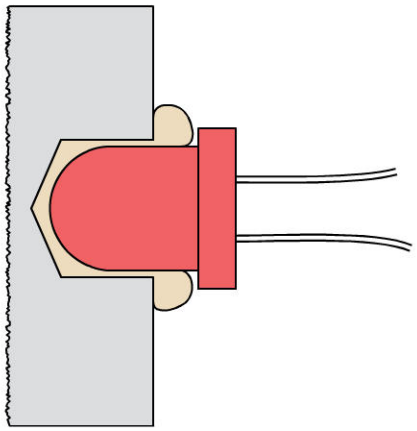


Figure 3-82. *Cette vue transversale montre une feuille d'acrylique transparent dans laquelle un trou a été percé de l'arrière vers l'avant. Comme le foret d'une perceuse crée un trou à forme conique et que la LED possède des contours arrondis, il est possible d'injecter de la colle époxy transparente ou du silicone dans le trou avant de monter la LED.*

Essayez d'allumer la LED et poncez davantage l'acrylique si nécessaire. Enfin, vous pouvez choisir de monter le circuit à l'arrière de l'acrylique ou de faire courir un fil pour le disposer à un autre emplacement.

opyright © 2013 Eyrolles.

Comme la LED clignote à peu près au rythme d'un cœur humain au repos, elle semble mesurer votre pulsation cardiaque, plus particulièrement si vous l'installez sur votre poitrine ou l'attachez à votre poignet. Si vous avez l'esprit farceur, laissez croire que vous vous trouvez dans une forme si éblouissante que votre rythme cardiaque demeure constant, même lorsque vous vous livrez aux exercices physiques les plus exigeants !

Pour fermer correctement le circuit, il existe diverses options, depuis la colle époxy jusqu'au médaillon en bronze. À vous de choisir ! Après tout, c'est un livre sur l'électronique et non sur l'artisanat.

Une dernière question : combien de temps ce magnifique gadget continuera-t-il à clignoter ? Si vous consultez l'encadré ci-dessous « Durée de vie d'une pile », vous découvrirez qu'une pile de 9 V alcaline normale doit permettre à la diode de clignoter pendant 50 heures.

COMPLÉMENTS

Durée de vie d'une pile

Chaque fois que vous finaliserez un circuit fonctionnant à l'aide d'une pile, vous aurez envie de savoir combien de temps elle durera. Rien de plus facile, car les fabricants classent leurs piles en fonction des ampères-heures qu'elles fournissent. Gardez à l'esprit les points suivants :

- L'abréviation d'ampère-heure est Ah (ou AH). Les milliampères-heures s'écrivent mAh.
- La valeur d'une pile en ampères-heures est égale à l'intensité, mesurée en ampères, multipliée par le nombre d'heures de fonctionnement assurées par cette pile.

Ainsi, en théorie, 1 ampère-heure peut signifier 1 ampère pendant 1 heure, ou 0,1 ampère pendant 10 heures, ou 0,01 ampère pendant 100 heures, etc. Toutefois, la réalité n'est pas aussi simple, car les substances chimiques à l'intérieur de la pile s'épuisent plus rapidement quand vous tirez un courant élevé, notamment si la pile chauffe. Restez dans les limites adaptées à la taille de la pile.

Par exemple, si une pile est donnée pour fournir 0,5 ampère-heure, vous ne pouvez pas espérer tirer un courant de 30 ampères pendant 1 minute. Mais vous devrez obtenir 0,005 ampère (soit 5 milliampères) pendant 100 heures sans aucune difficulté. N'oubliez pas cependant que la tension fournie par une pile est supérieure à celle estimée quand elle est neuve, et diminue au fur et à mesure qu'elle délivre de l'énergie.

Certaines données de test dans lesquelles j'ai toute confiance (je pense qu'elles sont un peu plus réalistes que les estimations fournies par les fabricants de piles) mettent en évidence les résultats suivants :

- Pile alcaline 9 V classique : 0,3 ampère-heure, avec un courant de 100 mA.
- Pile AA classique, pile alcaline 1,5 V : 2,2 ampères-heures, avec un courant de 100 mA.
- Pile hybride nickel-métal rechargeable : à peu près deux fois la durée de vie d'une pile alcaline de taille comparable.
- Pile au lithium : environ trois fois la durée de vie d'une pile alcaline.

Copyright © 2013 Eyrolles.

HISTOIRE

Les systèmes de mesure

En électronique, vous rencontrerez aussi bien des mesures en millimètres qu'en pouces, et ce, sur la même fiche technique.

Les États-Unis sont le seul grand pays qui utilise l'ancien système d'unités né en Angleterre. Il faut dire qu'ils sont à l'origine de nombreuses avancées en électronique, notamment dans le développement des puces en silicium, dont les contacts sont espacés d'1/10 pouce. Ces normes sont fermement établies et ne semblent nullement appelées à disparaître.

Pour compliquer un peu plus la situation, vous rencontrerez aux États-Unis deux systèmes incompatibles pour exprimer les fractions de pouce. Les forets de perceuse, par exemple, se mesurent en multiples d'1/64 pouce, alors que l'épaisseur des métaux peut s'exprimer en valeurs décimales, telles que 0,06 pouce (soit environ 1/16 pouce).

Le système métrique n'est pas nécessairement plus rationnel que le système américain. À l'origine, quand le mètre a été formellement introduit en 1875, il était défini comme égal à 1/10 000 000 de la distance entre le pôle Nord et l'équateur, le long d'une ligne passant par Paris. Depuis, le mètre a été redéfini trois fois, afin d'obtenir la plus grande précision possible dans les applications scientifiques.

Dans un système de numération en base 10, le déplacement de la virgule est certainement plus simple que d'effectuer des calculs en 64e de pouce. La seule raison pour laquelle nous comptons en dixièmes est que nous avons dix doigts. Un système de base 12 serait en réalité plus pratique, puisque les nombres seraient divisibles par 2 et par 3.

Pour aider le lecteur à passer d'un système de mesure à l'autre, j'ai créé les graphiques des fig. 3-83 et 3-84. Ainsi, si vous devez percer un trou pour une diode de 5 mm, vous constaterez qu'un foret de 3/16 pouce est le mieux adapté.

Copyright © 2013 Eyrolles.

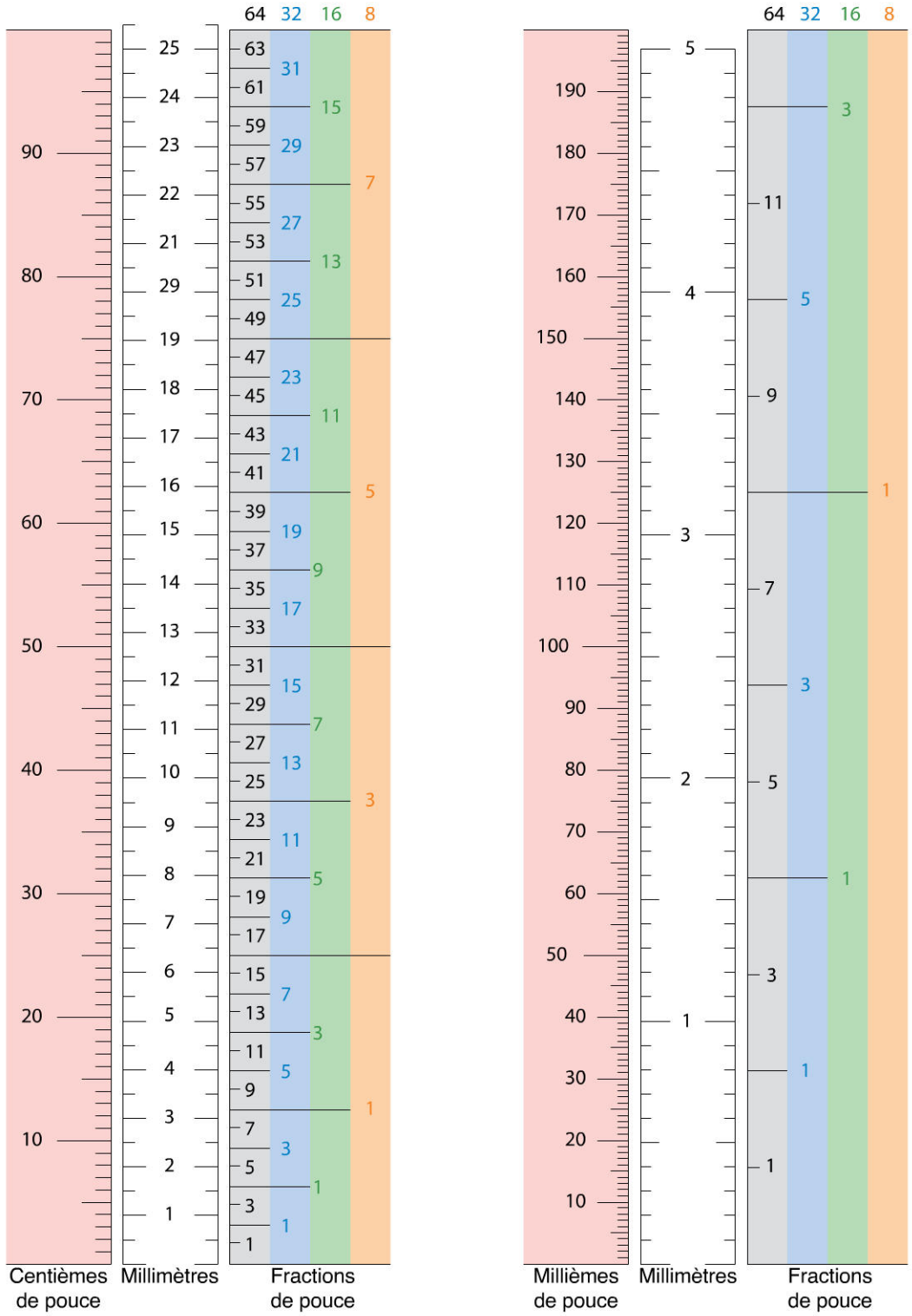


Figure 3-83. *Comme les unités de mesure ne sont pas normalisées en électronique, une conversion est souvent nécessaire. Le graphique de droite est un agrandissement (facteur 5) de la partie inférieure de celui de gauche.*

Copyright © 2013 Eyrolles.

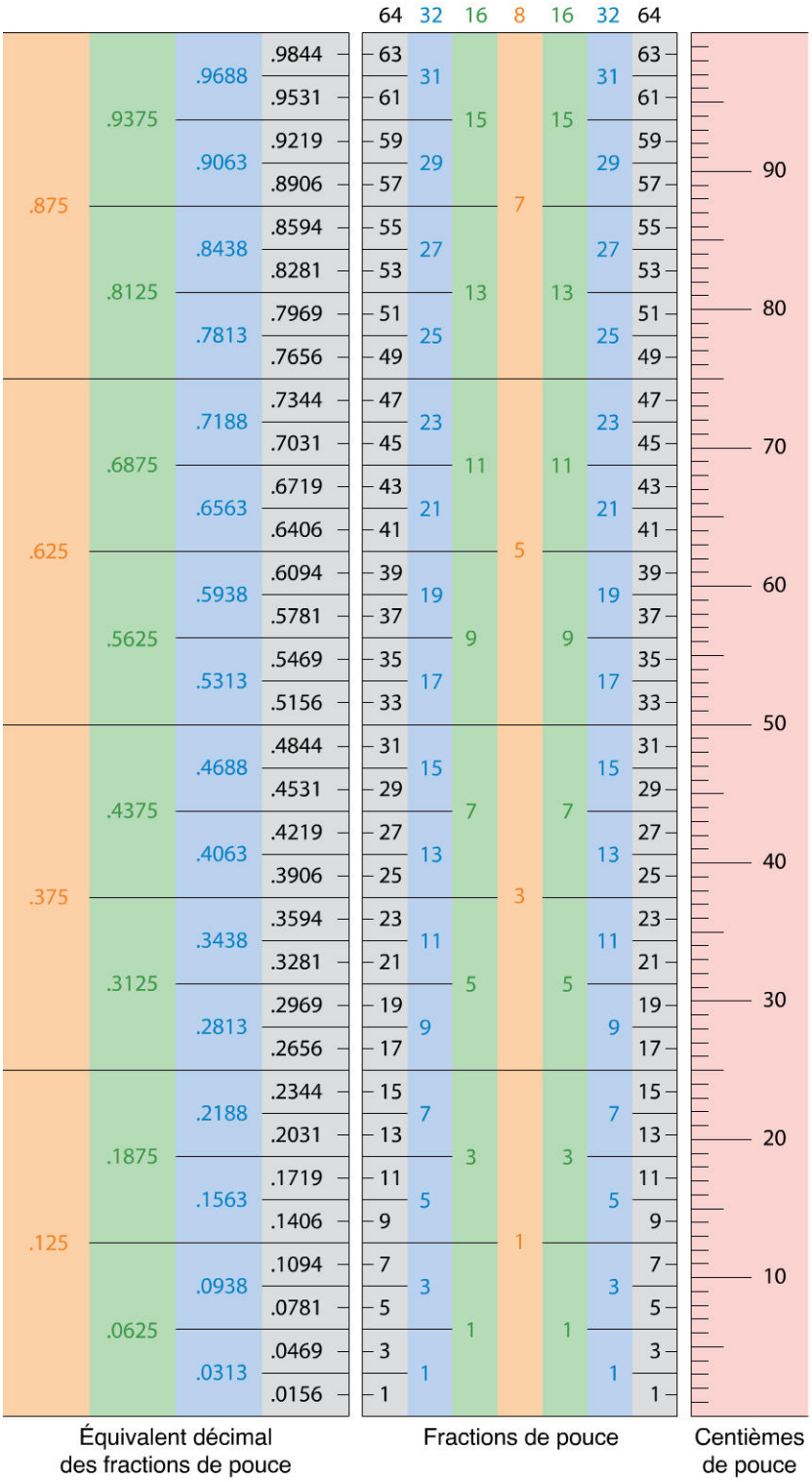


Figure 3-84. *Ce graphique permet la conversion entre centièmes de pouce, fractions américaines conventionnelles d'un pouce et fractions exprimées en millièmes de pouce.*

Copyright © 2013 Eyrolles.

Expérience 15 : amélioration de l'alarme d'intrusion

Il est temps d'apporter quelques améliorations à l'alarme de l'expérience 11. Je vais vous montrer comment l'alarme peut être déclenchée si vous installez des détecteurs sur les portes et les fenêtres de votre maison. Je vous expliquerai aussi comment câbler l'alarme de telle sorte qu'elle se verrouille automatiquement et continue à retentir même après qu'une porte ou une fenêtre a été refermée.

Cette expérience illustre aussi la procédure de transfert d'un projet d'une plaque de montage vers un morceau de plaque perforée avec connexions en cuivre disposées de façon identique à celles de la plaque de montage. Puis, une fois achevé, ce projet sera placé dans un boîtier avec interrupteurs et connecteurs à l'avant.

Vous serez alors en mesure de fabriquer un circuit destiné à être commercialisé. Dans la suite de l'ouvrage, les explications deviendront progressivement plus brèves, et le rythme s'accélérera.

Vous aurez besoin des éléments suivants :

- 1 fer crayon de 15 W
- Fil de soudure fin (0,5 mm environ)
- Pinces coupantes et pinces à dénuder
- 1 plaque perforée avec placage de cuivre et disposition en plaque de montage
- 1 étau pour maintenir la plaque perforée
- Mêmes composants que ceux utilisés pour l'expérience 11, avec en outre :
  - 1 transistor 2N222 NPN
  - 1 relais DPDT
  - 1 interrupteur à bascule SPDT
  - 1 diode 1N4001
  - 1 LED 5 mm rouge et 1 LED 5 mm verte
  - 1 boîtier de projet, 15 × 8 × 5 cm environ
  - 1 connecteur jack, type N, et sa prise correspondante, type N
  - Bornes d'attache
  - Fil souple de diamètre 0,644 mm, de trois couleurs différentes
  - Interrupteurs magnétiques de détection, en nombre nécessaire à votre logement
  - Câblage d'un réseau d'alarme, de longueur suffisante pour votre logement

opyright © 2013 Eyrolles.

Interrupteurs magnétiques de détection

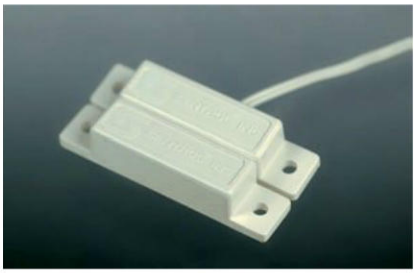


Figure 3-85. *Dans ce simple interrupteur d'alarme de détection, le module inférieur contient un aimant, qui ouvre et ferme l'interrupteur ILS scellé dans le module supérieur.*

Un détecteur d'alarme classique se compose de deux modules : le module magnétique et le module d'interruption, comme illustré aux fig. 3-85 et 3-86. Le module magnétique contient un aimant permanent, et rien d'autre. Le module d'interruption comporte un interrupteur ILS en ampoule (interrupteur à lames souples ou interrupteur *reed*) qui établit ou rompt la connexion (comme le contact d'un relais) sous l'influence de l'aimant. Lorsque vous approchez le module magnétique du module d'interruption, il se peut que vous entendiez légèrement le clic de l'interrupteur ILS lorsqu'il bascule d'un état à l'autre.

Comme tout interrupteur, un interrupteur ILS peut être normalement ouvert ou normalement fermé. Pour ce projet, vous privilégierez celui qui est normalement ouvert, et qui se ferme lorsque le module magnétique est à proximité.

Fixez le module magnétique à la partie mobile de la fenêtre ou de la porte, et attachez le module d'interruption au châssis. Quand la porte ou la fenêtre est fermée, le module magnétique touche presque le module d'interruption. L'aimant maintient le commutateur fermé jusqu'à ouverture de la porte ou de la fenêtre, auquel cas le commutateur lui-même s'ouvre.

Comment utiliser ce composant pour déclencher l'alarme ? Aussi longtemps qu'un faible courant traverse tous les contacteurs de détection magnétiques, l'alarme doit rester éteinte, mais si le flux de courant cesse, l'alarme doit se déclencher.

Nous pourrions utiliser un relais qui serait toujours dans l'état ON quand l'alarme est armée. Si le circuit est interrompu, le relais se relâche et son autre paire de contacts se ferme, ce qui active la sirène de l'alarme.

Cette idée ne me plaît pas toutefois. Les relais consomment une alimentation élevée et chauffent. La plupart ne sont pas conçus pour rester toujours à l'état ON. Je préfère recourir à un transistor.

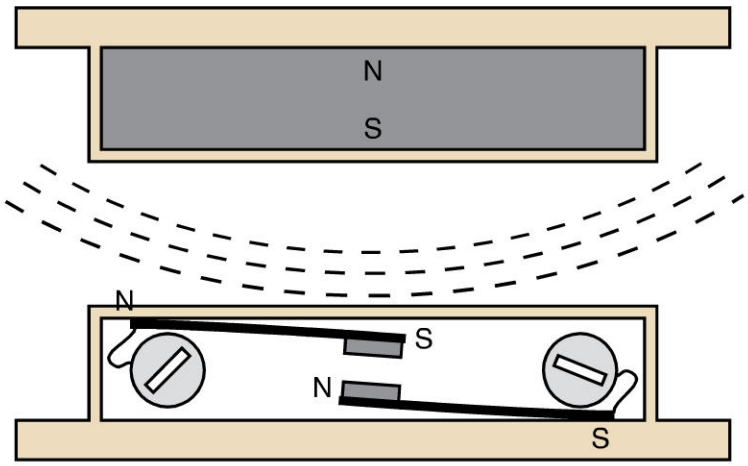


Figure 3-86. *Ce schéma en plan de coupe illustre un interrupteur ILS en ampoule (en bas) et l'aimant qui l'active (en haut), à l'intérieur d'un détecteur d'alarme. L'interrupteur contient deux lames magnétiques flexibles : la lame supérieure avec le pôle sud adjacent à un contact électrique, et la lame inférieure avec le pôle nord adjacent à un contact électrique. Quand le pôle sud de l'aimant s'approche de l'interrupteur, la force magnétique (représentée par les pointillés) repousse le contact sud et attire le contact nord. Deux vis à l'extérieur du boîtier sont connectées aux lames intérieures.*

Copyright © 2013 Eyrolles.

Transistor déclenché par l'ouverture du circuit

Rappelons d'abord le fonctionnement d'un transistor NPN. Lorsque la base n'est pas suffisamment positive, le transistor bloque le courant entre son collecteur et son émetteur ; quand elle est relativement positive, le transistor transmet le courant.

Regardez le schéma de la fig. 3-87, conçu autour du transistor 2N2222 NPN. Quand l'interrupteur est fermé, il connecte la base à la branche négative de l'alimentation via la résistance d'1K. Au même moment, la base est connectée à la branche positive de l'alimentation via la résistance de 10K. En raison de la différence des résistances et de la tension de seuil relativement haute de la LED, la base se retrouve sous sa tension de seuil et, en conséquence, le transistor ne transmet pas beaucoup de courant. Au mieux, la LED brille faiblement.

Maintenant, que se passe-t-il une fois le commutateur ouvert ? La base du transistor perd son alimentation négative et ne conserve que son alimentation positive. Elle devient bien plus positive, au-dessus de la tension de seuil : le transistor sait alors qu'il doit diminuer sa résistance et transmettre plus de courant. La LED émet maintenant une lumière vive. Ainsi, quand l'interrupteur est éteint et rompt la connexion, la LED s'allume.

Tel est semble-t-il le résultat escompté. Imaginons un ensemble d'interrupteurs au lieu d'un seul, comme illustré à la fig. 3-88. Le circuit continue à fonctionner de la même façon, même si les interrupteurs sont dispersés à travers la maison, car la résistance des câbles connectant les interrupteurs demeure insignifiante, en comparaison de celle d'1K.

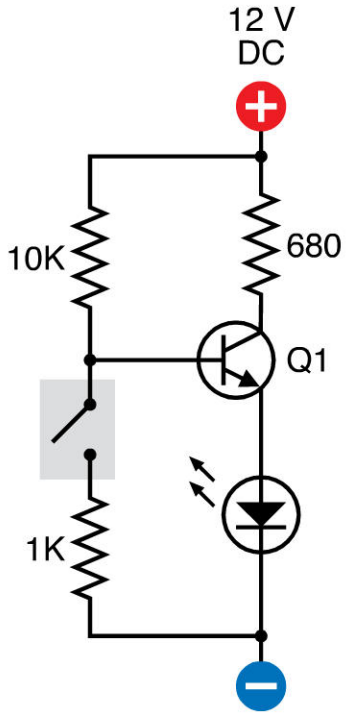


Figure 3-87. *Dans ce circuit, quand l'interrupteur est ouvert, il interrompt la tension négative à la base du transistor et contraint le transistor à diminuer sa résistance, ce qui permet au courant d'atteindre la LED. Ainsi, quand l'interrupteur est éteint, il active la LED.*

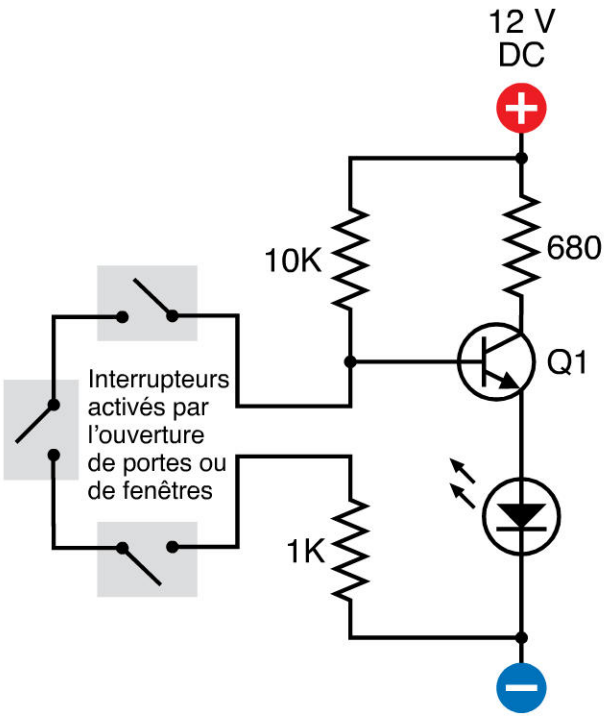


Figure 3-88. *Un réseau d'interrupteurs, câblés en série, peut être remplacé par l'unique interrupteur de la fig. 3-87. N'importe quel interrupteur rompra la continuité et déclenchera le transistor.*

opyright © 2013 Eyrolles.

J'ai représenté les interrupteurs ouverts, conformément au schéma classique d'un interrupteur. Toutefois, imaginons-les fermés. La base du transistor se retrouve alimentée via le long fil reliant tous les interrupteurs fermés, et la LED reste éteinte. Maintenant, si un seul interrupteur est ouvert, ou si quiconque tente de trafiquer le fil de liaison, la base du transistor perd sa connexion à l'alimentation négative : le transistor transmet alors le courant et la LED s'allume.

Si tous les interrupteurs demeurent clos, le circuit ne tire que très peu de courant, environ 1,1 mA. Par conséquent, vous pourriez le faire fonctionner à partir d'une pile d'alarme de 12 V classique.

Maintenant, supposons que nous remplacions la LED par un relais, comme illustré à la fig. 3-89. Peu importe que nous utilisions un relais à cet emplacement, car il ne sera pas toujours dans l'état ON. Il sera normalement éteint et ne tirera du courant que lorsque l'alarme sera déclenchée.

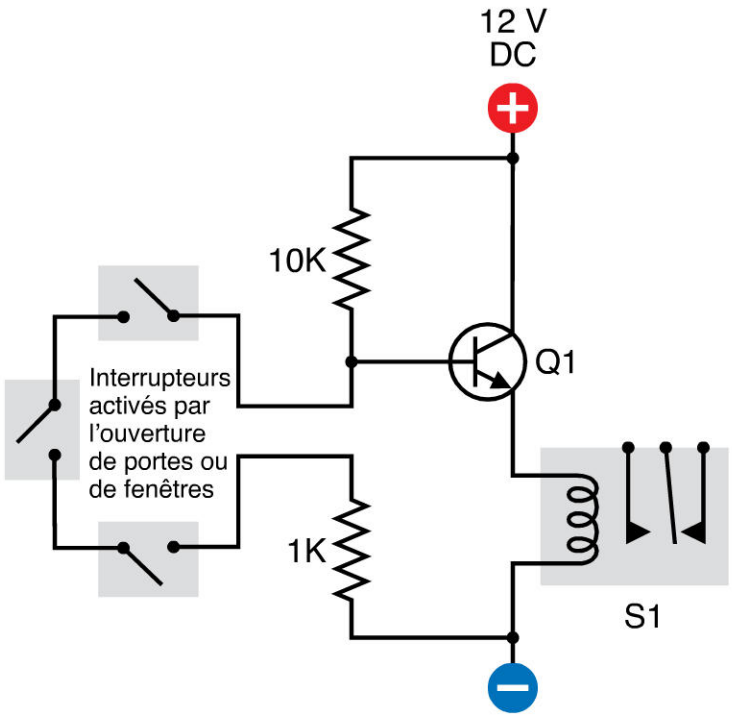


Figure 3-89. *Si vous remplacez la LED et la résistance de 380 Ω de la fig. 3-88 par un relais, ce dernier est activé par l'ouverture d'un interrupteur du réseau des détecteurs.*

Testez l'un des relais 12 V utilisés précédemment. Vous constaterez que, lorsque vous ouvrez l'interrupteur, le relais est alimenté. Quand vous fermez l'interrupteur, le relais repasse en mode veille. Notez que j'ai retiré la résistance de 680 Ω du circuit, parce que le relais ne nécessite aucune protection de l'alimentation 12 V.

opyright © 2013 Eyrolles.

Relais à verrouillage automatique

Un problème subsiste, car nous voulons que l'alarme continue à sonner, même après qu'une personne ayant ouvert une porte ou une fenêtre la referme rapidement. Autrement dit, quand le relais est activé, il doit se verrouiller automatiquement.

Une solution consisterait à utiliser un relais à enclenchement. Mais dans ce cas, nous aurions alors besoin d'un autre élément pour le désenclencher. Je préfère montrer comment un relais peut demeurer activé après avoir reçu une simple impulsion. Cette technique sera d'ailleurs utile dans la suite de l'ouvrage.

Le secret consiste à alimenter la bobine du relais via les deux contacts internes, normalement ouverts. La situation est exactement inverse à celle de l'oscillateur à relais, qui alimentait la bobine au travers de contacts normalement fermés. Il s'ensuivait que le relais, à peine activé, se retrouvait désactivé presque aussitôt. Dans le cas présent, le relais demeure activé.

Les quatre schémas de la fig. 3-90 illustrent le processus. Vous pouvez les imaginer comme les images d'un film, photographiées à quelques microsecondes d'intervalle. Sur le premier schéma, l'interrupteur est ouvert, le relais n'est pas alimenté et il ne se passe rien. Sur le deuxième, l'interrupteur a été fermé pour alimenter la bobine. Sur le troisième, la bobine a entraîné le contact à l'intérieur du relais, de telle sorte qu'elle se retrouve alimentée par deux chemins. Sur le quatrième, l'interrupteur a été ouvert, mais le relais continue à alimenter sa propre bobine via ses contacts. Il demeure bloqué dans cet état jusqu'à déconnexion de l'alimentation.

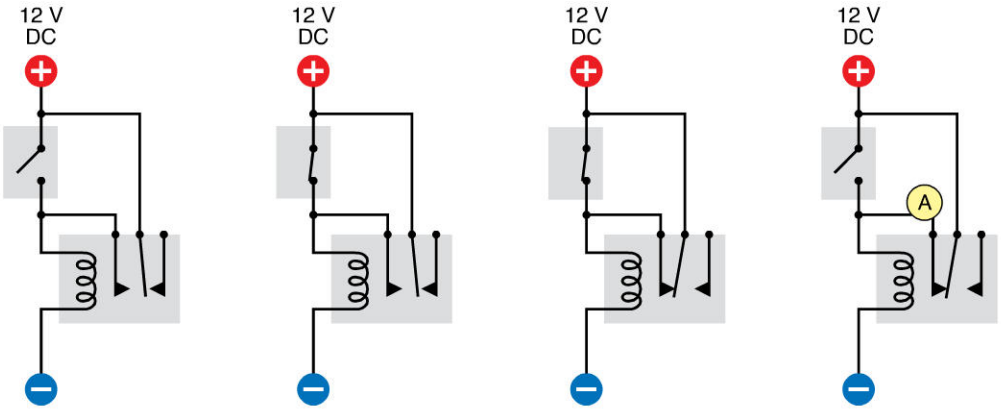


Figure 3-90. *Ces quatre schémas illustrent les événements qui se produisent quand un relais est alimenté. Initialement, l'interrupteur est ouvert. Puis il se ferme, activant le relais. Celui-ci s'alimente alors via ses propres contacts internes. Le relais demeure alimenté même après réouverture de l'interrupteur. L'alimentation interrompue par le relais peut être récupérée au point A.*

Pour concrétiser notre idée, nous avons simplement à substituer le transistor à l'interrupteur marche/arrêt et à faire courir un fil à partir du point A jusqu'à la sirène de l'alarme.

Le fonctionnement est illustré à la fig. 3-91. Quand le transistor est activé par l'un des contacteurs de détection du réseau d'interrupteurs ILS, comme précédemment expliqué, le transistor achemine l'alimentation jusqu'au relais. Le relais se verrouille lui-même et le transistor devient superflu.

opyright © 2013 Eyrolles.

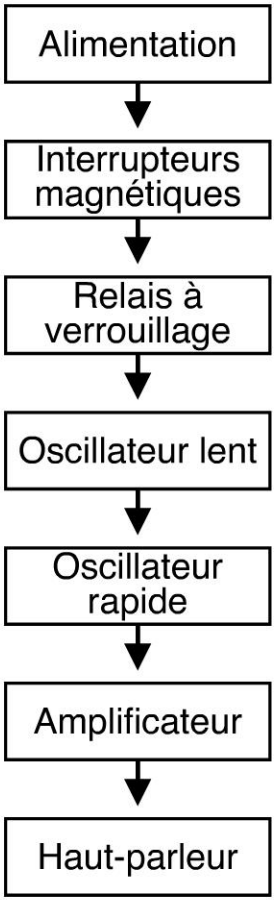


Figure 3-92. *Le diagramme de la fig. 2-112 a été mis à jour pour inclure le réseau des interrupteurs magnétiques et le système de contrôle du relais à verrouillage.*

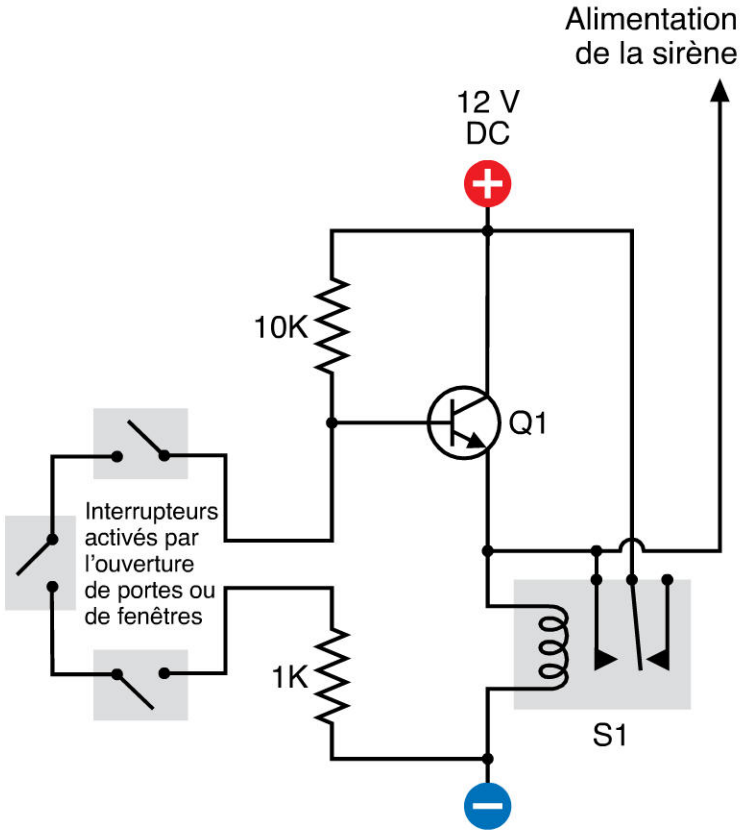


Figure 3-91. *Le relais à verrouillage automatique de la fig. 3-90 a été intégré au circuit d'alarme, de telle sorte qu'en cas d'ouverture d'un interrupteur du réseau, le relais continue à alimenter la sirène, même si l'interrupteur est à nouveau fermé.*

Comme j'ai ajouté des éléments au circuit original, j'ai mis à jour le schéma de la fig. 2-112 pour montrer que nous pouvons le scinder en modules aux fonctions simples. Voir fig. 3-92.

Blocage de l'inversion de tension

Il reste cependant un petit problème à résoudre : dans la nouvelle version du circuit, si le transistor s'éteint tandis que le relais est toujours actif, le courant en provenance du relais peut circuler le long du fil jusqu'à l'émetteur du transistor, d'où il essaiera de retourner vers la base, qui est « davantage négative », car elle est reliée, via tous les interrupteurs magnétiques et la résistance d'1K, à la branche négative de l'alimentation.

Inverser le sens de l'alimentation d'un transistor n'est pas une excellente idée. C'est pourquoi le schéma final de ce projet montre un nouveau composant, que vous n'avez pas encore eu l'occasion de rencontrer, la diode D1 (fig. 3-93). Cette diode s'apparente à une LED, même si certains modèles sont beaucoup plus robustes. Elle permet à l'électricité de ne circuler que dans un sens, du positif au négatif, comme illustré par le symbole de la flèche. Si le courant

opyright © 2013 Eyrolles.

tente de circuler dans la direction opposée, la diode le bloque. La contrepartie est que la diode entraîne une légère chute de tension de l'électricité circulant dans la direction souhaitée.

Maintenant, le flux positif peut passer du transistor, via la diode, à la bobine du relais. Le relais s'alimente alors lui-même, mais la diode empêche la tension positive de retourner dans le transistor par la mauvaise voie.

Une autre solution, plus élégante peut-être, consisterait à connecter la patte du NO (normalement ouvert) du relais, via une résistance de 10K, à la connexion de la base. Quand le relais n'est pas alimenté, la patte NO est inerte et se comporte comme une capacitance parasitaire du nœud. Quand le relais est alimenté, la patte du NO court-circuite +12 V à travers la borne commune via la résistance de 10K de la base du transistor. Avec cette configuration, le transistor ne sera ainsi jamais exposé à une tension potentiellement dangereuse. En outre, étant exempt de composants protecteurs (comme D1 dans la première solution), le circuit ne subira pas leurs éventuels courants de fuite.

Mais j'ai choisi la première solution car j'avais besoin d'une occasion pour introduire le concept de diode. Consultez l'encadré « Tout sur les diodes » page suivante pour en savoir davantage.

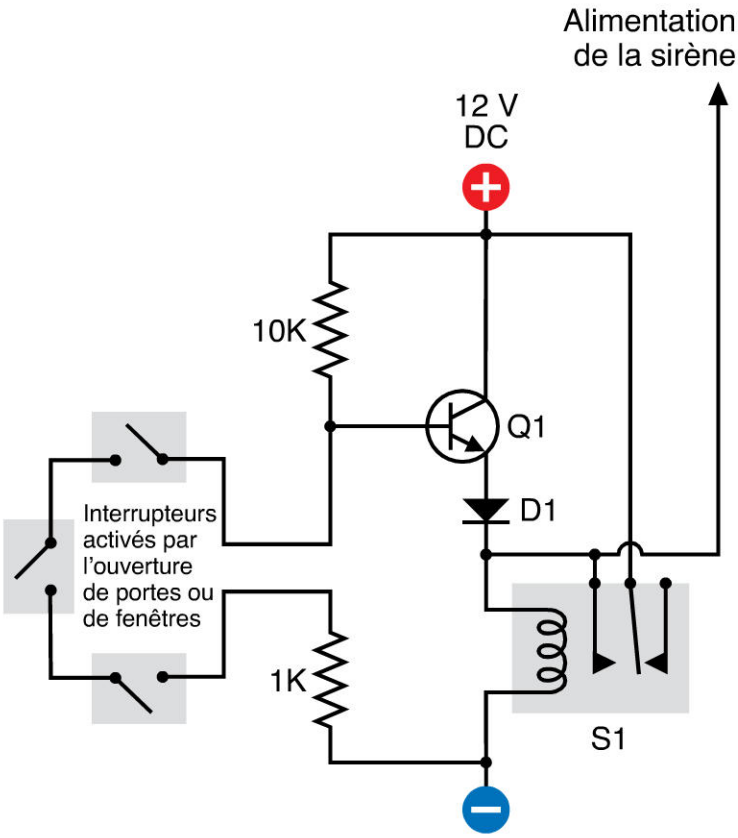


Figure 3-93. *La diode D1 a été ajoutée pour protéger l'émetteur de Q1 contre la tension positive quand le relais est alimenté.*

opyright © 2013 Eyrolles.

COMPLÉMENTS

Tout sur les diodes

Une diode est un type très simple de semi-conducteur. Elle autorise l'électricité à circuler dans une direction et la bloque dans la direction inverse (la diode électroluminescente, dite LED, est une invention beaucoup plus récente). De même qu'une LED, une diode peut être endommagée si l'on inverse la tension et que l'on applique une puissance excessive, mais la plupart des diodes ont généralement une tolérance bien supérieure à celle des LED. L'extrémité de la diode qui bloque la tension positive est toujours identifiée, généralement par une bande circulaire, l'autre extrémité ne comportant aucune marque. Les diodes sont particulièrement utiles dans les circuits logiques et peuvent aussi convertir le courant alternatif en courant continu.

Une diode Zener est un type particulier que nous n'utiliserons pas dans ce livre. Elle bloque totalement le courant dans les deux directions, jusqu'à ce qu'une tension de seuil soit atteinte, comme dans le cas d'un transistor unijonction programmable (PUT).

Les diodes de signal existent pour différentes tensions et puissances électriques. La diode 1N4001, que je recommande pour le circuit d'activation de l'alarme, est capable, à une tension beaucoup plus élevée, de gérer une charge bien supérieure, mais je l'ai utilisée parce qu'elle possède une résistance interne basse. Je voulais que la diode impose une chute de tension minimale, de telle sorte que le relais reçoive autant de tension que possible.

Il est conseillé d'utiliser les diodes en dessous de leur capacité nominale. Comme tout semi-conducteur, elles peuvent surchauffer et brûler en cas de mauvais usage.

Le symbole de la diode ne possède véritablement qu'une seule variante : un triangle noir évidé, au lieu d'un triangle noir plein (fig. 3-94).

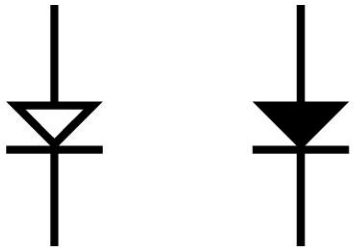


Figure 3-94. *L'un ou l'autre de ces symboles peut être utilisé pour représenter une diode, mais celui de droite est le plus courant.*

Copyright © 2013 Eyrolles.

Placement du circuit sur la plaque de montage

Le moment est venu de placer le circuit de contrôle du bruiteur d'alarme sur la plaque de montage. La fig. 3-95 illustre la marche à suivre. Je suppose que le bruiteur fonctionne comme précédemment et que ses composants sont toujours montés sur la partie supérieure de la plaque de montage. Pour gagner de l'espace, je vais juste montrer les composants de la moitié inférieure de la plaque de montage.

Rappelez-vous que vous ne fournissez plus directement l'alimentation aux rails droit et gauche de la plaque de montage : vous alimentez la partie relais-transistor et, quand le relais ferme ses contacts, c'est lui qui alimente les rails. Ceux-ci, à leur tour, alimentent la moitié supérieure de la plaque de montage. En conséquence, déconnectez l'alimentation des rails de la plaque de montage et reconnectez-la comme illustré à la fig. 3-95.

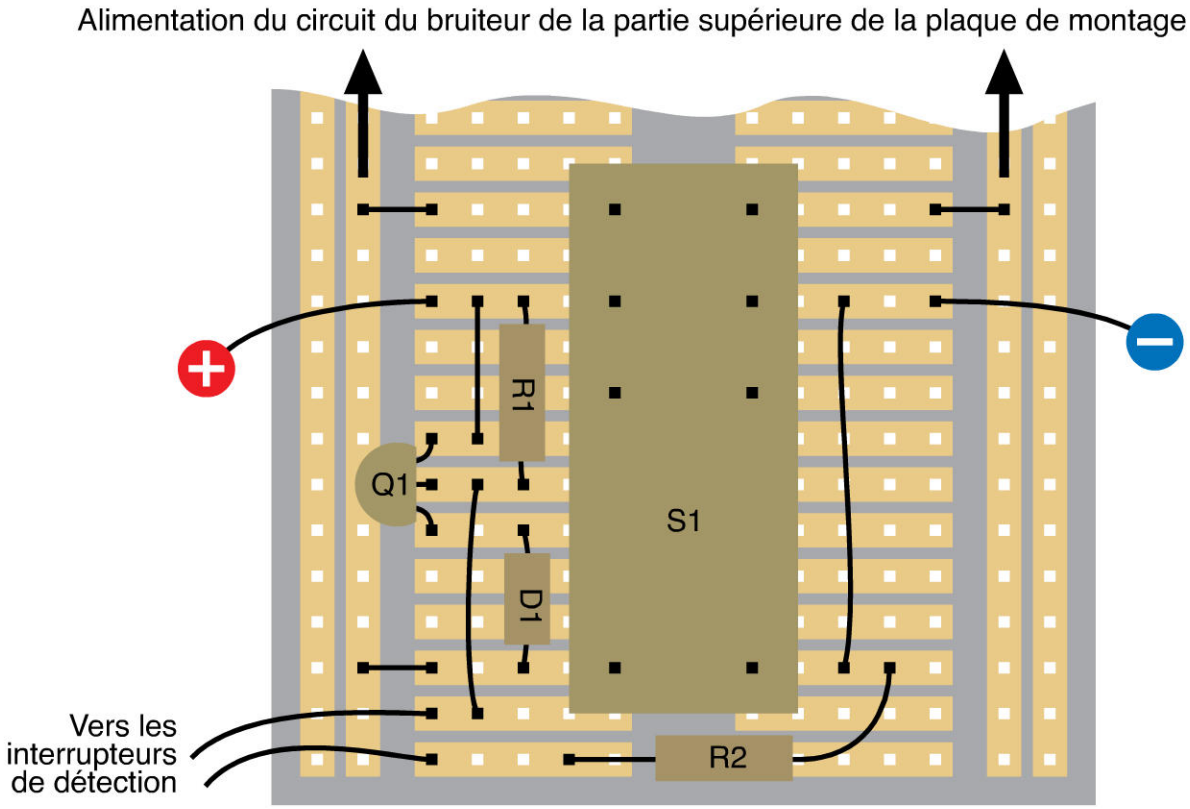


Figure 3-95. *Le circuit, dont le schéma a été établi dans les pages précédentes, peut être simulé avec des composants sur une plaque de montage, comme illustré ici. S1 est un relais DPDT. Les fils du réseau des interrupteurs de détection et de l'alimentation doivent être ajoutés comme indiqué.*

Comme il s'agit d'un relais bipolaire, je l'utilise aussi bien pour une interruption négative que pour une interruption positive. Cela signifie que, lorsque les contacts du relais sont ouverts, la partie émettrice de bruit du circuit se retrouve totalement isolée.

Copyright © 2013 Eyrolles.

Le circuit du relais de la plaque de montage est identique au schéma de la fig. 3-93. Les composants ont simplement été réorganisés de façon à être disposés correctement le long du relais. Deux fils en bas à gauche rejoignent le réseau des interrupteurs de détection qui déclencheront l'alarme ; à des fins de test, vous pouvez tenir les extrémités mises à nu des deux fils pour simuler tous les interrupteurs fermés, et écarter les fils pour simuler l'ouverture d'un interrupteur.

Deux autres fils alimentent la plaque de montage sur l'un des deux côtés du relais. C'est à cet emplacement que vous connecterez votre alimentation pendant les tests. La sortie du relais, via la paire supérieure des contacts, est connectée avec les rails de la plaque de montage par un petit fil de liaison (cavalier ou *jumper*) en haut à gauche, et un autre en haut à droite. Ne les oubliez pas ! Un petit fil supplémentaire dans le coin inférieur gauche (qu'on a tendance à omettre) connecte le rail latéral gauche à la borne gauche de la bobine du relais, de telle sorte que lorsque le relais alimente le circuit du bruiteur, il s'alimente également.

Lorsque vous montez la diode, souvenez-vous que son extrémité marquée d'une bande est celle qui bloque le courant positif. Dans ce circuit, il s'agit de l'extrémité inférieure de la diode.

Vérifiez le bon fonctionnement du circuit. Créez un court-circuit en reliant ensemble les fils qui simulent les détecteurs et appliquez l'alimentation. L'alarme doit demeurer silencieuse. Utilisez le multimètre pour vérifier qu'il n'existe aucune tension entre les rails latéraux. Maintenant, séparez les fils des détecteurs ; le relais doit émettre un clic tandis qu'il alimente les rails latéraux, ce qui active le module émetteur de bruit. Même si vous reliez à nouveau les fils des détecteurs, le relais doit rester verrouillé. La seule solution pour le déverrouiller consiste à déconnecter l'alimentation.

Quand le circuit est actif, le transistor situé après la diode fait légèrement baisser la tension, mais le relais 12 V doit continuer à fonctionner.

Dans mon circuit de test, j'ai testé trois relais différents : ils tiraient entre 27 et 40 mA à 9,6 V. Certains courants continuent à être l'objet de pertes à travers le transistor quand il est en mode OFF, mais uniquement quelques milliampères à 0,5 V. Cette tension basse était bien inférieure au seuil requis pour faire basculer le relais.

Prêt pour la plaque perforée

Si le circuit fonctionne, l'étape suivante consiste à l'immortaliser sur une plaque perforée. Choisissez le type de plaque sur laquelle les contacts en cuivre ont la même disposition que ceux d'une plaque de montage, comme illustré à la fig. 3-72 de la page 116. Consultez l'encadré ci-contre « Soudure sur plaque perforée » pour apprendre à effectuer ce type de joint de soudure, et l'encadré d'après pour connaître les problèmes de soudure les plus courants.

opyright © 2013 Eyrolles.

PRATIQUE

Soudure sur plaque perforée

Notez soigneusement la position du composant sur la plaque de montage et transposez-le à l'emplacement correspondant de la plaque perforée, en enfonçant les fils à travers les petits trous.

Placez la plaque perforée à l'envers ; assurez-vous de sa stabilité et examinez le trou à travers lequel le fil passe, comme illustré à la fig. 3-96. Un placage en cuivre entoure ce trou et le relie aux autres. Votre tâche consiste à faire fondre de la soudure de façon à ce qu'elle adhère au cuivre et au fil, en créant une connexion fiable et solide entre les deux.

Prenez le fer crayon dans une main et la soudure dans l'autre. Appuyez la pointe du fer sur le fil et le cuivre, déposez un peu de soudure à leur intersection. Après deux à quatre secondes, la soudure doit commencer à se répandre.

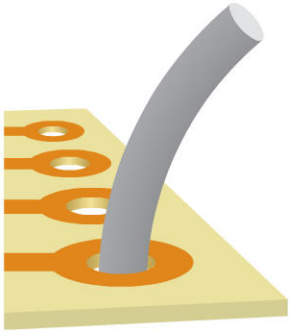


Figure 3-96

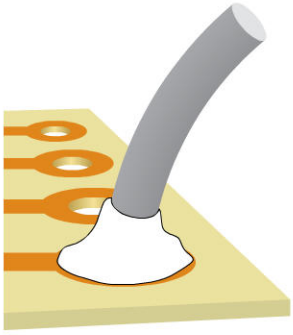


Figure 3-97

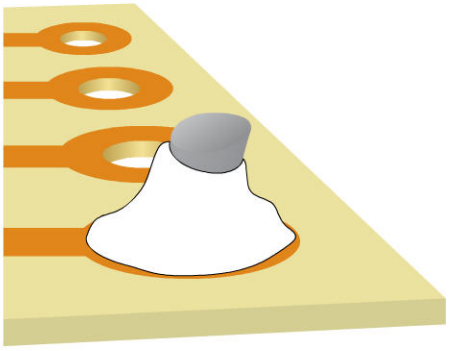


Figure 3-98. *Pour établir une connexion entre une section de fil et un élément de cuivre de la plaque perforée, le fil est introduit dans le trou, et la soudure (représentée en blanc à des fins d'illustration) complète la connexion. Il est alors possible de couper le fil très court.*

Déposez la soudure en quantité suffisante pour créer une bosse arrondie qui scelle le fil et le cuivre, comme illustré à la fig. 3-97. Attendez que la soudure se solidifie totalement, puis saisissez le fil avec la pince à bec effilé et tortillez-le pour être certain de disposer d'une connexion résistante. Si tout est correct, coupez le fil qui dépasse avec les pinces. Voir fig. 3-98.

Comme les joints de soudure sont difficiles à photographier, je me suis servi de dessins pour illustrer le fil avant et après le joint, lequel est représenté en blanc.

La plaque perforée soudée en cours de montage est visible sur les fig. 3-99 et 3-100.

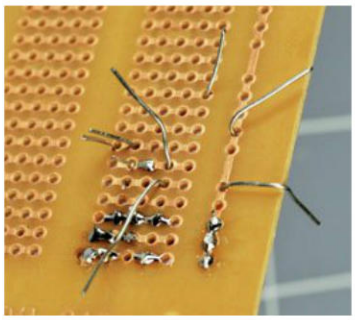


Figure 3-99. *La photo a été prise pendant le transfert des composants de la plaque de montage vers la plaque perforée. Deux ou trois composants sont insérés à la fois de l'autre côté de la carte, et leurs pattes sont repliées pour éviter qu'ils ne tombent.*

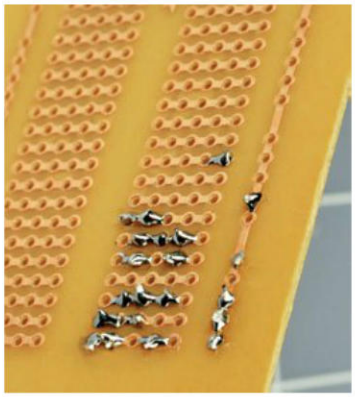


Figure 3-100. *Après soudure, les fils sont coupés court et les joints sont inspectés à la loupe. Deux ou trois autres composants supplémentaires peuvent être insérés, et le processus se répète.*

opyright © 2013 Eyrolles.

PRATIQUE

Les quatre erreurs les plus courantes de soudure sur plaque perforée

1. Trop de soudure

Sachez-le, la soudure se répand lentement sur la carte et le placage en cuivre, et y adhère, comme décrit à la fig. 3-101. Lorsque cela se produit, vous devez attendre qu'elle refroidisse, puis la découper à l'aide d'un couteau. Vous pouvez aussi essayer de la retirer avec une pompe à dessouder et une tresse à dessouder, mais il risque toujours d'en demeurer une partie.

Même une trace microscopique de soudure suffit à créer un court-circuit. Vérifiez le câblage à l'aide d'une loupe en orientant la plaque perforée de façon à ce que la lumière l'éclaire sous différents angles (ou utilisez la tresse à dessouder pour l'aspirer).

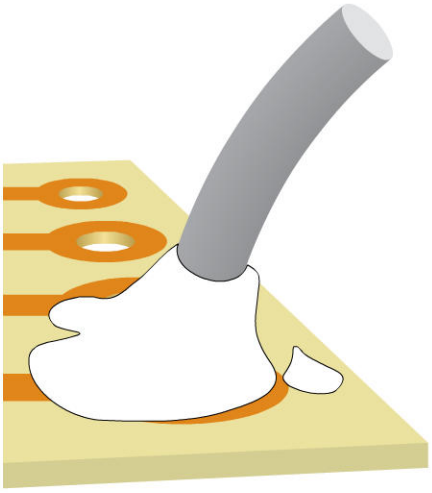


Figure 3-101. *Si vous utilisez une trop grande quantité de soudure, vous risquez de créer une connexion indésirable avec un autre conducteur.*

2. Pas assez de soudure

Si la jointure est fine, le fil peut se détacher de la soudure lorsqu'elle refroidit. Même une fissure microscopique suffit à empêcher le circuit de fonctionner. Dans certains cas extrêmes, la soudure adhère au fil et à l'élément de cuivre autour du fil, ce qui ne crée pas pour autant une connexion solide, le fil demeurant entouré par la soudure sans que celle-ci ne le touche, comme illustré à la fig. 3-102. Il se peut que ce défaut demeure indétectable à moins que vous n'utilisiez une loupe.

Vous pouvez ajouter plus de soudure à un joint qui n'en possède pas assez, mais veillez à réchauffer totalement le joint.

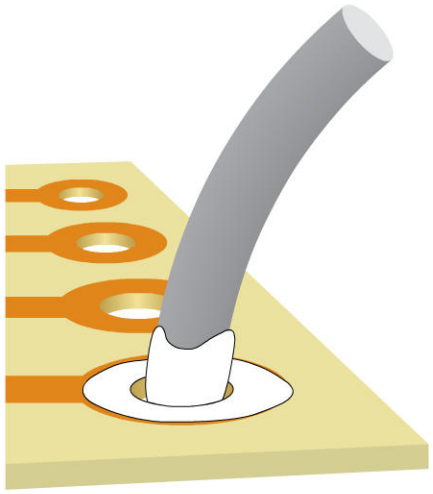


Figure 3-102. *Trop peu de soudure (ou une chaleur insuffisante) peut faire qu'un fil soudé demeure séparé du cuivre soudé de la plaque perforée. Même un interstice aussi fin qu'un cheveu suffit à empêcher une connexion électrique.*

3. Composants mal placés

Il est très fréquent de placer un composant dans le mauvais trou. Il arrive aussi que l'on oublie tout simplement de créer une connexion. Je vous suggère d'imprimer une copie du schéma et, chaque fois que vous créez une connexion sur la plaque perforée, de surligner le fil correspondant sur l'épreuve imprimée.

4. Débris

Lorsque vous coupez des fils, les petits fragments qui en résultent ne disparaissent pas. Ils encombrent votre zone de travail, et l'un d'eux peut se retrouver piégé sous la plaque perforée et créer une connexion électrique indésirable.

Voici donc une autre raison de placer quelque chose (comme de la mousse de polyuréthane) sous le montage. Ce support recueillera les débris et réduira le risque qu'ils ne s'immiscent dans le câblage.

Nettoyez le dessous de la carte avec une brosse à dents avant d'alimenter le circuit et conservez votre zone de travail aussi propre que possible. Plus vous serez méticuleux, moins vous rencontrerez de problèmes.

Une fois encore, veillez à bien contrôler chaque joint avec une loupe.

Copyright © 2013 Eyrolles.

Le transfert des composants de la plaque de montage vers la plaque perforée devrait être assez simple, à condition que vous n'en transfériez pas plusieurs à la fois. Suivez les suggestions de l'encadré « Soudure sur plaque perforée » page 137 et interrompez-vous régulièrement pour vérifier les connexions. L'impatience ne peut être que source d'erreurs dans ce type de travail.

La fig. 3-103 illustre la partie bruiteur du circuit de la plaque perforée, les composants étant placés de façon à réduire l'espace perdu. La fig. 3-104 montre la plaque où le relais et les composants associés sont ajoutés. Les deux fils noirs sont reliés au haut-parleur, la paire de fils noir et rouge alimente la carte et les fils verts vont aux interrupteurs de détection. Chaque fil pénètre la plaque, son extrémité mise à nue étant soudée au cuivre en dessous.

Testez à présent le circuit, comme vous l'avez fait sur la plaque de montage. S'il ne fonctionne pas, reportez-vous à l'encadré ci-dessous, « Détection des défauts de réalisation ». S'il fonctionne, vous êtes prêt à couper la carte et à la placer dans un boîtier.

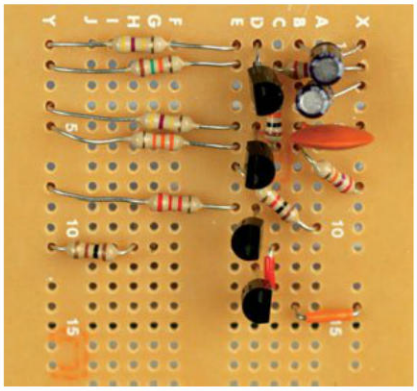


Figure 3-103. *Le circuit du bruiteur a été transféré de la plaque de montage vers la plaque perforée, sans aucun ajout ni modification.*

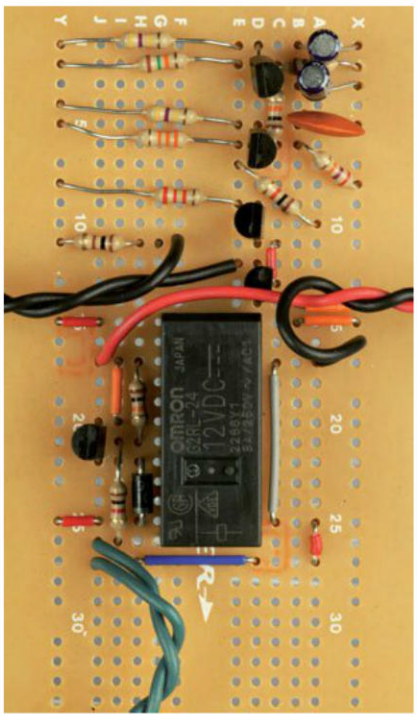


Figure 3-104. *Le circuit de contrôle du relais-transistor a été ajouté. Les fils des dispositifs externes ont été dénudés et insérés dans la plaque perforée, avant d'être soudés sur place. Les fils verts sont connectés au réseau des détecteurs, les fils noirs au haut-parleur et les fils rouge et noir à l'alimentation.*

COMPLÉMENTS

Détection des défauts de réalisation

Voici la marche à suivre pour traquer les défauts de réalisation.

Après avoir assemblé sur la plaque perforée la version du bruiteur et du circuit du relais, j'ai vérifié mon travail, appliqué l'alimentation, et même si le relais a cliqué, aucun son n'est sorti du haut-parleur. Bien sûr, tout fonctionnait correctement sur la plaque de montage.

D'abord, j'ai vérifié l'emplacement des composants, car c'est le point le plus facile à contrôler. Je n'ai trouvé aucune erreur. Puis j'ai plié doucement la carte tout en appliquant l'alimentation et le haut-parleur a émis un bref « bip ». Chaque fois que cela se produit, vous pouvez être presque certain qu'un joint de soudure comporte une minuscule fissure.

L'étape suivante consiste à fixer le fil noir du multimètre sur la branche négative de l'alimentation, puis à allumer l'alimentation et à parcourir le circuit point par point, de haut en bas, en vérifiant la tension en chaque point à l'aide du fil rouge du multimètre. Dans un circuit simple comme celui-ci, chaque partie doit afficher au moins une certaine tension.

Mais en examinant le second transistor 2N2222, qui alimente le haut-parleur, j'ai constaté qu'aucune tension n'était présente à sa sortie. Soit j'avais fait fondre le transistor en le soudant (peu probable), soit le joint était défectueux. J'ai vérifié la carte perforée sous le transistor avec la loupe et constaté que la soudure s'était répandue autour de l'un des fils du transistor sans véritablement y coller. L'intervalle ne devait pas dépasser quelques centièmes de millimètres, mais cela suffisait. Ce problème était probablement dû à de la poussière ou à de la graisse.

Voilà le genre de recherche patiente à laquelle vous devez vous livrer quand un circuit ne fonctionne pas. Regardez si les composants sont correctement placés, contrôlez l'alimentation, vérifiez l'alimentation de la carte et la tension à chaque étape, et si vous persévérez, vous trouverez forcément la faille !

Copyright © 2013 Eyrolles.

Interrupteurs et entrées de l'alarme

Maintenant, vous devez faire en sorte que le système soit facile à utiliser. Le diagramme de la fig. 3-105 montre une case supplémentaire vers le haut : Contrôles utilisateur. Ceux-ci se composent des interrupteurs, des LED et des connexions externes. Pour préparer cette partie du travail, résumons de quelle façon notre système d'alarme fonctionne à ce stade de son évolution.

Un système d'alarme domestique complet possède normalement deux modes : interne et distant.

- En mode interne, vous armez l'alarme quand vous êtes chez vous afin qu'elle se déclenche si un intrus force une porte ou une fenêtre.
- En mode distant, vous composez généralement un code et disposez ensuite de 30 secondes pour sortir et refermer la porte derrière vous. À votre retour, vous déclenchez l'alarme en ouvrant la porte, mais vous avez 30 secondes pour atteindre le panneau de contrôle et saisir à nouveau le code pour désarmer l'alarme.

Jusqu'à présent, le système d'alarme que vous avez créé ne dispose que du mode interne. Beaucoup d'utilisateurs trouveront ce mode suffisant et rassurant. Plus loin dans le livre, je proposerai une solution pour modifier ce système et lui ajouter le mode distant. Mais pour l'heure, faire en sorte que l'alarme puisse être utilisée en mode interne constitue déjà un défi suffisant.

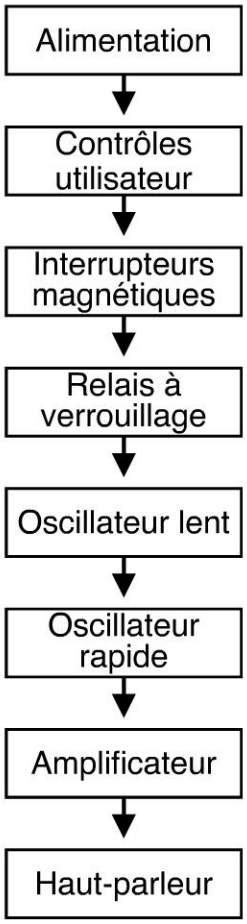


Figure 3-105. *Le diagramme final de cette phase du projet montre l'emplacement des contrôles utilisateur sur l'ensemble des fonctions.*

Imaginons comment l'alarme serait utilisée de façon quotidienne. Elle doit, naturellement, être dotée d'un interrupteur marche/arrêt. Quand il est sur marche, l'un des contacteurs de détection doit déclencher l'alarme. Mais que se passe-t-il si vous armez l'alarme en oubliant que vous avez laissé une fenêtre ouverte ? À ce stade, il ne faudrait pas que l'alarme retentisse. Ce dont vous avez réellement besoin est une fonctionnalité de test du circuit, qui vous informerait que toutes les portes et toutes les fenêtres sont fermées. Alors vous pourriez armer l'alarme.

Il me semble qu'un bouton-poussoir serait utile pour tester le circuit d'alarme. Lorsque vous appuierez dessus, une LED verte s'allumera pour indiquer que le circuit est opérationnel. Après avoir vu le voyant vert, vous relâcherez le bouton-poussoir et allumerez l'interrupteur d'alimentation, qui éclairera une LED rouge pour vous rappeler que l'alarme est désormais armée et prête.

Une fonctionnalité supplémentaire serait utile : celle de test du bruiteur de l'alarme, de façon à être certain que le système ne fasse retentir l'alarme que lorsque cela est nécessaire.

Le circuit de la fig. 3-106 incorpore l'ensemble de ces fonctionnalités. S1 est un interrupteur SPDT, S2 un bouton-poussoir momentané de type ON-(ON). J'ai raccordé S2 au circuit en coupant d'abord les deux fils verts qui connectent les interrupteurs à détection au reste du circuit du relais. Puis j'ai attaché une paire de ces fils à l'un des côtés de S2 et l'autre paire à l'autre côté, comme illustré. Le schéma montre le relais dans son état relâché, lorsque vous n'appuyez pas sur le bouton.

D1 est une diode rouge, D2 une diode verte, J1 une prise jack d'entrée (à connecter avec une alimentation externe 12 V) et R1 une résistance de 680 Ω qui protège les diodes. Notez que J1 obéit à la pratique usuelle de fournir une tension positive dans son contact central, et négative dans la coquille circulaire autour du centre.

opyright © 2013 Eyrolles.

Quand S1 est en position OFF, il continue à fournir l'alimentation au bouton-poussoir S2, via son contact supérieur. Quand vous appuyez sur le bouton-poussoir, de telle sorte qu'il passe en position test, le pôle de S2 se connecte à l'alimentation et la transmet via les interrupteurs de détection des portes et des fenêtres. Les fils de ces connecteurs seront reliés via deux bornes d'attache, illustrées ici sous forme de deux cercles. Si les interrupteurs de détection sont tous fermés, l'alimentation revient par la seconde borne, franchit l'ensemble inférieur des contacts de S2, et allume D2, la LED verte. Comme S1 n'alimente pas la carte du circuit d'alarme, cette dernière ne retentit pas.

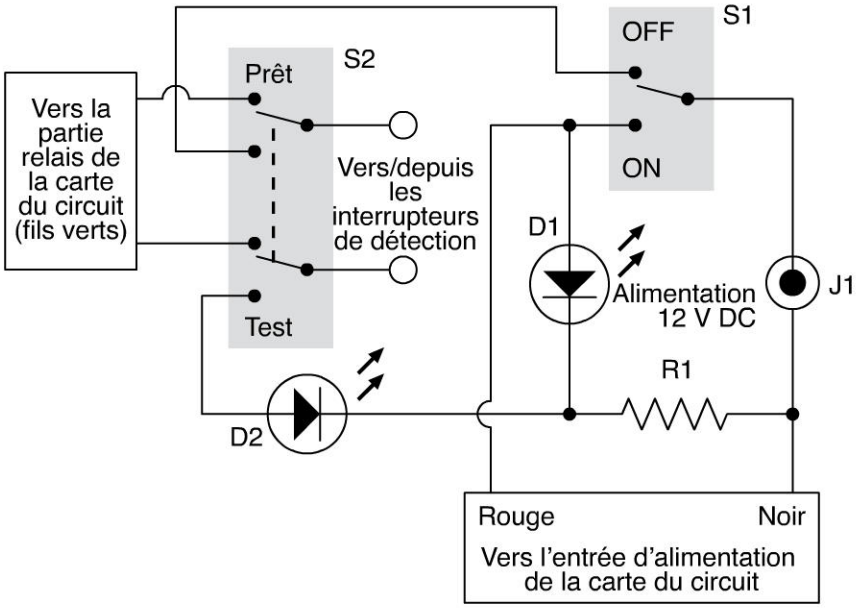


Figure 3-106. *Ce schéma suggère une solution pratique pour ajouter à l'alarme un interrupteur marche/arrêt, une fonction de test de continuité et une fonction de test du bruiteur.*

Maintenant, si S1 est placé en position ON, il envoie l'alimentation aux composants de la plaque perforée. La partie relais du circuit transmet l'alimentation à S2 le long des fils verts, et aussi longtemps que vous n'appuyez pas sur le bouton, l'alimentation est acheminée, via le réseau des interrupteurs et retour par S2, jusqu'à la partie relais. L'alarme demeure ainsi silencieuse. Mais aussitôt que l'interrupteur à détection est ouvert, le circuit est interrompu et l'alarme retentit. La seule façon de l'arrêter consistera à commuter S1 dans sa position OFF.

Enfin, si vous appuyez sur S2, le bouton-poussoir, tandis que S1 se trouve en mode ON, vous interrompez le réseau des interrupteurs et activez le bruiteur. Ainsi, S2 accomplit une double tâche : quand S1 est OFF, le bouton-poussoir S2 teste la continuité des interrupteurs à détection. Quand S1 est sur ON, S2 teste le bruiteur pour s'assurer qu'il émet un bruit. Je pense qu'il s'agit de la solution la plus simple pour implémenter ces fonctionnalités.

Copyright © 2013 Eyrolles.

Installation des interrupteurs

Il est possible que votre boîtier de projet dispose de deux panneaux supérieurs : l'un en métal, l'autre en plastique. J'imagine que vous utiliserez celui en plastique, car vous aurez plus de difficultés à percer les trous dans le métal. Le plastique utilisé est en général un plastique de type ABS, très simple à mettre en forme avec les outils recommandés.

Figure 3-107. *La présentation imprimée des interrupteurs, LED et autres composants a été collée sous le dessous du couvercle de la boîte à projet. Un poinçon traverse le papier pour marquer le centre de chaque trou à percer dans le couvercle.*

Vous devez choisir une disposition pour les interrupteurs à détection et autres composants du panneau supérieur du boîtier. Comme j'aime que la disposition soit claire, je la dessine avec un logiciel d'illustration, mais un crayon convient tout aussi bien. Assurez-vous juste d'avoir la place nécessaire pour les composants et essayez de les placer à l'identique sur le schéma pour qu'il n'y ait pas de confusion.

Collez votre esquisse à l'intérieur du panneau supérieur, comme illustré à la fig. 3-107, puis utilisez un outil pointu pour appuyer et marquer le plastique au centre de chaque trou. Les marques vous aideront à centrer le foret lorsque vous percerez les trous. Souvenez-vous que vous devrez percer plusieurs trous pour évacuer le son du haut-parleur, qui se trouvera sous le panneau supérieur de la boîte. Le résultat est illustré à la fig. 3-108.

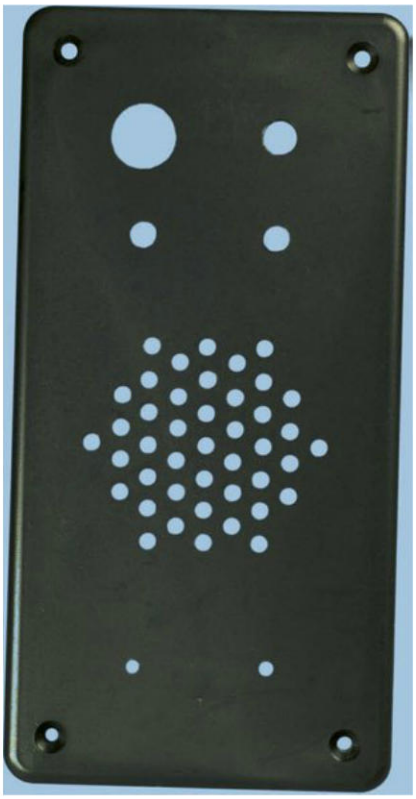


Figure 3-108. *Face externe du panneau supérieur du boîtier de projet après perçage. Si les trous sont soigneusement indiqués, vous pouvez obtenir un résultat propre avec une petite perceuse sans fil.*

J'ai placé tous les composants sur le panneau supérieur, à l'exception de la fiche jack d'entrée, située à une extrémité du boîtier. Naturellement, chaque trou doit être dimensionné de manière à accueillir le composant correspondant, et si vous avez un pied à coulisse, il sera très utile pour prendre les mesures et sélectionner le foret approprié. Sinon, évaluez au mieux, sachant que trop petit est préférable à trop grand. Un ébarboir convient parfaitement pour agrandir légèrement un trou et l'ajuster ainsi au composant.

Si votre haut-parleur ne possède pas assez de trous de montage, vous devrez le coller. J'ai utilisé à cette fin de la colle époxy. Attention à ne pas trop en mettre. Veillez aussi que la colle ne touche pas le cône du haut-parleur.

Percer de grands trous dans le plastique fin et léger d'un boîtier de projet peut être délicat, le foret tendant à provoquer certains dégâts. Vous pouvez résoudre cette difficulté de trois manières différentes :

1. Utiliser un foret Forstner si vous en possédez un. Il permet de créer un trou très net.
2. Percer un ensemble de trous de taille croissante.
3. Percer un trou plus petit que nécessaire, et agrandissez-le avec un ébarboir.

Quelle que soit l'approche retenue, vous devrez maintenir en place le panneau supérieur du boîtier de projet et plaquer sa surface externe sur un morceau de bois. Puis percez de l'intérieur de façon à ce que le foret traverse le plastique et le bois. Cela évitera l'éclatement du plastique et améliorera la qualité du perçage.

Enfin, montez les composants du panneau, comme illustré à la fig. 3-109, et reportez votre attention sur le fond du boîtier.

opyright © 2013 Eyrolles.

La carte du circuit reposera sur le fond, maintenue en place avec 4 vis de mécanique M1,6 ou M2 avec des rondelles et des écrous à insert en nylon. Utilisez éventuellement des écrous et contre-écrous classiques pour éliminer le risque qu'un écrou se desserre et provoque un court-circuit.

Vous devrez couper la plaque perforée pour l'adapter, en prenant soin de n'endommager aucun des composants. Vérifiez aussi sous la plaque la présence éventuelle de fragments de cuivre lorsque vous avez fini de couper.

Percez les trous des vis dans la carte, si nécessaire, en prenant soin une fois encore de n'abîmer aucun des composants. Puis reportez l'emplacement des trous sur le fond en plastique du boîtier et percez le boîtier. Fraisez les trous (à savoir, biseautez les bords d'un trou afin d'y faire entrer une vis à tête plate…), poussez les vis vers le haut par en dessous et installez la carte du circuit. Ne vissez pas la carte du circuit trop fermement au boîtier, car cela risquerait d'entraîner des contraintes de flexion et de provoquer la rupture d'un joint de soudure ou d'une piste de cuivre de la carte.

J'aime placer un léger morceau de plastique sous la carte pour absorber les contraintes. Comme vous utiliserez des contre-écrous, qui ne se desserreront pas, inutile de trop les serrer.

Testez une fois de plus le circuit après avoir monté la carte dans le boîtier.

Figure 3-109. *Les composants ont été fixés sur le panneau de commande du boîtier de projet (vu de dessous). Le haut-parleur a été collé. Un point de colle a été aussi déposé sur chaque LED au cas où. L'interrupteur SPDT se trouve en haut à droite, le bouton-poussoir DPDT en haut à gauche, et les douilles isolées, qui seront reliées au réseau des interrupteurs magnétiques, sont en bas.*

Soudure des interrupteurs

La fig. 3-110 montre comment les interrupteurs physiques doivent être câblés ensemble. Souvenez-vous que S1 est un interrupteur à bascule et S2 un bouton-poussoir. La première étape consiste à décider dans quel état ils doivent se trouver. Utilisez le multimètre pour savoir quelles bornes sont connectées lorsque l'interrupteur est inversé et lorsque vous appuyez sur le bouton. Vous souhaiterez probablement que l'interrupteur se trouve dans l'état ON quand le bouton est basculé vers le haut. Soyez particulièrement attentif à l'orientation du bouton-poussoir, car si vous le câblez à l'envers, l'alarme sera constamment placée en mode test, ce qui ne correspondra pas à ce que vous souhaitez.

Rappelez-vous que la borne centrale d'un interrupteur bidirectionnel est presque toujours le pôle de l'interrupteur, connecté aux bornes situées immédiatement au-dessus et en dessous.

Un fil torsadé convient bien pour connecter la carte du circuit avec les composants du panneau supérieur, car les fils se plient facilement et imposent moins de contraintes sur les joints des soudures. Le fait de torsader ensemble chaque paire de fils permet de limiter les risques.

Veillez à connecter les broches courtes des LED à la résistance, ce qui nécessitera une soudure fil à fil. Vous voudrez peut-être protéger certains des fils nus et des jointures avec une fine gaine thermorétractable, afin de réduire le risque de courts-circuits quand vous introduirez toutes les pièces dans le boîtier.

Quand vous connecterez les fils ou les composants aux bornes des interrupteurs, le fer à souder de type crayon ne fournira probablement pas assez de chaleur pour créer des soudures de qualité. Vous pourrez utiliser le fer à souder le plus puissant sur ces emplacements, mais vous devrez absolument appli-

Copyright © 2013 Eyrolles.

quer un bon dissipateur thermique pour protéger les LED. Et ne laissez pas le fer en contact avec quoi que ce soit pendant plus de 10 secondes. L'isolant risquerait de fondre rapidement et pourrait même endommager les parties internes des interrupteurs.

Dans les projets plus complexes que celui-ci, il serait judicieux de relier plus nettement le panneau supérieur et la carte du circuit. Un câble à ruban multicolore ferait parfaitement l'affaire, avec des connecteurs à contacts mâles et femelles qui se fixent à la carte. Mais je ne m'en suis pas préoccupé dans ce projet. Les fils s'étirent au hasard, comme illustré à la fig. 3-111.

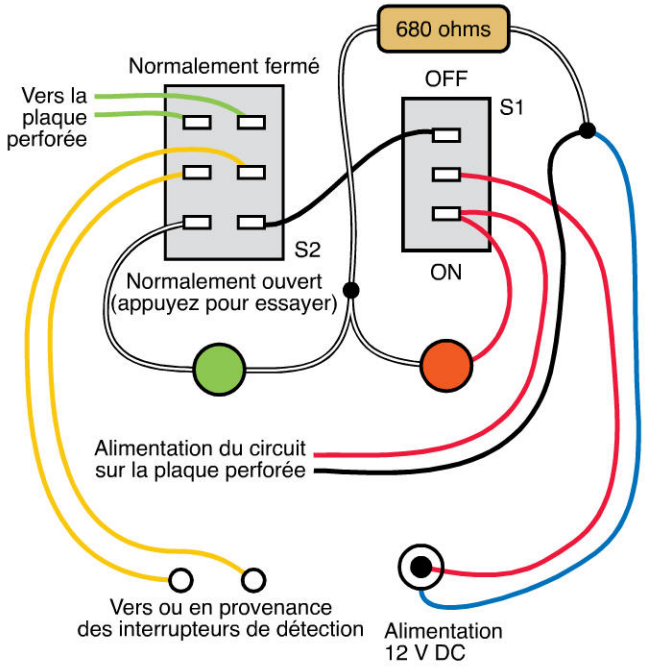


Figure 3-110. *Les composants peuvent être câblés ainsi pour reproduire le circuit illustré. Les cercles rouge et vert correspondent aux LED. Les petits ronds noirs représentent les joints de soudure fil à fil.*

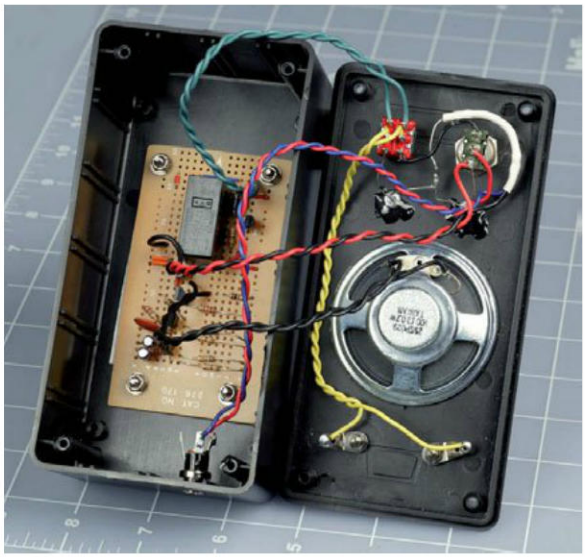


Figure 3-111. *Le circuit a été installé à la base du boîtier de projet, et la prise jack d'entrée a été vissée à l'extrémité. Les deux fils torsadés ont été connectés point à point, sans souci de leur aspect car il s'agit d'un projet relativement petit. L'isolant blanc dans le coin supérieur droit du panneau avant est la gaine thermorétractable qui entoure un joint de soudure et la résistance de charge 680 Ω. La soudure des fils sur l'interrupteur à bouton-poussoir nécessite soin et précision, car les contacts sont rapprochés.*

Copyright © 2013 Eyrolles.

Test final

Quand vous avez terminé le circuit, testez-le ! Si vous n'avez pas encore installé le réseau des interrupteurs à détection, vous pouvez utiliser un fil pour connecter les deux bornes destinées aux interrupteurs. Assurez-vous que S1 se trouve en position OFF, puis soudez la prise appropriée à votre source d'alimentation 12 V, et insérez-la dans la prise jack. Quand vous appuyez sur le bouton, la LED verte doit s'éclairer pour attester de la continuité entre les deux bornes du réseau d'interrupteurs. Puis débranchez le fil entre les bornes, appuyez à nouveau sur le bouton : la LED verte doit demeurer éteinte.

Reconnectez les deux bornes et basculez S1 en position ON : la LED rouge doit s'allumer. Quand vous appuyez sur le bouton, l'alarme doit s'enclencher. Réinitialisez-la en plaçant S1 en position OFF puis à nouveau en position ON et débranchez le fil entre les bornes. L'alarme doit à nouveau se déclencher et continuer à retentir même quand vous reconnectez le fil.

Si tout fonctionne comme prévu, il est temps de visser le haut de la boîte, en poussant les fils à l'intérieur. Comme la boîte est large, il n'y a pas de risque que les éléments métalliques se touchent accidentellement, mais restez cependant méticuleux.

Installation de l'alarme

Avant d'installer les interrupteurs magnétiques à détection, testez chacun d'eux en déplaçant le module magnétique près du module d'interruption, puis en l'éloignant, tout en testant en même temps avec le multimètre la continuité entre les bornes du connecteur. Le connecteur doit se fermer quand il est proche de l'aimant et s'ouvrir quand vous enlevez l'aimant.

Maintenant, dessinez le plan de câblage des connecteurs. N'oubliez pas qu'ils doivent toujours être montés en série, et non en parallèle ! La fig. 3-112 illustre ce principe. Les deux bornes correspondent aux bornes d'attache sur la boîte de contrôle (représentée en vert), et les rectangles rouges aux interrupteurs magnétiques à détection des fenêtres et des portes. Comme le fil de ce type d'installation possède généralement deux conducteurs, vous pouvez le disposer comme sur la figure, mais coupez-le et soudez-le pour créer deux branches. Les joints de soudure représentés par des points orange. Notez la façon dont le courant traverse tous les interrupteurs en série avant de retourner à la boîte de contrôle.

La fig. 3-113 illustre le réseau que vous pourriez installer dans le cas où vous disposez de deux fenêtres et d'une porte. Les rectangles bleus sont les modules magnétiques qui activent les modules de commutation.

De toute évidence, vous aurez besoin d'une grande quantité de fil. Le fil torsadé blanc, vendu pour les sonnettes de porte ou les thermostats de four, convient parfaitement. Son diamètre est généralement de 0,8 mm environ.

Après avoir installé tous les interrupteurs, reliez les sondes du multimètre aux fils qui seraient normalement attachés au boîtier d'alarme. Réglez le multimètre de façon à tester la continuité, puis ouvrez chaque fenêtre et chaque porte, l'une après l'autre, afin de vérifier que la continuité est interrompue. Si tout fonctionne, fixez les fils de l'alarme aux bornes de votre boîtier de projet.

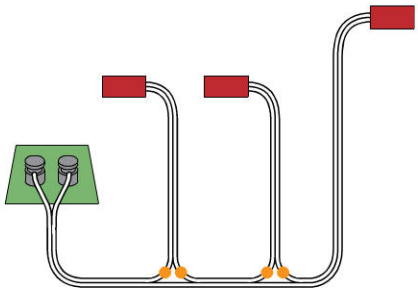


Figure 3-112. *Un fil isolé blanc à double conducteur peut être utilisé pour relier les bornes du boîtier de l'alarme aux détecteurs magnétiques (en rouge). Comme les détecteurs doivent être montés en série, le fil est coupé et soudé aux emplacements symbolisés par les points orange.*

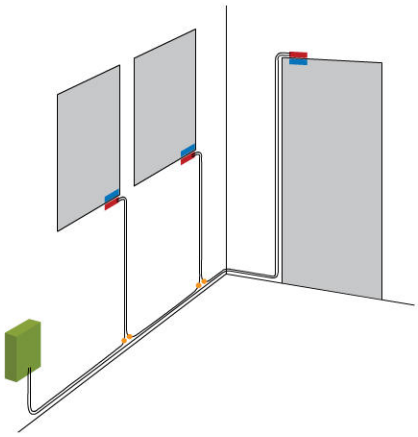


Figure 3-113. *Dans une installation comprenant deux fenêtres et une porte, les composants magnétiques des détecteurs (rectangles bleus) peuvent être disposés comme illustré, tandis que les interrupteurs (en rouge) sont placés à côté.*

opyright © 2013 Eyrolles.

Figure 3-114. *L'alarme d'intrusion terminée, dans son boîtier.*

Occupez-vous maintenant de l'alimentation. Utilisez l'adaptateur secteur, réglez-le sur 12 V, branchez-le sur une prise de courant et reliez-le au boîtier, ou bien alimentez le boîtier par une pile d'alarme de 12 V.

Si vous utilisez une pile, soyez particulièrement attentif à ce que le fil menant à la borne centrale de la prise d'alimentation du boîtier soit positif. Une pile de 12 V peut fournir un courant substantiel, susceptible de griller les composants si vous ne la connectez pas correctement. Ce serait vraiment rageant d'anéantir votre projet à son ultime étape !

La dernière tâche consiste à étiqueter l'interrupteur, le bouton, la prise d'alimentation et les bornes d'attache sur le boîtier d'alarme. Si vous, vous savez que l'interrupteur active et désactive l'alimentation, et que le bouton teste le circuit et le bruiteur, personne d'autre ne le sait, et peut-être souhaitez-vous autoriser des amis à utiliser cette alarme en votre absence. Et qui vous dit que des mois ou des années après l'installation de l'alarme, vous vous souviendrez que l'alimentation est une alimentation 12 V ?

L'étiquetage est vraiment une bonne idée. Mais comme vous pouvez le constater à la fig. 3-114, je n'ai pas trouvé le temps de le faire pour mon propre boîtier…

Récapitulatif

L'installation de cette alarme vous a amené à parcourir les étapes élémentaires que l'on suit à chaque fois que l'on développe un projet de ce type.

1. Établir un schéma et s'assurer de le comprendre.
2. Modifier le schéma pour l'adapter au modèle des conducteurs d'une plaque de montage.
3. Installer les composants sur la plaque de montage et tester les fonctions de base.
4. Modifier ou améliorer le circuit, et le tester de nouveau.
5. Transférer le circuit sur une plaque perforée, le tester et identifier les défauts éventuels.
6. Ajouter les interrupteurs, les boutons, la prise jack d'alimentation et les prises mâles ou femelles pour connecter le circuit au monde extérieur.
7. Insérer la totalité dans un boîtier (sans oublier les étiquettes).

J'espère qu'au travers de ce chapitre, vous aurez acquis les bases de l'électronique, ainsi que certaines notions théoriques d'électricité et les principes essentiels des composants électroniques. Ces connaissances devraient vous permettre d'aborder le domaine bien plus puissant des circuits intégrés, thème du chapitre 4.

opyright © 2013 Eyrolles.

4. Circuits intégrés

Avant d'entrer dans le monde fascinant des circuits intégrés, je dois vous avouer que certaines choses que je vous ai demandé de réaliser au chapitre 3 auraient pu être exécutées un peu plus simplement. Cela signifie-t-il que vous avez perdu votre temps ? Pas du tout, car je suis convaincu que monter un circuit à partir de composants élémentaires (condensateurs, résistances et transistors) est la meilleure manière de comprendre les principes de l'électronique. Mais à présent, il est temps que vous sachiez que les circuits intégrés, avec leurs dizaines, centaines ou milliers de jonctions de transistors, permettent d'aller beaucoup plus vite.

Matériel des expériences 16 à 24

Outils

Le seul nouvel outil que je vous recommande pour travailler avec des circuits intégrés est une sonde logique. Elle permet de savoir si telle ou telle broche d'un circuit présente une tension basse ou haute, ce qui peut être utile pour connaître la fonction du circuit. Une sonde possède une fonction mémoire dotée d'une LED, qui s'allume et reste allumée en réponse à une impulsion trop rapide pour être décelable à l'œil nu

Recherchez sur Internet la sonde la moins chère. Je n'ai pas de marque particulière à recommander. Celle présentée sur la fig. 4-1 est assez typique.

Figure 4-1. *Une sonde logique détecte la tension basse ou haute de chaque broche d'un circuit, et décèle les impulsions qui se produisent trop rapidement pour être visibles à l'œil nu.*

Fournitures

Circuits intégrés

Si vous acquérez la totalité de cette liste et que vous avez déjà acheté les outils et fournitures précédemment mentionnés, vous disposerez de tout le nécessaire pour l'ensemble des projets de ce chapitre.

Les circuits intégrés étant assez bon marché (0,50 € environ), achetez-en plus que nécessaire. Ainsi, si vous en abîmez, il vous en restera en réserve. Ils serviront en outre à vos futurs projets.

Avant de les acheter, lisez l'encadré « Choisir un circuit intégré » page suivante. Les circuits intégrés se trouvent facilement auprès des fournisseurs de matériel électronique, et parfois même sur Internet. Vous trouverez en annexe la liste des sites Internet utiles.

opyright © 2013 Eyrolles.

FONDAMENTAUX

Choisir un circuit intégré

La fig. 4-2 représente un circuit intégré. Le circuit est gravé sur une minuscule tranche de silicium, puis inséré dans un boîtier en plastique de couleur noire. Les minuscules fils du boîtier relient le circuit aux broches situées de part et d'autre. En anglais, on utilise le mot *chip* (puce) pour désigner la totalité du composant, broches incluses. En France, on utilise également le mot puce ou puce électronique pour désigner un circuit intégré.

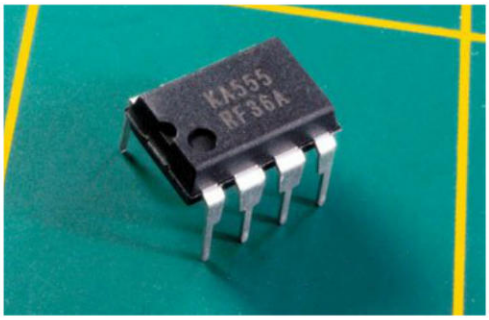


Figure 4-2. *Circuit intégré dans un boîtier Dual-Inline, abrégé parfois en PDIP* (Plastic Dual-Inline Pin) *ou plus souvent en DIP.*

Les broches sont montées à intervalles de 0,25 cm sur deux rangées espacées de 0,76 cm. Ce format est appelé boîtier *Plastic Dual-Inline Package*, abrégé en PDIP ou, plus souvent, en DIP. Le circuit de la photo possède quatre broches par rangée. Sachez que dans cet ouvrage, vous n'utiliserez que le boîtier DIP. Nous n'évoquerons pas le boîtier plus moderne, appelé boîtier pour montage en surface, car il est plus petit, plus difficile à manipuler et nécessite des outils spécifiques relativement onéreux. Sur la fig. 4-3, vous pouvez voir un boîtier DIP 14 broches et un boîtier pour montage en surface 14 broches. Nombre de boîtiers pour montage en surface sont encore plus petits que celui de la photo.

Quasiment tous les circuits comportent un numéro de référence. Celui du circuit de la fig. 4-2 est KA555. Sur la fig. 4-3, celui du circuit DIP est M74HC00B1 et celui du circuit avec montage en surface est 74LVC07AD. Vous pouvez ignorer la deuxième ligne de chiffres et/ou de lettres figurant sur chaque circuit, car ils ne font pas partie de leur référence.

Vous noterez que, même si les circuits de la fig. 4-3 semblent assez différents, ils ont tous deux « 74 » dans leur référence. C'est parce qu'ils appartiennent à la même famille 7400 de circuits logiques, dont les références commençaient à l'origine à partir de 7400 (7401, 7402, 7403, etc.). Aujourd'hui, ils sont souvent désignés par circuits 74xx, « xx » incluant tous les membres de la famille. Comme je ferai beaucoup appel à cette famille, vous devrez savoir comment vous les procurer. Je vous fournirai quelques conseils à ce sujet.

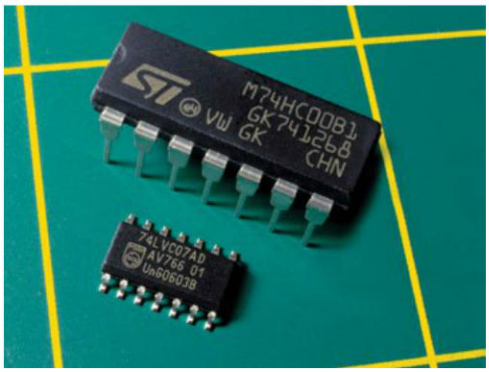


Figure 4-3. *Le circuit DIP, en haut, possède des broches espacées de 0,25 cm, adaptées à une insertion sur une platine de montage ou une plaque perforée. Il peut être soudé sans outils spéciaux. Le petit circuit avec boîtier SOIC* (Small-Outline Integrated Circuit) *pour montage en surface possède des broches à souder espacées de 0,5 cm. Les circuits pour montage en surface sont principalement conçus pour l'assemblage automatique et sont difficiles à manipuler. Sur cette photo, les lignes jaunes sont espacées de 2,54 cm pour que vous ayez un aperçu de l'échelle.*

Regardez la fig. 4-4, qui explique comment interpréter un numéro de référence d'un membre de la famille 74xx. Les premières lettres identifient le fabricant (ce qui a peu d'importance ici). Par conséquent, ignorez tous les caractères jusqu'à ce que vous arriviez à « 74 ». Ensuite, vous trouvez deux autres lettres importantes. La famille 74xx ayant évolué au cours du temps, elles indiquent de quelle génération il s'agit. On trouve ainsi :

- 74L
- 74LS
- 74C
- 74HC
- 74AHC

Et bien d'autres encore. Généralement, les circuits des dernières générations tendent à être plus rapides et plus polyvalents que ceux des premières. Dans cet ouvrage, nous utiliserons principalement les circuits de génération HC.

Copyright © 2013 Eyrolles.

FONDAMENTAUX

Choisir un circuit intégré *(suite)*

Après les lettres identifiant la génération, vous trouvez deux ou plusieurs chiffres, qui identifient la fonction spécifique du circuit. Enfin, vous pouvez ignorer les autres lettres et chiffres restants. Sur la fig. 4-3, la référence M74HC00B1 indique qu'il s'agit d'un circuit de la famille 74xx, de la génération HC, et dont la fonction est identifiée par les chiffres 00. Quant au numéro de référence 74LVC07AD, il vous apprend que le circuit appartient à la famille 74xx, de génération LVC, et que sa fonction est identifiée par les chiffres 07. Pour des raisons de commodité, nous dénommerons le premier circuit 74HC00 et le second 74VC07, car, indépendamment de leurs différences de fabricant et de boîtier, le comportement fondamental du circuit à l'intérieur reste le même.

Ces longues explications ont pour but de vous apprendre à interpréter les catalogues de circuits intégrés. Si par exemple vous recherchez un 74HC00 sur Internet, les fournisseurs doivent être à même de vous proposer les circuits de différents fabricants, même si le terme recherché est précédé ou suivi de lettres.

Imaginons qu'il vous faille un circuit 74HC04. Si vous le recherchez sur Internet, vous obtiendrez notamment comme réponses CD74HC04M96 de Texas Instruments, 74HC04N de NXP Semiconductors et MM74HC04N de Fairchild Semiconductor. Comme les trois circuits comportent 74HC04 dans leur nom, chacun conviendra parfaitement.

Veillez bien à acheter le plus grand boîtier, le boîtier DIP, et non le boîtier pour montage en surface. Si sa référence se termine par un N, vous êtes assuré qu'il s'agit d'un boîtier DIP. Dans le cas contraire, il peut s'agir ou non d'un boîtier DIP, et vous devrez le vérifier à l'aide d'une photo ou d'une description complémentaire. Si la référence commence par SS, SO ou TTS, il ne peut s'agir que d'un boîtier pour montage en surface, et vous n'en aurez nul besoin. La plupart des catalogues proposent des photos des circuits afin de vous aider à acheter le boîtier approprié.

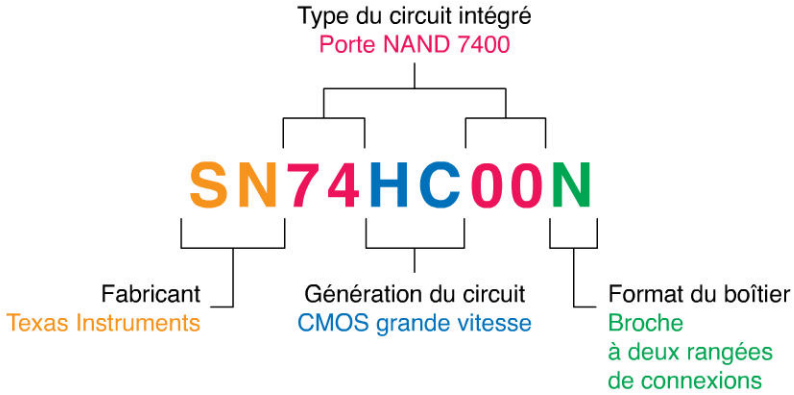


Figure 4-4. *Recherchez la bonne famille de circuits (74xx, ici), correspondant à la génération appropriée (HC, ici). Veillez bien à acheter la version DIP, et non celle pour montage en surface. Peu importe le fabricant.*

Copyright © 2013 Eyrolles.

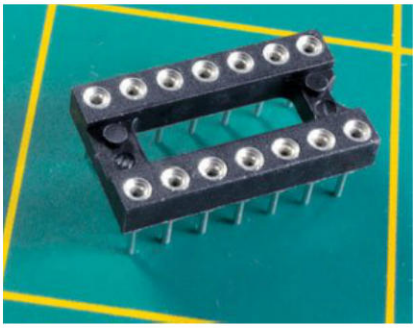


Figure 4-5. *Pour monter un circuit intégré sur une plaque perforée, il vaut mieux souder d'abord un support sur la plaque, puis monter le circuit dessus. Les supports éliminent les risques de surchauffe du circuit et d'altération par l'électricité statique. Ils facilitent aussi le remplacement d'un circuit.*

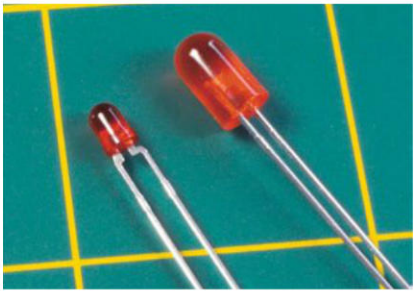


Figure 4-6. *Un circuit logique de la série HC est censé ne délivrer que 4 mA à chaque broche. Il n'est donc pas adapté pour commander une LED 5 mm (à droite), conçue pour un courant de 20 mA. Une LED miniature (à gauche) n'utilise qu'1 mA en série avec une résistance adaptée et convient idéalement aux circuits de test.*

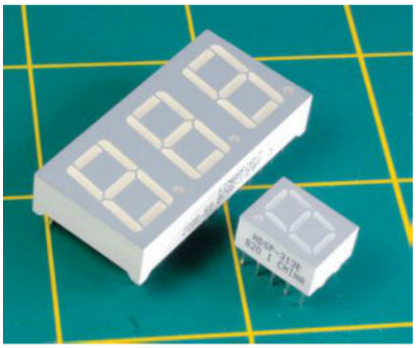


Figure 4-7. *Les afficheurs à sept segments sont le moyen le plus simple d'afficher une sortie numérique ; ils peuvent être commandés directement par certains circuits CMOS. Dans les projets aboutis, ils sont souvent montés derrière un support en plastique transparent rouge.*

Voici la liste du matériel à acheter :

- 10 timers ou temporisateurs 555. Par exemple : Go Tronic, réf. NE555N, STMicroelectronics, réf. SA555N, ou Fairchild, réf. NE555D. Ne pas acheter la version CMOS de ce circuit ou toute autre version sophistiquée, achetez la version la moins chère. Le circuit de la fig. 4-2 est un timer 555.
- Circuits logiques 74HC00, 74HC02, 74HC04, 74HC08, 74HC32 et 74HC86. Par exemple : STMicroelectronics, réf. M74HC00B1, M74HC02B1 ou M74HC04B1, ou Texas Instruments, réf. SN74HC00N, SN74HC02N ou SN74HC04N. Autres constructeurs possibles. Attention, chaque référence doit comporter en son milieu les deux lettres HC, et il doit s'agir d'un boîtier DIP ou PDIP, et non pour montage en surface. Quantité minimale de chaque circuit : 4.
- 4 compteurs décimaux 4026. Par exemple : Texas Instruments, réf. CD-4026BE. Vous en aurez besoin de 3, mais comme il s'agit d'un circuit CMOS sensible à l'électricité statique, il faut que vous en ayez un en réserve. Tout circuit dont la référence comporte le numéro 4026 convient.
- 2 circuits compteurs 74LS92, 2 circuits inverseurs à collecteur ouvert 74LS06 et 2 circuits NOR 74LS27 à trois entrées. Notez les deux lettres LS dans ces références ! Dans l'une des expériences, j'utiliserai la génération LS au lieu de la génération HC.

Supports de circuit intégré

Il est déconseillé de souder directement les circuits sur la plaque perforée, car en cas de dégât, ils sont difficiles à retirer. Achetez quelques supports DIP, soudez-les sur la carte et montez les circuits sur les supports. Vous pouvez utiliser les supports les moins chers que vous trouvez (inutile de choisir des contacts plaqués or ici). Vous aurez besoin de supports DIP 8 broches, 14 broches et 16 broches (fig. 4-5). Par exemple : Go Tronic, réf. 08161, 08162 et 08163. Quantité minimale de chaque support : 5.

Diodes

Les circuits logiques que vous allez utiliser ne sont pas conçus pour fournir une puissance significative. Vous devrez ajouter des transistors pour amplifier le signal de sortie si vous voulez commander des relais ou des LED. Au lieu d'ajouter des transistors, je vous propose une autre solution : les LED basse puissance, qui ne nécessitent pas plus d'1 mA, comme le modèle Everlight T-100, réf. HLMPK150. La fig. 4-6 illustre la différence de taille par rapport à une LED 5 mm normale. Quantité minimale : 10. Il vous faut aussi 5 diodes de signal, 1N4148 ou similaire.

Afficheurs numériques à LED

Dans au moins l'un de nos projets, nous allumerons les chiffres d'un afficheur à sept segments à LED. Vous aurez besoin de trois chiffres distincts ou d'un ensemble composé de trois chiffres, comme le modèle Kingbright High Efficiency Red Diffused, réf. BC56-11EWA, auquel il sera fait référence sur certains schémas de ce livre. Si vous achetez un autre afficheur à sept segments, il devra s'agir d'une LED à cathode commune (n'achetez pas d'afficheurs à cristaux liquides, car ils nécessitent un autre matériel électronique). Si possible, achetez celui qui consomme le moins d'électricité. Voir fig. 4-7.

opyright © 2013 Eyrolles.

Relais à enclenchement

Vous aurez aussi besoin d'un relais bistable 5 V pourvu de deux bobines, au lieu d'une seule. La première bobine bascule le relais dans un sens et la seconde dans l'autre. Le relais ne consomme aucune alimentation supplémentaire et demeure passif dans chaque état. Je conseille le relais Panasonic, réf. DS2E-SL2-DC5V. Si vous achetez un autre relais, choisissez un modèle bistable à deux bobines, alimenté en 5 V, avec un courant de commutation au moins égal à 1 A, dans un boîtier 2 formes C, afin de l'adapter à votre platine de montage.

Potentiomètres

Vous aurez besoin de potentiomètres linéaires 5K, 10K et 100K (un de chaque), ainsi que d'un potentiomètre ajustable de 10K. Peu importe le fabricant. Un potentiomètre ajustable ressemble beaucoup à un potentiomètre classique, excepté sa taille miniature et sa vis centrale qui remplace l'axe. Toutefois, beaucoup de modèles se règlent plus précisément au moyen d'une vis latérale qui actionne un réducteur à engrenages interne (voir fig. 5-116). Dans cet ouvrage, vous pouvez utiliser indifféremment ces deux modèles, leurs broches étant généralement placées de manière similaire : la broche centrale fournit une résistance variable, dont la valeur maximale est égale à la résistance fixe présente entre les deux broches latérales.

Régulateur de tension

Comme nombre de circuits logiques nécessitent précisément un courant continu de 5 V, vous aurez besoin d'un régulateur de tension. Le régulateur LM7805 convient parfaitement. Une fois encore, le numéro du circuit sera précédé ou suivi d'une abréviation identifiant le fabricant et le style du boîtier, comme dans la référence LM7805CT de Fairchild. Peu importe le fabricant, mais le boîtier doit ressembler à celui de la fig. 4-8. Si vous avez le choix, achetez un régulateur capable de délivrer au moins 1 A.

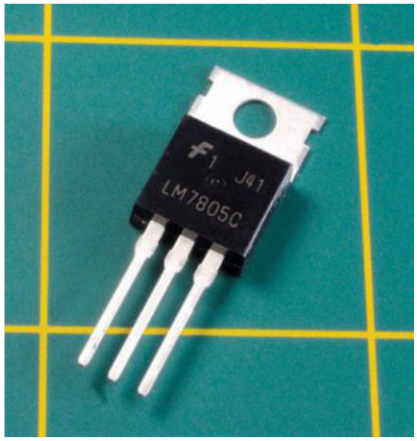


Figure 4-8. *La plupart des circuits intégrés nécessitent une alimentation contrôlée de 5 V, délivrée par ce régulateur quand vous lui appliquez entre 7,5 et 9 V. La broche de gauche est destinée à une entrée positive, la broche centrale est celle de mise à la terre et la broche de droite est réservée à la sortie 5 V. Pour les courants au-delà de 250 mA, fixez le régulateur à un dissipateur thermique en métal, à l'aide du trou supérieur.*

Interrupteurs tactiles

Il s'agit de boutons-poussoirs SPST (interrupteurs momentanés), généralement pourvus de quatre pattes. Recherchez la référence SKHHAKA010 chez ALPS ou autre article similaire avec broches pour s'adapter à votre platine de montage ou plaque perforée. Voir fig. 4-9.

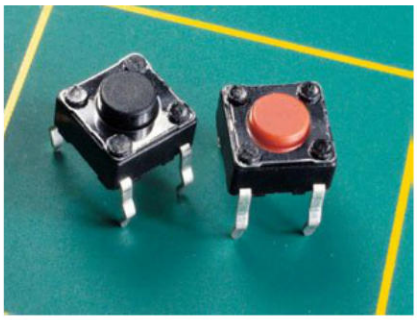


Figure 4-9. *Lorsque vous appuyez sur un interrupteur tactile, il délivre un retour tactile dans votre doigt. Il s'agit presque toujours de boutons-poussoirs SPST destinés à un montage sur des cartes avec un espacement standard de 0,25 cm entre les trous.*

Pavé numérique 12 touches

1 pavé Velleman 12 touches avec sortie commune (ou référence équivalente).

Le pavé présente le même aspect que les anciens téléphones à touches. Il doit comporter au moins 13 broches (ou contacts), dont 12 connectées à l'un des deux contacts de chaque bouton-poussoir, et la treizième à l'ensemble des autres contacts. Autrement dit, la dernière broche est commune : c'est pourquoi on dénomme souvent ce type de pavé « avec sortie commune ». Un pavé qui comporte moins de 13 contacts nécessite des circuits externes supplémentaires et ne conviendra pas. Voir fig. 4-10 et 4-11. Si vous ne trouvez pas le pavé numérique Velleman, vérifiez que celui que vous achetez n'est pas codé en matrice et qu'il possède une borne commune.

Vous pouvez éventuellement remplacer le pavé numérique par 12 boutons-poussoirs SPST NO bon marché montés sur un boîtier.

Copyright © 2013 Eyrolles.

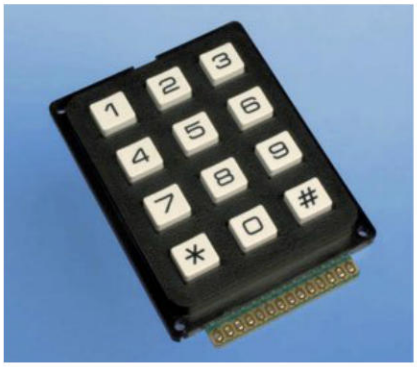


Figure 4-10. *Le pavé numérique à acquérir doit comporter 12 touches disposées à la manière des anciens téléphones, et au moins 13 contacts pour les entrées/sorties. Les contacts sont visibles ici sur la face avant.*

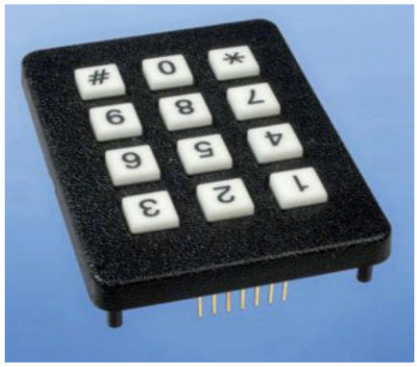


Figure 4-11. *Ce pavé ne possède pas suffisamment de broches pour fonctionner dans le circuit proposé dans cet ouvrage.*

HISTOIRE

Les premiers circuits intégrés

Le savant britannique Geoffrey W. A. Dummer est le premier à avoir l'idée d'intégrer des composants à semi-conducteurs dans un même boîtier : après en avoir parlé pendant des années, il tente sans succès d'en construire un en 1956. Ce n'est que deux ans plus tard que Jack Kilby, employé chez Texas Instruments, conçoit le premier circuit intégré. Sa version utilise du germanium, déjà employé dans les semi-conducteurs.

Mais Robert Noyce (fig. 4-12) a une meilleure idée. Né dans l'Iowa en 1927, il déménage dans les années 1950 en Californie pour travailler pour William Shockley. Ce dernier vient de fonder une entreprise de fabrication de transistors, dont il est co-inventeur après son passage aux laboratoires Bell.

Il finit par quitter la société de Shockley et fonde Fairchild Semiconductor. Il y invente un circuit à base de silicium qui évite les problèmes de fabrication liés au germanium. C'est pourquoi Robert Noyce est généralement considéré comme l'homme qui a rendu possible les circuits intégrés.

Les premières applications sont d'ordre militaire, les systèmes de guidage des missiles Minuteman nécessitant des composants petits et légers. Presque tous les circuits fabriqués entre 1960 et 1963 sont destinés à cette fin. Le prix d'un circuit baisse alors environ de 1 000 à 25 $, en dollars de l'époque.

À la fin des années 1960, les circuits intégrés à moyenne échelle apparaissent, chacun contenant des centaines de transistors. L'intégration à grande échelle permet de loger des dizaines de milliers de transistors sur un seul circuit au milieu des années 1970 et, aujourd'hui, les circuits peuvent contenir jusqu'à plusieurs milliards de transistors.

Robert Noyce fonde Intel en collaboration avec Gordon Moore, mais meurt prématurément d'une crise cardiaque en 1990. Pour en savoir plus sur l'histoire des circuits intégrés, consultez le site www.siliconvalleyhistorical.org.

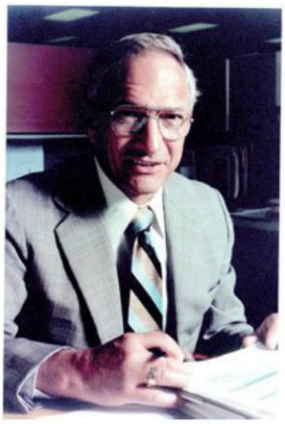


Figure 4-12. *Photo de Robert Noyce, vers la fin de sa carrière (Wikimedia Commons).*

Copyright © 2013 Eyrolles.

Expérience 16 : émission d'une impulsion

Je vais vous présenter le meilleur circuit intégré jamais conçu : le temporisateur 555. Comme il est décrit un peu partout sur le Web, vous pourriez vous interroger sur l'intérêt de l'introduire ici, mais j'ai trois bonnes raisons pour le faire :

1. Ce timer est incontournable et vous devez absolument le connaître. Certaines sources estiment qu'il en est fabriqué plus d'un milliard par an. Il sera utilisé d'une façon ou d'une autre dans la plupart des circuits à venir de ce livre.
2. Il constitue une parfaite introduction aux circuits intégrés, car il est robuste, polyvalent et illustre deux fonctions que nous évoquerons plus tard : les comparateurs et les bascules bistables.
3. Après avoir lu tous les manuels que j'ai pu trouver consacrés au temporisateur 555, j'ai constaté que son fonctionnement interne n'était que rarement expliqué de façon claire. Je souhaite vous en offrir une présentation graphique, sans quoi vous ne serez pas en mesure d'utiliser le circuit de manière créative.

Vous aurez besoin des éléments suivants :

- 1 alimentation de 9 V
- 1 plaque de montage, des cavaliers et 1 multimètre
- 1 potentiomètre linéaire 5K
- 1 timer 555
- 1 assortiment de résistances et de condensateurs
- 2 interrupteurs tactiles SPST
- 1 LED (type indifférent)

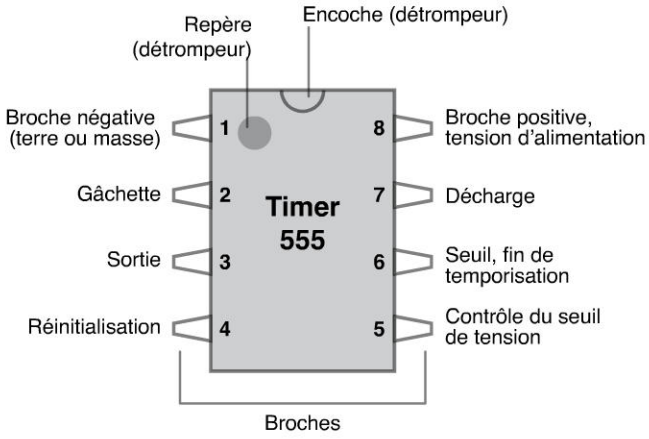


Figure 4-13. *Temporisateur 555 vu d'en haut. Les broches d'un circuit sont toujours numérotées dans le sens inverse des aiguilles d'une montre, à partir du coin supérieur gauche. Le haut du circuit est repéré par un détrompeur qui a la forme d'une encoche ou d'un repère circulaire peint sur le boîtier.*

Marche à suivre

Le circuit intégré 555 est très robuste, mais, en théorie, une simple décharge d'électricité statique suffit à le rendre inutilisable. Par conséquent, pour votre sécurité, vous devez d'abord vous relier à la terre avant de l'utiliser (voir l'encadré « Se relier à la terre » page 172). Même si cet avertissement concerne principalement les circuits CMOS, particulièrement vulnérables, se relier à la terre demeure une précaution raisonnable.

Repérez le détrompeur du circuit, un petit cercle peint ou une encoche effectuée sur le boîtier, et tournez le circuit de telle sorte que le détrompeur se trouve en haut, les broches pointant vers le bas.

Les broches des circuits sont toujours numérotées dans le sens inverse des aiguilles d'une montre, en commençant par la broche située en haut à gauche (à côté du détrompeur). Reportez-vous à la fig. 4-13, qui contient aussi les noms des broches du timer 555.

Insérez le circuit sur la plaque de montage de telle sorte que ses broches enjambent le canal central. Ainsi, vous pouvez sans peine alimenter les broches de part et d'autre du circuit, et relever leurs tensions. Reportez-vous à la

opyright © 2013 Eyrolles.

fig. 4-14 pour identifier les emplacements précis des différents composants de cette expérience. Le temporisateur est abrégé sous le nom IC1, car IC est l'abréviation habituelle de circuit intégré (*Integrated Circuit* en anglais).

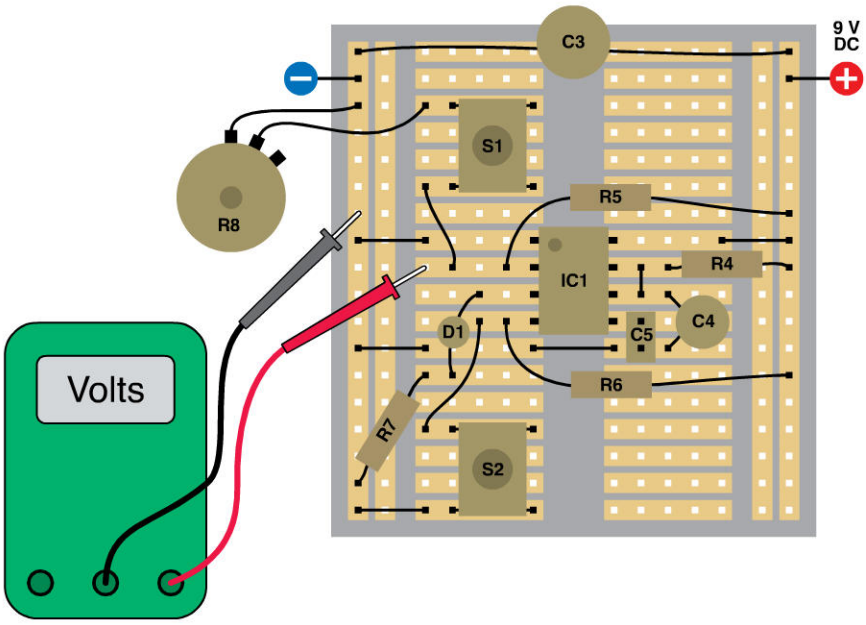


Figure 4-14. *Ce circuit permet d'étudier le comportement du temporisateur 555. Utilisez le multimètre pour contrôler la tension de la broche 2, comme illustré. Il n'y a pas de résistances R1, R2 ou R3, ni de condensateurs C1 ou C2, car ils seront ajoutés ultérieurement.*

R4 : 100K
R5 : 2K2
R6 : 10K
R7 : 1K
R8 : potentiomètre linéaire de 5K
C3 : condensateur électrolytique de 100 µF
C4 : condensateur électrolytique de 47 µF
C5 : condensateur céramique de 0,1 µF
IC1 : timer 555
S1, S2 : interrupteurs tactiles SPST (boutons-poussoirs)
D1 : LED générique

R5 maintient une tension positive sur la gâchette (broche 2) jusqu'à ce qu'on appuie sur S1, ce qui provoque une baisse de tension en fonction de la valeur du potentiomètre R8. Quand cette tension sur la gâchette chute au 1/3 de l'alimentation, la sortie du circuit (broche 3) passe à l'état haut pendant une durée déterminée par les valeurs de R4 et C4. S2 réinitialise (à zéro) le temporisateur, en réduisant la tension de la broche 4. C3 lisse l'alimentation et C5 isole la broche 5 (contrôle) de telle sorte qu'elle n'interfère pas avec le fonctionnement du circuit de test.

Tous les circuits intégrés nécessitent une alimentation. Le temporisateur 555 est alimenté avec une tension négative appliquée à la broche 1 et une tension positive appliquée à la broche 8. Si vous inversez la tension accidentellement, le circuit peut être définitivement endommagé : par conséquent, placez les cavaliers avec soin.

Réglez l'alimentation sur 9 V. Pour cette expérience, fournissez l'alimentation positive à droite et l'alimentation négative à gauche de la plaque de montage, comme illustré à la fig. 4-14. C3 est un condensateur d'au moins 100 µF, placé de façon à

Copyright © 2013 Eyrolles.

lisser l'alimentation et à fournir un stockage local de la charge pour les circuits à commutation rapide, ainsi qu'à assurer une protection contre les baisses transitoires de tension. Même si le timer 555 n'est pas particulièrement à commutation rapide, les autres circuits le sont et vous devez prendre l'habitude de les protéger.

Tournez intégralement le potentiomètre dans le sens inverse des aiguilles d'une montre afin de rendre maximale la résistance entre les deux bornes. Placez la sonde du multimètre sur la broche 2 pour y mesurer la tension : vous devez obtenir environ 6 V quand vous appuyez sur S1.

Tournez à présent le potentiomètre dans le sens des aiguilles d'une montre et appuyez de nouveau sur S1. Si la LED ne s'éclaire pas, continuez à tourner le potentiomètre, en appuyant sur le bouton puis en le relâchant. Quand le potentiomètre se trouve environ aux 2/3 de sa course, la LED doit rester allumée pendant 5 secondes lorsque vous appuyez sur le bouton, puis le relâchez. Voici quelques faits à vérifier par vous-même :

- La LED continue à briller après avoir relâché le bouton.
- Quelle que soit la durée (inférieure toutefois à celle du cycle du temporisateur) pendant laquelle vous appuyez sur le bouton, l'impulsion lumineuse de la LED est toujours la même.
- Le temporisateur est déclenché par une chute de tension sur la broche 2. Vous pouvez le vérifier avec votre multimètre.
- La LED est soit complètement allumée, soit complètement éteinte. Aucune lueur n'est visible quand elle est éteinte, et la transition de l'état OFF à l'état ON et inversement s'effectue de façon nette et précise.

Reportez-vous à la fig. 4-16 pour examiner la disposition des composants sur la plaque de montage, puis regardez le schéma de la fig. 4-15 pour comprendre ce qui se passe. J'ajouterai d'autres composants plus tard, que j'appellerai R1, R2, C1 et C2 pour être cohérent avec les fiches techniques du timer 555 que vous pouvez rencontrer. Par conséquent, dans ce circuit initial, les résistances sont étiquetées à partir de R4 et les condensateurs à partir de C3.

Quand l'interrupteur tactile S1 est ouvert, la broche 2 du temporisateur 555 reçoit une alimentation positive via la résistance R5 de 2K2. Comme la résistance en entrée du timer est très élevée, la tension de la broche 2 est presque égale à la totalité des 9 V.

Quand vous appuyez sur le bouton, vous établissez une liaison entre la borne négative de l'alimentation, via R8, le potentiomètre de 5K, et la broche 2. Ainsi, R8 et R5 forment un diviseur de tension avec la broche 2 au milieu. Peut-être vous souviendrez-vous avoir rencontré ce concept quand vous avez testé les transistors. La tension entre les résistances varie, en fonction des valeurs des résistances.

Si R8 est réglée à mi-chemin environ, elle est approximativement égale à R5 et, par conséquent, la valeur de la tension au point médian, la broche 2, est à peu près égale à la moitié de l'alimentation de 9V. Cependant, quand vous tournez le potentiomètre de façon à ce que sa résistance chute encore plus, la tension négative l'emporte sur la tension positive et la tension de la broche 2 baisse progressivement.

Si les fils du multimètre possèdent des pinces crocodile, vous pouvez les fixer sur les cavaliers les plus proches. Surveillez alors le multimètre tandis que vous réglez le potentiomètre vers le haut et vers le bas, et que vous appuyez sur le bouton.

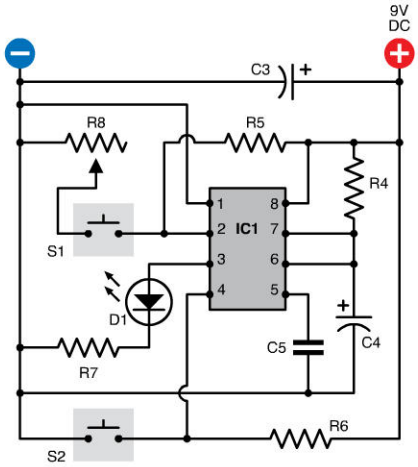


Figure 4-15. *Vue schématique du circuit illustré à la fig. 4-14. Dans ce chapitre, les schémas sont disposés de façon à reproduire l'emplacement le plus probable des composants sur une plaque de montage. Ce n'est pas toujours la présentation la plus simple, mais c'est la plus facile à mettre en place. Reportez-vous à la fig. 4-14 pour les valeurs exactes des composants.*

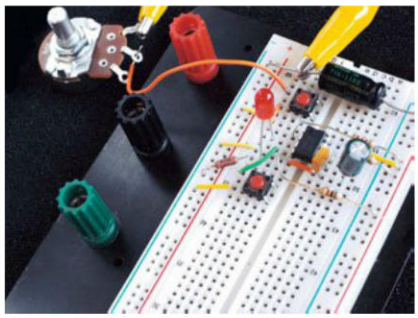


Figure 4-16. *Tel est l'aspect des composants, une fois installés sur la platine de montage. Les pinces crocodile sont attachées à un fil qui relie le condensateur de 100 µF au potentiomètre.*

Copyright © 2013 Eyrolles.

Les schémas de la fig. 4-17 illustrent ce qui se passe. Le graphe supérieur montre la tension appliquée à la broche 2 quand on appuie de façon aléatoire sur le bouton, avec le potentiomètre réglé sur différentes valeurs. Le graphique inférieur atteste que le temporisateur 555 n'est déclenché que si, et seulement si, la tension de la broche 2 passe d'une valeur supérieure à 3 V à une valeur inférieure à 3 V, soit le tiers de notre alimentation 9 V.

Le message à retenir est le suivant :

- La sortie du timer 555 (broche 3) émet une impulsion positive quand la valeur de la broche 2 (gâchette) est inférieure au tiers de l'alimentation.
- La durée de cette impulsion positive est à chaque fois la même (à condition que vous ne fournissiez pas une basse tension prolongée sur la broche 2).
- Une valeur supérieure pour R4 ou C4 prolonge l'impulsion.
- Quand la broche 3 (sortie) est à l'état haut, la tension est presque égale à la tension d'alimentation. Quand la tension de sortie diminue, elle devient presque nulle.

Le timer 555 convertit les imperfections qui l'entourent en une sortie fiable et précise. Il ne passe pas de l'état marche à l'état arrêt absolument instantanément, mais suffisamment vite pour que le passage semble instantané.

Voici une nouvelle expérience à réaliser. Déclenchez le temporisateur de telle façon que la LED s'allume. Puis appuyez sur S2, le deuxième bouton, qui relie à la masse la broche 4 (réinitialisation). La LED doit s'éteindre sur-le-champ.

Quand la tension de réinitialisation baisse, la tension de sortie baisse également, quelle que soit la tension appliquée sur la gâchette.

Il y a un autre point que je souhaiterais souligner avant que nous utilisions le timer à des fins plus intéressantes. J'ai inclus R5 et R6 de telle sorte que, lorsque vous allumez le temporisateur, il n'émette pas une impulsion, mais soit prêt à le faire. Ces résistances appliquent une tension positive sur la gâchette et à la broche de réinitialisation, pour s'assurer que le minuteur 555 soit prêt à fonctionner quand vous l'alimentez pour la première fois.

Tant que la tension de la gâchette est haute, le temporisateur n'émet pas d'impulsion (il émet une impulsion quand la tension de la gâchette chute). Tant que la tension de réinitialisation est élevée, le timer peut émettre une impulsion (il s'arrête quand la tension de réinitialisation chute).

Les résistances R5 et R6 sont connues comme résistances de rappel (ou résistances de tirage), car elles maintiennent la tension à une valeur élevée. Vous pouvez sans peine les ignorer en ajoutant une connexion directe au côté négatif de l'alimentation. Une résistance classique de rappel pour le timer 555 est une résistance de 10K. Avec une alimentation 9 V, il ne passe que 0,9 mA (en fonction de la loi d'Ohm).

Enfin, peut-être vous demandez-vous l'objectif de C5, relié à la broche 5. Cette broche est appelée broche de contrôle, ce qui signifie que si vous lui appliquez une tension, vous pouvez contrôler la sensibilité du minuteur (je reviendrai sur ce point ultérieurement). Comme nous n'employons pas cette fonction dans l'immédiat, une bonne méthode consiste à placer un condensateur sur la broche 5 pour la protéger des fluctuations de tension et l'empêcher d'interférer avec le fonctionnement normal.

opyright © 2013 Eyrolles.

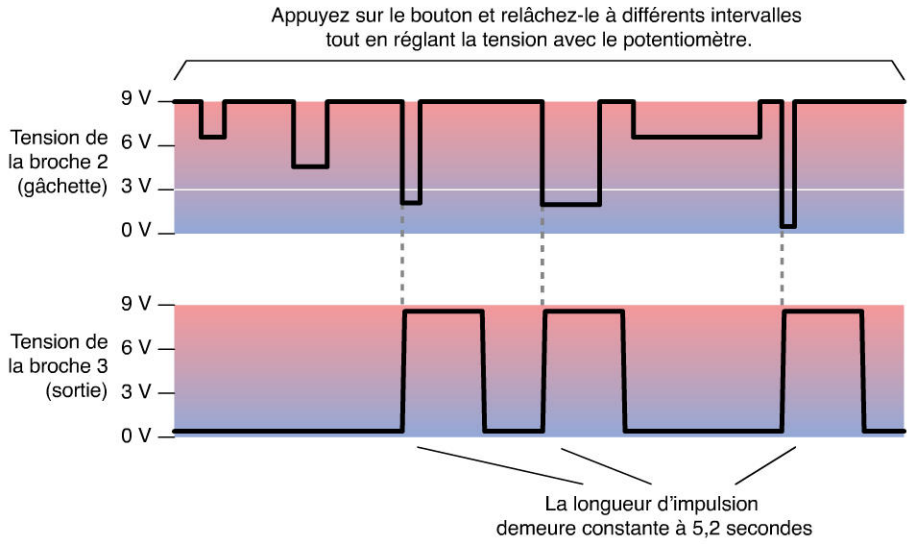


Figure 4-17. *Le graphique du haut illustre la tension de la broche 2 (gâchette) quand on appuie sur le bouton-poussoir, à différents intervalles et selon les réglages du potentiomètre. Le graphique du bas représente la tension de la broche 3 (sortie), qui monte jusqu'à ce que sa valeur soit presque égale à celle de l'alimentation, lorsque la tension de la broche 2 devient inférieure au 1/3 de la tension d'alimentation totale.*

FONDAMENTAUX

Le tableau suivant présente la durée des impulsions du timer 555 en mode monostable :

- Les durées sont exprimées en secondes et arrondies à deux chiffres significatifs.
- Sur la première ligne figurent les valeurs courantes des résistances entre la broche 7 et la borne positive d'alimentation.
- Sur la colonne de gauche figurent les valeurs courantes des condensateurs entre la broche 6 et la borne négative d'alimentation.

Pour calculer une autre durée d'impulsion ne correspondant pas à ce tableau, multipliez la résistance × la capacité × 0,0011, où la résistance est exprimée en kilo-ohms, la capacité en microfarads et la durée en secondes.

	1K	2K2	4K7	10K	22K	47K	100K	220K	470K	1M
47 µF	0,05	0,11	0,24	0,52	1,1	2,4	5,2	11	24	52
22 µF	0,02	0,05	0,11	0,24	0,53	1,1	2,4	5,3	11	24
10 µF	0,01	0,02	0,05	0,11	0,24	0,52	1,1	2,4	5,2	11
4,7 µF		0,01	0,02	0,05	0,11	0,24	0,52	1,1	2,4	5,2
2,2 µF			0,01	0,02	0,05	0,11	0,24	0,53	1,1	2,4
1,0 µF				0.01	0,02	0,05	0,11	0,24	0,52	1,1
0,47 µF					0,01	0,02	0,05	0,11	0,24	0,52
0,22 µF						0,01	0,02	0,05	0,11	0,24
0,1 µF							0,01	0,02	0,05	0,11
0,047 µF								0,01	0,02	0,05
0,022 µF									0,01	0,02
0,01 µF										0,01

Copyright © 2013 Eyrolles.

THÉORIE

À l'intérieur du timer 555 : mode monostable

La structure en plastique du timer 555 contient une tranche de silicium sur laquelle sont gravées plusieurs douzaines de jonctions de transistor selon un motif trop complexe à expliquer ici. Cependant, je peux résumer leur fonction en les classant par groupes, comme illustré à la fig. 4-18. J'y ai aussi représenté une résistance externe et deux condensateurs externes, de la même façon qu'à la fig. 4-15.

Les symboles positif et négatif à l'intérieur de la puce sont les sources d'alimentation en provenance, respectivement, des broches 1 et 8. J'ai omis les connexions internes à ces broches pour des raisons de clarté.

Les deux triangles jaunes sont des comparateurs. Chacun d'eux compare deux entrées (à la base du triangle) et délivre une sortie (au sommet du triangle) variable selon que les entrées sont identiques ou différentes. Nous utiliserons les comparateurs à d'autres fins dans la suite de l'ouvrage.

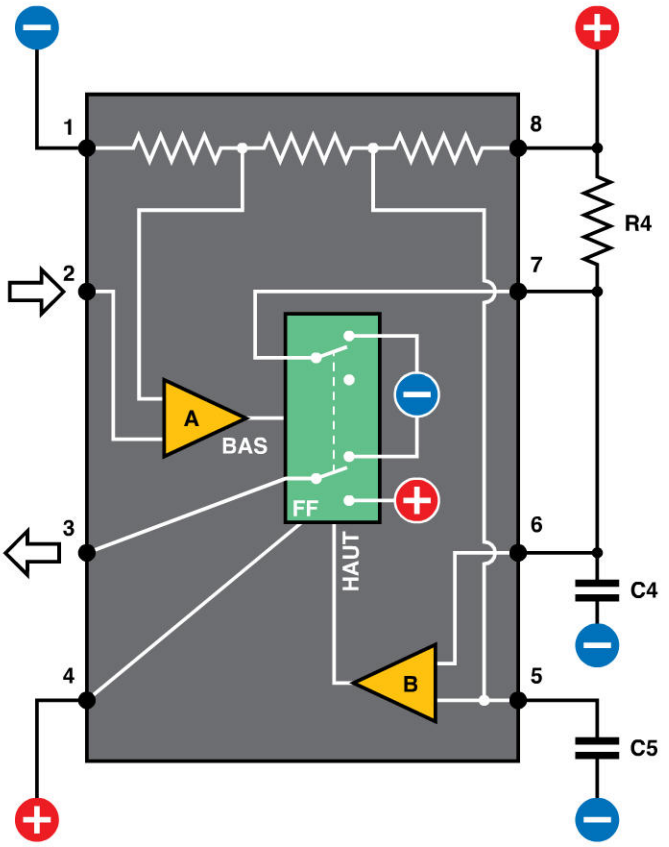


Figure 4-18. *Intérieur du temporisateur. Les lignes blanches indiquent les connexions de la puce. A et B constituent les comparateurs. FF désigne une bascule bistable qui peut demeurer dans un état ou dans l'autre, comme un interrupteur bidirectionnel. Une chute de tension de la broche 2 est détectée par le comparateur A, qui enclenche la bascule bistable dans sa position basse, ce qui envoie une impulsion positive sur la broche 3. Quand C4 est chargé aux 2/3 de sa tension d'alimentation, le comparateur B le détecte et réinitialise la bascule bistable dans sa position haute. Le condensateur C4 est déchargé via la broche 7.*

Copyright © 2013 Eyrolles.

THÉORIE

À l'intérieur du timer 555 : mode monostable *(suite)*

Le rectangle vert, identifié par FF (*flip-flop* en anglais), est une bascule bistable. Je l'ai définie comme un interrupteur DPDT, car elle fonctionne ainsi dans le cas présent, même si elle est bel et bien un semi-conducteur.

Initialement, quand la puce est alimentée, la bascule est en position haute, et délivre en sortie une faible tension via la broche 3. Si la bascule reçoit un signal du comparateur A, elle passe en position basse et s'y stabilise. Quand elle reçoit un signal du comparateur B, elle revient à la position haute et s'y stabilise. Les mentions Haut et Bas des comparateurs vous rappelleront le rôle que joue chacun d'eux.

Les bascules bistables sont un concept fondamental de l'électronique numérique, sans lesquelles les ordinateurs ne pourraient pas fonctionner.

Notez le fil externe qui relie la broche 7 au condensateur C4. Tant que la bascule est en position haute, elle absorbe la tension positive en provenance de R4 et empêche que le condensateur ne se charge positivement.

Si la tension de la broche 2 baisse d'1/3, le comparateur A le remarque et inverse la position de la bascule. Cette action envoie une impulsion positive sur la broche 3 et déconnecte aussi l'alimentation négative via la broche 7. C4 peut alors commencer à se charger via R4. Pendant ce temps, le timer continue de délivrer une tension positive en sortie.

Le comparateur B surveille, via la broche 6, la tension qui s'accroît aux bornes du condensateur C4, appelée aussi seuil. Quand le condensateur a accumulé 2/3 de sa tension, le comparateur B envoie une impulsion à la bascule et la rétablit dans son état initial. Le condensateur est alors déchargé via la broche 7, appelée aussi broche de décharge. La bascule bistable coupe aussi l'alimentation positive de la broche 3 et la remplace par une tension négative. Le timer 555 retourne ainsi à son état d'origine.

Voici résumée très simplement la séquence des événements :

1. Initialement, la bascule bistable relie à la masse le condensateur C4 et la sortie (broche 3).
2. Une chute de tension de la broche 2 jusqu'à 1/3 ou moins de sa tension d'alimentation rend la sortie (broche 3) positive et permet au condensateur C4 de commencer à se charger via R4.
3. Quand le condensateur atteint 2/3 de sa tension d'alimentation, la puce décharge le condensateur et la sortie de la broche 3 baisse à nouveau.

Ce mode de fonctionnement du temporisateur 555 est dit monostable, ce qui signifie qu'il ne fournit qu'une seule impulsion et que vous devez l'activer une nouvelle fois pour en obtenir une autre.

Vous ajustez la durée de chaque impulsion en modifiant les valeurs de R4 et C4. Consultez le tableau de la page 157, qui fournit des durées d'impulsion en fonction des résistances et des capacités, ainsi qu'une formule pour calculer vos propres valeurs.

Je ne me suis pas soucié d'inclure dans le tableau des impulsions d'une durée inférieures à 0,01 seconde, car une seule impulsion de cette longueur n'est généralement pas très utile. J'ai également arrondi les nombres du tableau à 2 chiffres significatifs, car les valeurs des condensateurs sont rarement plus précises.

opyright © 2013 Eyrolles.

HISTOIRE

Naissance du timer

En 1970, alors que seulement une demi-douzaine d'entreprises se sont implantées dans la Silicon Valley, la société Signetics achète une idée de l'ingénieur Hans Camenzind. Le concept ne constitue pas une avancée décisive : 23 transistors et un groupe de résistances qui fonctionnent comme un temporisateur programmable. Celui-ci est polyvalent, stable et simple, mais son prix de vente initial refroidit. Grâce à la technologie naissante des circuits intégrés, Signetics parvient à reproduire l'ensemble sur une puce de silicium.

Camenzind travaille seul, développant l'ensemble à grande échelle sur une plaque de montage, à l'aide de transistors, de résistances et de diodes. Une fois que l'ensemble fonctionne, il commence à attribuer des valeurs légèrement différentes aux composants afin de contrôler si le circuit accepte des variations lors de la production ou, entre autres, des modifications de température lors de l'utilisation de la puce. Il crée au moins 10 versions du circuit, ce qui l'occupa pendant des mois.

Puis Camenzind s'assied à une table à dessin et utilise un couteau X-Acto particulier pour graver le circuit sur une grande feuille de plastique. Signetics réduit ensuite l'image photographiquement selon un rapport 300:1, la grave sur de minuscules tranches et insère chacune d'elles dans un rectangle en plastique d'un demi-pouce (0,127 cm) avec la référence du produit imprimée sur la partie supérieure. Le timer 555 était né.

Il s'avéra être la puce la plus fructueuse de l'histoire, à la fois par le nombre d'unités vendues (des dizaines de milliards) et par la longévité du concept (identique depuis près de 40 ans). Le temporisateur 555 est présent aussi bien dans les jouets que dans les navettes spatiales. Il permet de faire clignoter une lumière, de déclencher une alarme, d'espacer des bips et de créer les bips eux-mêmes.

Aujourd'hui, les puces sont conçues par des équipes nombreuses et testées en simulant leur comportement à l'aide de logiciels. Ainsi, les puces d'un ordinateur permettent la conception de nouvelles puces. L'époque où les ingénieurs comme Camenzind travaillaient en solo est révolue, mais son génie demeure dans chaque timer 555 qui sort des usines de fabrication.

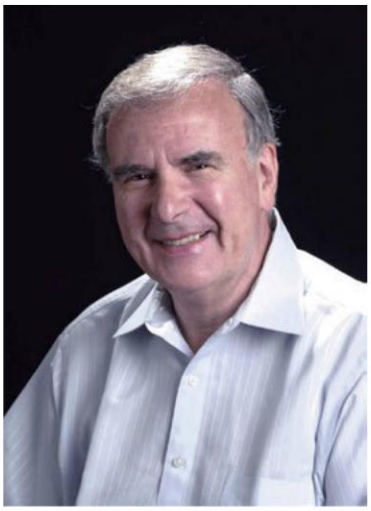


Figure 4-19. *Hans Camenzind, inventeur et développeur de la puce du timer 555 pour Signetics.*

Copyright © 2013 Eyrolles.

FONDAMENTAUX

Utilité du 555

En mode monostable (tel que nous l'avons vu), le temporisateur 555 émet une seule impulsion de durée fixe (mais programmable). Y voyez-vous des applications ? Imaginez par exemple une impulsion du timer 555 qui contrôlerait un autre composant. Un détecteur de mouvement pour une lumière extérieure, peut-être. Quand le détecteur infrarouge détecte quelque chose qui bouge, la lumière s'allume pendant une durée déterminée, contrôlable par le temporisateur.

Une autre application possible concerne le grille-pain. Quand vous introduisez une tranche de pain, un interrupteur se ferme et déclenche la cuisson. Pour en modifier la durée, vous pouvez utiliser un potentiomètre à la place de R4 et le fixer à la manette externe. À la fin de l'opération, la sortie du timer 555 traverse un transistor de puissance et active un solénoïde (semblable à un relais, sauf qu'il ne possède pas de contacts d'interrupteur) qui libère la tranche.

Les essuie-glaces d'une voiture peuvent être aussi contrôlés par un temporisateur 555, et tel était le cas sur les premiers modèles.

Et qu'en est-il de l'alarme décrite à la fin du chapitre 3 ? Parmi les caractéristiques que j'avais mentionnées mais pas encore implémentées, il y avait le fait que l'alarme doit s'arrêter après un intervalle défini. Pour ce faire, nous pouvons utiliser la sortie d'un timer 555.

Limites du 555

1. Le minuteur fonctionne à partir d'une source de tension stable comprise entre 5 et 15 volts.
2. La plupart des fabricants recommandent une plage entre 1K et 1M pour la résistance associée à la broche 7.
3. Le condensateur peut atteindre une valeur aussi élevée que vous le souhaitez, pour produire des intervalles réellement longs, mais la précision du temporisateur en pâtira.
4. La sortie peut fournir jusqu'à 100 mA sous 9 volts. Cette valeur est suffisante pour un petit relais ou un haut-parleur miniature, comme vous le verrez dans la prochaine expérience.

Attention à la position des broches dans les schémas !

Dans tous les schémas du livre, je représente les puces vues du dessus, avec la broche 1 en haut à gauche. Les schémas que vous pouvez rencontrer, dans d'autres ouvrages ou sur des sites Internet, peuvent représenter les choses différemment. Pour faciliter le dessin des circuits, les numéros de broche d'une puce peuvent être dans le désordre, de telle sorte que la broche 1 ne se retrouve pas nécessairement adjacente à la broche 2.

Regardez le schéma de la fig. 4-20 et comparez-le à celui de la fig. 4-15. Les connexions sont identiques, mais celles de la fig. 4-20 regroupent les broches de façon à réduire l'apparente complexité du câblage.

La représentation des broches des circuits intégrés dans un ordre différent de leur arrangement matériel est fréquente, parce que les logiciels de dessin de circuit tendent à l'utiliser et que, sur les puces de grande taille, elle permet de rendre les schémas plus clairs (il y a, par exemple, des différences entre les regroupements logiques des noms des broches et leurs regroupements physiques sur les puces mémoire). Comme vous découvrez ici les puces, je pense qu'il est plus facile de recourir à un schéma qui montre les broches à leurs emplacements réels. Telle est la solution adoptée ici.

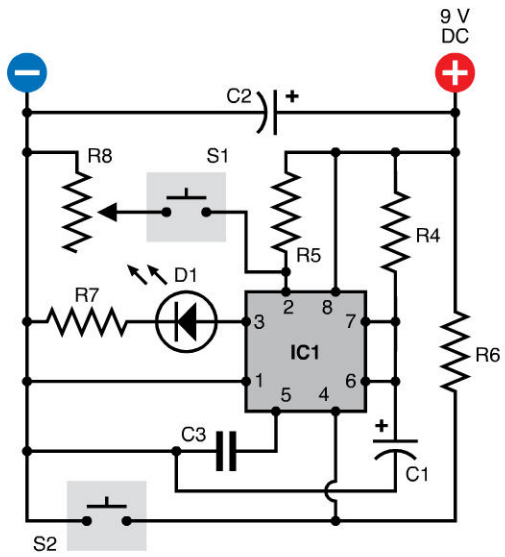


Figure 4-20. *Il est fréquent que les numéros de broche d'une puce soient présentés de façon à réduire ou simplifier le schéma. Cela n'est pas utile lorsque vous montez le circuit. Le schéma ci-dessus est identique à celui de la fig. 4-15. Cette version serait beaucoup plus difficile à reproduire sur une plaque de montage.*

Copyright © 2013 Eyrolles.

Expérience 17 : réglage de fréquence

Nous allons maintenant découvrir deux autres utilisations du timer 555.

Outre ceux de l'expérience 16, vous aurez besoin des éléments suivants :

- 1 timer 555 supplémentaire
- 1 haut-parleur miniature
- 1 potentiomètre linéaire de 100K

Marche à suivre

Laissez les composants de l'expérience précédente à leur place sur la plaque de montage et ajoutez en dessous la portion de circuit présentée sur les fig. 4-21 et 4-22. La résistance R2 est insérée entre les broches 6 et 7, à la place du cavalier qui les reliait dans le circuit précédent, et la broche 2 ne possède plus d'entrée externe. Elle est désormais connectée via un cavalier à la broche 6. La solution la plus simple est de faire passer le fil au-dessus du circuit intégré.

J'ai omis le condensateur de lissage du schéma de la fig. 4-22, car je suppose que ce circuit fonctionnera sur la même platine de montage que le premier et que ce condensateur y est toujours actif.

Un haut-parleur en série avec une résistance de 100 Ω (R3) a remplacé la LED pour exploiter la sortie de la puce. En connectant la broche 4 (réinitialisation) à la tension d'alimentation positive, je la désactive, puisque je ne prévois pas d'utiliser la fonction de réinitialisation dans ce circuit.

Que se passe-t-il si vous allumez le circuit ? Vous entendrez immédiatement un bruit dans le haut-parleur. Sinon, vous avez probablement commis une erreur.

Notez que vous n'avez plus à activer le circuit avec un bouton-poussoir. En effet, lorsque C1 se charge et se décharge, sa tension variable est connectée par-dessus le circuit intégré à la broche 2, le déclencheur, via un cavalier. De cette façon, le temporisateur 555 se déclenche lui-même. J'y reviendrai plus en détail dans l'encadré « À l'intérieur du timer 555 : mode astable » page 164.

Le circuit intégré fonctionne alors en mode astable, ce qui signifie qu'il n'est pas stable, car il bascule sans fin et émet un flux d'impulsions aussi longtemps que l'alimentation est branchée. Les impulsions sont si rapides que le haut-parleur les reproduit sous forme de bruit.

De fait, avec les valeurs que j'ai spécifiées pour R1, R2 et C1, le timer 555 émet environ 1 500 impulsions par seconde. Autrement dit, il émet un signal de fréquence 1,5 kHz.

Consultez le tableau de la page 166 qui indique les impulsions de diverses fréquences créées par différentes valeurs de R2 et C1 quand le timer est en mode astable. Notez que ce tableau fait l'hypothèse d'une valeur fixe d'1K pour R1 !

opyright © 2013 Eyrolles.

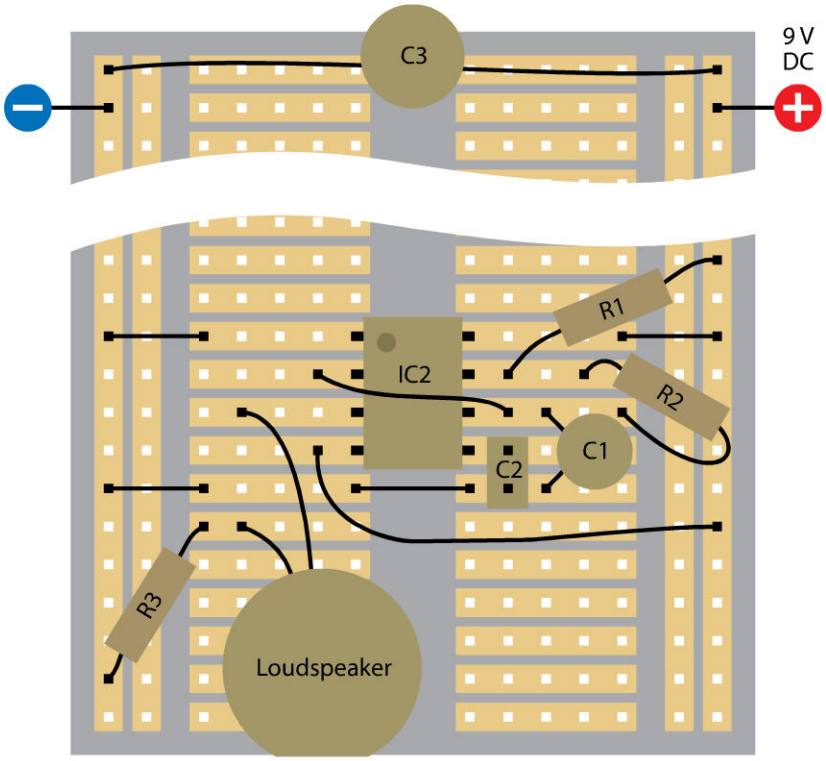


Figure 4-21. *Les composants doivent être ajoutés sur la même plaque de montage, sous ceux de la fig. 4-14. Utilisez les valeurs suivantes pour tester le temporisateur 555 en mode astable :*

R1 : 1K
R2 : 10K
R3 : 100 Ω
C1 : condensateur céramique ou électrolytique de 0,047 µF
C2 : condensateur céramique de 0,1 µF
IC2 : timer 555

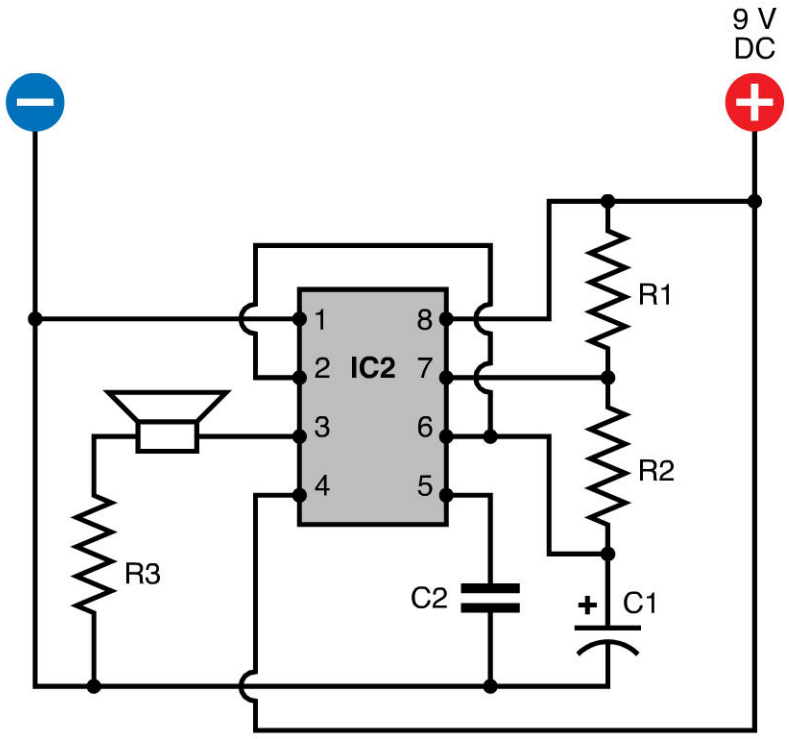


Figure 4-22. *Schéma du circuit de la fig. 4-21. Les valeurs des composants sont identiques.*

opyright © 2013 Eyrolles.

THÉORIE

À l'intérieur du timer 555 : mode astable

La fig. 4-23 illustre ce qui se passe désormais. Initialement, la bascule bistable (FF sur le schéma) relie C1 à la masse comme précédemment. Mais, à présent, la tension aux bornes du condensateur est reportée sur la broche 2 par un fil externe. La basse tension présente sur la broche 2 provoque le déclenchement de la bascule bistable qui envoie une impulsion positive au haut-parleur, tout en supprimant la tension négative de la broche 6.

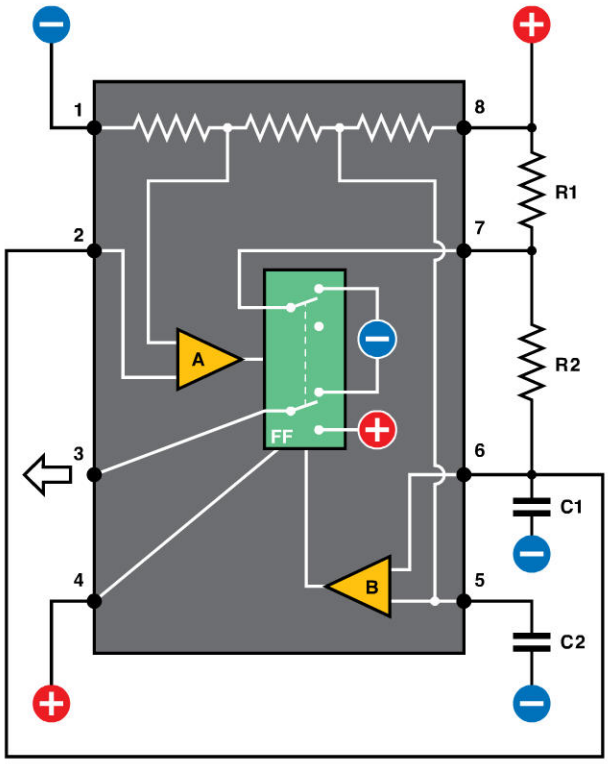


Figure 4-23. *Quand le timer 555 est utilisé en mode astable, la résistance R2 est placée entre les broches 6 et 7, et la broche 6 est connectée via un fil externe à la broche 2, de telle sorte que le temporisateur se déclenche lui-même.*

C1 commence alors à se charger, comme lorsque le timer était en mode monostable, si ce n'est qu'il se charge via R1 + R2 placées en série. Comme les résistances ont des valeurs basses et que la valeur de C1 est elle-même faible, celui-ci se charge rapidement. Quand la tension aux bornes du condensateur atteint les 2/3 de la tension totale, le comparateur B passe à l'action et déclenche la bascule, ce qui décharge le condensateur et met fin à l'impulsion de sortie sur la broche 3.

Le condensateur met plus de temps à se décharger que précédemment, car entre lui et la broche 7 (la broche de décharge), R2 a été insérée. Lorsque le condensateur se décharge, sa tension diminue et demeure appliquée à la broche 2. Quand cette tension chute à 1/3 ou moins de la tension totale, le comparateur A entre en scène et provoque un nouveau déclenchement de la bascule bistable, ce qui relance la totalité du processus.

En résumé :

1. En mode astable, dès que l'alimentation est branchée, la bascule bistable tire la tension de la broche 2. Le comparateur A se déclenche et place la bascule en position basse.
2. La tension de sortie sur la broche 3 augmente. Le condensateur C1 se charge à travers R1 et R2 en série.
3. Quand le condensateur atteint les 2/3 de la tension d'alimentation, la bascule passe en position haute et la tension de sortie de la broche 3 diminue. Le condensateur C1 commence à se décharger via R2.
4. Quand la charge du condensateur diminue jusqu'au 1/3 de la tension totale, la tension de la broche 2 inverse à nouveau la bascule, et le cycle se reproduit.

Cycles ON/OFF inégaux

Quand le minuteur est en mode astable, C1 se charge via R1 et R2 montées en série. Cependant, quand C1 se décharge, il ne vide sa tension qu'au travers de R2. Cela signifie que le condensateur se charge plus lentement qu'il ne se décharge. Lorsqu'il se charge, la tension de sortie sur la broche 3 est élevée ; lorsqu'il se décharge, la tension de sortie sur la broche 3 est faible. Par conséquent, le cycle ON est toujours plus long que le cycle OFF. La fig. 4-24 illustre cette différence sous la forme d'un simple graphe.

Si vous voulez que les cycles ON et OFF soient égaux, ou qu'ils soient réglés indépendamment l'un de l'autre (parce que vous souhaitez envoyer une très brève impulsion à un autre circuit, suivie d'un intervalle plus long jusqu'à la prochaine impulsion, par exemple), il vous suffit d'ajouter une diode, comme illustré à la fig. 4-25.

À présent, quand C1 se charge, l'électricité circule à travers R1 comme auparavant, mais prend un raccourci à hauteur de R2, via la diode D1. Quand C1 se décharge, la diode bloque le flux d'électricité dans cette direction, et le déchargement se produit à travers R2.

opyright © 2013 Eyrolles.

THÉORIE

À l'intérieur du timer 555 : mode astable *(suite)*

R1 contrôle désormais le temps de chargement, tandis que R2 contrôle celui du déchargement. La formule de calcul de la fréquence est celle-ci :

Fréquence = 1,44 / ((R1 + R2) × C1) ou Fréquence = 1,4 / ((R1 + R2) × C1)

Si R1 = R2, vous obtenez des cycles ON/OFF presque égaux (presque, car la diode impose une légère chute de tension interne d'environ 0,6 V). La valeur exacte dépend principalement du processus de fabrication utilisé pour la diode.

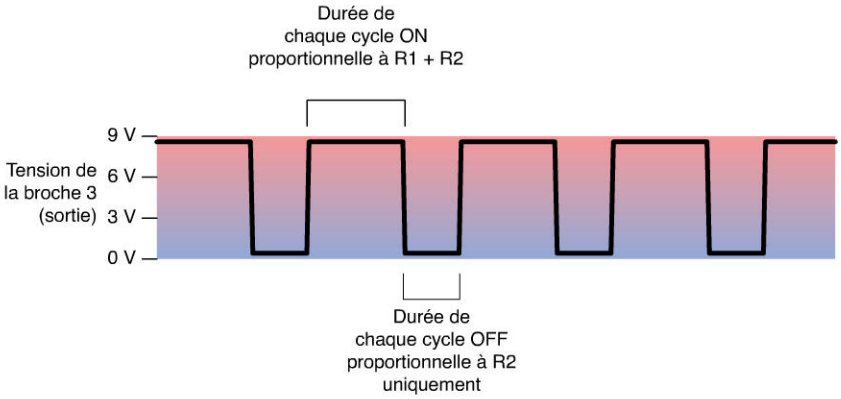


Figure 4-24. *Dans sa configuration astable usuelle, le timer charge un condensateur via R1 et R2 et décharge le condensateur via R2 uniquement. La sortie des cycles ON est plus longue que celle des cycles OFF.*

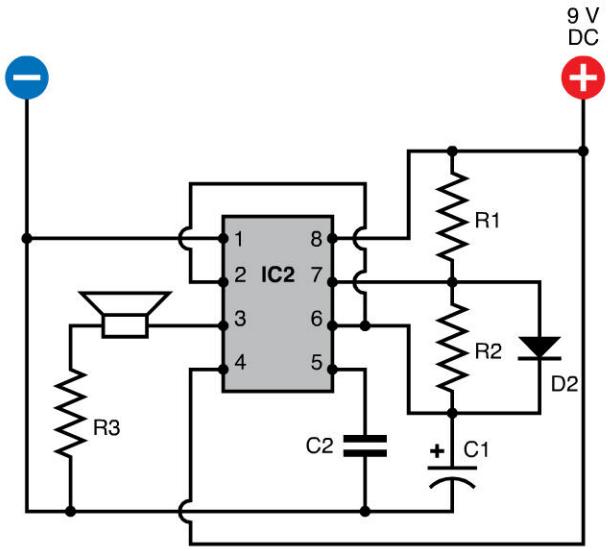


Figure 4-25. *Modification du schéma illustré à la fig. 4-24. En ajoutant une diode à un temporisateur 555 en mode astable, nous retirons R2 du cycle de chargement du condensateur C1. Nous pouvons alors régler le cycle ON en fonction de la valeur de R1 et le cycle OFF en fonction de celle de R2, de telle sorte que les deux durées soient indépendantes l'une de l'autre.*

Copyright © 2013 Eyrolles.

FONDAMENTAUX

Le tableau suivant donne les fréquences du signal de sortie du timer 555 en mode astable :

- La fréquence est exprimée en impulsions par seconde, et arrondie à deux chiffres significatifs.
- Sur la première ligne figurent les valeurs courantes de la résistance R2.
- Sur la colonne de gauche figurent les valeurs courantes du condensateur C1.
- La résistance R1 est supposée être égale à 1K.

Pour calculer une autre fréquence, doublez R2, ajoutez le produit obtenu à R1, multipliez le tout par C1 et divisez 1 440 par le résultat obtenu :

Fréquence = 1440 / ((R1 + 2R2) × C1) cycles par seconde

Dans cette formule, les valeurs de R1 et R2 sont exprimées en kilo-ohms, C1 en microfarads et la fréquence en hertz (cycles par seconde). Notez que la fréquence est mesurée du commencement d'une impulsion à celui de la suivante. La durée de chaque impulsion n'est pas la même chose que l'intervalle de temps entre chaque impulsion.

	1K	2K2	4K7	10K	22K	47K	100K	220K	470K	1M
47 µF	10	5,7	3,0	1,5	0,7	0,3	0,2	0,1		
22 µF	22	12	6,3	3,1	1,5	0,7	0,3	0,2	0,1	
10 µF	48	27	14	6,9	3,2	1,5	0,7	0,3	0,2	0,1
4,7 µF	100	57	30	15	6,8	3,2	1,5	0,7	0,3	0,2
2,2 µF	220	120	63	31	15	6,9	3,3	1,5	0,7	0,3
1,0 µF	480	270	140	69	32	15	7,2	3,3	1,5	0,7
0,47 µF	1 000	570	300	150	68	32	15	7	3,3	1,5
0,22 µF	2 200	1 200	630	310	150	69	33	15	7	3,3
0,1 µF	4 800	2 700	1 400	690	320	150	72	33	15	7,2
0,047 µF	10 000	5 700	3 000	1 500	680	320	150	70	33	15
0,022 µF	22 000	12 000	6 300	3 100	1 500	690	330	150	70	33
0,01 µF	48 000	27 000	14 000	6 900	3 200	1 500	720	330	150	72

Modifications astables

Dans les circuits des fig. 4-22 ou 4-25, vous pouvez augmenter ou diminuer la fréquence du signal de sortie en remplaçant R2 par un potentiomètre 100K.

Une autre option consiste à régler le timer avec la broche 5, la broche de contrôle (fig. 4-26). Déconnectez le condensateur fixé à la broche et remplacez-le par l'ensemble des résistances indiquées. R9 et R11 sont deux résistances d'1K, placées de chaque côté de R10, un potentiomètre de 100K. Elles assurent que la broche 5 possède toujours au moins 1K entre les bornes positive et négative de l'alimentation. Si vous la connectez directement à l'alimentation, vous n'endommagerez pas le temporisateur, mais vous l'empêcherez de générer des sons audibles. Quand vous réglez le potentiomètre dans un sens ou l'autre, la fréquence varie selon une plage étendue. Pour produire un signal de fréquence très spécifique, utilisez à la place un potentiomètre ajustable.

opyright © 2013 Eyrolles.

L'utilisation de la broche 5 pour ajuster la fréquence offre l'avantage de pouvoir la contrôler à distance. Prenez la sortie de la broche 3 d'un autre timer 555 fonctionnant lentement en mode astable et acheminez-la jusqu'à la broche 5 via une résistance de 2K2. Vous obtenez ainsi une sirène à double fréquence, un temporisateur contrôlant l'autre. Si, en outre, vous ajoutez un condensateur de 100 µF entre la broche 5 et la terre, le chargement et le déchargement du condensateur permettront au son produit par la sirène d'augmenter et de diminuer progressivement, et non brutalement (voir plus loin). Ceci me mène tout naturellement au contrôle d'un circuit par un autre circuit, ce qui va constituer la dernière déclinaison de cette expérience.

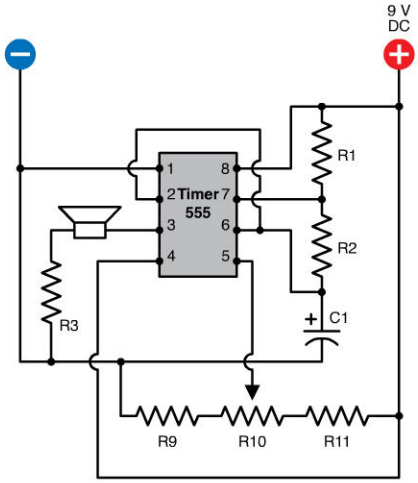


Figure 4-26. *La broche de contrôle (broche 5) est rarement employée, mais peut être utile. La variation de la tension permet d'ajuster la fréquence du signal de sortie produit par le timer.*

R1 : 1K
R2 : 10K
R3 : 100 Ω
R9, R11 : 1K
R10 : potentiomètre linéaire de 100K
C1 : 0,047 µF

Chaînage de circuits

Généralement, les circuits intégrés sont conçus pour pouvoir échanger entre eux. Sur ce point, le timer 555 est idéal :

- La broche de sortie (broche 3) d'un temporisateur 555 peut être connectée directement à la broche de déclenchement (broche 2) d'un second timer.
- Le cas échéant, la sortie peut être suffisante pour alimenter la broche 8 d'un second timer 555.
- La sortie convient aussi au contrôle ou à l'alimentation d'autres types de circuit.

La fig. 4-27 illustre ces options.

Quand la sortie du premier timer augmente, elle atteint entre 70 et 80 % de sa tension d'alimentation. Autrement dit, quand vous utilisez une alimentation 9 V, la tension de sortie est alors au moins égale à 6 V. Comme cette valeur demeure supérieure au minimum de 5 V requis par le second circuit pour déclencher son comparateur, il n'y a pas de problème.

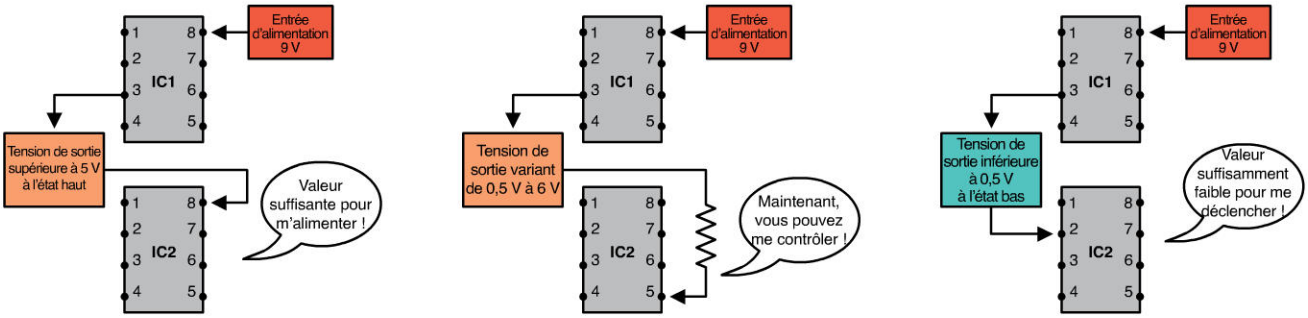


Figure 4-27. *Trois façons de chaîner deux timers 555. La sortie d'IC1 peut alimenter un second temporisateur, ajuster son seuil de tension ou activer sa broche de déclenchement.*

Vous pouvez chaîner les deux timers 555 que vous avez déjà disposés sur la plaque de montage. La fig. 4-28 montre comment connecter les deux circuits des fig. 4-15 et 4-22. Faites courir un fil de la broche 3 (sortie) du premier circuit jusqu'à la broche 8 (alimentation positive) du second circuit, et déconnectez le fil existant reliant la broche 8 à votre alimentation. Le nouveau fil est illustré en rouge. Quand vous appuyez à présent sur le bouton pour activer le premier circuit, sa sortie alimente le second circuit.

opyright © 2013 Eyrolles.

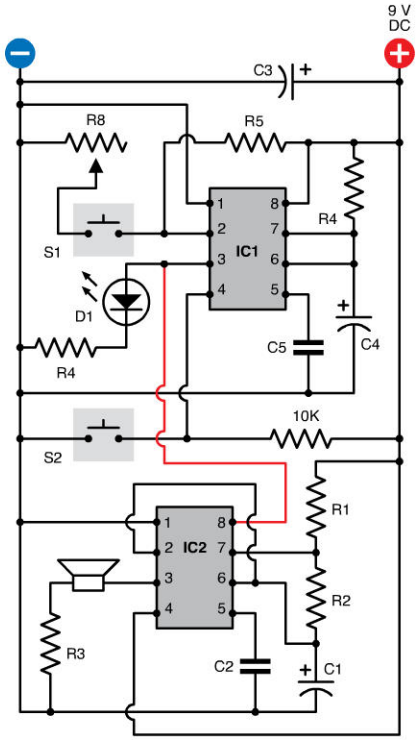


Figure 4-28. *Vous pouvez combiner les deux circuits des fig. 4-15 et 4-22 en déconnectant simplement le fil qui fournit l'alimentation de la broche 8 du second timer et en le remplaçant par le fil illustré en rouge.*

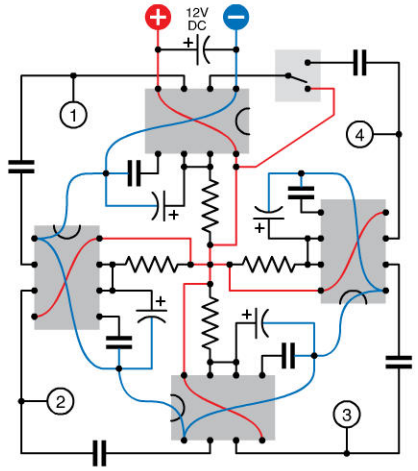


Figure 4-29. *Quatre timers 555, chaînés ensemble en cercle, peuvent faire clignoter en séquence un ensemble de quatre groupes de LED, à la manière des guirlandes de Noël.*

Vous pouvez aussi utiliser la sortie d'un circuit pour en déclencher un autre (par exemple, vous pouvez relier la broche 3 du premier circuit à la broche 2 du second). Quand la sortie du premier circuit est faible, elle est inférieure à la moitié d'un volt, valeur bien inférieure à celle requise par le second circuit pour être activé. Pourquoi agir ainsi ? Il se peut que vous souhaitiez employer deux minuteurs fonctionnant en mode monostable, de telle sorte que la fin d'une impulsion du premier circuit déclenche le début d'une impulsion du second. En fait, vous pouvez chaîner ainsi autant de circuits que vous le souhaitez, le dernier alimentant en retour et déclenchant le premier, et qui provoqueraient le clignotement séquentiel d'un ensemble de LED, comme des guirlandes de Noël. La fig. 4-29 montre quatre timers chaînés de cette façon, câblés point à point sur une plaque perforée. Chacune des sorties numérotées de 1 à 4 peut faire fonctionner 10 LED environ, si vous utilisez des résistances relativement élevées pour limiter leur courant. Les quatre condensateurs peuvent être de 0,1 µF, afin d'isoler chaque timer du suivant tout en laissant passer une impulsion de déclenchement.

D'ailleurs, vous pourriez réduire le nombre de circuits de 4 timers 555 à 2 temporisateurs 556, qui contiennent deux timers 555 dans un même boîtier. Mais comme vous devriez créer le même nombre de connexions externes (autres que l'alimentation), je ne me suis pas soucié de cette solution.

Vous pourriez même choisir un timer 558 composé de quatre circuits 555, tous prédéfinis pour fonctionner en mode astable. J'ai préféré ne pas utiliser ce circuit, car sa sortie se comporte différemment de celle d'un temporisateur 555 normal. Cependant, libre à vous d'acheter un timer 558 et de jouer avec. Il convient parfaitement pour le chaînage de quatre timers évoqué plus haut. La fiche technique elle-même le suggère.

Enfin, pour revenir à l'idée de modification de la fréquence d'un temporisateur 555 en mode astable, vous pouvez chaîner deux minuteurs, comme illustré à la fig. 4-30. Le fil rouge correspond à la connexion de la sortie du premier minuteur à la broche de contrôle du second. Le premier minuteur a été recâblé en mode astable, de telle sorte qu'il crée une sortie ON/OFF oscillante quatre fois par seconde environ. Cette sortie fait clignoter la LED (pour fournir une indication visuelle de ce qui se produit) et alimente à travers R7 la broche de contrôle du second timer.

Mais C2 est un condensateur de valeur élevée, qui prend du temps pour se charger via R7. La tension alors détectée par la broche 5 augmente lentement, si bien que la fréquence générée par IC2 diminue progressivement en intensité. Puis IC1 atteint la fin de son cycle et s'éteint automatiquement : C2 se décharge et l'intensité du son généré par IC2 baisse à nouveau.

Vous pouvez modifier ce circuit pour créer toutes sortes de sons, et le contrôler bien plus facilement que lorsque vous utilisiez à cette fin les transistors unijonction programmables. Voici quelques options à tester :

- Multiplier ou diviser par 2 la valeur de C2.
- Ignorer totalement C2, et tester avec la valeur de R7.
- Remplacer R7 par un potentiomètre de 10K.
- Modifier C4 pour augmenter ou diminuer la durée de cycle d'IC1.

Copyright © 2013 Eyrolles.

- Diviser par 2 la valeur de R5, tout en doublant celle de C4, afin que la durée de cycle d'IC1 demeure à peu près identique, même si la durée ON devient sensiblement plus longue que la durée OFF.
- Passer l'alimentation du circuit de 9 V à 6 ou 12 V.

Rappelez-vous que vous ne risquez pas d'endommager un timer 555 en procédant à des modifications de ce type. Assurez-vous simplement que la borne négative de l'alimentation soit connectée à la broche 1 et la borne positive à la broche 8.

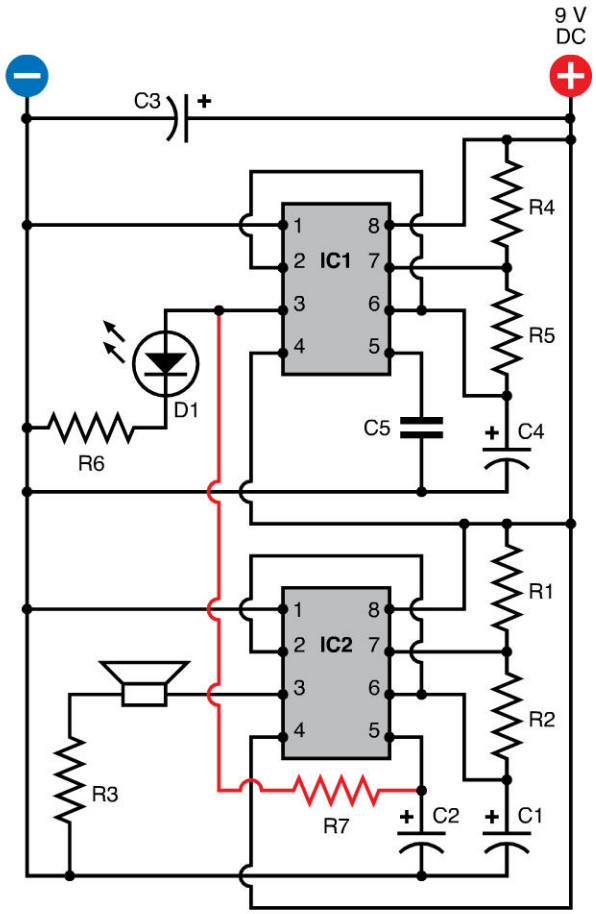


Figure 4-30. *Quand deux timers fonctionnent en mode astable, mais qu'IC1 s'exécute beaucoup plus lentement qu'IC2, la sortie d'IC1 peut être utilisée pour moduler la fréquence générée par IC2. Notez que, comme il s'agit d'une modification substantielle des schémas précédents, plusieurs composants ont été renommés. Pour éviter toute erreur, vous devrez peut-être retirer l'ancien circuit de la plaque de montage et créer cette version* ex nihilo. *Essayez d'abord avec ces valeurs :*

R1, R4, R6, R7 : 1K
R2, R5 : 10K
R3 : 100 ohms
C1 : 0,047 µF
C2, C3 : 100 µF
C4 : 68 µF
C5 : 0,1 µF

Copyright © 2013 Eyrolles.

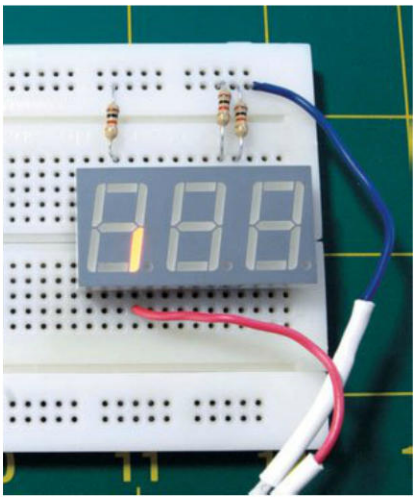


Figure 4-31. *Après avoir placé une résistance d'1K entre la cathode commune de l'afficheur et la borne négative de l'alimentation, appliquez une tension positive pour éclairer chacun des segments à tour de rôle.*

Expérience 18 : un testeur de réflexes

Comme le timer 555 est capable d'exécuter des milliers de cycles par seconde, il peut très bien servir à mesurer les réflexes d'un individu. Vous pourrez ainsi le tester avec vos amis pour voir lequel d'entre vous réagit le plus vite. Vous constaterez que ce temps de réaction varie selon votre humeur, l'heure de la journée ou la qualité de votre sommeil la nuit dernière…

Mais avant d'aller plus loin, je tiens à vous prévenir que ce circuit possédera plus de connexions que ceux abordés jusqu'ici. Il ne présente aucune difficulté conceptuelle, mais requiert un câblage conséquent et ne pourra donc être installé que sur une platine de montage à 63 rangées de trous. Il sera possible de le construire en plusieurs étapes, ce qui vous permettra de détecter les erreurs de câblage au fur et à mesure.

Vous aurez besoin des éléments suivants :

- 4 circuits intégrés 4026 (en réalité, vous n'en aurez besoin que de 3, mais prévoyez un circuit de secours)
- 3 timers 555
- 3 interrupteurs tactiles (interrupteurs momentanés SPST)
- 3 LED numériques ou 1 afficheur LED à trois chiffres
- Plaque de montage, résistances, condensateurs et multimètre

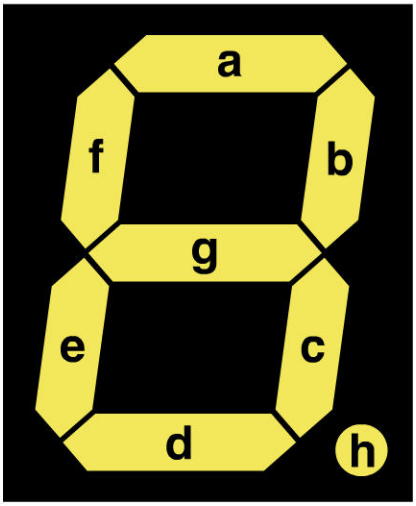


Figure 4-32. *Le chiffre le plus simple et le plus courant se compose de sept segments de LED identifiés chacun par une lettre, comme illustré ici, plus une virgule décimale (ou un point décimal).*

Étape 1 : affichage

Vous pouvez utiliser trois afficheurs numériques à LED distincts pour ce projet, mais je vous conseille d'acheter la référence Kingbright BC56-11EWA (voir liste du matériel), car elle contient trois chiffres regroupés en un seul boîtier.

Enfichez cet afficheur à LED en bas de votre plaque de montage, en enjambant le canal central, comme illustré à la fig. 4-31. N'insérez pour l'instant aucun autre composant sur la plaque.

Réglez l'alimentation sur 9 V et reliez la borne négative à la rangée de trous de la partie droite de la plaque de montage. Insérez une résistance d'1K entre la branche négative du circuit et chacune des broches 18, 19 et 26 de l'afficheur Kingbright, qui correspondent à la cathode commune, à savoir la connexion négative partagée par chaque ensemble des segments de l'afficheur à LED. (Les numéros des broches des circuits sont illustrés à la fig. 4-33. Si vous utilisez un autre modèle d'afficheur, reportez-vous à sa fiche technique pour savoir quelles sont les broches pouvant recevoir une tension négative.)

Branchez l'alimentation et mettez en contact l'extrémité libre du fil positif avec chacune des rangées de trous desservant l'afficheur sur les côtés droit et gauche. Chaque segment doit s'éclairer, comme illustré à la fig. 4-31.

Chaque chiffre de 0 à 9 est représenté par un ensemble de segments. Les segments sont toujours identifiés par les lettres minuscules de *a* à *g*, comme à la fig. 4-32. En outre, il y a souvent une virgule décimale (ou un point décimal), et même si nous ne nous en servirons pas, je l'ai identifiée avec la lettre *h*.

Copyright © 2013 Eyrolles.

Sur la fig. 4-33, qui présente l'afficheur Kingbright, j'ai représenté chaque broche et sa fonction associée. Vous pouvez parcourir l'afficheur avec le fil positif de l'alimentation pour vérifier que chaque broche allume un segment particulier.

Cet afficheur possède deux broches, numérotées 3 et 26, toutes deux destinées à recevoir une tension négative pour le premier chiffre. Pourquoi deux broches au lieu d'une ? Je l'ignore. Vous ne devez en utiliser qu'une ; comme il s'agit d'un circuit passif, peu importe que vous laissiez déconnectée la broche non utilisée. Veillez simplement à ne pas lui appliquer une tension positive, ce qui entraînerait un court-circuit.

Un afficheur numérique n'a aucune intelligence en tant que tel : ce n'est qu'un ensemble de diodes émettrices de lumière. Pour l'instant, il n'a pas de grande utilité, tant que nous n'avons pas trouvé le moyen d'allumer les LED par groupes particuliers – ce qui constituera la prochaine étape.

Étape 2 : comptage

Heureusement, nous avons à notre disposition un circuit intégré 4026, qui compte les impulsions qu'il reçoit et qui crée une sortie fonctionnant avec un afficheur à sept segments à même de représenter les chiffres 0 à 9. Le seul problème est qu'il s'agit d'un circuit CMOS plutôt désuet et sensible à l'électricité statique (lisez l'encadré « Se relier à la terre » page suivante, avant de poursuivre).

Coupez l'alimentation et connectez ses fils en haut de la platine de montage, sachant que nous aurons besoin pour cette expérience d'une alimentation négative et d'une alimentation positive des deux côtés. Pour plus d'informations, voir la fig. 4-34. Si votre plaque de montage ne possède pas de colonnes de trous repérées par des couleurs, je vous conseille d'utiliser un marqueur permanent pour les identifier et éviter les erreurs de polarité susceptibles de griller les composants.

Le circuit 4026 est à peine assez puissant pour alimenter les LED de notre afficheur quand il reçoit une alimentation de 9 V. Assurez-vous que le circuit est dans le bon sens et insérez-le sur la plaque de montage juste au-dessus de l'afficheur à trois chiffres, en ne les séparant que par une seule rangée de trous.

Le schéma de la fig. 4-35 montre comment les broches du circuit 4026 doivent être connectées. Les flèches indiquent quelles broches de l'afficheur doivent être connectées au compteur.

La fig. 4-36 présente les fonctions des broches d'un circuit 4026. Comparez le schéma avec celui de la fig. 4-35.

Insérez un interrupteur tactile entre l'alimentation positive et la broche 1 du circuit 4026, ainsi qu'une résistance de 10K pour que l'entrée du compteur demeure négative tant que l'utilisateur n'appuie pas sur le bouton. Vérifiez que toutes les branches positives et négatives sont correctes et branchez l'alimentation. Vous devez remarquer que lorsque vous tapotez légèrement l'interrupteur tactile, le compteur déroule l'affichage numérique de 0 à 9, puis recommence à partir de 0. Il se peut aussi que le circuit n'interprète pas toujours correctement la pression sur le bouton, et compte deux, voire trois chiffres à la fois. Je reviendrai sur ce problème un peu plus loin.

La lueur émise par les segments de LED ne sera pas très vive, car les résistances en série d'1K les privent de la puissance qu'elles devraient recevoir. Mais ces résistances sont nécessaires pour éviter une surcharge des sorties du compteur.

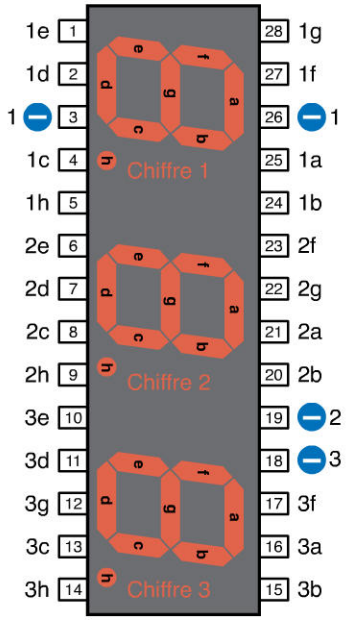


Figure 4-33. *Cet afficheur Kingbright comporte trois pavés de sept segments et peut être commandé par trois compteurs décimaux 4026 chaînés. Les numéros des broches sont indiqués à côté du circuit. Les segments a à g du chiffre 1 sont identifiés sous la forme 1a à 1g, ceux du chiffre 2 sont identifiés par 2a à 2g et ceux du chiffre 3 par 3a à 3g.*

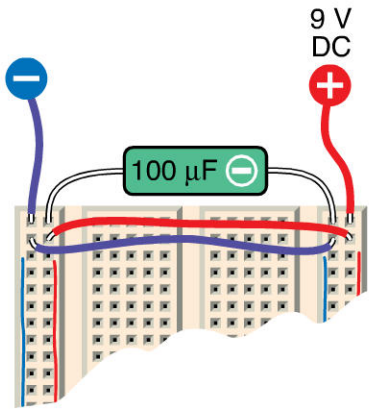


Figure 4-34. *Lors de montages de circuits, il est pratique de disposer d'une alimentation positive et d'une alimentation négative de chaque côté de la platine de montage. Pour le minuteur de réaction, une alimentation de 9 V avec un condensateur de lissage 100 µF peut être configuré ainsi. Si les colonnes de trous de la plaque de montage ne sont pas identifiées par un code couleur, je vous conseille de les repérer à l'aide d'un marqueur.*

opyright © 2013 Eyrolles.

Se relier à la terre

Pour ne pas connaître cette situation désagréable que rien ne se passe lorsque vous allumez votre circuit, prenez bien toutes les précautions suivantes si vous utilisez l'ancienne génération de circuits CMOS (dont les numéros de référence commencent généralement à partir de 4000 : 4002, 4020, etc.).

Ces circuits sont souvent livrés avec leurs pattes disposées dans une mousse noire. Il s'agit d'une mousse conductrice, aussi conservez les circuits dedans jusqu'à leur utilisation.

Si les circuits sont fournis dans des tubes en plastique, vous pouvez les en extraire et enfoncer leurs pattes dans de la mousse conductrice (ou, à défaut, dans une feuille d'aluminium). Le but est d'éviter qu'une broche d'un circuit n'acquière un potentiel électrique plus élevé qu'une autre broche.

Quand vous manipulez des composants CMOS, il est important que vous soyez relié à la terre. Par temps sec, nous accumulons ainsi une charge statique rien qu'en marchant simplement en chaussettes sur un revêtement en plastique contenant des fibres synthétiques. Vous pouvez acheter un bracelet antistatique pour vous relier vous-même à la terre, ou simplement toucher un objet métallique relativement grand avant de toucher le circuit lui-même. J'ai pris pour habitude de travailler en chaussettes, le pied en contact avec un casier métallique.

Relier la pointe de votre fer à souder à la terre est une bonne habitude.

Ne soudez jamais un circuit CMOS quand il est alimenté.

J'irais même plus loin, ne soudez jamais un circuit CMOS. Quand vous êtes prêt à immortaliser un projet en le transférant d'une platine de montage à une plaque perforée, soudez un support de circuit intégré à la plaque perforée, puis enfichez le circuit dans le support. Si un problème éventuel survient, vous pourrez retirer le circuit intégré et en placer un autre.

Utilisez une surface de travail qui soit conductrice et reliée à la terre. La solution la plus économique consiste à dérouler une feuille d'aluminium et à la relier (avec une pince crocodile et un bout de fil) à un radiateur, une canalisation ou un objet relativement grand en acier. J'utilise de la mousse conductrice pour recouvrir ma surface de travail, mais je reconnais qu'elle est assez coûteuse.

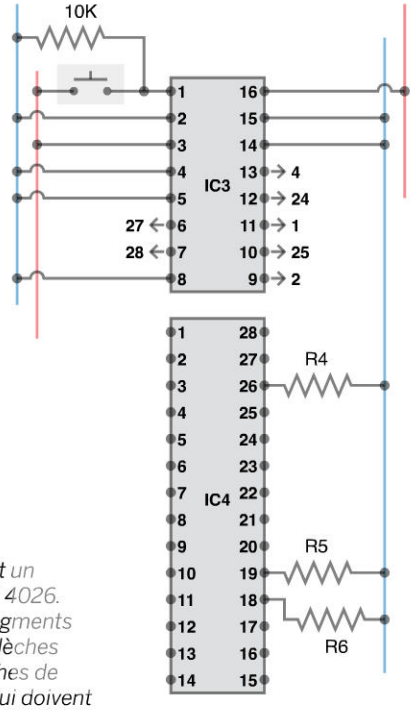


Figure 4-35. *IC3 est un compteur décimal 4026. IC4 est un sept segments de 3 chiffres. Les flèches indiquent les broches de l'afficheur à LED qui doivent être reliées à celles du compteur.*

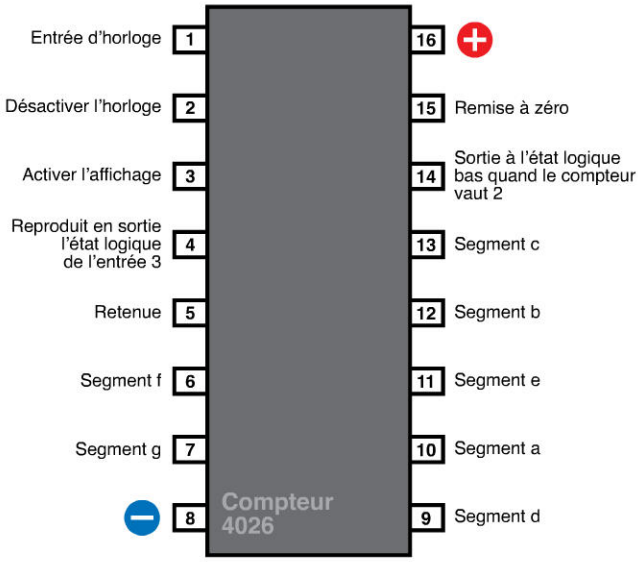


Figure 4-36. *Le compteur décimal 4026 est un circuit CMOS qui reçoit des impulsions d'horloge sur la broche 1, gère un total compris entre 0 et 9, et délivre en sortie ce dernier via les broches servant d'interface avec un afficheur numérique à sept segments composé de LED.*

Copyright © 2013 Eyrolles.

FONDAMENTAUX

Compteurs et afficheurs à sept segments

La plupart des compteurs acceptent un flux d'impulsions qu'ils distribuent en séquence à un ensemble de broches. Le compteur décimal 4026 est inhabituel en ce sens qu'il alimente ses broches de sortie selon un modèle convenant parfaitement à l'éclairage des segments d'un afficheur numérique à 7 segments.

Certains compteurs créent une sortie positive (ils émettent le courant) et d'autres une sortie négative (ils absorbent le courant). Certains afficheurs à sept segments requièrent une entrée positive pour que les nombres s'éclairent. Ils sont appelés afficheurs à cathode commune. Ceux qui requièrent une entrée négative sont appelés afficheurs à anode commune. Le circuit 4026 fournit des sorties positives et doit alimenter un afficheur à cathode commune.

Vérifiez la fiche technique de votre compteur décimal pour connaître la puissance qu'il requiert et celle qu'il fournit. Les circuits CMOS commencent à dater, mais sont très utiles aux amateurs d'électronique, car ils acceptent un large éventail de tensions – de 5 à 15 volts dans le cas du 4026. D'autres types de circuits intégrés sont beaucoup plus limités.

La plupart des compteurs ne peuvent émettre ou absorber que quelques milliampères comme puissance en sortie. Quand le circuit 4026 fonctionne avec une alimentation de 9 V, il émet environ 4 mA à partir de chaque broche. C'est à peine suffisant pour commander un afficheur à sept segments.

Vous pouvez insérer une résistance en série entre chaque broche de sortie du compteur et chaque broche d'entrée de l'afficheur numérique, mais une solution plus simple et plus rapide consiste à utiliser une seule résistance en série pour chaque chiffre, entre la broche d'alimentation négative et la terre. L'expérience décrite ici utilise cette seconde méthode. Mais elle présente un inconvénient : les chiffres ne nécessitant que deux segments (comme le chiffre 1) apparaissent plus clairement que les autres (comme le chiffre 8).

Si vous souhaitez obtenir un affichage lumineux et professionnel, vous devrez absolument utiliser un transistor pour commander chaque segment de chaque chiffre. Une autre solution consiste à utiliser plusieurs amplificateurs opérationnels pour amplifier le courant.

Quand un compteur décimal atteint le chiffre 9 et revient à 0, il émet en sortie une impulsion sur sa broche de retenue (carry output, principe analogue à la retenue dans une addition, par exemple). Il est ainsi possible de commander un autre compteur qui suivra les dizaines. La broche de retenue de ce compteur peut être chaînée à un troisième compteur qui suivra les centaines, et ainsi de suite. Outre les compteurs en base 10, il existe des compteurs en base 16, base 8, etc.

Pourquoi souhaiter compter autrement que par dizaines ? Considérez par exemple les quatre chiffres d'une horloge numérique : chacun correspond à un compteur différent. Le chiffre des minutes le plus à droite repasse à zéro après avoir atteint 9. Le chiffre des dizaines de minutes est en base six. Le chiffre des unités d'heures va jusqu'à 10, ce qui provoque l'émission d'une retenue, puis va jusqu'à 2 ce qui produit un autre signal de retenue. Enfin, le chiffre des dizaines d'heures est soit vide soit égal à 1, s'il s'agit d'un affichage sur 12 heures. Naturellement, il existe des compteurs spécifiques pour toutes ces tâches.

Les compteurs possèdent des broches de contrôle telles que clock disable, qui impose au compteur d'ignorer les impulsions en entrée et de geler l'affichage, enable display qui autorise la production des signaux de sortie, et reset qui rétablit le compteur à zéro.

Le circuit 4026 nécessite une entrée positive pour activer chaque broche de contrôle. Quand les broches sont reliées à la masse, leurs fonctionnalités sont inopérantes.

Pour que le 4026 commence à compter et affiche le total en cours, vous devez relier à la masse les broches clock disable et reset (pour annuler leur fonction) et appliquer une tension positive à la broche enable display (pour activer la sortie). Voir fig. 4-36.

Si votre compteur commande avec succès le premier chiffre de l'afficheur numérique, vous êtes alors prêt à ajouter deux autres compteurs, qui contrôleront les deux chiffres restants. Le premier compteur comptera en unités, le second en dizaines et le troisième en centaines.

Sur la fig. 4-37, j'ai continué à utiliser des flèches et des nombres pour indiquer comment relier les broches du compteur à celles de l'afficheur numérique. Sinon, le schéma ne serait qu'un enchevêtrement de fils ! Ne soyez pas effrayé par le nombre de connexions : avec une platine de montage, il ne vous faudra pas plus d'une demi-heure pour mener à bien cette phase du projet. Je vous conseille de vous accrocher, car voir s'afficher les nombres de 0 à 999 a quelque chose de magique !

opyright © 2013 Eyrolles.

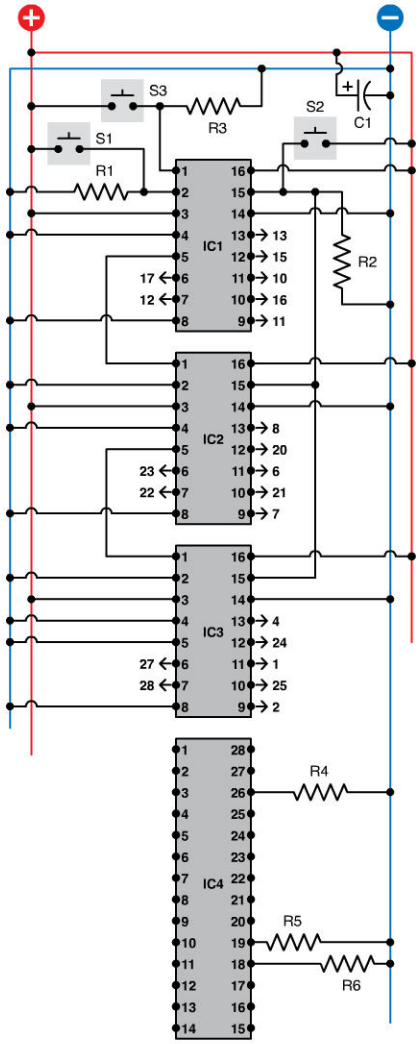


Figure 4-37. *Ce circuit test, disposé tel que vous le monteriez sur une platine de montage, permet de déclencher un compteur manuellement et de vérifier que l'affichage s'incrémente de 000 à 999.*

Résistances : 1K
S1, S2, S3 : interrupteurs SPST tactiles, normalement ouverts
IC1, IC2, IC3 : circuits intégrés compteurs décimaux 4026
IC4 : afficheur Kingbright 3 chiffres à cathode commune
C1 : condensateur de lissage 100 µF (minimum)

Câblez les broches de sortie des circuits IC1, IC2 et IC3, aux broches d'IC4, conformément aux numéros précédés de flèches. Pour des raisons de clarté, nous n'avons pas représenté les fils réels. Vérifiez le brochage d'IC4.

Quand vous maintenez enfoncé le bouton S1, qui est relié à la broche clock disable d'IC1, le compteur cesse de compter. Comme IC1 contrôle IC2 et qu'IC2 commande IC3, si vous bloquez IC1, les deux autres compteurs devront attendre qu'il reprenne. Par conséquent, vous n'aurez pas besoin d'utiliser leur fonction clock disable.

Quand vous maintenez enfoncé le bouton S2, qui est connecté aux broches reset des trois compteurs, ceux-ci sont réinitialisés.

S3 envoie manuellement des impulsions positives à la broche clock input du premier compteur.

S1, S2 et S3 sont tous câblés en parallèle avec des résistances d'1K connectées à la branche négative de l'alimentation. Ainsi, lorsque les boutons ne sont pas enfoncés, les résistances de rappel vers le niveau bas maintiennent les broches à une tension proche de zéro (masse). Quand l'utilisateur appuie sur l'un des boutons, la tension positive est directement connectée au circuit et remplace la tension négative. De cette façon, les broches demeurent dans un état absolument positif ou un état absolument négatif. Si vous déconnectez l'une de ces résistances de rappel vers le niveau bas, vous risquez de voir l'affichage numérique s'agiter de manière erratique. Le circuit d'affichage numérique possède quelques broches non connectées, mais ce n'est pas gênant, car il s'agit d'un circuit passif composé uniquement de segments de LED.

Connectez toujours les broches d'un circuit CMOS de telle sorte qu'elles soient positives ou négatives (voir page suivante « Pas de broches flottantes ! »).

Je vous suggère de connecter d'abord tous les fils illustrés sur le schéma. Puis coupez des fils de diamètre 0,6 mm environ pour joindre les broches restantes des supports de circuits intégrés d'IC1, IC2 et IC3 vers IC4.

Branchez l'alimentation et appuyez sur S2. Trois zéros apparaissent sur l'afficheur numérique.

Chaque fois que vous appuyez sur S3, le compteur doit avancer d'une unité. Si vous appuyez sur S2, il doit se réinitialiser et afficher trois zéros. Si vous maintenez S1 enfoncé et appuyez sur S3 à plusieurs reprises, les compteurs doivent demeurer bloqués et ignorer les impulsions de S3.

FONDAMENTAUX

Rebond de contact

Quand vous appuierez sur S3, vous constaterez parfois que le compteur s'accroît de plus d'une unité. Cela ne veut pas dire que votre circuit a un problème, mais que vous êtes en présence d'un phénomène appelé rebond de contact.

À une échelle microscopique, on constate que les contacts d'un interrupteur à bouton-poussoir ne se ferment pas instantanément. Ils vibrent pendant quelques microsecondes avant de se positionner : le circuit compteur détecte cette vibration comme une série d'impulsions, et non comme une seule.

Plusieurs circuits permettent d'annuler ce rebond de contact. L'option la plus simple consiste à placer un petit condensateur en parallèle avec l'interrupteur, afin d'absorber les fluctuations ; toutefois, ce n'est pas la solution idéale. Je reviendrai sur ce point plus loin dans le livre. Le rebond de contact n'est pas un problème dans le cas de notre circuit, car nous allons remplacer S3 par un timer 555 qui produit des impulsions sans rebond, très précises.

Copyright © 2013 Eyrolles.

Génération d'impulsions

Un timer 555 convient parfaitement pour commander un circuit compteur. Vous avez déjà appris à câbler un temporisateur 555 pour créer un flux d'impulsions faisant du bruit dans un haut-parleur. Sur la fig. 4-38, j'ai reproduit ce même circuit dans une forme simplifiée, en reprenant la configuration d'alimentation du projet en cours. J'y ai ajouté la connexion entre les broches 2 et 6 de la façon la plus réaliste possible, via un fil qui forme une boucle au-dessus du circuit.

Pour cette expérience, j'ai suggéré les valeurs initiales des composants qui permettront de générer quatre impulsions par seconde. Si le nombre d'impulsions est supérieur, vous ne pourrez pas vérifier que les compteurs fonctionnent correctement.

Installez IC5 et ses composants associés sur la platine de montage, juste au-dessus d'IC1. Ne laissez aucun intervalle entre les circuits. Débranchez S3 et R3 et connectez directement un fil entre la broche 3 (sortie) d'IC5 et la broche 1 (horloge) d'IC1, le compteur le plus haut. Branchez à nouveau l'alimentation. Les chiffres doivent croître rapidement, mais à un rythme régulier. Si vous maintenez S1 enfoncé, le comptage doit s'interrompre. Si vous relâchez S1, il doit reprendre. Si vous appuyez sur S2, le compteur doit revenir à zéro, même si vous pressez en même temps S1.

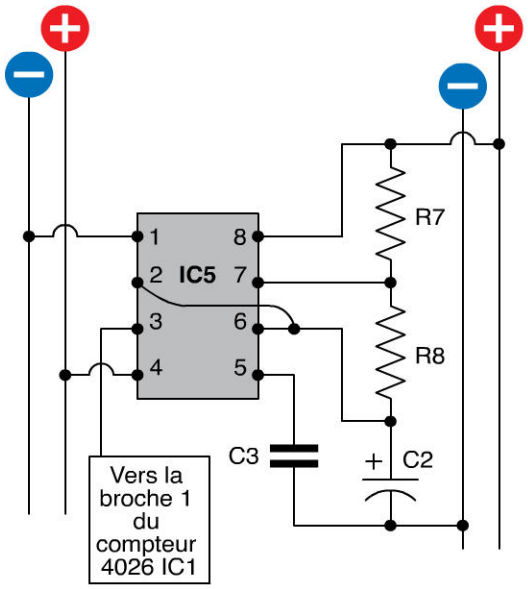


Figure 4-38. *Circuit astable simple pour commander le compteur décimal du schéma précédent. La sortie équivaut à 4 impulsions par seconde environ.*

R7 : 1K
R8 : 2K2
C2 : 68 µF
C3 : 0,1 µF
IC5 : timer 555

Pas de broches flottantes !

Un circuit CMOS est hypersensible. Toute broche qui n'est pas reliée à la tension d'alimentation ou à la masse est dite flottante ou en l'air ; elle peut se comporter comme une antenne, réagissant aux moindres fluctuations autour d'elle.

Le circuit 4026 comporte une broche nommée clock disable. La fiche technique du fabricant nous apprend qu'en attribuant une tension positive à cette broche, le circuit cesse de compter et bloque l'affichage. Comme vous ne souhaitez pas que cela se produise, vous serez peut-être tenté d'ignorer cette broche et de la laisser déconnectée, du moins le temps que vous testerez le circuit. Mais c'est une très mauvaise idée !

En effet, ce que la fiche technique ne vous dit pas (probablement parce « tout le monde » le sait), c'est que, pour garantir un fonctionnement normal de l'horloge, la fonction de désactivation de l'horloge elle-même doit être désactivée, et ce, en la reliant à la tension négative (masse). Si la broche reste flottante (et je parle par expérience), le circuit intégré se comportera de façon erratique.

Toutes les broches d'entrée doivent être câblées positivement ou négativement, sauf spécification contraire.

opyright © 2013 Eyrolles.

Bascule bistable

Il est temps à présent de se souvenir du but premier de ce circuit : tester les réflexes d'un individu. Quand l'utilisateur le démarre, nous aimerions qu'un signal se produise (a priori une LED qui s'allume), après un certain délai initial. L'utilisateur devra réagir au signal en appuyant sur un bouton aussi vite que possible. Le compteur comptera en millisecondes son temps de réaction, décompte qui cessera dès que le bouton aura été pressé. L'affichage demeurera alors bloqué indéfiniment, affichant le nombre d'impulsions comptabilisées avant que l'utilisateur ne réagisse.

Pour obtenir ce résultat, je pense qu'il nous faut une bascule bistable. Quand celle-ci reçoit un signal, elle démarre l'exécution du compteur. Quand elle reçoit un nouveau signal, elle en interrompt l'exécution.

Comment créer cette bascule bistable ? Croyez-le ou non, nous allons utiliser un autre temporisateur 555, mais selon un nouveau mode de fonctionnement, appelé bistable.

FONDAMENTAUX

Timer 555 bistable

La fig. 4-39 montre la structure interne d'un temporisateur 555, où cette fois les composants externes du côté droit ont été retirés. À la place, une tension négative constante est appliquée à la broche 6. En devinez-vous les conséquences ? Imaginez que vous appliquiez une impulsion négative sur la gâchette (broche 2). Normalement, le timer 555 démarre, et génère une sortie positive tout en chargeant le condensateur relié à la broche 6. Quand le condensateur atteint les 2/3 de la tension d'alimentation totale, il commande au 555 de mettre fin à la sortie positive, ce qui y rétablit une tension négative.

S'il n'y a pas de condensateur, il n'y a rien pour interrompre le temporisateur. Sa sortie positive se poursuivra indéfiniment. Cependant, la broche 4 (réinitialisation) peut toujours replacer le timer dans son état initial. Si vous lui appliquez une tension négative, la sortie positive devient alors négative. Cette sortie demeurera négative indéfiniment, jusqu'à ce que vous déclenchiez le temporisateur en abaissant une nouvelle fois la tension de la broche 2. Le timer se retrouve alors à générer une tension de sortie positive.

Voici un bref résumé de la configuration bistable :

- Une impulsion négative sur la broche 2 produit une tension de sortie positive.
- Une impulsion négative sur la broche 4 produit une tension de sortie négative.
- Le timer est stable dans chacun des ces états. Sa durée de fonctionnement dans chaque état est devenue infinie.

Vous pouvez laisser les broches 5 et 7 du timer non connectées, car nous le plaçons dans des états extrêmes où tout signal aléatoire en provenance de ces broches sera ignoré.

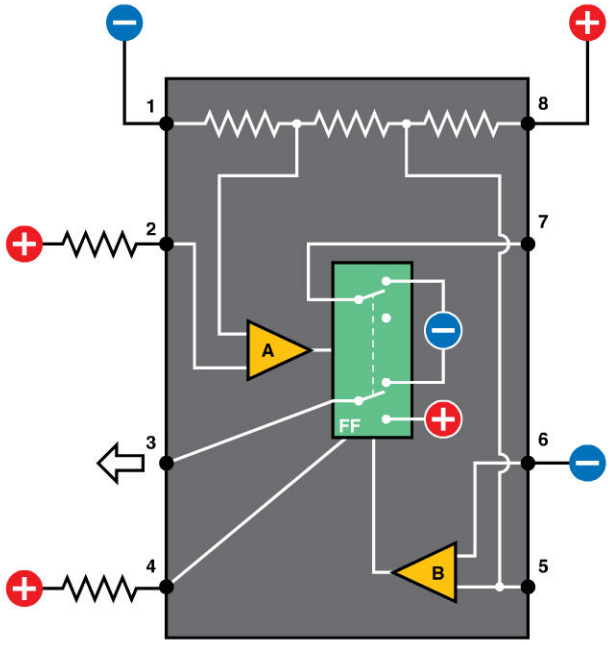


Figure 4-39. *Dans une configuration bistable, la broche 6 d'un timer 555 est perpétuellement négative, si bien que le cycle du minuteur ne prend jamais fin, à moins que vous ne l'y forciez en appliquant une impulsion négative à la broche 4 (réinitialisation).*

Copyright © 2013 Eyrolles.

En mode bistable, le temporisateur 555 s'est transformé en grosse bascule bistable. Pour éviter toute incertitude, nous conservons les broches 2 et 4 normalement positives via des résistances de rappel vers le niveau haut, mais des impulsions négatives peuvent supplanter ces dernières pour basculer le 555 dans l'état inverse. La fig. 4-40 présente un timer 555 en mode bistable, contrôlé par deux boutons-poussoirs. Vous pouvez l'ajouter au-dessus de votre circuit existant. Comme vous allez associer la sortie d'IC6 à la broche 2 d'IC1, le compteur le plus haut, vous pouvez déconnecter S1 et R1 de cette broche (fig. 4-41).

À présent, branchez à nouveau le circuit. Il doit compter de la même façon qu'auparavant, mais lorsque vous appuyez sur S4 (de la fig. 4-40), il se bloque. C'est parce que votre timer 555 bistable envoie sa sortie positive à la broche clock disable du compteur. Le compteur continue à recevoir un flux d'impulsions du temporisateur 555 astable, mais aussi longtemps que la broche 2 est positive sur le compteur, celui-ci ignore simplement les impulsions.

Appuyez sur S5 pour rétablir le timer 555 bistable de façon à ce qu'il fournisse une sortie négative et que le compteur puisse alors reprendre.

Notre circuit est quasiment finalisé. Nous pouvons réinitialiser le compteur à zéro (avec S3), le démarrer (avec S5) et attendre que l'utilisateur interrompe le décompte (avec S4). Il manque seulement un moyen de commencer le décompte de façon imprévue.

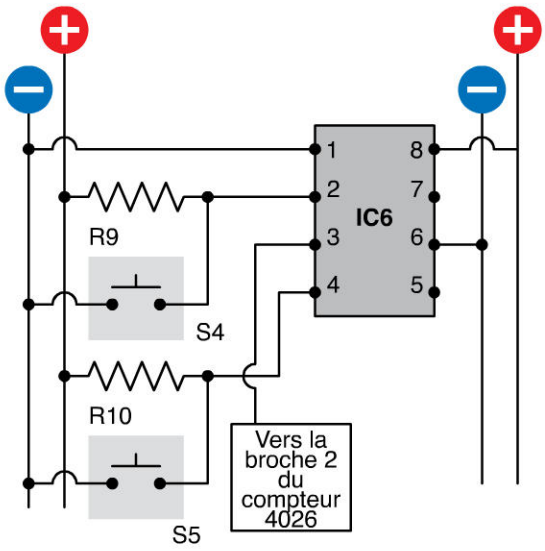


Figure 4-40. *L'ajout d'un timer 555 bistable au testeur de réflexes interrompt le compteur si vous appuyez sur un bouton, et le maintient dans cet état.*

R9, R10 : 1K
IC6 : timer 555

Copyright © 2013 Eyrolles.

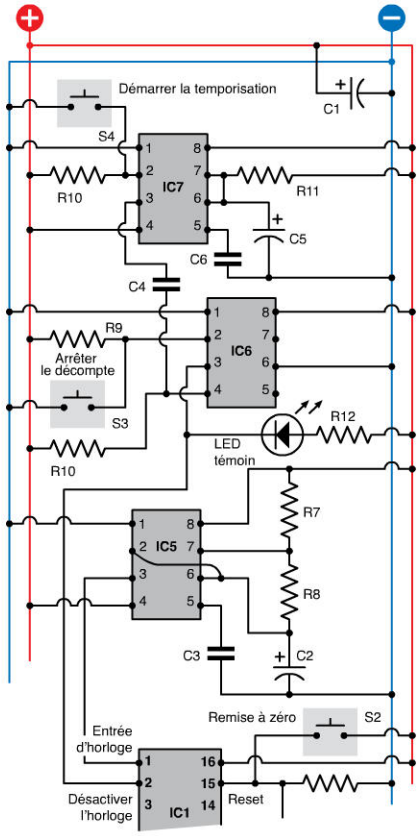


Figure 4-41. *La partie de commande du circuit, à ajouter au-dessus des timers.*

R7, R9, R10, R12 : 1K
R8 : 2K2
R11 : 330K
C1 : 100 µF
C2 : 68 µF
C3, C4, C6 : 0,1 µF
C5 : 10 µF
S1, S2, S3 : interrupteurs tactiles
IC5, IC6, IC7 : temporisateurs 555

Temporisation

Supposons que nous ayons configuré un autre timer 555 en mode monostable. Si l'on applique une impulsion négative sur sa broche 2, il produit un signal de sortie positif pendant par exemple 4 secondes, le signal redevenant négatif au-delà. Peut-être pouvons-nous intégrer ce type de transition sur la broche 4 d'IC6. Nous l'utiliserons à la place de l'interrupteur S5, que nous actionnions jusqu'ici pour démarrer le décompte.

Sur la fig. 4-41, vous constaterez donc l'ajout d'un autre temporisateur 555, le circuit intégré IC7, au-dessus d'IC6. Quand la sortie d'IC7 passe d'un état positif à un état négatif, elle déclenche la réinitialisation d'IC6 et inverse sa sortie négative : le décompte peut commencer. Le circuit intégré IC7 a donc pris la place de l'interrupteur de départ S4. Vous pouvez supprimer S4, mais conservez la résistance de rappel R9, afin que la réinitialisation d'IC6 demeure positive le reste du temps.

Ce montage fonctionne parce que j'ai utilisé un condensateur, C4, pour relier la sortie d'IC7 à la réinitialisation d'IC6. Le condensateur transmet le brusque passage de l'état positif à l'état négatif, mais comme autrement il bloque la tension régulière en provenance d'IC7, il n'interfère pas avec IC6.

Le schéma final de la fig. 4-41 montre les trois timers 555 reliés entre eux, tels que vous devriez les disposer au-dessus du compteur le plus haut placé, IC1. J'ai aussi ajouté une LED pour envoyer un signal à l'utilisateur.

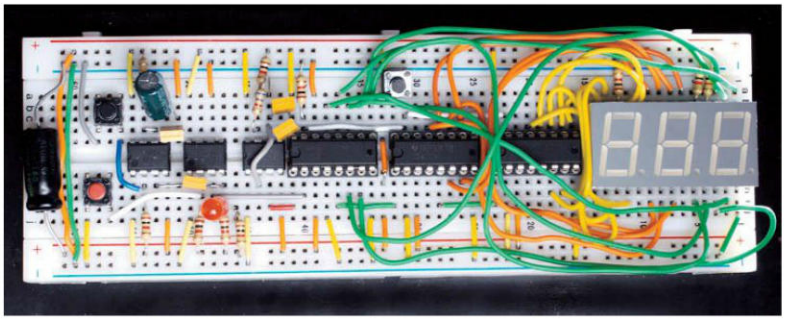


Figure 4-42. *Le circuit complet tient sur une plaque d'essai à 63 rangées.*

En raison de la complexité du circuit, j'ai résumé ci-après la séquence des événements lorsqu'il est en état de marche. Reportez-vous parallèlement à la fig. 4-41.

1. L'utilisateur appuie sur le bouton S4 pour démarrer la temporisation, ce qui déclenche IC7.
2. Tandis que C5 se charge, la sortie d'IC7 passe à l'état haut pendant quelques secondes.
3. La sortie d'IC7 repasse à l'état bas.
4. IC7 transmet une impulsion de basse tension via C4 à IC6, broche 4.
5. La sortie d'IC6 passe à l'état bas et y demeure.
6. La sortie basse d'IC6 attire le courant à travers la LED qui s'éclaire.

Copyright © 2013 Eyrolles.

7. La sortie basse d'IC6 est aussi transmise à la broche 2 d'IC1.
8. La basse tension appliquée sur la broche 2 d'IC1 permet à IC1 de commencer à compter.
9. L'utilisateur appuie sur S3, le bouton d'arrêt.
10. S3 connecte la broche 2 d'IC6 à la masse.
11. La sortie d'IC6 passe à l'état haut et y reste.
12. La sortie élevée d'IC6 éteint la LED.
13. La sortie élevée d'IC6 est aussi transmise à la broche 2 d'IC1.
14. La tension positive de la broche 2 d'IC1 entraîne l'interruption du décompte.
15. Après lecture du résultat, l'utilisateur appuie sur S2.
16. S2 applique une tension positive à la broche 15 d'IC1, IC2 et IC3.
17. La tension positive réinitialise les compteurs à zéro.
18. L'utilisateur peut essayer à nouveau.
19. Pendant ce temps, IC5 continue à fonctionner.

Dans l'hypothèse où un diagramme en blocs vous semblerait plus facile à comprendre, je l'ai présenté aussi sur la fig. 4-43.

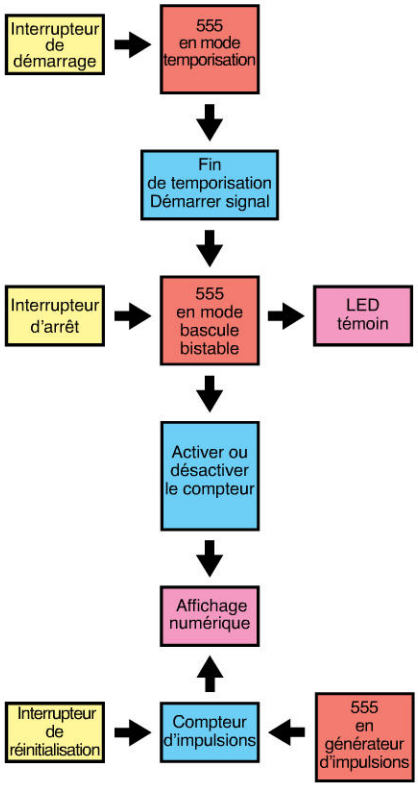


Figure 4-43. *Fonctions du testeur de réflexes.*

Utilisation du testeur de réflexes

À ce stade, vous devez pouvoir tester le circuit intégralement. Quand vous l'allumez pour la première fois, il commence aussitôt à compter, ce qui est un peu gênant, mais facile à corriger. Appuyez sur S3 pour arrêter le décompte, puis appuyez sur S2 pour le réinitialiser à zéro.

Appuyez alors sur S4. Rien ne semble se produire en apparence, mais la temporisation a discrètement commencé. Après quelques secondes, le cycle de temporisation prend fin et la LED s'allume. Simultanément, le décompte commence. Aussi rapidement que possible, l'utilisateur appuie sur S3 pour arrêter le décompte. L'afficheur se fige, indiquant le temps qui s'est écoulé.

Il y a un seul problème : le système n'a pas encore été bien étalonné et continue à s'exécuter au ralenti. Vous devez changer la résistance et le condensateur liés à IC5 pour qu'il génère 1 000 impulsions par seconde au lieu de trois ou quatre seulement.

Remplacez R8 par un potentiomètre variable de 10K et C2 par un condensateur d'1µF. Cette combinaison génère 690 impulsions par seconde quand le potentiomètre est à sa résistance maximale. Si vous baissez le potentiomètre pour diminuer sa résistance, à mi-chemin environ, le timer fonctionnera au rythme de 1 000 impulsions par seconde.

Comment savoir où se trouve exactement ce point ? Idéalement, il faudrait connecter la sonde d'un oscilloscope à la sortie d'IC5. Cependant, comme vous n'avez probablement pas d'oscilloscope, voici quelques autres idées.

opyright © 2013 Eyrolles.

Remplacez d'abord le condensateur C2 d'1 µF par un condensateur de 10 µF. Comme la capacité est multipliée par 10, la vitesse devient dix fois plus lente. Le chiffre le plus à gauche de l'affichage doit maintenant compter en secondes, atteindre 9 et repasser à 0 toutes les 10 secondes. Vous pouvez ajuster le potentiomètre tout en chronométrant l'affichage avec une montre. Quand vous obtenez un résultat satisfaisant, retirez le condensateur C2 de 10 µF et replacez le condensateur C2 d'1 µF.

Le seul problème, c'est que les valeurs des condensateurs peuvent présenter une incertitude de 10 % environ. Si vous souhaitez régler le testeur de réflexes, procédez comme suit.

Déconnectez le fil de la broche 5 d'IC3 et remplacez la LED par une résistance d'1K en série entre la broche 5 et la masse. La broche 5 est la broche de retenue qui émet une impulsion positive chaque fois qu'IC3 compte jusqu'à 9 et redémarre à 0. Comme IC3 décompte les dixièmes de secondes, la broche de retenue doit produire un signal de sortie une fois par seconde.

À présent, faites fonctionner le circuit pendant une minute, en vous aidant de votre montre pour vérifier si la LED clignote plus ou moins d'une fois par seconde. Si vous disposez d'un Caméscope avec affichage du temps dans le viseur, vous pouvez l'utiliser pour observer la LED.

Si la LED clignote trop brièvement pour être facilement visible, vous pouvez installer un fil entre la broche 5 et un autre timer 555 configuré en mode monostable pour créer une sortie durant environ 1/10 seconde. La sortie de ce minuteur peut commander une LED.

Améliorations possibles

Il va sans dire que chaque fois que vous avez fini un projet, toutes les opportunités sont bonnes pour l'améliorer. Voici quelques suggestions :

1. Aucun décompte à la mise sous tension. Ce serait plus satisfaisant si le circuit démarrait dans l'état « prêt », plutôt qu'étant déjà en train de compter. Pour ce faire, vous devez envoyer une impulsion négative à la broche 2 d'IC6, et peut-être une impulsion positive à la broche 15 d'IC1. Un autre temporisateur 555 pourrait peut-être remplir cette tâche. Je vous laisse tester cette solution par vous-même.
2. Retour audible quand l'utilisateur appuie sur le bouton de démarrage. Pour l'instant, il n'existe aucun signal confirmant l'action de ce bouton. Je vous conseille d'acheter un bipper piézoélectrique et de le placer entre la partie droite du bouton de démarrage et la branche positive de l'alimentation.
3. Un intervalle de temporisation aléatoire avant que le compte ne commence. Il est très difficile de donner un comportement aléatoire à des composants électroniques, mais une méthode consisterait à demander à l'utilisateur de placer le doigt sur une paire de contacts métalliques. La résistance de la peau du doigt remplacerait R11. Comme la pression du doigt ne serait pas toujours la même à chaque fois, l'intervalle de temporisation varierait. Vous auriez à ajuster la valeur de C5.

opyright © 2013 Eyrolles.

Récapitulatif

Ce projet a montré comment contrôler et chaîner des circuits intégrés compteurs, ainsi que trois fonctions différentes du timer 555. Il a aussi illustré de quelle façon les circuits pouvaient communiquer entre eux et expliqué comment étalonner un circuit après avoir fini de le monter.

Bien évidemment, si vous voulez que le circuit présente une quelconque utilité, vous devrez le placer dans un boîtier doté de boutons-poussoirs, et notamment de celui interrompant le décompte. Vous constaterez que les utilisateurs risquent de frapper assez violemment sur ce bouton !

Comme il s'agissait d'un projet important, j'ai décidé de le faire suivre de quelques projets plus rapides et plus faciles, qui vont vous faire découvrir l'univers fascinant d'un autre type de circuit intégré : les circuits logiques.

Expérience 19 : apprentissage de la logique

Vous aurez besoin des éléments suivants :

- Assortiment de résistances et de condensateurs
- 1 circuit 74HC00 4 portes NAND 2 entrées, 1 circuit 74HC08 4 portes AND 2 entrées et 1 régulateur de tension LM7805
- 1 diode de signal 1N4148 ou similaire
- 1 LED à faible intensité
- 2 interrupteurs tactiles SPST

Nous allons entrer dans le domaine de l'électronique numérique pure, avec l'utilisation des portes logiques, qui sont fondamentales dans chaque appareil électronique. Quand vous les manipulez individuellement, elles sont très faciles à comprendre. Quand vous commencez à les associer, elles deviennent incroyablement complexes. Commençons par les étudier séparément.

Les portes logiques présentent une plus grande difficulté que le timer 555 ou le compteur décimal 4026 déjà utilisés. Elles nécessitent une tension continue de 5 volts extrêmement précise, sans fluctuations ni pics de courant. Heureusement, il suffit pour cela de configurer votre plaque de montage avec un régulateur de tension LM7805, comme illustré sur le schéma de la fig. 4-44 et la photo de la fig. 4-45. Le régulateur reçoit 9 V de la tension d'alimentation usuelle et la réduit à 5 V, à l'aide de deux condensateurs. Vous appliquez les 9 V au régulateur et distribuez les 5 V le long des côtés de la platine de montage, à la place de la tension non régulée que vous aviez utilisée précédemment. Vérifiez la tension avec le multimètre et assurez-vous que la polarité soit clairement identifiée.

Après avoir installé le régulateur, prenez deux ou trois interrupteurs tactiles, deux résistances de 10K, une LED basse intensité et une résistance d'1K, et installez-les autour d'un circuit logique 74HC00, comme illustré à la fig. 4-46. Vous pouvez remarquer que la plupart des broches du circuit sont reliées entre elles et connectées à la branche négative de l'alimentation. J'y reviendrai dans un instant.

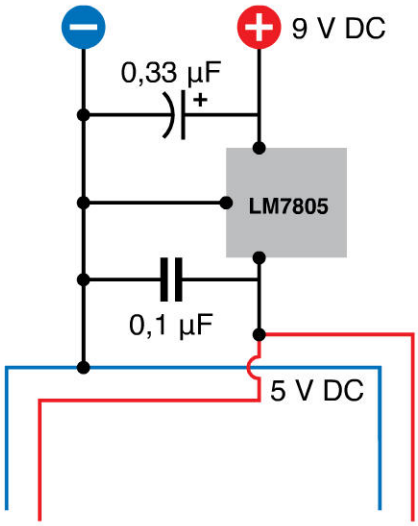


Figure 4-44. *Ce simple circuit est essentiel pour fournir une alimentation continue de 5 V aux circuits logiques.*

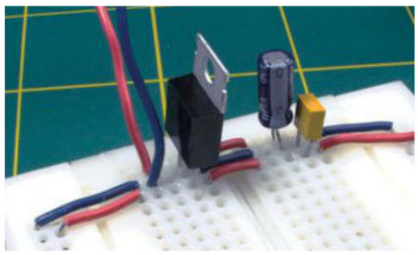


Figure 4-45. *Le régulateur de tension et ses deux condensateurs peuvent s'ajuster parfaitement en haut d'une platine de montage. N'oubliez pas d'appliquer la tension d'entrée de 9 V à la broche gauche du régulateur, et de distribuer la sortie de 5V le long des côtés de la platine de montage.*

opyright © 2013 Eyrolles.

FONDAMENTAUX

Régulateurs de tension

Les versions les plus simples de ces semi-conducteurs acceptent une tension DC plus élevée sur une broche et délivrent une tension DC plus basse sur une autre broche, une troisième broche (généralement celle du milieu) servant de broche négative commune, ou masse. Ajoutez-y aussi deux ou trois condensateurs pour lisser le courant, comme illustré à la fig. 4-46.

Habituellement, vous placez une alimentation de 7,5 V ou 9 V à l'entrée d'un régulateur 5 V et obtenez très précisément 5 V en sortie. Si vous vous demandez où passe la tension supplémentaire, la réponse est dans la conversion de l'électricité en chaleur par le régulateur. C'est pour cette raison que les petits régulateurs (comme celui de la fig. 4-8) possèdent souvent un dos en métal percé d'un trou dans la partie supérieure. Son but est de diffuser la chaleur, ce qui se produira plus facilement si vous le fixez à un morceau d'aluminium, ce métal conduisant très bien la chaleur. L'aluminium est connu comme dissipateur thermique ; vous pouvez d'ailleurs vous procurer des radiateurs en aluminium équipés d'ailettes de dissipation.

Dans le cadre de notre projet, nous ne tirons pas assez de courant pour avoir besoin d'un dissipateur thermique.

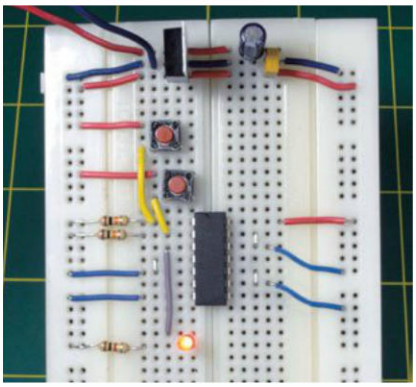


Figure 4-47. *Le circuit disposé sur cette platine de montage est équivalent au schéma de la fig. 4-46.*

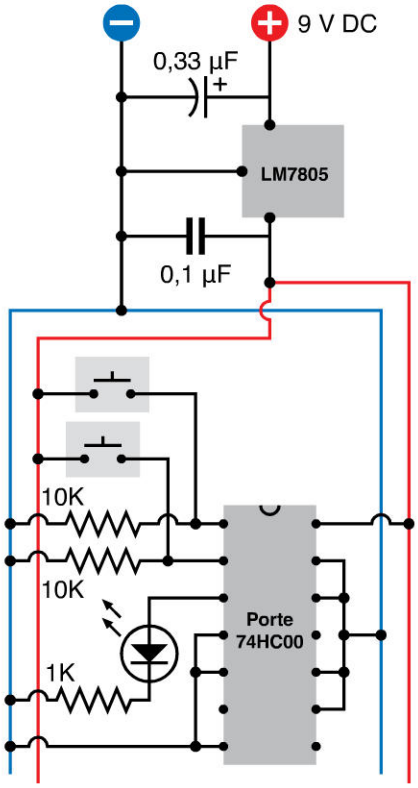


Figure 4-48. *En observant la LED quand vous appuyez sur l'un ou l'autre, les deux, ou aucun des boutons, vous pouvez facilement découvrir les fonctions logiques de la porte NAND.*

Lorsque vous branchez l'alimentation, la LED doit s'allumer. Appuyez sur l'un des interrupteurs tactiles : la LED doit rester éclairée. Il en est de même si vous appuyez sur l'autre interrupteur tactile. Appuyez maintenant sur les deux interrupteurs : la LED doit s'éteindre.

Les broches 1 et 2 sont les entrées logiques du circuit 74HC00. Initialement, elles se trouvaient à une tension négative, car elles étaient connectées à la broche négative de l'alimentation via des résistances de 10K. Mais chaque bouton-poussoir court-circuite sa résistance de rappel vers le niveau bas et force la broche d'entrée à devenir positive.

La sortie logique du circuit, comme nous l'avons vu, est normalement positive – mais ne l'est pas (*not*) si la première entrée et (*and*) la seconde entrée sont positives. Comme le circuit effectue une opération Not AND, on l'appelle porte logique NAND. La fig. 4-47 illustre la disposition sur plaque de montage. La fig. 4-48 est une version simplifiée du circuit. La forme en U avec un petit cercle en bas correspond au symbole logique d'une porte NAND. Aucune alimentation n'est représentée ici, mais en réalité tous les circuits logiques nécessitent une alimentation, qui leur permet d'émettre plus de courant qu'ils n'en reçoivent. À chaque fois que vous voyez le symbole d'un circuit logique, rappelez-vous qu'une alimentation lui est indispensable pour pouvoir fonctionner.

Copyright © 2013 Eyrolles.

Le circuit 74HC00 contient en fait quatre portes NAND, chacune avec deux entrées logiques et une sortie. Elles sont disposées comme sur la fig. 4-49. Comme une seule porte était nécessaire pour le test, les broches d'entrée des portes inutilisées ont été reliées à la branche négative de l'alimentation.

La broche 14 fournit une alimentation positive au circuit ; la broche 7 est la broche de masse. Presque toute la gamme 7400 des circuits logiques utilisent les mêmes broches pour l'alimentation positive et l'alimentation négative, si bien que vous pouvez les permuter aisément.

C'est ce que nous allons faire immédiatement. Déconnectez d'abord l'alimentation. Extrayez délicatement le circuit 74HC00 et mettez-le de côté avec les pattes recouvertes de mousse conductrice. Remplacez le circuit par un circuit 74HC08, qui est un circuit AND. Assurez-vous qu'il soit dans le bon sens, avec l'encoche en haut. Rebranchez l'alimentation et utilisez le bouton-poussoir comme précédemment. Cette fois, la LED s'allume si la première entrée et la seconde entrée sont toutes deux positives, mais reste éteinte dans le cas contraire. Ainsi, le circuit AND fonctionne exactement à l'opposé du circuit NAND. Ses brochages sont illustrés à la fig. 4-50.

Peut-être vous demandez-vous à quoi tout cela peut servir. Vous verrez bientôt que nous pouvons associer des portes logiques pour, par exemple, créer un verrou électronique à combinaison, une paire de dés électroniques ou une version numérique d'un jeu télévisé où les concurrents doivent répondre à des questions. Et si vous vous montrez ambitieux au-delà de toute mesure, vous pourrez créer un ordinateur complet à partir de portes logiques !

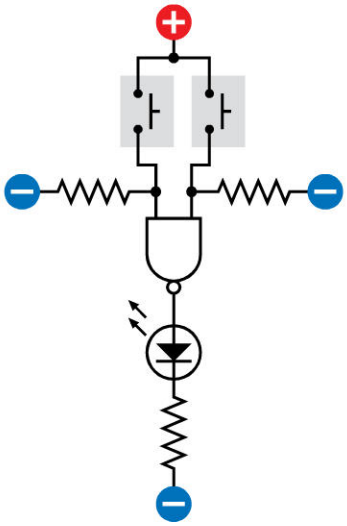


Figure 4-48. *La structure et la fonction de la porte NAND sont plus faciles à visualiser avec ce schéma simplifié qui ne représente pas l'alimentation du circuit.*

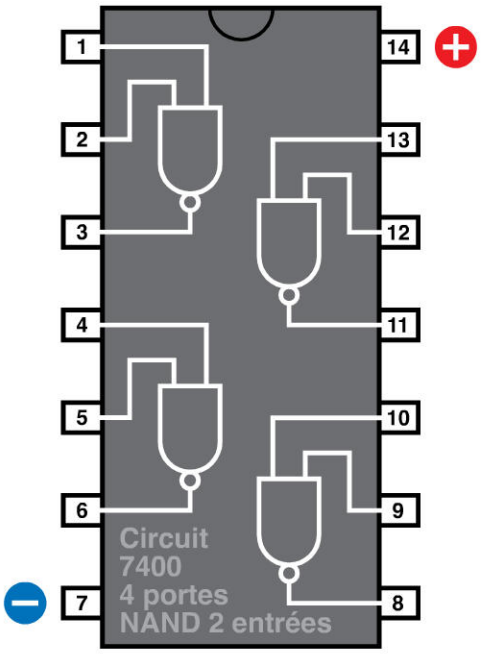


Figure 4-49. *Brochages des portes logiques d'un circuit 74HC00.*

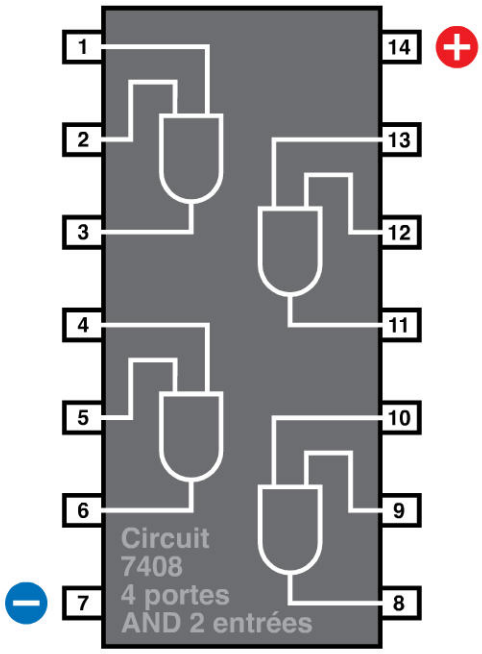


Figure 4-50. *Brochages des portes logiques d'un circuit 74HC08.*

Copyright © 2013 Eyrolles.

HISTOIRE

De Boole à Shannon

Mathématicien britannique né en 1815, George Boole inventa une branche entièrement nouvelle des mathématiques.

Étrangement, celle-ci ne reposait pas sur les nombres. Boole, qui avait un esprit d'une logique redoutable, voulait réduire le monde à un ensemble d'états vrais ou faux qui s'interconnectent. Prenons l'exemple d'un couple, Adriana et Marco, qui sont si désargentés qu'ils ne possèdent qu'un seul chapeau. De toute évidence, si vous croisez Adriana et Marco dans la rue, il y a quatre possibilités : aucun des deux ne porte de chapeau, Adriana le porte, ou Marco le porte. La quatrième option, chacun des deux porte le chapeau, n'est pas possible.

Le schéma de la fig. 4-51 illustre cette situation. Tous les états sont possibles, sauf celui où les cercles se chevauchent (ce diagramme est connu sous le nom de diagramme de Venn ; je vous laisse le soin d'en savoir plus sur ce type de diagramme). Boole a poussé ce concept bien plus loin et a montré comment créer et simplifier des tableaux logiques extrêmement complexes.

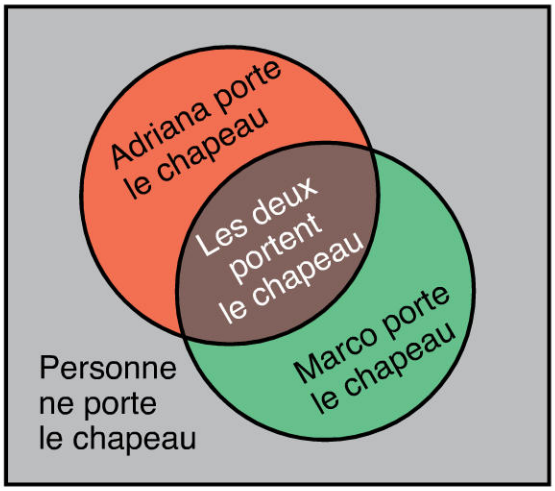


Figure 4-51. *Ce diagramme de Venn illustre les différentes possibilités qu'ont Adriana et Marco, possesseurs d'un seul chapeau.*

Un autre moyen de résumer cet exemple consiste à dresser la table de vérité de la fig. 4-52. La colonne la plus à droite indique si chaque combinaison de propositions peut être vraie. La fig. 4-53 représente le même tableau, mais avec des intitulés différents, qui correspondent au fonctionnement de la porte NAND.

Boole a publié son traité sur la logique en 1854, longtemps avant que cet ouvrage ne puisse s'appliquer aux dispositifs électriques ou électroniques. De fait, sa vie durant, personne ne trouva d'applications pratiques à ses travaux. Ce n'est que dans les années 1930, qu'un certain Claude Shannon tomba sur la logique booléenne pendant ses études au MIT. En 1938, il publia un article décrivant l'application de l'analyse booléenne aux circuits à l'aide de relais. Cet article eut des retombées immédiates, car les réseaux téléphoniques, alors en pleine expansion, faisaient face à des problèmes de commutation complexes.

Copyright © 2013 Eyrolles.

HISTOIRE

De Boole à Shannon *(suite)*

Adriana porte le chapeau	Marco porte le chapeau	La combinaison a la valeur
NON	NON	VRAI
NON	OUI	VRAI
OUI	NON	VRAI
OUI	OUI	FAUX

Figure 4-52. *Les possibilités relatives au port du chapeau peuvent s'exprimer sous forme d'une table de vérité.*

Entrée A	Entrée B	Sortie
OFF	OFF	ON
OFF	ON	ON
ON	OFF	ON
ON	ON	OFF

Figure 4-53. *La table de vérité de la fig. 4-52 peut être traduite différemment pour décrire les entrées et les sorties d'une porte NAND.*

En voici un très simple. Imaginons deux abonnés qui partagent une même ligne téléphonique. Si l'un d'eux souhaite utiliser la ligne ou aucun ne le souhaite, aucun problème. En revanche, ils ne peuvent l'utiliser simultanément. Cette situation est strictement identique à celle du port du chapeau pour Adriana et Marco.

Nous pouvons facilement concevoir un circuit utilisant deux relais normalement fermés qui crée la sortie souhaitée (fig. 4-54), mais si vous imaginez un central téléphonique desservant plusieurs milliers d'abonnés, cela devient vraiment très compliqué. En fait, à l'époque de Shannon, il n'existait aucun processus logique pour déterminer la meilleure solution et vérifier qu'elle utilisait moins de composants qu'une autre.

Shannon comprit que l'analyse booléenne pouvait être utilisée à cette fin. Ainsi, si vous traduisez la condition ON par le chiffre 1 et la condition OFF par le chiffre 0, vous pouvez construire un système de relais à même de compter. Et s'il peut compter, il peut effectuer des opérations arithmétiques.

Quand les relais remplacèrent les tubes à vide, les premiers véritables calculateurs numériques purent être construits. Les transistors se substituèrent aux tubes à vide et les circuits intégrés à puce prirent la place des transistors, conduisant aux ordinateurs de bureau que nous connaissons aujourd'hui. Mais au niveau le plus bas de ces dispositifs incroyablement sophistiqués, ce sont les lois de la logique découvertes par George Boole qui continuent à être utilisées. Aujourd'hui, lorsque vous faites appel à un moteur de recherche sur Internet, si vous utilisez les mots Et et OU pour affiner votre recherche, vous utilisez bel et bien les opérateurs booléens.

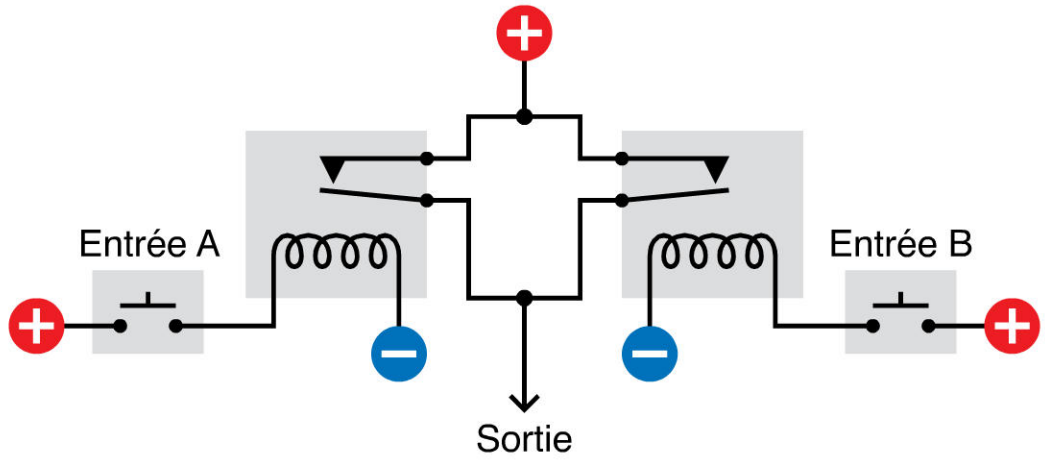


Figure 4-54. *Ce circuit à relais peut illustrer la logique souhaitée pour deux abonnés partageant une même ligne téléphonique. Son comportement est quasi identique à celui du schéma NAND de la fig. 4-48.*

opyright © 2013 Eyrolles.

Figure 4-55. *Adriana et Marco tentent de dépasser les limites de la logique booléenne !*

COMPLÉMENTS

Portes logiques

La porte NAND est le composant de base des calculateurs numériques, car elle permet l'addition binaire (pour des raisons qui dépassent le cadre de ce livre). Pour en savoir plus, faites une recherche sur Internet avec les mots-clés « arithmétique binaire » et « demi-additionneur ».

Généralement, on distingue sept types de portes logiques :

- AND
- NAND
- OR
- NOR
- XOR
- XNOR
- NOT

Parmi les six portes à deux entrées, seule la porte XNOR n'est pratiquement pas utilisée. La porte NOT possède une seule entrée : elle fournit simplement une sortie négative quand l'entrée est positive, ou inversement. Aussi la porte NOT est souvent appelée inverseur. Les symboles des sept portes sont illustrés sur la fig. 4-56.

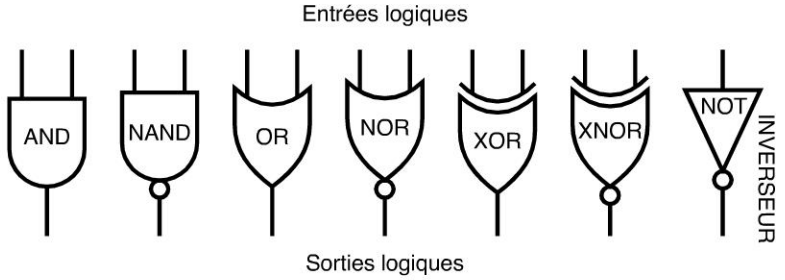


Figure 4-56. *Symboles américains des six types de portes logiques à deux entrées, et de l'inverseur à une seule entrée.*

J'ai utilisé les symboles américains, car si d'autres symboles ont pu être adoptés en Europe, ceux montrés ici sont les plus populaires. Je présente aussi les tables de vérité sur la fig. 4-57, indiquant pour chaque type de porte la sortie logique (état haut ou bas) en fonction des entrées.

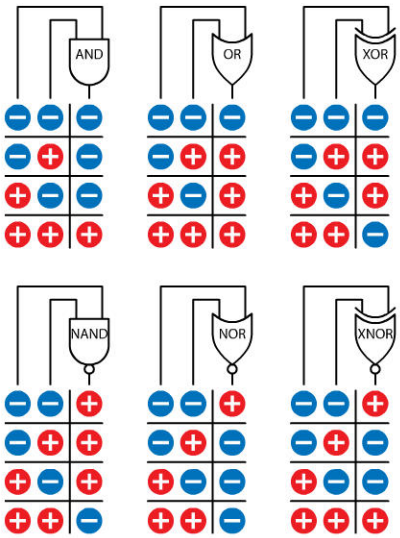


Figure 4-57. *Entrées et sorties correspondantes pour les six types de portes logiques (la porte XNOR étant rarement utilisée). Le signe négatif indique une basse tension, proche du potentiel de terre. Le signe positif indique une tension plus élevée, proche du potentiel positif de l'alimentation du circuit. Les tensions exactes varient en fonction des autres composants qui peuvent être connectés aux portes.*

Copyright © 2013 Eyrolles.

COMPLÉMENTS

Portes logiques *(suite)*

Si vous éprouvez quelques difficultés à visualiser les portes logiques, une analogie mécanique peut vous aider. Imaginez-les comme des plaques coulissantes, percées d'un trou, d'un distributeur de chewing-gums, sachant que deux personnes, A et B, peuvent actionner les plaques. Ces personnes représentent les deux entrées, considérées comme positives quand elles agissent (il existe aussi des systèmes de logique négative, mais comme ils sont rares, je n'en parlerai pas ici).

Le flux des chewing-gums représente un flux de courant positif. Les fig. 4-58 à 4-63 illustrent l'ensemble des possibilités.

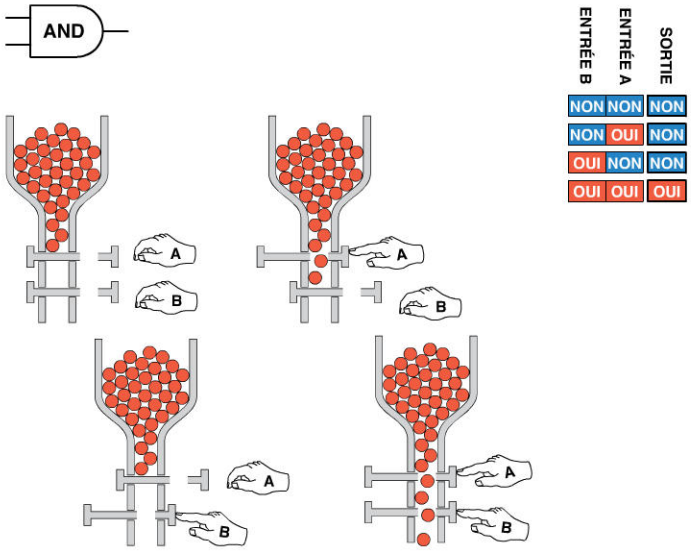


Figure 4-58

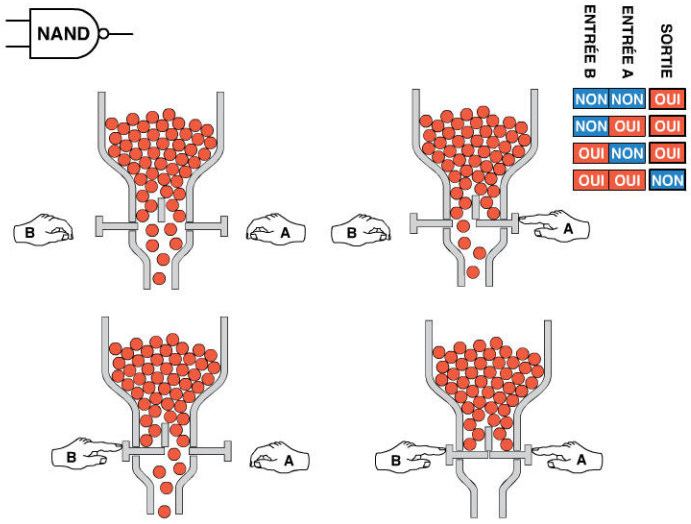
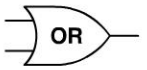


Figure 4-59

Copyright © 2013 Eyrolles.

COMPLÉMENTS

Portes logiques *(suite)*



ENTRÉE B	ENTRÉE A	SORTIE
NON	NON	NON
NON	OUI	OUI
OUI	NON	OUI
OUI	OUI	OUI

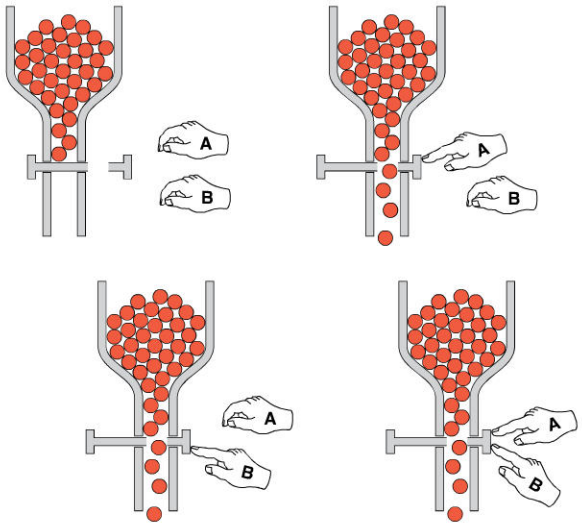


Figure 4-60

ENTRÉE B	ENTRÉE A	SORTIE
NON	NON	OUI
NON	OUI	NON
OUI	NON	NON
OUI	OUI	NON

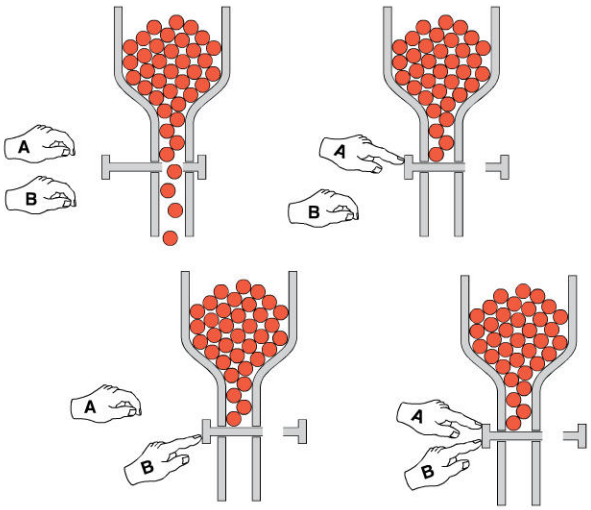
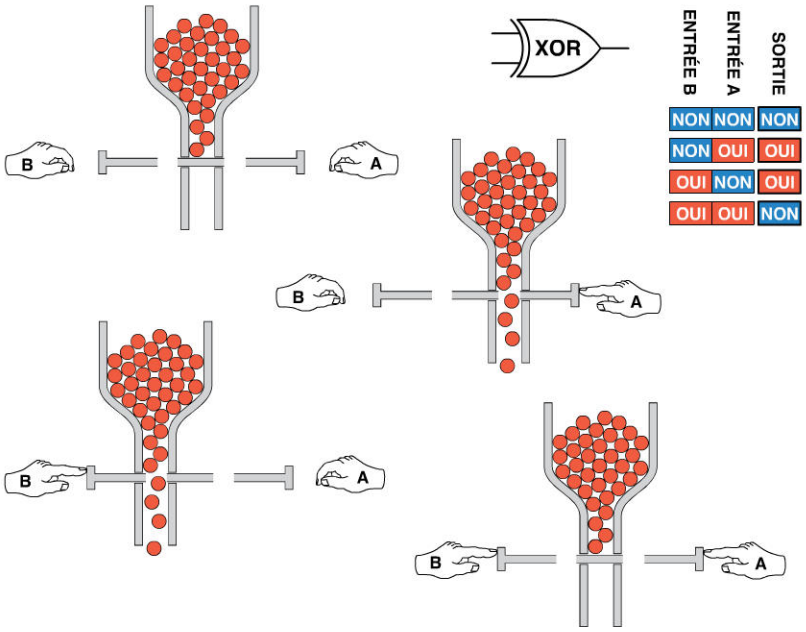


Figure 4-61

Copyright © 2013 Eyrolles.

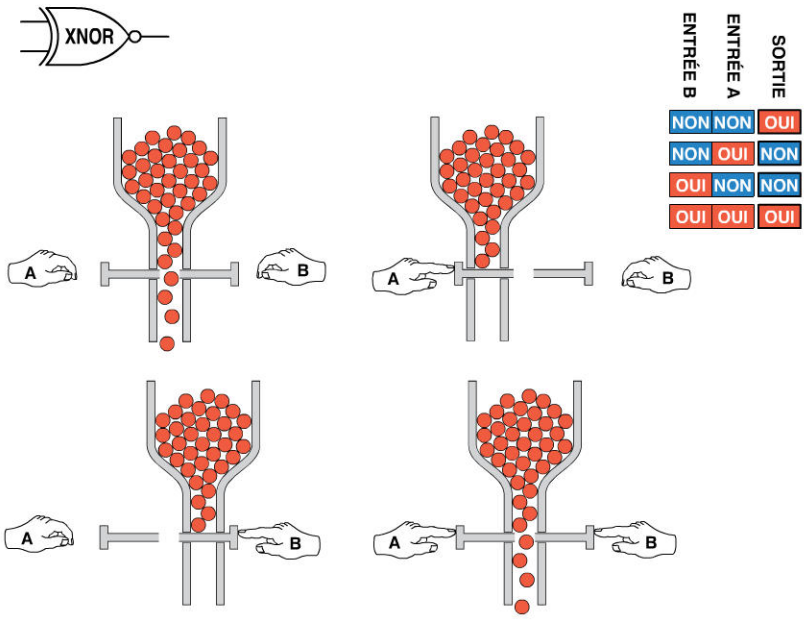
COMPLÉMENTS

Portes logiques *(suite)*



ENTRÉE B	ENTRÉE A	SORTIE
NON	NON	NON
NON	OUI	OUI
OUI	NON	OUI
OUI	OUI	NON

Figure 4-62



ENTRÉE B	ENTRÉE A	SORTIE
NON	NON	OUI
NON	OUI	NON
OUI	NON	NON
OUI	OUI	OUI

Figure 4-63

opyright © 2013 Eyrolles.

HISTOIRE

Le monde déroutant des TTL et des CMOS

Dans les années 1960, les premières portes logiques furent construites avec la technologie TTL (*Transistor-Transistor Logic*, logique transistor-transistor), selon laquelle de minuscules transistors bipolaires étaient gravés sur une seule tranche de silicium. Elles furent bientôt suivies par les semi-conducteurs CMOS *(Complementary Metal Oxide Semiconductors)*. Chacun de ces circuits était composé de transistors à effet de champ en oxyde métallique, appelés MOSFET (*Metal-Oxide Field-Effect Transistor*, transistor à effet de champ de semi-conducteur d'oxyde de métal). Le circuit 4026 que vous avez utilisé précédemment est un ancien CMOS.

Peut-être vous souvenez-vous que les transistors bipolaires amplifient l'intensité. Les circuits TTL sont similaires : ils sont plus sensibles à la tension qu'à l'intensité. Ils nécessitent ainsi un flux d'électricité conséquent pour pouvoir fonctionner. Les circuits CMOS sont comme les transistors unijonction programmables déjà évoqués. Ils sont sensibles à la tension, ce qui leur permet de tirer pratiquement n'importe quel courant quand ils attendent un signal ou s'interrompent après en avoir émis un.

Les deux familles TTL et CMOS existent encore aujourd'hui. Le tableau de la fig. 4-64 récapitule leurs principaux avantages et inconvénients. La série CMOS, dont les numéros de référence commencent à 4000, était facilement endommagée par l'électricité statique, mais sa consommation électrique était faible. La série TTL, dont les numéros de référence commencent à 7400, consommait plus d'électricité, mais s'avérait plus résistante et très rapide. Par conséquent, si vous vouliez construire un ordinateur, vous utilisiez la famille TTL, alors que si vouliez créer un dispositif appelé à fonctionner pendant des semaines avec une simple pile, vous choisissiez la famille CMOS.

Ensuite, la situation est devenue très confuse, car les fabricants de CMOS voulurent s'emparer de parts du marché en émulant les avantages des puces TTL. Les nouvelles générations de circuits CMOS modifièrent même leurs références afin de commencer par 74 pour souligner leur compatibilité, et les fonctions des broches des circuits CMOS furent permutées pour correspondre à celles des broches des circuits TTL. Par conséquent, les brochages des circuits CMOS et TTL sont généralement désormais identiques, mais la signification des états haut et bas change à chaque nouvelle génération, et les tensions d'alimentation maximales pour les circuits CMOS ont été révisées à la baisse. Vous noterez que j'ai ajouté deux points d'interrogation dans la colonne CMOS de la fig. 4-64, les circuits CMOS actuels ayant normalement surmonté ces inconvénients.

Voici un bref résumé qui vous sera utile si vous cherchez un circuit sur Internet et que vous vous interrogez sur les spécifications demandées.

La lettre x signifie que différents chiffres peuvent apparaître à cet emplacement. Ainsi, 74xx inclut la porte NAND 7400, la porte NOR 7402, le sélecteur de données 16 bits 74150, etc. La combinaison des lettres devant 74 désigne le fabricant de circuits, alors que les lettres situées derrière peuvent identifier le style de boîtier, indiquer s'il contient des métaux lourds toxiques pour l'environnement, et autres détails.

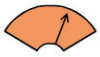
		TTL	CMOS
Références		7400	4000 (Devenu 7400 par la suite)
Vulnérable à l'électricité statique		Moins	Plus ?
Vitesse		Plus rapide	Plus lent ?
Consommation électrique		Plus élevée	Très basse
Plage d'alimentation		Étroite 5 V	Plus large 3 V – 6 V
Impédance d'entrée		Basse	Très élevée

Figure 4-64. *Différences élémentaires entre les deux familles de puces logiques. Au fil des générations, ces différences se sont progressivement atténuées.*

Famille TTL :

74xx
: Première génération, aujourd'hui obsolète.

74Sxx
: Série Schottky plus rapide, aujourd'hui obsolète.

74LSxx
: Série Schottky à faible consommation, encore utilisée ponctuellement.

74ALSxx
: Version avancée de la série Schottky à faible consommation.

74Fxx
: Plus rapide que la série ALS.

Copyright © 2013 Eyrolles.

HISTOIRE

Le monde déroutant des TTL et des CMOS *(suite)*

Famille CMOS :

40xx
Première génération, aujourd'hui obsolète.

40xxB
La série 4000B a été améliorée, mais peut subir des dommages causés par l'électricité statique. De nombreux amateurs d'électronique utilisent toujours ces circuits, car ils fonctionnent à partir de tensions relativement élevées et peuvent alimenter les LED et même les petits relais directement.

74HCxx
Ce sont les CMOS à vitesse plus élevée, avec des références et des brochages similaires à la famille TTL, mais dont les tensions en entrée et en sortie diffèrent. J'ai beaucoup utilisé cette génération dans cet ouvrage, car elle est facile à trouver, et que les circuits ici n'ont nul besoin d'une vitesse et d'une alimentation supérieures.

74HCTxx
Identique à la série HC, mais avec tensions TTL.

74ACxx
Version avancée de la série HC. Plus rapide, avec une capacité de sortie plus élevée.

74ACTxx
Identique à la série AC, mais avec les mêmes tensions et fonctions de broche que TTL.

74AHCxx
Version avancée à vitesse plus élevée.

74AHCTxx
Identique à la série AHC, mais avec les mêmes tensions et fonctions de broche que TTL.

74LVxx
Versions avec tension inférieure (3,3 V), incluant les séries LV, LVC, LVT et ALVC.

Comme vous pouvez le constater, il vous faudra interpréter ces références avec le plus grand soin. Mais quelle famille et quelle génération de puces devrez-vous à utiliser ? Eh bien, cela dépend ! Voici quelques recommandations.

Ce dont vous n'avez pas besoin :

1. Les différences de vitesse ne sont pas importantes ici, car nous ne développerons pas des circuits exécutant des millions de cycles par seconde.
2. Les différences de prix sont si infimes qu'elles sont sans importance.
3. Les circuits CMOS à basse tension (LV) ne sont pas très intéressants pour nos expériences.
4. Évitez d'associer différentes familles, ou différentes générations de la même famille, dans le même circuit. Elles pourraient ne pas être compatibles.
5. Certains types de circuits actuels sont uniquement disponibles pour un montage en surface. Comme ils sont beaucoup plus difficiles à manipuler et que leur seul avantage est la miniaturisation, je vous les déconseille.
6. Dans la famille TTL, les séries LS et ALS ne peuvent pas gérer une intensité en sortie aussi élevée que les séries S et F. Vous n'en aurez donc pas besoin.

Ce dont vous avez besoin :

1. L'ancienne série 74LSxx des circuits TTL a connu un tel succès que vous continuerez à trouver des schémas de spécifications de ces circuits. Vous devez toujours pouvoir les acheter sur Internet ; dans le cas contraire, remplacez-les par les circuits 74HCTxx, conçus pour fonctionner de la même façon.
2. L'ancienne série 4000B des circuits CMOS est toujours utilisée par les passionnés, car leur tolérance aux tensions élevées est pour le moins pratique. Alors que les circuits TTL ou compatibles TTL requièrent une tension de 5 V soigneusement régulée, les circuits 4000B doivent pouvoir gérer 15 V et fournissent aussi assez de puissance pour alimenter les LED ou les très petits relais. Certains amateurs éprouvent la nostalgie de la série 74Cxx, qui présentait les mêmes connexions de broches que les circuits TTL, mais continuait à tolérer des tensions et une intensité en sortie plus élevées. Malheureusement, certains circuits 74Cxx ont quasiment disparu, et même si les circuits 4000B sont toujours disponibles, ils sont considérés comme pratiquement obsolètes.

opyright © 2013 Eyrolles.

HISTOIRE

Le monde déroutant des TTL et des CMOS *(suite)*

En conclusion, je ne vous conseille d'utiliser les circuits intégrés 4000B que si vous voulez reproduire un ancien circuit ou que si l'équivalent actuel n'est pas disponible (raison pour laquelle j'ai mentionné le circuit 4026B pour le testeur de réflexes – je n'ai pas pu trouver d'équivalent moderne qui commande directement les afficheurs numériques à sept segments et ne voulais pas avoir à gérer plus d'éléments que nécessaire).

Si vous consultez le site Internet d'un fournisseur comme Go Tronic, vous constaterez que la famille HC est de loin la plus répandue. Les circuits sont entièrement disponibles au format composant à insérer (pour s'adapter à votre plaque de montage et à votre plaque perforée). Ils possèdent la même impédance élevée que les CMOS (ce qui est utile) et les mêmes identifications de broches que l'ancienne série 74LSxx.

Abréviations

Lorsque vous lisez une fiche technique, vous êtes susceptible de rencontrer certaines de ces abréviations :

- VOH min : tension de sortie minimale au niveau haut
- VOL max : tension de sortie maximale au niveau bas
- VIH min : tension d'entrée minimale pour le niveau haut
- VIL max : tension d'entrée maximale pour le niveau bas

HISTOIRE

Origine des portes logiques

La famille 7400 des circuits intégrés a été lancée par Texas Instruments, avec, en 1962, la porte 7400 NAND. D'autres sociétés avaient déjà vendu des circuits logiques, mais la série 7400 occupa la première place du marché. Les missions lunaires Apollo utilisèrent un ordinateur conçu avec les circuits 7400, qui furent un pilier des mini-ordinateurs dans les années 1970.

RCA mit sur le marché sa série 4000 de circuits logiques en 1968, conçus à partir de transistors CMOS ; Texas Instruments avait choisi TTL. Les circuits CMOS utilisaient moins de puissance, générant ainsi moins de chaleur et permettant la conception de circuits flexibles, chaque circuit pouvant en commander plusieurs. Les circuits CMOS supportaient aussi de larges plages de tension (de 3 à 15 V), mais interdisaient les vitesses d'interruption supérieures à 1 MHz. TTL était 10 fois plus rapide.

Les évolutions de conception supprimèrent progressivement le handicap de vitesse pour les circuits CMOS, si bien que les circuits TTL devinrent relativement rares. Cependant, certains amateurs conservent une fidélité particulière aux portes logiques qui sont allées sur la Lune. Un certain Bill Buzbee a conçu tout un serveur web à partir de circuits 7400 de type TTL, accessible à l'adresse http://magic-1.org. La fig. 4-65 illustre l'un des circuits imprimés réalisés à la main par Bill et qu'il a assemblés pour faire fonctionner son ordinateur.

Figure 4-65. *Bill Buzbee a conçu lui-même un serveur web à partir des circuits logiques de la série 7400 ; le plus ancien d'entre eux a été fabriqué en 1969. Ce serveur est accessible à l'adresse http://magic-1.org. L'image ci-dessus représente l'une des cartes de ce projet exceptionnel.*

Copyright © 2013 Eyrolles.

FONDAMENTAUX

Numéros de référence communs

Chaque circuit à 14 broches peut contenir quatre portes à deux entrées, trois portes à trois entrées, deux portes à 4 entrées, une porte à huit entrées ou six inverseurs à une seule entrée, comme illustré dans le tableau suivant :

	2 entrées	3 entrées	4 entrées	8 entrées
AND	7408	7411	7421	
NAND	7400	7410	7420	7430
OR	7432			744078*
NOR	7402	7427		744078*
XOR	7486			
XNOR	747266			
Inverseur	(1 entrée) 7404			

* Le circuit 744078 possède une sortie OR et une sortie NOR.

Les fig. 4-66 à 4-74 illustrent les connexions internes des circuits logiques que vous êtes le plus susceptible d'utiliser. Notez que les entrées et les sorties logiques de la porte NOR 7402 sont disposées différemment par rapport aux autres circuits.

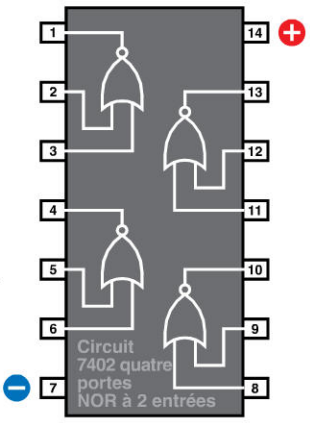


Figure 4-66. *Les fig. 4-66 à 4-74 illustrent les brochages de certains circuits logiques très utilisés. Notez que les entrées du circuit 7402 sont inversées par rapport aux autres circuits.*

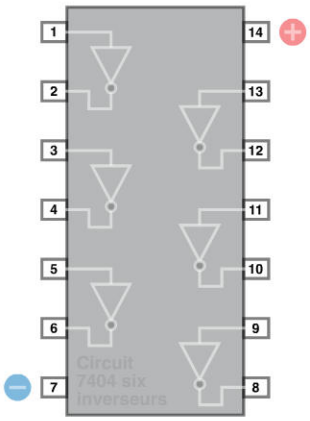


Figure 4-67

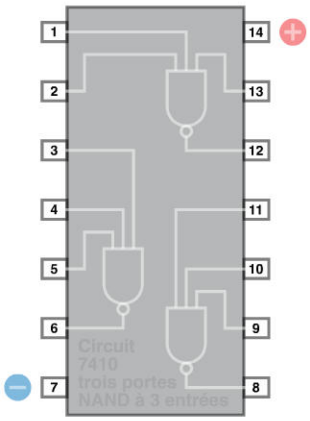


Figure 4-68

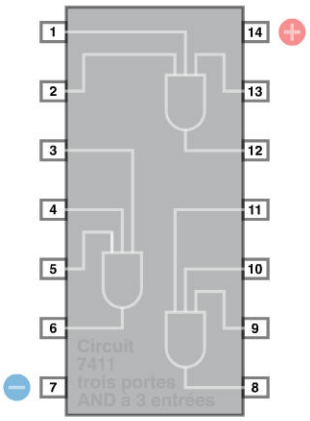


Figure 4-69

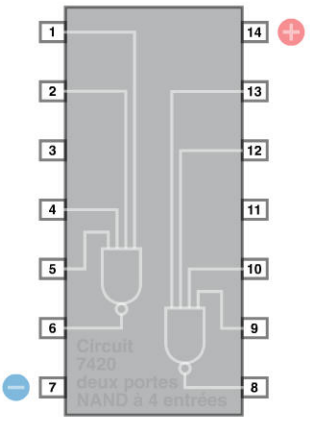


Figure 4-70

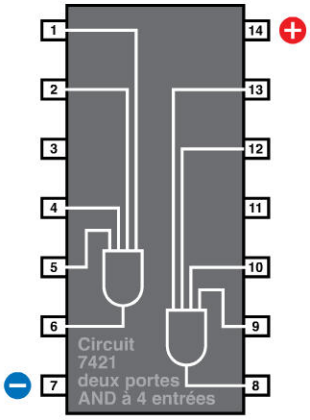


Figure 4-71

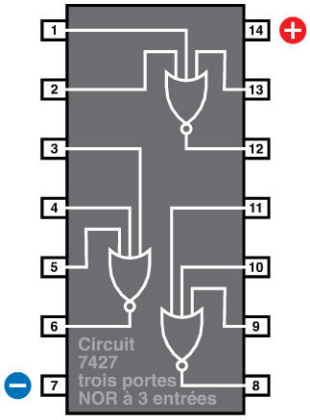


Figure 4-72

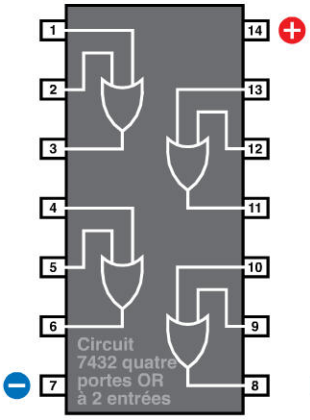


Figure 4-73

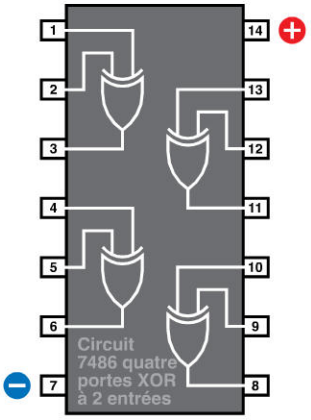


Figure 4-74

Copyright © 2013 Eyrolles.

FONDAMENTAUX

Règles de connexion des portes logiques

Autorisé :

- Vous pouvez connecter l'entrée d'une porte directement à votre alimentation régulée, sur la branche positive ou la branche négative.
- Vous ne pouvez pas connecter la sortie d'une porte directement à l'entrée d'une autre porte.
- La sortie d'une porte peut alimenter les entrées de plusieurs autres portes (caractéristique appelée *fan out*). Le ratio exact dépend du circuit, mais vous pouvez toujours alimenter au moins dix entrées avec une seule sortie logique. Par exemple, la sortie d'un circuit logique peut commander la gâchette (broche 2) d'un timer 555. La sortie du temporisateur peut ensuite délivrer 100 mA, ce qui suffit à alimenter une demi-douzaine de LED ou un petit relais.
- Une entrée basse ne signifie pas que sa tension est égale à zéro. Une porte logique 74HCxx identifie toute tension jusqu'à 1 V comme basse.
- Une entrée élevée ne signifie pas que sa tension est égale à 5 V. Une porte logique identifie toute tension au-dessus de 3,5 V comme élevée.

Reportez-vous aux fig. 4-75 et 4-76 pour une comparaison des tensions autorisées sur l'entrée et la sortie des circuits 74HCxx et 74LSxx.

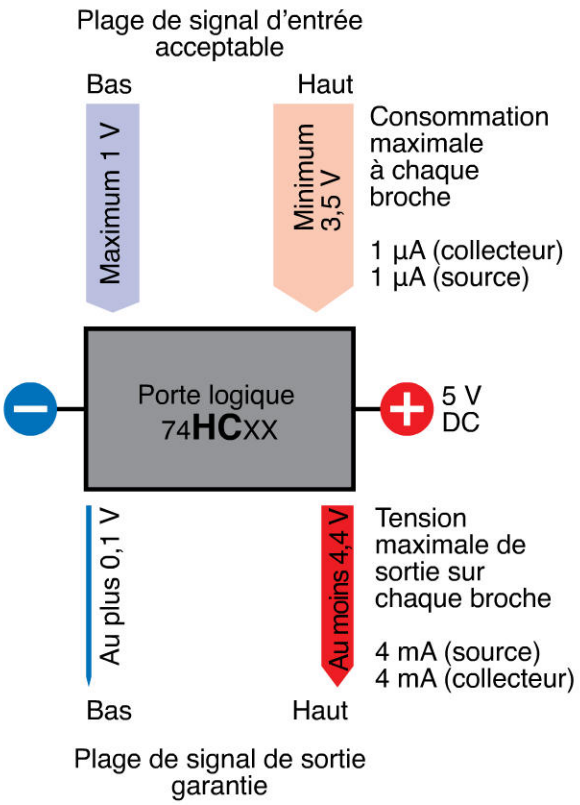


Figure 4-75. *Chaque famille de circuits logiques, ainsi que chaque génération de chaque famille, possède différentes normes pour les tensions minimales et maximales en entrée et en sortie. Ce diagramme illustre les normes utilisées par la génération HC de la famille CMOS, choisie pour la plupart des projets de ce livre. Notez que l'intensité requise en entrée est minimale, en comparaison de l'intensité disponible en sortie. L'alimentation du circuit crée la différence.*

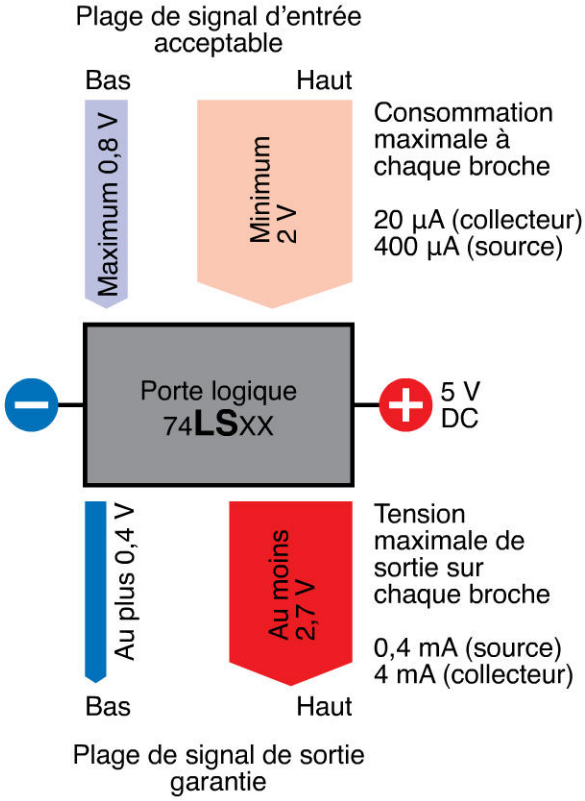


Figure 4-76. *Comme la génération LS de la famille TTL présente de telles différences de tolérance pour les tensions en entrée et de normes pour les tensions en sortie, la génération LS des circuits TTL ne doit pas être utilisée dans un même circuit que la génération HC des circuits intégrés CMOS. Sauf si vous utilisez des résistances de rappel vers le niveau haut pour que les circuits intégrés LS soient conformes aux normes relatives aux circuits intégrés HC. Voir l'expérience 21 pour l'utilisation des circuits LS.*

Copyright © 2013 Eyrolles.

FONDAMENTAUX

Règles de connexion des portes logiques *(suite)*

Non autorisé :

- Aucune broche flottante. Sur les circuits intégrés CMOS tels que la famille HC, vous devez toujours alimenter toutes les broches d'entrée avec une tension connue, même si elles concernent une porte du circuit que vous n'utilisez pas. Quand vous employez un interrupteur SPST pour contrôler une entrée, souvenez-vous que dans sa position OFF, il laisse l'entrée sans connexion. Pour empêcher que la situation ne se produise, utilisez une résistance de rappel vers le niveau haut ou une résistance de rappel vers le niveau bas. Voir fig. 4-77.
- N'utilisez pas une tension d'alimentation non régulée, ou supérieure à 5 V, pour alimenter les portes logiques 74HCxx ou 74LSxx.
- Soyez prudent lorsque vous utilisez une porte logique pour alimenter ne serait-ce qu'une LED basse intensité. Vérifiez le nombre de milliampères tirés du circuit intégré. Soyez également vigilant quand vous partagez la sortie d'une porte logique avec l'entrée d'une autre porte, qui en même temps commande une LED. La LED peut abaisser la tension de sortie et lui donner une valeur que l'autre porte ne reconnaîtra pas. Vérifiez toujours les intensités et les tensions lorsque vous modifiez un circuit ou en créez un.
- N'appliquez jamais une intensité ou une tension conséquente à la broche de sortie d'une porte logique. Autrement dit, ne forcez pas une entrée en une sortie.
- Ne liez jamais les sorties de deux portes logiques ou plus. Si elles doivent partager un même fil de sortie, utilisez des diodes pour les protéger les unes des autres. Voir fig. 4-78.

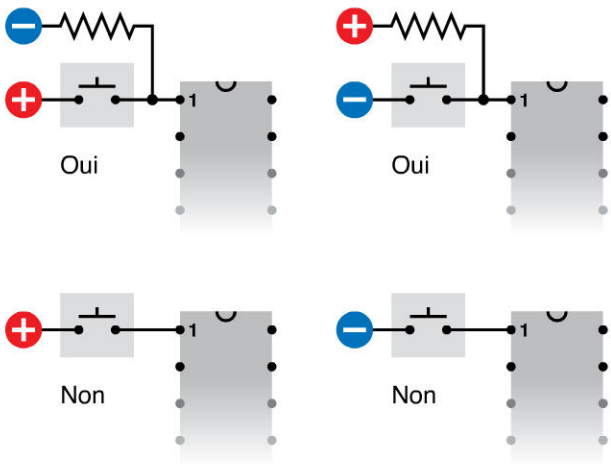


Figure 4-77. *Un circuit CMOS étant très sensible aux variations en entrée, une entrée logique ne doit jamais demeurer flottante ou non reliée à une source de tension définie. Cela signifie que tout interrupteur unidirectionnel ou bouton-poussoir doit être utilisé avec une résistance de rappel vers le niveau haut ou vers le niveau bas, afin que, lorsque les contacts sont ouverts, l'entrée demeure définie.*

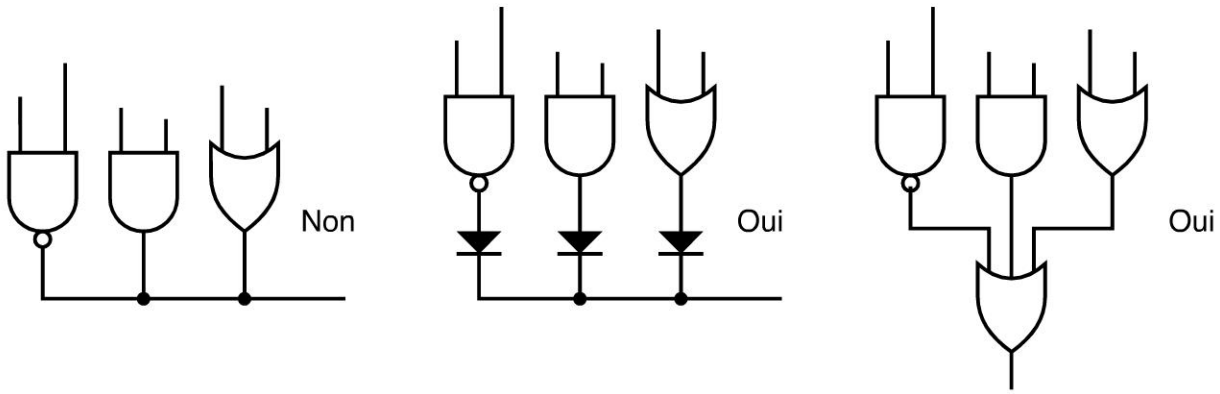


Figure 4-78. *La sortie d'une porte logique ne doit pas alimenter la sortie d'une autre porte logique. Les diodes peuvent servir à les isoler, ou elles peuvent être reliées via une autre porte.*

Copyright © 2013 Eyrolles.

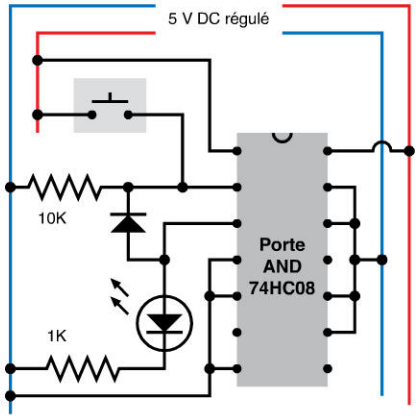


Figure 4-79. *À l'aide d'une diode, la sortie logique d'une porte peut être autorisée à réalimenter l'une de ses entrées, de telle sorte que la porte se ferme après avoir reçu une brève impulsion en entrée.*

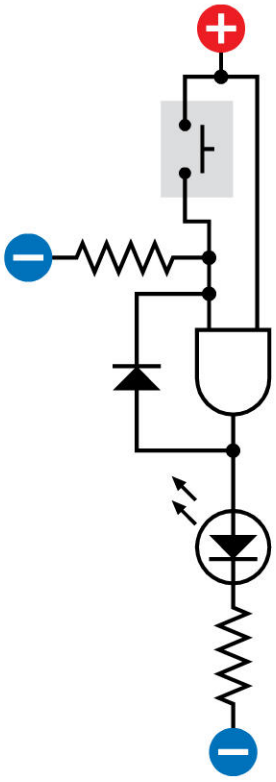


Figure 4-80. *Le schéma du circuit de la fig. 4-79 est simplifié ici pour montrer clairement de quelle façon une porte peut se fermer après réception d'une impulsion en entrée.*

Dans la famille logique 74HCxx, chaque entrée d'une porte logique consomme juste 1 microampère, tandis que la sortie peut fournir 4 milliampères. Cela semble paradoxal : comment le circuit peut-il restituer plus qu'il ne prend ? C'est parce qu'il consomme aussi l'alimentation connectée aux bornes 7 et 14. C'est de là que vient l'électricité supplémentaire.

Étant donné que la sortie logique d'un circuit peut être supérieure à son entrée logique, nous pouvons placer le circuit dans un état où il se maintient lui-même alimenté, un peu comme le relais du projet d'alarme qui était câblé pour s'auto-verrouiller. Pour cela, la manière la plus simple consiste à réalimenter l'une des entrées du circuit à l'aide de la sortie.

La fig. 4-79 illustre une porte AND avec l'une de ses entrées branchées sur le côté positif et l'autre maintenue à un faible niveau de tension par une résistance de rappel vers le niveau bas ; un bouton-poussoir permet d'élever la tension en entrée. Une diode de signal reconnecte la sortie du circuit intégré à l'entrée contrôlée par le bouton-poussoir. N'oubliez pas que la diode possède une marque indiquant quelle extrémité doit être connectée à la borne négative de l'alimentation, correspondant ici à l'extrémité de la résistance de 10K.

Le schéma de la fig. 4-79 montre la disposition du circuit sur une plaque de montage. La fig. 4-80 en propose une forme encore plus simple.

> *Dorénavant, je ne me préoccuperai plus de montrer le régulateur de puissance et les condensateurs qui lui sont associés. N'oubliez pas de les prévoir chaque fois que l'alimentation électrique indique 5 V DC régulé.*

Quand vous allumez l'alimentation, la LED est éteinte, comme avant. Pour créer une sortie positive, la porte AND a besoin d'une tension positive à ses deux entrées logiques, mais pour l'instant elle n'en a qu'à l'une de ses entrées, tandis que l'autre entrée est rappelée vers le niveau bas par la résistance de 10K. Appuyez alors sur le bouton-poussoir : la LED s'éclaire. Relâchez le bouton-poussoir et constatez que la LED demeure allumée, car la sortie positive de la porte AND circule à travers la diode et s'avère assez élevée pour surmonter la tension négative venant de la résistance de rappel vers le niveau bas.

La sortie de la porte AND alimente sa propre entrée, de telle sorte que la LED demeure allumée jusqu'à ce que nous la déconnections. Cette disposition, qui est une forme simple de verrou, peut être très utile pour maintenir la sortie à l'état haut, après que l'utilisateur a appuyé sur un bouton et l'a relâché.

Vous ne pouvez pas relier la sortie de la porte à l'une de ses entrées à l'aide d'un fil ordinaire, car la tension positive créée par la pression sur l'interrupteur tactile se retrouverait appliquée en sortie de la porte. N'oubliez pas que vous ne devez jamais appliquer de tension à la broche de sortie d'une porte logique. La diode empêche ce cas de figure.

Si vous avez compris les bases des portes logiques, vous voici prêt à réaliser votre premier vrai projet, qui utilisera toutes les notions abordées jusqu'à présent.

opyright © 2013 Eyrolles.

Expérience 20 : un code secret

Supposons que vous ne voulez pas que votre ordinateur soit utilisé par autrui. Deux solutions sont possibles : une solution logicielle ou une solution matérielle. La première pourrait se traduire par un programme de démarrage qui intercepterait le processus d'allumage de l'ordinateur et demanderait un mot de passe. Vous pourriez certainement procéder ainsi, mais je pense qu'il sera plus instructif ici d'opter pour une solution matérielle. Je pense en effet à un pavé numérique sur lequel l'utilisateur devra saisir un code secret pour que l'ordinateur puisse s'allumer.

Vous aurez besoin des éléments suivants :

- 1 pavé numérique. Comme spécifié dans la liste du matériel à acheter, figurant en début de chapitre, ce pavé doit posséder une borne ou une sortie commune. Le schéma de la fig. 4-82 illustre cette caractéristique. À l'intérieur du clavier, un conducteur (que j'ai dessiné en rouge pour le distinguer des autres) se connecte à l'un des côtés de chaque bouton-poussoir. Ce conducteur est commun à l'ensemble. Il sort du pavé sur un connecteur latéral ou un ensemble de broches situé en bas du pavé, que j'ai dessiné en jaune.

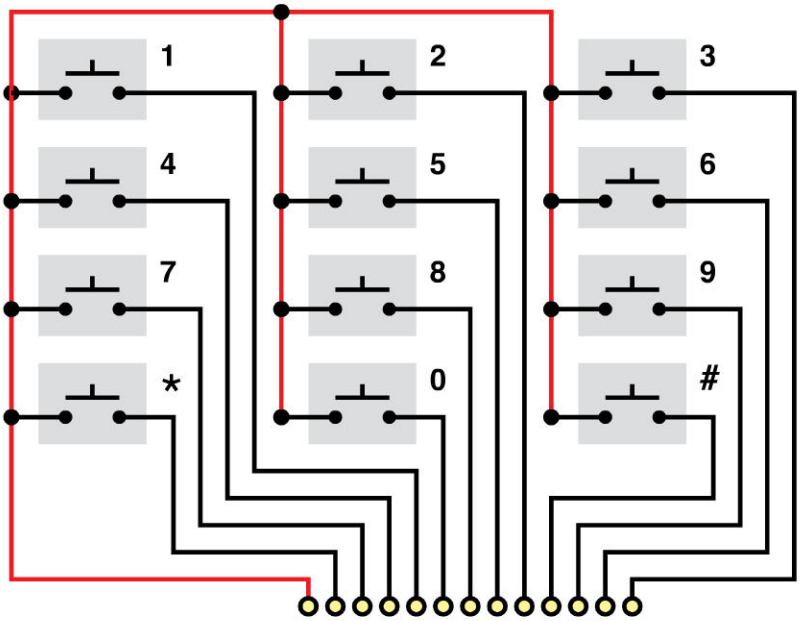


Figure 4-82. *Le pavé numérique nécessaire à l'expérience 20 incorpore une borne commune connectée à l'un des côtés de chacun des 12 boutons-poussoirs. Le fil de la borne commune est montré ici en rouge pour faciliter son identification.*

- Les pavés qui utilisent le codage matriciel ne fonctionnent pas avec le circuit qui va être construit. Si le pavé Velleman, que je recommande, n'est pas disponible et que vous n'arrivez pas à en trouver un similaire, vous pouvez utiliser 12 boutons-poussoirs unidirectionnels unipolaires distincts. Bien sûr, il vous en coûtera un peu plus cher.
- 1 circuit logique 74HC08 à quatre portes AND
- 1 circuit logique 74HC04 à six inverseurs
- 1 circuit timer 555

Problème de la garantie

Si vous menez ce projet jusqu'à son terme, vous serez amené à ouvrir votre ordinateur de bureau, à couper un fil et à percer un trou dans le boîtier. Sans aucun doute, votre garantie deviendra nulle. Si cela vous inquiète, trois options s'offrent à vous :

1. Monter le circuit sur une platine de montage et en rester là.

2. Mettre en œuvre le projet sur un autre appareil qu'un ordinateur.

3. Mettre en œuvre le projet sur un ancien ordinateur.

Figure 4-81. *Attention : votre garantie pourrait devenir nulle et non avenue.*

opyright © 2013 Eyrolles.

- 1 relais à enclenchement, 5 V, DPST ou DPDT, 2 formes C, Panasonic DS2E-SL2-DC5V ou similaire. Il doit posséder deux bobines distinctes (l'une pour fermer, l'une pour ouvrir), avec des entrées séparées.
- 3 LED de 5 mm, de couleur indifférente
- 1 nappe de câbles, avec six conducteurs minimum, pour obtenir un résultat de qualité. Vous pouvez utiliser une nappe vendue pour les disques durs et détacher les six conducteurs dont vous aurez besoin.
- Des outils pour ouvrir l'ordinateur, percer quatre trous et découper le boîtier, afin de créer une ouverture rectangulaire pour le pavé. Vous aurez aussi besoin de quatre écrous pour fixer ensuite le pavé au boîtier de l'ordinateur.

Schéma

Cette fois, j'aimerais que nous nous intéressions d'abord au schéma. Commençons par sa version simplifiée (fig. 4-83).

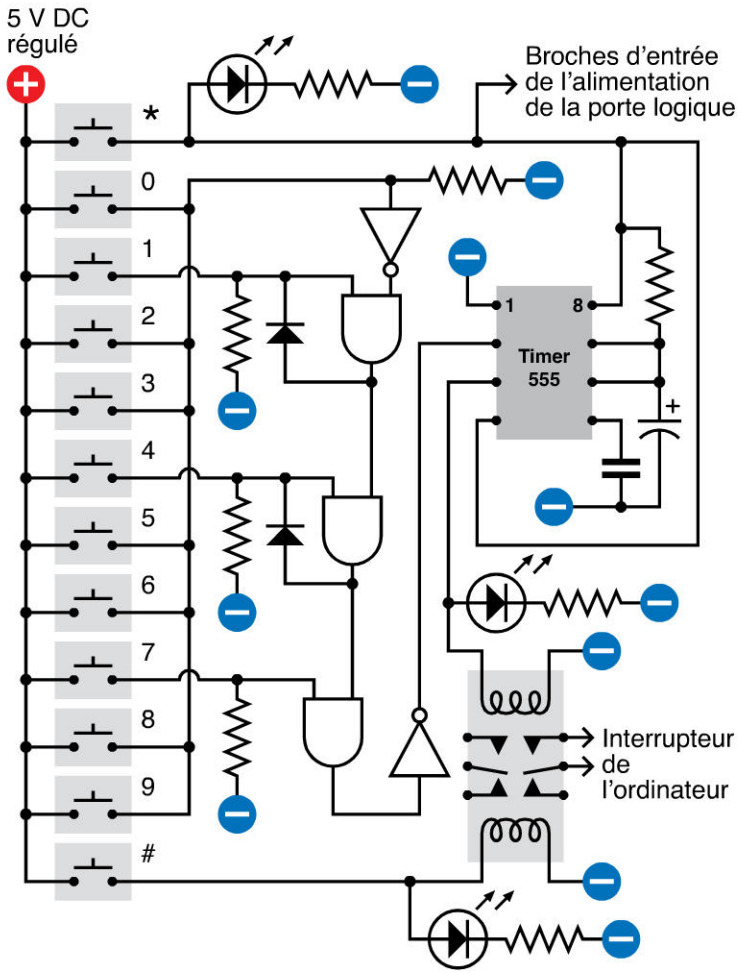


Figure 4-83. *Schéma simplifié présentant la structure de base du circuit de verrouillage.*

Copyright © 2013 Eyrolles.

Je souhaite que ce circuit soit alimenté par pile, afin que vous n'ayez pas besoin d'une alimentation électrique distincte ou (pire) que vous n'essayiez pas d'exploiter le bus 5 V de votre ordinateur. L'alimentation par pile signifie que le circuit doit être en position OFF la plupart du temps, pour empêcher que la pile ne se vide. Comme le pavé numérique possède deux touches disponibles (l'étoile et le dièse), je vais choisir la première comme bouton de mise sous tension. Quand vous appuierez sur ce bouton, la LED en haut du schéma s'allumera pour confirmer le bon fonctionnement de l'ensemble. Cela provoquera l'alimentation de deux circuits logiques et du timer 555. Vous devrez maintenir la touche étoile enfoncée, tandis que vous saisirez un code à trois chiffres pour déverrouiller l'ordinateur.

J'ai choisi arbitrairement comme code à trois chiffres 1-4-7. Observons ce qui se passe quand nous indiquons cette séquence (naturellement, si vous construisez le circuit, vous pourrez le câbler aves les trois chiffres de votre choix).

En appuyant sur le bouton 1, vous appliquez une alimentation positive à l'une des entrées logiques de la première porte AND. L'autre entrée logique de cette porte est également positive, car un inverseur l'alimente ; l'entrée de l'inverseur est maintenue négative par une résistance de rappel vers le niveau bas. Quand un inverseur possède une entrée négative, il fournit une sortie positive ; par conséquent, le fait d'appuyer sur le bouton 1 active la porte AND et rend sa sortie positive. La porte AND se ferme elle-même, tandis que la sortie retourne à l'entrée reliée à l'interrupteur via une diode. La sortie de la porte reste donc à l'état haut, même une fois que vous avez relâché le bouton 1.

La sortie de la première porte AND alimente aussi une entrée logique de la deuxième porte AND. Quand vous appuyez sur le bouton 4, vous envoyez une tension positive à l'autre entrée logique de cette porte AND : sa sortie passe à l'état haut et se verrouille elle-même, tout comme la première porte.

La deuxième porte AND alimente la troisième porte AND. Quand vous appuyez sur le bouton 7, la troisième porte AND modifie sa sortie de l'état bas à l'état haut. L'opération s'effectuant via un inverseur, la sortie de l'inverseur passe de l'état haut à l'état bas et atteint à son tour la gâchette d'un timer 555 câblé en mode monostable.

Quand la gâchette d'un temporisateur 555 passe de l'état haut à l'état bas, le timer émet une impulsion positive en sortie, sur la broche 3. L'impulsion atteint la bobine supérieure du relais à enclenchement et provoque aussi le clignotement de la LED pour confirmer que le code a été accepté et le relais activé.

Deux des contacts du relais sont reliés au bouton de mise sous tension de votre ordinateur. J'expliquerai plus loin pourquoi cela ne devrait pas présenter de danger avec un ordinateur actuel.

Comme nous nous servons d'un relais à enclenchement, il bascule dans son état ON et y demeure, même quand l'impulsion d'alimentation en provenance du timer prend fin. À présent, vous pouvez relâcher la touche étoile du pavé numérique pour déconnecter l'alimentation par pile de ce système de verrouillage, et appuyer sur le bouton de mise sous tension de l'ordinateur.

À la fin de la session de travail, éteignez votre ordinateur comme à l'ordinaire, puis appuyez sur le bouton # du pavé numérique. Le relais bascule alors dans son autre position et réactive le système de verrouillage.

opyright © 2013 Eyrolles.

Saisies incorrectes

Que se passe-t-il si vous saisissez un code erroné ? Si vous appuyez sur un bouton autre que 1, 4 ou 7, une tension positive est envoyée à l'inverseur situé vers le haut du schéma. La tension positive supplante la tension négative appliquée à l'inverseur, via une résistance de rappel vers le niveau bas, et provoque la sortie par l'inverseur d'une tension négative, qu'il applique à l'une des entrées logiques de la première porte AND. Si la porte AND est fermée, l'entrée négative la met hors tension. Si cette entrée alimente aussi la deuxième porte AND, elle place également cette dernière hors tension.

Ainsi, une erreur lors de la saisie du premier, deuxième ou troisième chiffre du code secret oblige à recommencer toute la séquence.

Que se passe-t-il si vous n'entrez pas les chiffres 1, 4 et 7 dans le bon ordre ? Le circuit ne réagira pas. La troisième porte AND a besoin d'une entrée à l'état haut fournie par la deuxième porte AND, tout comme la deuxième porte AND qui utilise celle fournie par la première porte AND. Par conséquent, vous devez activer les portes AND dans le bon ordre.

Questions-réponses

Pourquoi utiliser un timer 555 pour transmettre l'impulsion au relais ? Parce que la sortie logique d'une porte AND ne peut pas délivrer une puissance suffisante. J'aurais pu faire passer l'impulsion par un transistor, mais j'aime l'idée d'une impulsion de longueur fixe pour faire basculer le relais et allumer une LED pendant 1 seconde environ, indépendamment de la durée pendant laquelle l'utilisateur appuie sur le bouton 7.

Pourquoi ai-je besoin de trois LED ? Comme vous appuyez sur des boutons pour déverrouiller votre ordinateur, vous devez savoir ce qui se passe. La LED de mise sous tension indique que la pile n'est pas déchargée. La LED de relais actif vous informe que le système est désormais déverrouillé, au cas où vous seriez dans l'incapacité d'entendre le clic du relais. La troisième LED, système à nouveau verrouillé, vous apprend que vous avez sécurisé votre ordinateur.

Comme toutes les LED sont commandées directement depuis l'alimentation de 5 V ou depuis la sortie du timer 555, il n'est pas nécessaire qu'elles soient de basse intensité ; elles peuvent être utilisées avec des résistances en série de 330 Ω.

Comment connecter le pavé numérique au circuit ? C'est là que la nappe de câbles entre en scène. Retirez soigneusement l'isolant de chacun des conducteurs et soudez-les à au connecteur du pavé numérique. Introduisez les conducteurs à l'autre extrémité du câble dans la platine de montage (quand vous testez le circuit) ou soudez-les à la plaque perforée (quand vous montez le circuit de manière définitive). Recherchez un emplacement commode dans le boîtier de l'ordinateur où vous pourriez fixer la plaque perforée, à l'aide d'un ruban adhésif double-face ou de petits écrous. Ajoutez un support de pile de 9 V et n'oubliez pas le régulateur de tension pour abaisser la tension jusqu'à 5 V.

Installation sur platine de montage

À n'en pas douter, vous avez compris que les platines de montage sont très pratiques pour installer rapidement certains composants et créer des connexions. Mais la disposition de leurs conducteurs vous contraint à placer les composants selon des configurations guère intuitives. Cependant, si vous comparez soigneusement le schéma de la fig. 4-84 à celui de la fig. 4-83, vous constaterez que les connexions sont identiques.

opyright © 2013 Eyrolles.

Pour aider à la compréhension, j'ai représenté les portes logiques qui existent à l'intérieur des circuits. J'ai aussi appliqué un code couleur aux fils d'alimentation, comme précédemment, afin de réduire les risques de confusion. Le côté positif de l'alimentation n'accède qu'à la borne commune du pavé numérique et vous devez appuyer sur la touche étoile pour renvoyer l'alimentation à la nappe de câbles, afin d'alimenter les circuits.

Notez que les numéros du pavé qui ne font pas partie de la combinaison sont tous reliés entre eux. Cette situation peut se révéler malcommode si vous devez modifier la combinaison à l'avenir. Je proposerai une autre solution dans la section « Améliorations » page 203. Pour l'heure, installez un fil à partir de chaque contact du pavé numérique jusqu'au circuit de la plaque de montage et reliez les numéros « incorrects » du pavé avec des cavaliers sur la platine de montage.

Notez que si vous utilisez un multimètre pour tester les entrées et les portes AND, et que votre doigt touche la sonde du multimètre, cela pourrait suffire à déclencher les entrées CMOS sensibles et fournir une alimentation positive erronée.

Si vous montez le circuit et qu'il ne fonctionne pas, il est fort probable que vous ayez oublié de maintenir la touche étoile enfoncée.

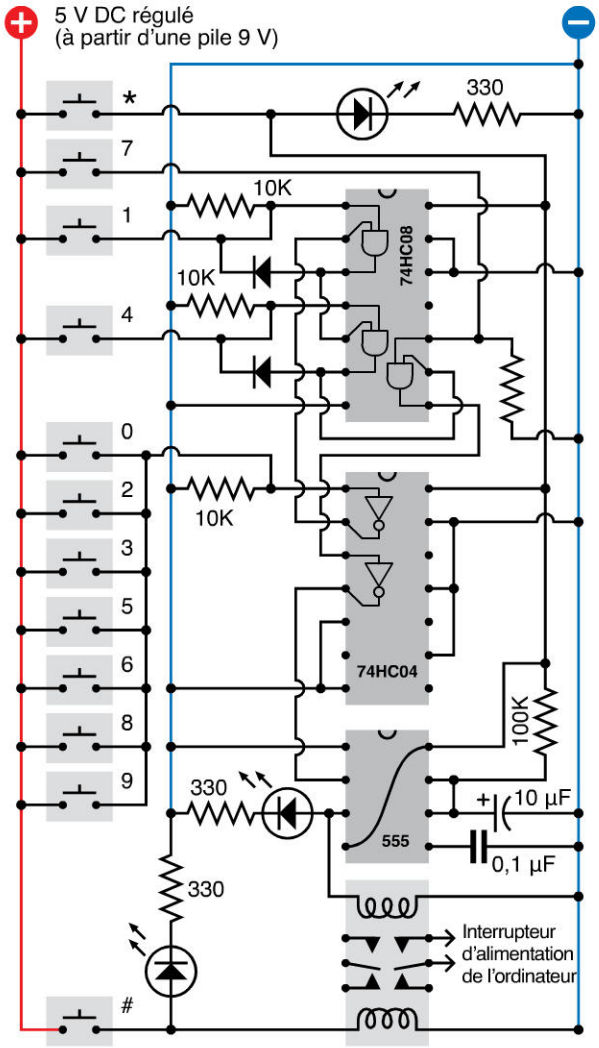


Figure 4-84. *Schéma redessiné pour montrer comment les composants peuvent être disposés sur une platine de montage.*

Copyright © 2013 Eyrolles.

Interface de l'ordinateur

Les anciens ordinateurs comportaient à l'arrière un interrupteur, relié à une lourde boîte métallique à l'intérieur, qui transformait le courant domestique en tensions régulées, adaptées à l'appareil. La plupart des ordinateurs actuels ne sont plus conçus ainsi : en laissant l'ordinateur branché, vous appuyez sur un bouton du boîtier (PC) ou du clavier (Mac), qui envoie une impulsion à basse tension à la carte-mère.

Ce système est idéal pour nous, car nous n'avons pas à nous soucier des tensions plus élevées. N'envisagez même pas d'ouvrir le boîtier métallique de l'alimentation électrique qui contient un ventilateur. Intéressez-vous seulement au câble (qui contient généralement deux conducteurs, sur un PC) reliant le bouton de mise sous tension à la carte-mère.

Pour vous assurer d'avoir identifié le bon câble, débranchez votre ordinateur, reliez-vous à la masse (car les ordinateurs contiennent des circuits CMOS sensibles à l'électricité statique) et découpez soigneusement l'un des deux conducteurs du câble. Puis branchez l'ordinateur et essayez d'utiliser le bouton de mise sous tension. Si rien ne se passe, vous avez probablement coupé le bon fil. Même si vous avez coupé le mauvais fil, votre ordinateur ne pourra pas plus démarrer, et c'est bel et bien ce que nous voulions. Rappelez-vous que nous n'allons pas soumettre ce fil à la moindre tension. Nous allons simplement utiliser le relais comme interrupteur pour reconnecter le conducteur que vous avez coupé. Vous ne devriez rencontrer aucun problème, mais consultez le manuel de votre ordinateur si vous craignez de commettre une erreur.

Une fois que vous avez coupé l'un des conducteurs du câble, débranchez à nouveau votre ordinateur et laissez-le dans cet état durant les étapes suivantes.

Recherchez le point de raccordement du fil à la carte-mère. Généralement, il y a un petit connecteur débrochable. Tout d'abord, marquez-le de façon à pouvoir le reconnecter correctement, puis déconnectez-le.

Retirez l'isolation des deux extrémités du fil que vous avez coupé et soudez un morceau supplémentaire de fil aux deux conducteurs, comme illustré à la fig. 4-85, avec une gaine thermo-rétractable pour protéger les joints de soudure (ceci est très important).

Passez le nouveau fil jusqu'au relais à enclenchement, en vous assurant que vous le fixez à la paire de contacts qui se ferment, à l'intérieur du relais, quand elle est alimentée par l'opération de déverrouillage. En effet, il ne faudrait pas que vous déverrouilliez l'ordinateur quand vous croyez le verrouiller, et inversement.

Reconnectez le connecteur que vous avez débranché de la carte-mère, branchez l'ordinateur et essayez de l'allumer. Si rien ne se passe, c'est probablement bon signe ! Saisissez le code secret sur votre pavé numérique (tout en maintenant la touche étoile enfoncée pour fournir l'alimentation de la pile) et écoutez le clic lorsque le relais se ferme. Appuyez alors à nouveau sur le bouton de mise sous tension et tout doit fonctionner.

opyright © 2013 Eyrolles.

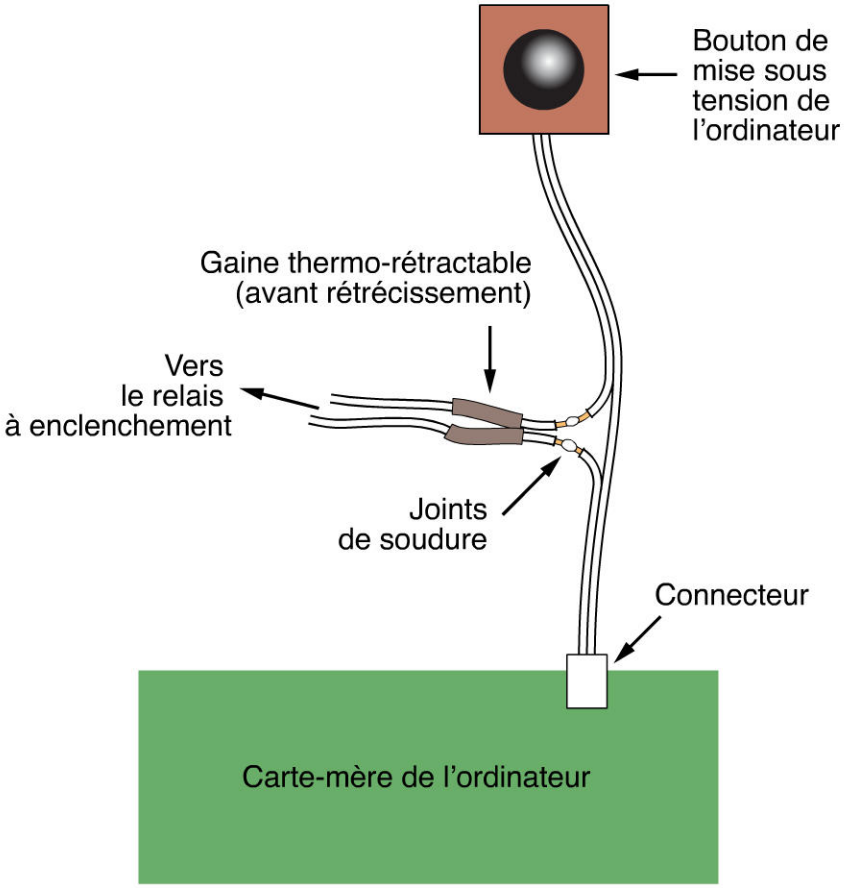


Figure 4-85. *Le projet de verrouillage par code secret peut être interfacé avec un ordinateur de bureau classique en coupant l'un des conducteurs du fil du bouton-poussoir d'alimentation, en soudant une extension et en recouvrant les soudure d'une gaine thermo-rétractable.*

Améliorations

À la fin d'un projet, il reste toujours des améliorations à apporter.

Pour sécuriser encore plus l'installation, vous pouvez remplacer les vis du boîtier de l'ordinateur par des vis inviolables. Dans ce cas, vous aurez besoin d'un outil spécial pour les placer (ou les retirer, si votre système de sécurité ne fonctionne plus pour une raison ou une autre).

Copyright © 2013 Eyrolles.

Autre amélioration possible : un timer 555 supplémentaire, activé par la touche étoile, pourrait délivrer l'alimentation aux autres circuits pendant une période réduite de 30 secondes, par exemple, ce qui vous laisserait plus de temps pour déverrouiller le système. Vous n'aurez alors plus besoin de maintenir la touche étoile enfoncée pendant que vous saisissez le code de déverrouillage. Un temporisateur 555 peut fournir l'alimentation aux autres circuits, car ils n'en utilisent pas beaucoup. Je n'ai pas choisi cette option pour des raisons de simplicité.

Une autre amélioration, si vous êtes un inconditionnel de la sécurité, consisterait à utiliser un code à quatre chiffres. Après tout, le circuit 74HC08 possède une porte non utilisée. Vous pourriez l'insérer dans la chaîne des portes AND existantes et la câbler sur une autre touche du pavé numérique.

Une véritable amélioration serait de pouvoir modifier le code sans avoir à dessouder et ressouder les fils. Vous pourriez utiliser à cette fin les connecteurs miniatures évoqués dans l'expérience 14. Ceux-ci doivent vous permettre de permuter les extrémités des fils du pavé numérique.

Et enfin, pour ceux qui sont complètement et définitivement paranoïaques, vous pouvez vous arranger pour que la saisie d'un code erroné fasse basculer un deuxième relais à haut ampérage, qui fournit une surcharge massive : cela fera fondre votre unité centrale et enverra une forte impulsion, via une bobine magnétique, à votre disque dur, détruisant instantanément toutes ses données (fig. 4-86). Sincèrement, si vous voulez protéger vos informations, la destruction du matériel possède de grands avantages par rapport à la suppression de données par un logiciel. C'est à la fois plus rapide, plus difficile à interrompre et plus définitif. Si jamais un représentant de l'État venait à votre domicile et demandait à allumer votre ordinateur pour vérifier la présence de partage de fichiers illégaux, il suffirait de lui communiquer un code incorrect et d'attendre la forte odeur dégagée par la fusion de l'unité centrale…

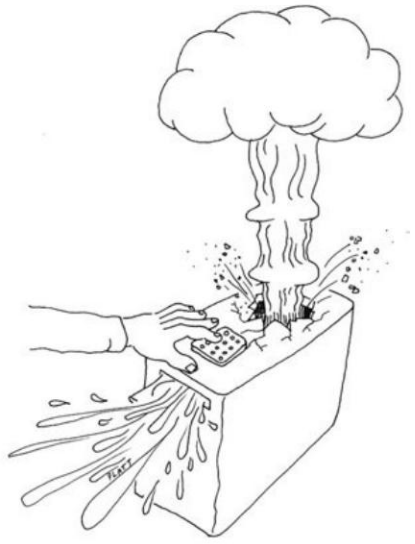


Figure 4-86. *Pour ceux qui sont totalement paranoïaques, un système capable de s'autodétruire contrôlé par un code secret offre une haute protection contre le vol de données.*

Mais si vous choisissez cette option, je décline par avance toute responsabilité quant aux conséquences.

D'un point de vue plus réaliste, aucun système n'est totalement sécurisé. L'avantage d'un dispositif de verrouillage matériel, c'est que si une personne en vient à bout (en découvrant comment retirer les vis inviolables ou en arrachant le pavé numérique à l'aide de cisailles métalliques), vous saurez au moins qu'il s'est passé quelque chose. En revanche, si vous utilisez un logiciel de protection par mot de passe et que quelqu'un le contourne, vous ne serez jamais informé que votre système aura été mis en danger.

Copyright © 2013 Eyrolles.

Expérience 21 : un jeu de rapidité

Avec ce projet, nous allons étudier plus en détail le concept de retour d'état (feedback), où la sortie est réacheminée pour affecter l'entrée, dans le cas présent en la bloquant. C'est un petit projet, mais assez subtil, dont le principe vous sera très utile à l'avenir.

Vous aurez besoin des éléments suivants :

- 1 circuit 74HC32 contenant 4 portes OR
- 2 timers 555
- 1 interrupteur SPDT
- 2 interrupteurs tactiles SPST
- Diverses résistances
- 1 alimentation de 5 V avec un régulateur de puissance

Objectif

Dans certains jeux télévisés, les participants sont sur le qui-vive pour répondre aux questions. Le premier qui appuie sur son bouton bloque automatiquement celui des autres candidats. Comment créer un circuit avec la même fonction ?

Vous trouverez sur Internet plusieurs sites proposant ce type de circuit, mais il manque généralement certaines fonctionnalités qui me semblent indispensables. L'approche que je propose est à la fois plus simple et plus élaborée. Elle est plus simple car elle nécessite très peu de circuits intégrés, mais plus élaborée car elle intègre un contrôle qui rendra le jeu plus réaliste.

Je commencerai par développer une version à deux joueurs. Puis je montrerai comment étendre cette version à quatre participants ou plus.

Expérience conceptuelle

Je souhaite montrer ici comment ce type de projet peut prendre forme, en partant d'une simple idée. J'espère que vous serez amené à concrétiser vos propres idées à l'avenir, ce qui est nettement plus gratifiant que reproduire celles des autres. Mais pour l'heure, accompagnez-moi dans cette expérience conceptuelle, de l'énoncé du problème jusqu'à sa solution.

Considérez d'abord le concept de base : deux personnes ont chacune un bouton, et quiconque répond le premier bloque l'autre candidat. Comme un dessin permet généralement de mieux comprendre, je commencerai par là. Sur la fig. 4-87, le signal émis par chaque bouton passe à travers un composant que j'appellerai bouton bloqueur, activé par le bouton du candidat adverse. Je ne suis pas encore certain de l'aspect et du fonctionnement du bouton bloqueur.

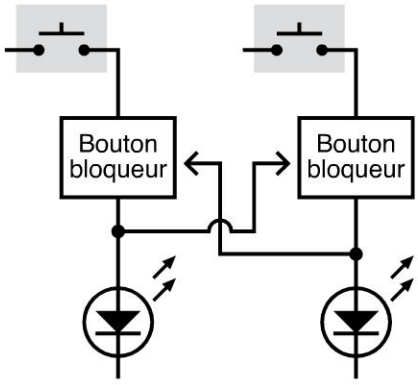


Figure 4-87. *Voici le concept de base de ce projet de quizz : la sortie d'un bouton doit être réintroduite pour intercepter la sortie d'un autre bouton. À ce stade, la façon dont fonctionne le circuit du bouton bloqueur n'a pas encore été définie.*

En regardant le dessin, je flaire un problème. Si je veux étendre le jeu à trois joueurs, la situation sera plus complexe, car chaque joueur devra activer le bouton bloqueur de ses deux adversaires, comme l'illustre la fig. 4-88. Et si la version autorise quatre joueurs, cela deviendra encore plus compliqué.

Chaque fois que je suis confronté à ce genre de complexité, je me dis qu'il doit exister une meilleure solution.

opyright © 2013 Eyrolles.

Un autre problème se pose. Lorsqu'un joueur aura cessé d'appuyer sur son bouton, ceux des autres joueurs seront à nouveau débloqués. J'ai donc besoin d'un circuit à verrouillage pour retenir le signal du premier joueur et continuer à bloquer les autres joueurs.

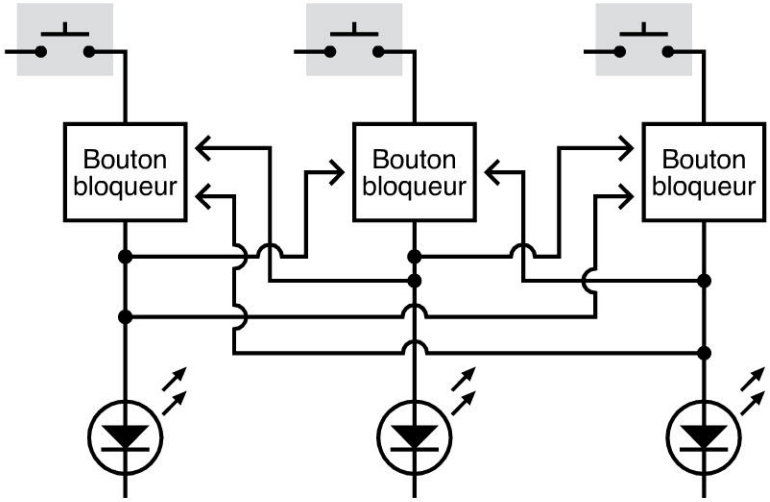


Figure 4-88. *Le concept de quizz devient plus complexe si nous ajoutons un bouton-poussoir. À présent, chaque bouton doit en bloquer deux autres. Si l'on en ajoute un quatrième, le circuit devient très difficile à gérer. Il doit exister une solution plus élégante.*

La situation paraît encore plus complexe. Mais attendez une minute : si je dispose d'un circuit à verrouillage qui permet au vainqueur de retirer son doigt du bouton, je n'ai pas à me soucier de savoir si les autres candidats continuent à appuyer sur leur propre bouton, y compris le vainqueur lui-même. Dès que le signal de ce dernier est verrouillé, tous les boutons peuvent être bloqués. Les choses en deviennent plus simples. La séquence des événements peut être résumée ainsi :

1. Le premier joueur appuie sur son bouton.
2. Le signal est verrouillé.
3. Le signal verrouillé est réinjecté et bloque tous les boutons.

La fig. 4-89 illustre cette séquence. La configuration est désormais modulaire et peut être étendue à pratiquement n'importe quel nombre de joueurs, en ajoutant simplement de nouveaux modules.

Toutefois, il manque quelque chose d'important : un interrupteur de réinitialisation, pour replacer le système en mode initial après que les joueurs ont répondu et que le vainqueur l'a emporté. En outre, il me faut pouvoir empêcher les joueurs d'appuyer trop tôt sur leur bouton, avant même que la question n'ait été totalement posée. Peut-être puis-je assigner cette fonction à un seul interrupteur, commandé par le présentateur du quizz. Dans sa position Réinitialisation, l'interrupteur peut réinitialiser le système et bloquer l'alimentation des boutons. Dans sa position Jeu, l'interrupteur ne maintient plus le système en mode réinitialisation et fournit l'alimentation aux boutons. J'illustre ce cas sur la fig. 4-90. Je n'y présente que deux joueurs, afin de ne pas encombrer le schéma, mais le concept peut être facilement étendu à plus de candidats.

opyright © 2013 Eyrolles.

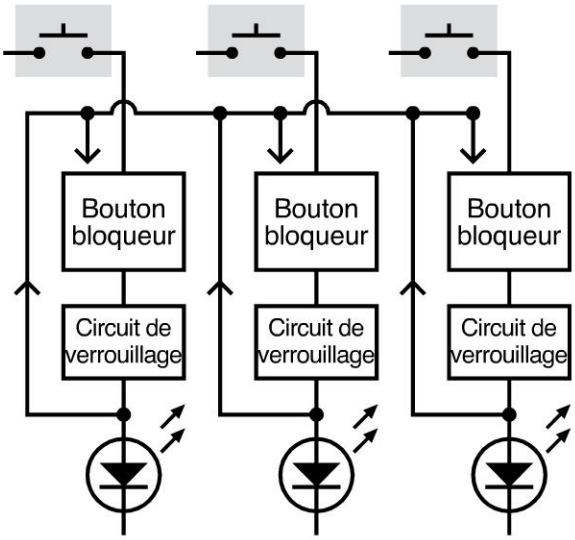


Figure 4-89. *Si l'on ajoute un circuit de verrouillage sous chaque bouton, il peut maintenir une entrée et bloquer celles des autres boutons. Le concept s'en trouve simplifié.*

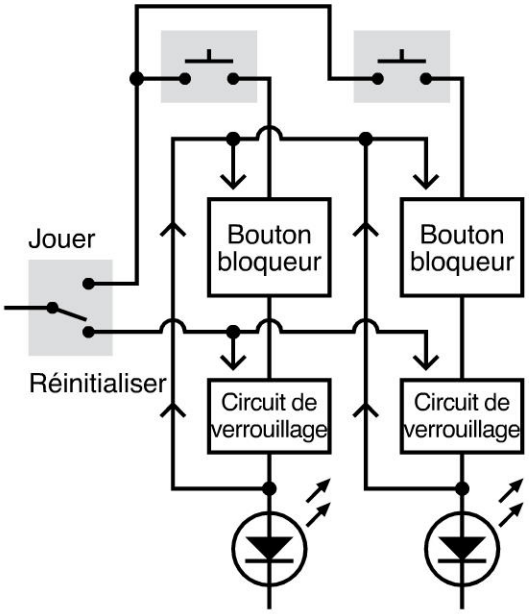


Figure 4-90. *Le présentateur du quizz aura besoin d'un interrupteur pour activer initialement les boutons, puis réinitialiser le circuit une fois qu'une entrée gagnante aura été enregistrée.*

Je dois maintenant résoudre un problème logique sur le diagramme. Dans mon schéma, la sortie du circuit de verrouillage située à gauche, qui remonte jusqu'aux boutons bloqueurs, peut aussi atteindre l'autre moitié du circuit (dans la direction opposée aux flèches), car tout est relié. Autrement dit, si la LED de gauche s'allume, la LED de droite s'allumera aussi. Comment l'en empêcher ?

Je pourrais placer des diodes dans les fils remontant des circuits de verrouillage pour empêcher que le courant ne les traverse dans l'autre sens. Mais je propose une solution plus simple : ajouter une porte OR, puisque les entrées d'une telle porte sont séparées électriquement les unes des autres (voir fig. 4-91).

En règle générale, une porte OR ne possède que deux entrées logiques. Cela m'empêchera-t-il d'ajouter d'autres joueurs ? Non, car il est possible d'acheter une porte OR à huit entrées. Si l'une de ces entrées est à l'état haut, la sortie passera à l'état haut. S'il y a moins de huit joueurs, je peux relier les entrées non utilisées à la masse et les ignorer. Si j'étudie à nouveau la fig. 4-91, j'ai désormais une idée plus claire de ce bouton bloqueur. Je pense que ce devrait être une autre porte logique. Ce bouton devrait dire, en quelque sorte : « S'il n'y a qu'une seule entrée, en provenance d'un bouton, je la laisse passer. Mais s'il y a une deuxième entrée issue de la porte OR, je la bloque. »

Ce comportement s'apparente à celui d'une porte NAND, mais avant de choisir les circuits intégrés adéquats, je dois d'abord décider comment sera constitué le circuit de verrouillage. Je pourrais acheter une bascule bistable, qui se place en position ON si elle reçoit un signal, et en position OFF si elle en reçoit un autre, mais ces circuits avec bascule bistable tendent à proposer plus de fonctions que je n'en ai besoin dans ce circuit. Par conséquent, je vais utiliser à nouveau des timers 555, en mode bistable. Ils requièrent très peu de connexions, fonctionnent simplement et peuvent fournir le courant en quantité suffisante. Seul inconvénient, ils nécessitent une entrée négative sur la gâchette pour créer une sortie positive. Mais je pense que l'on peut s'en accommoder.

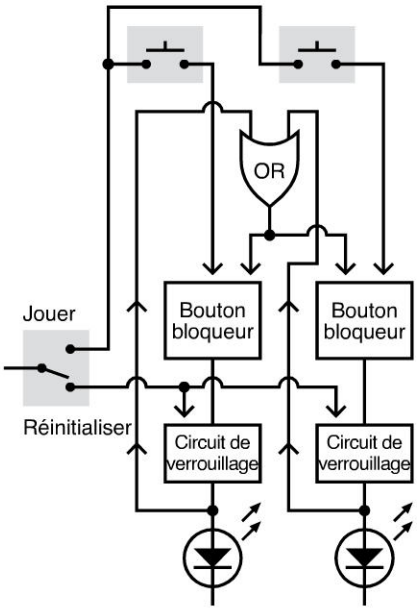


Figure 4-91. *Pour empêcher que la sortie d'un circuit de verrouillage ne rejoigne celle d'un autre circuit de verrouillage, les sorties peuvent être combinées dans une porte OR.*

Copyright © 2013 Eyrolles.

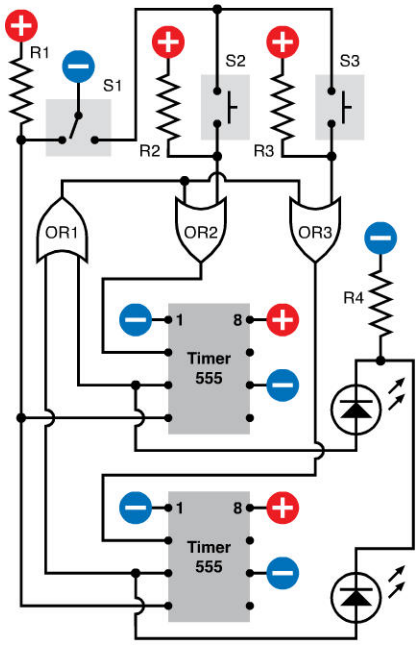


Figure 4-92. *Maintenant que le concept du circuit du quizz a été esquissé, les composants spécifiques peuvent être insérés, avec des entrées et des sorties compatibles.*

La fig. 4-92 propose un schéma simplifié. Comme j'aime montrer les broches des temporisateurs 555 à leur emplacement exact, je dois déplacer quelque peu les composants pour réduire les croisements de fils, mais vous pouvez remarquer que logiquement, l'idée est la même.

Avant de monter le circuit, relisez bien la partie théorique afin de vérifier que vous ne commettez pas d'erreurs. Il faut se rappeler que, comme le timer 555 nécessite une entrée négative sur sa broche 2 (la gâchette) pour produire un signal de sortie, quand l'un des joueurs appuie sur son bouton, ce dernier doit créer un « flux » négatif à travers le circuit. Comme cela peut paraître contre-intuitif, j'ai dessiné trois schémas sur la fig. 4-93 pour montrer le fonctionnement.

À l'étape 1, le présentateur du quizz a posé une question et basculé son interrupteur sur la droite, pour fournir une alimentation (négative) aux boutons des joueurs. Aussi longtemps qu'aucun candidat n'appuie sur un bouton, les résistances de rappel vers le niveau haut délivrent une tension positive aux portes OR2 et OR3. Comme une porte OR possède une sortie positive si l'une de ses entrées est positive, OR2 et OR3 maintiennent positives les gâchettes des timers 555. Leurs sorties demeurent à l'état bas et rien ne se passe encore.

À l'étape 2, le joueur de gauche a appuyé sur son bouton. Comme OR2 possède maintenant deux entrées négatives, sa sortie est passée à l'état bas. Mais IC1 n'a pas encore réagi.

À l'étape 3, à peine une microseconde plus tard, IC1 a détecté la chute de tension sur sa gâchette : la sortie sur la broche 3 passe à l'état haut et la LED s'allume. Rappelez-vous que ce temporisateur 555 est en mode bistable et que, par conséquent, il se verrouille immédiatement dans cet état. Pendant ce temps, sa sortie réalimente OR1. Comme OR1 est une porte OR, une seule entrée à l'état haut suffit à produire une sortie à l'état haut, qui, en conséquence, réalimente OR2 et OR3. Maintenant que les portes disposent d'entrées à l'état haut, leurs sorties prennent également cet état et y resteront, quel que soit le bouton sur lequel l'un des candidats appuiera.

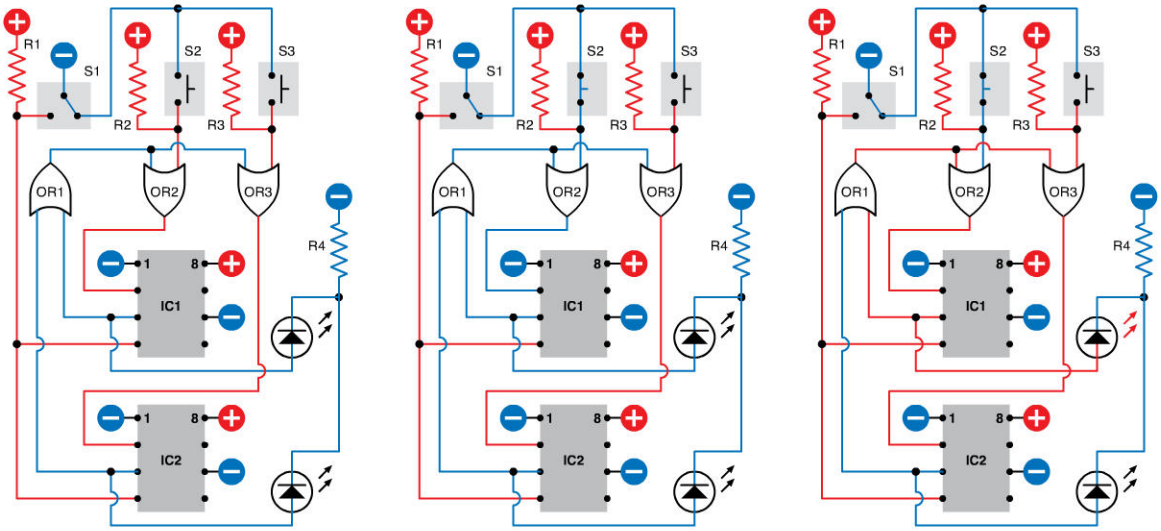


Figure 4-93. *Ces trois schémas montrent la prédominance des tensions les plus hautes et les plus basses (lignes en rouge et en bleu) à travers le circuit quand un candidat appuie sur un bouton-poussoir.*

Comme OR2 et OR3 possèdent maintenant des entrées et des sorties à l'état haut, les circuits intégrés IC1 et IC2 ne peuvent pas être déclenchés. Mais IC1 demeure verrouillé dans son état ON, la LED restant donc éclairée.

opyright © 2013 Eyrolles.

L'état d'IC1 ne peut être modifié que si le présentateur du quizz bascule son interrupteur vers la gauche, ce qui appliquera une alimentation négative aux broches de réinitialisation des deux timers. Leurs sorties passent alors à l'état bas, la LED s'éteint et le circuit retourne à l'état qui était le sien au démarrage. Après avoir réinitialisé le circuit, le présentateur peut poser une autre question, mais les boutons des candidats ne seront pas activés tant que le présentateur n'aura pas basculé à nouveau l'interrupteur vers la droite.

Il n'y a qu'une seule situation que je n'ai pas prise en compte : que se passe-t-il si deux joueurs appuient simultanément sur leur bouton ? Dans l'univers de l'électronique numérique, ce cas est hautement improbable. Même une seule microseconde de différence doit permettre au circuit de réagir et de bloquer le deuxième bouton. Mais, si par extraordinaire, les deux boutons étaient enfoncés absolument au même instant, les deux temporisateurs devraient réagir et les deux LED s'allumer, ce qui indiquerait qu'il y a match nul.

Dans l'hypothèse où vous éprouveriez quelques difficultés à passer d'une version à deux joueurs à une version à trois ou plus, j'ai présenté un schéma simplifié pour trois joueurs sur la fig. 4-94.

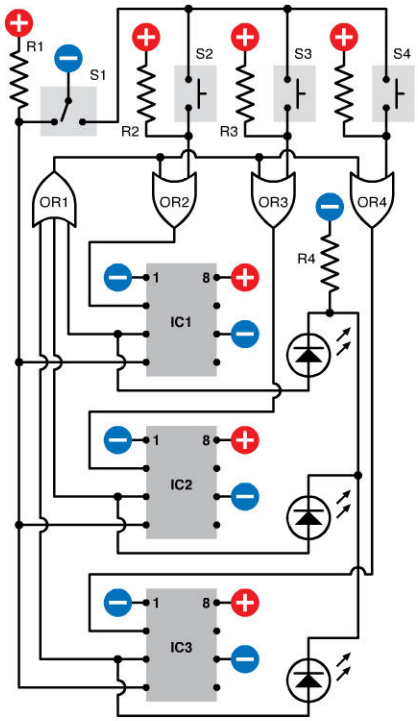


Figure 4-94. *Le schéma à deux joueurs peut être transformé sans peine en une version à trois joueurs, comme illustré ici, sous réserve que la première porte OR puisse gérer trois entrées.*

Installation sur platine de montage

Maintenant, il est temps de créer un schéma aussi proche que possible de la disposition sur la plaque de montage, afin que vous puissiez monter facilement le circuit. Le schéma est présenté sur la fig. 4-95 et les composants réels d'une platine de montage sur la fig. 4-96. Comme les seules portes logiques que j'ai utilisées sont les portes OR et qu'il n'y en a que trois, je n'ai besoin que d'un seul circuit logique : le circuit intégré 74HC32, qui contient quatre portes OR à deux entrées. Les deux portes OR sur la gauche du circuit intégré ont les mêmes fonctions que les portes OR2 et OR3 de mon schéma simplifié, et la porte OR en bas à droite du circuit intégré fonctionne comme OR1, recevant en entrée le signal de sortie (broche 3) de chaque timer 555. Si vous avez tous les composants, vous devez pouvoir les assembler et tester votre circuit assez rapidement.

Peut-être avez-vous noté que j'ai apporté une modification au schéma précédent. Un condensateur de 0,01 µF a été ajouté entre la broche 2 de chaque temporisateur 555 (l'entrée) et la masse. Pourquoi ? Parce que, lorsque j'ai testé le circuit sans les condensateurs, j'ai constaté que l'un ou/et l'autre des deux timers 555 pouvait être simplement déclenché en basculant S1, l'interrupteur du présentateur du quizz, sans que quiconque appuie sur un bouton.

Au premier abord, cela m'a surpris. Comment les temporisateurs ont-ils pu être déclenchés ? Peut-être ont-ils réagi à un rebond de l'interrupteur S1. En tout cas, les condensateurs ont résolu le problème. Ils pourront aussi ralentir légèrement la réponse des timers 555, mais pas assez pour interférer avec nos lents réflexes d'humains.

Quant aux boutons, peu importe s'ils provoquent des rebonds. Chaque temporisateur se verrouille à la toute première impulsion et ignore toute hésitation qui peut suivre.

Vous pouvez expérimenter le circuit en déconnectant les condensateurs de 0,01 µF et en basculant S1 d'avant en arrière une dizaine de fois. S'il s'agit d'un interrupteur de haute qualité, vous ne devriez connaître aucun problème. Sinon, des valeurs positives farfelues pourront s'afficher, en raison de courants parasites. Lors de la prochaine expérience, je vais développer cette notion de rebonds et vous expliquer comment les supprimer.

opyright © 2013 Eyrolles.

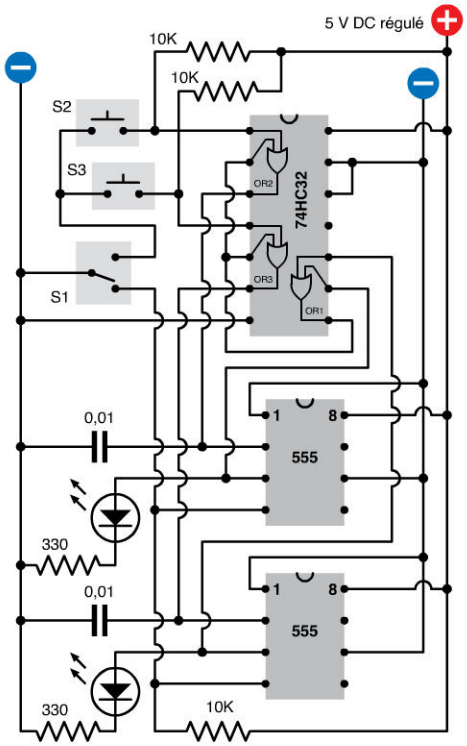


Figure 4-95. *Le passage du schéma simplifié à un circuit réel sur platine de montage entraîne inévitablement une disposition des fils moins évidente. Les connexions demeurent toutefois les mêmes.*

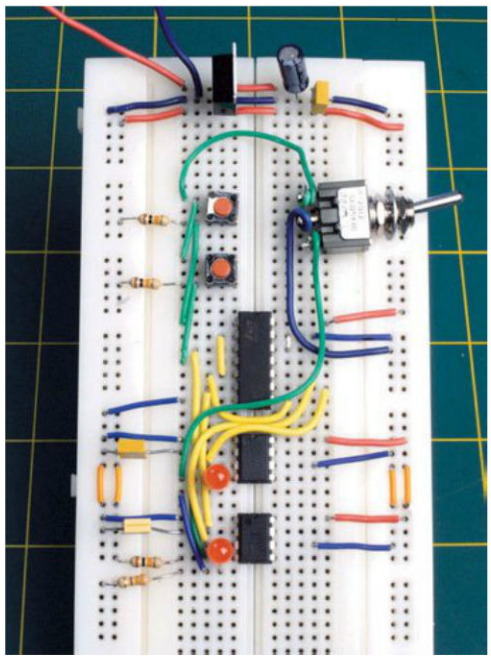


Figure 4-96. *Le circuit du quizz réalisé sur platine de montage, afin de tester le concept avant une implémentation grandeur nature.*

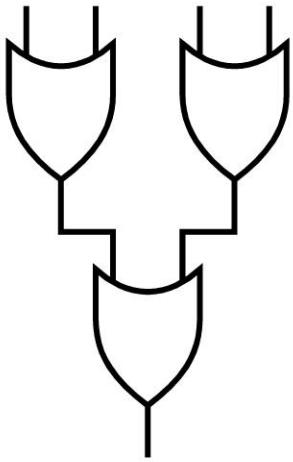


Figure 4-97. *Comme il n'existe pas dans le commerce de porte OR à quatre entrées, il suffit de relier ensemble trois portes OR à deux entrées.*

Améliorations

Après avoir monté le circuit sur la plaque de montage, si vous vous décidez à créer une version définitive du quizz, je vous suggère de l'étendre pour inclure au moins quatre participants. Cela nécessite une porte OR capable de recevoir quatre entrées. Le circuit intégré 74HC4078 est le choix évident, car il en autorise jusqu'à huit. Connectez simplement toute entrée non utilisée à la masse.

Autre solution, si vous avez déjà deux circuits 74HC32 et que vous ne souhaitez pas commander un circuit 74HC4078, vous pouvez regrouper trois des portes à l'intérieur d'un seul circuit 74HC32, de telle sorte qu'elles fonctionnent comme une porte OR à quatre entrées. Examinez le schéma logique de la fig. 4-97 illustrant trois portes OR et souvenez-vous que la sortie de chaque porte OR passera à l'état haut si au moins l'une des entrées se trouve dans l'état haut.

Pour une version à quatre joueurs, vous aurez besoin de deux timers 555 supplémentaires, de deux autres LED et de deux nouveaux boutons-poussoirs.

Je vous laisse le soin de concevoir le schéma de la version à quatre joueurs. Commencez par esquisser une version simplifiée, en ne montrant que les symboles logiques. Puis convertissez l'ensemble en une disposition pour platine de montage. Et, pour finir, une suggestion : à mon avis, un crayon, une gomme et du papier seront plus rapides, au début, qu'un logiciel de graphisme.

Copyright © 2013 Eyrolles.

Expérience 22 : bascule et rebond

Dans l'expérience précédente, j'ai précisé que le rebond des boutons du circuit ne poserait pas de problème, puisque les boutons activaient les timers 555 câblés en mode bistable. Aussitôt que le temporisateur reçoit la toute première impulsion, il bascule dans son nouvel état et s'y stabilise, ignorant tout bruit supplémentaire du circuit. Par conséquent, peut-on annuler le rebond d'un interrupteur ou d'un bouton à l'aide d'une bascule bistable ? Et comme certains circuits intégrés 74HCxx comportent une bascule bistable, pouvons-nous les utiliser à cette fin ?

La réponse à ces deux questions est oui, même si ce n'est pas aussi simple que cela puisse paraître.

Vous aurez besoin des éléments suivants :

- 1 circuit logique 74HC02 contenant 4 portes NOR et 1 circuit logique 74HC00 contenant 4 portes NAND
- 1 interrupteur unipolaire bidirectionnel
- 2 LED à basse intensité
- 2 résistances de 10K et 2 résistances d'1K

Assemblez les composants sur votre platine de montage, en suivant le schéma de la fig. 4-98. Quand vous alimentez le circuit (à travers l'alimentation régulée de 5 V), l'une des LED doit s'éclairer.

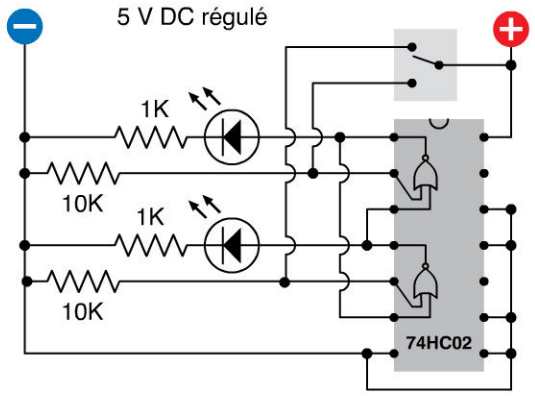


Figure 4-98. *Circuit simple pour tester le comportement de deux portes NOR câblées comme une bascule bistable qui conserve son état, une fois que l'impulsion d'entrée a cessé.*

Nous allons à présent effectuer quelque chose d'un peu étrange. Déconnectez l'interrupteur unipolaire bidirectionnel en saisissant le fil qui relie l'alimentation positive au pôle de l'interrupteur, et en retirant l'extrémité du fil de la platine de montage. Peut-être serez-vous surpris de constater que la LED demeure allumée.

Réintroduisez le fil dans la platine de montage, basculez l'interrupteur : la première LED doit s'éteindre, tandis que l'autre LED doit s'allumer. Retirez de nouveau le fil, et, une fois encore, la LED doit rester éclairée.

Le message à retenir est le suivant :

- Une bascule bistable ne nécessite qu'une impulsion initiale.
- Ensuite, elle ignore son entrée.

Copyright © 2013 Eyrolles.

Deux portes NOR ou deux portes NAND peuvent fonctionner comme bascule bistable :

- Utilisez les portes NOR quand vous recevez une entrée positive d'un interrupteur bidirectionnel.
- Utilisez les portes NAND quand vous recevez une entrée négative d'un interrupteur bidirectionnel.

Dans les deux cas, vous devez utiliser un interrupteur bidirectionnel.

J'ai déjà mentionné l'interrupteur bidirectionnel à trois reprises, car curieusement la plupart des ouvrages oublient de souligner ce point. Quand j'ai commencé à apprendre l'électronique, j'avais un mal fou à comprendre comment deux portes NOR ou deux portes NAND pouvaient supprimer les rebonds d'un simple bouton-poussoir SPST, jusqu'à ce que je réalise que ce n'était pas possible. Car lorsque vous mettez le circuit sous tension, les portes NOR (ou NAND) doivent savoir dans quel état commencer. Elles ont besoin d'une orientation initiale, qui leur vient de l'interrupteur se trouvant alors dans un état ou l'autre. Par conséquent, cet interrupteur doit être bidirectionnel.

J'utilise un autre schéma simplifié comportant plusieurs étapes, fig. 4-99, pour illustrer les modifications qui se produisent quand l'interrupteur bascule d'avant en arrière avec deux portes NOR. Pour vous rafraîchir la mémoire, j'ai aussi inclus une table de vérité contenant les sorties logiques des portes NOR pour chaque combinaison d'entrées.

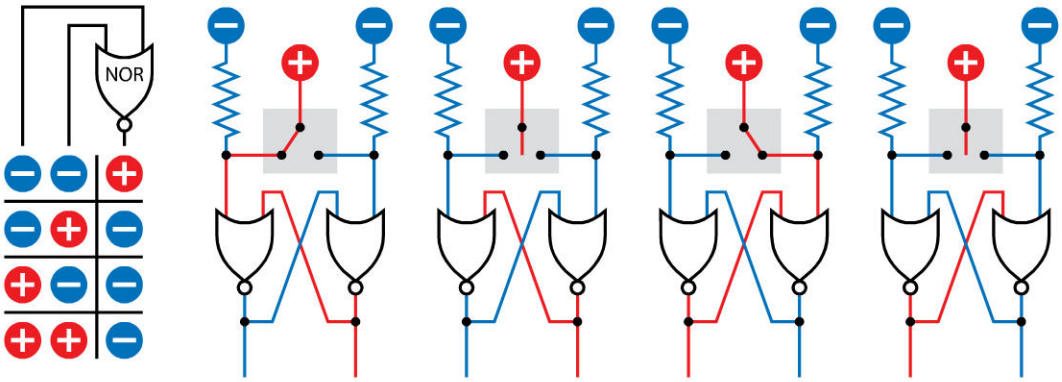


Figure 4-99. *À l'aide de deux portes NOR en liaison avec une entrée positive via un interrupteur SPDT, cette séquence de quatre schémas montre comment réagit un circuit à bascule bistable.*

Imaginons que l'interrupteur soit basculé à gauche. Il envoie un courant positif dans la partie gauche du circuit et remplace l'alimentation négative de la résistance de rappel vers le niveau bas. Par conséquent, nous pouvons être certains que la porte NOR située à gauche possède une entrée logique positive. Comme une entrée logique positive suffit pour qu'une porte NOR fournisse une sortie négative (voir la table de vérité), la sortie négative est appliquée à la porte NOR de droite. Cette dernière se retrouve alors avec deux entrées négatives, qui lui font transmettre une sortie positive. Cette sortie repart en direction de la porte NOR de gauche. Par conséquent, tout est stable dans cette configuration.

Voici maintenant le passage le plus intéressant. Supposons que vous déplaciez l'interrupteur pour qu'il ne touche aucun de ses contacts (ou imaginons que ses contacts rebondissent et ne puissent établir un bon contact, ou encore que vous débranchiez totalement l'interrupteur). Sans alimentation positive de l'interrupteur, l'entrée gauche de la porte NOR de gauche passe du positif

opyright © 2013 Eyrolles.

au négatif, suite à la présence de la résistance de rappel vers le niveau bas. Mais l'entrée de droite de cette porte demeure toujours positive, et comme une seule entrée positive suffit pour que la porte NOR maintienne sa sortie négative, rien ne change. Autrement dit, le circuit s'est stabilisé dans cet état.

À présent, si l'interrupteur est entièrement basculé à droite et fournit une alimentation positive à la broche droite de la porte NOR de droite, cette dernière reconnaît instantanément qu'elle possède une entrée logique positive et, en conséquence, modifie sa sortie logique en sortie négative. Celle-ci atteint l'autre porte NOR, qui a désormais deux entrées négatives, et dont la sortie devient positive. Cette sortie retourne vers la porte NOR de droite et le circuit se stabilise dans cet état.

Ainsi, les états de sortie des deux portes NOR changent de place. Ils basculent, puis se stabilisent, même si l'interrupteur rompt le contact ou est à nouveau déconnecté. Le deuxième ensemble de dessins de la fig. 4-100 montre exactement la même logique, à l'aide d'un interrupteur alimenté négativement et de deux portes NAND. Vous pouvez utiliser votre propre circuit 74HC00 pour tester le comportement décrit.

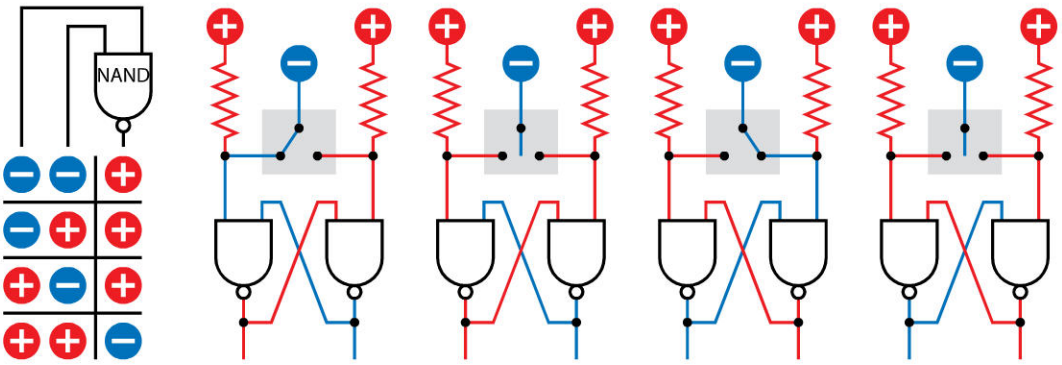


Figure 4-100. *Le schéma de la fig. 4-99 peut être recâblé à l'aide de portes NAND et d'une entrée négative.*

Deux de ces configurations sont des exemples de bascule bistable de type *jam-type*, ainsi appelée parce que l'interrupteur la contraint à répondre immédiatement et la bloque dans cet état. Vous pouvez utiliser ce circuit lorsque vous avez besoin d'annuler le rebond d'un interrupteur (pour autant qu'il s'agisse d'un interrupteur bidirectionnel).

Une version plus élaborée est la bascule synchrone, qui nécessite que vous définissiez l'état de chaque entrée d'abord, puis que vous fournissiez une impulsion d'horloge pour que la bascule bistable réagisse. La pulsation doit être nette et précise, ce qui signifie que si vous la fournissez à partir d'un interrupteur, celui-ci ne doit pas produire de rebond. Compte tenu de ces contraintes, je me suis montré réticent à l'utilisation de bascules synchrones ici. Elles ajoutent un niveau de complexité que j'ai préféré éviter dans cet ouvrage d'initiation.

Que se passe-t-il si vous voulez annuler le rebond d'un bouton ou d'un interrupteur unidirectionnel ? Eh bien, c'est un réel problème ! Une solution consiste à acheter un circuit spécifique tel que l'éliminateur de rebond 4490, qui contient un ensemble de circuits de temporisation. En voici la référence chez On Semiconductor : MC14490PG. Il contient six circuits pour six entrées distinctes, chacune avec une résistance interne de rappel vers le niveau haut. Malheureusement, il est plutôt onéreux. Il est peut-être plus raisonnable d'utiliser des interrupteurs bidirectionnels dont le rebond peut être facilement supprimé, comme décrit précédemment.

Copyright © 2013 Eyrolles.

Expérience 23 : des dés électroniques

Ce sera la seule expérience où vous utiliserez la génération 74SLxx de la famille logique TTL, au lieu de la famille 74HCxx de CMOS. Deux raisons à cela : d'abord, j'ai besoin d'utiliser le compteur 7492, qui n'est pas disponible dans la famille HC. Ensuite, il faut que vous ayez des notions élémentaires sur la série LS des circuits TTL, car elle est de plus en plus répandue.

Nous aborderons en outre les circuits TTL à collecteur ouvert tels que l'inverseur 74LS06, qui peut être un substitut commode aux transistors pour fournir une intensité égale à 40 mA au plus.

L'idée de ce circuit est assez simple : faire fonctionner un timer 555 qui envoie des impulsions très rapides à un compteur comptant jusqu'à six et déclenchant des LED censées reproduire les faces d'un dé. Le compteur s'exécute si rapidement que les points deviennent flous. Quand on appuie sur un bouton, le compteur s'arrête de manière arbitraire et affiche une face du dé.

Les simulations de dés existent depuis bien longtemps et vous pouvez même acheter des kits sur Internet. Mais notre simulation accomplira quelque chose de plus : elle illustrera les principes du codage binaire.

Vous aurez besoin des éléments suivants :

- 1 compteur, tel que le compteur Texas Instruments SN74LS92N, pour créer un dé (ou 2 compteurs pour deux dés) ;
- 1 porte NOR 74LS27 à trois entrées, comme la porte Texas Instruments SN74LS27N ;
- 1 timer 555 pour créer un dé (2 pour en créer deux) ;
- 4 diodes de signal, 1N4148 ou similaire, pour créer un dé (ou 8 pour en créer deux)

Visualisation des valeurs binaires

Le compteur que nous avons utilisé précédemment était particulier, en ce sens que ses sorties étaient conçues pour commander des chiffres composés de sept segments. Un type plus répandu de compteur possède des sorties qui comptent en binaire.

Le brochage du 74LS92 est illustré à la fig. 4-101. Branchez le circuit sur la plaque de montage et établissez les connexions comme sur la fig. 4-102. Initialement, le timer 555 commandera le compteur au rythme d'une impulsion par seconde environ. La fig. 4-103 illustre les composants disposés sur la platine de montage.

Notez que le compteur possède des entrées d'alimentation inhabituelles, sur les broches 5 et 10 et non dans les angles. De même, quatre broches sont totalement inutilisées et ne sont connectées à aucun élément du circuit. Par conséquent, inutile de leur associer un fil à l'extérieur.

opyright © 2013 Eyrolles.

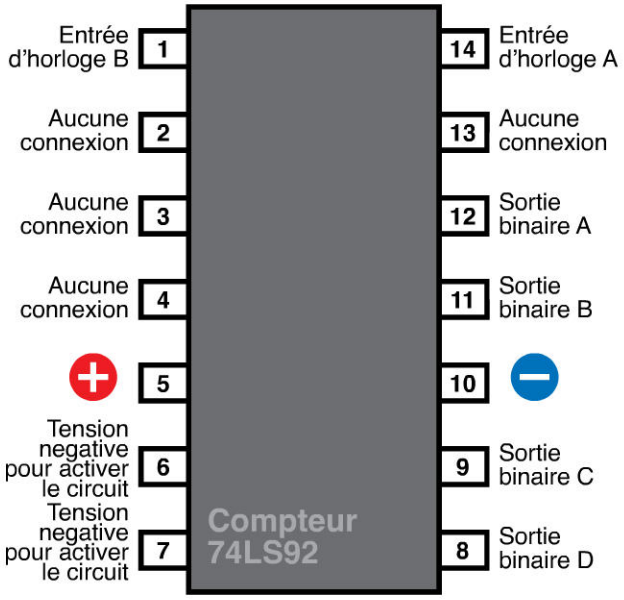


Figure 4-101. *Parmi les affectations de broche inhabituelles, quatre ne présentent aucune connexion et peuvent demeurer sans fil.*

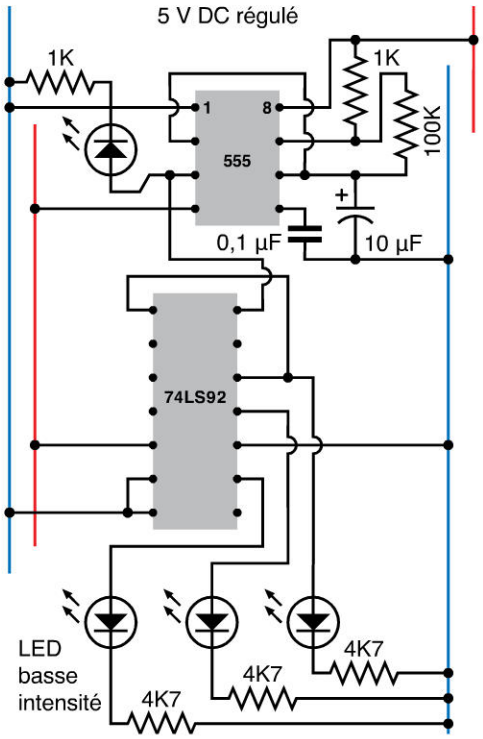


Figure 4-102. *Ce circuit simple utilise un temporisateur 555 qui s'exécute lentement pour contrôler le compteur binaire 74LS92 et afficher la succession de ses sorties à l'état haut.*

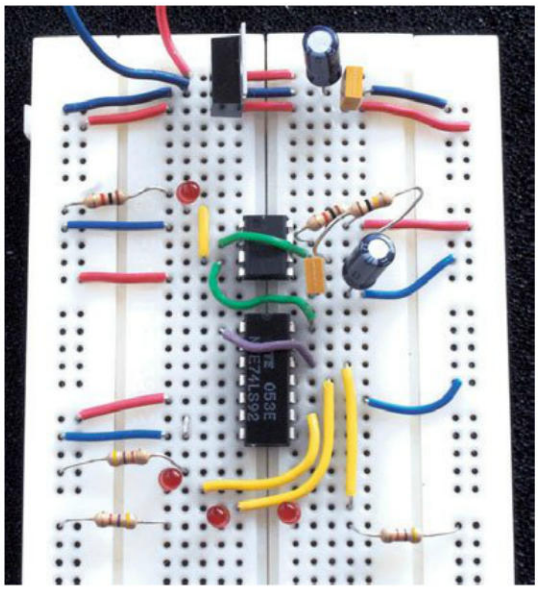


Figure 4-103. *Version sur platine de montage du schéma de la fig. 4-102 pour afficher les sorties d'un compteur 74LS92.*

opyright © 2013 Eyrolles.

Nous arrivons à présent au point délicat concernant la génération 74LSxx des circuits TTL, qui les rend moins adaptés à nos projets que la génération 74HCxx des circuits CMOS. Si les circuits HC délivrent ou absorbent 4 mA à chaque sortie logique, l'ancienne génération LS est plus contraignante. Elle absorbe environ 8 mA à chaque broche de sortie d'une source positive, mais quand sa sortie est à l'état haut, elle ne fournit pour ainsi dire rien. Le principe de base est très simple :

- Les sorties des circuits logiques TTL sont conçues pour absorber le courant.
- Elles ne sont pas destinées à délivrer un courant important.

De fait, le 74LS92 est censé fournir moins d'un demi-milliampère. Cette valeur est à peu près acceptable quand vous connectez juste le circuit à un autre circuit logique, mais si vous voulez commander un périphérique externe, elle se révèle trop faible.

La solution consiste à s'adapter aux caractéristiques de ce circuit et à utiliser une source positive qui circule, via une résistance de charge, jusqu'à la LED souhaitée, et à partir de là jusqu'à la sortie de la puce. C'est le meilleur choix à faire, comme illustré sur la fig. 4-104.

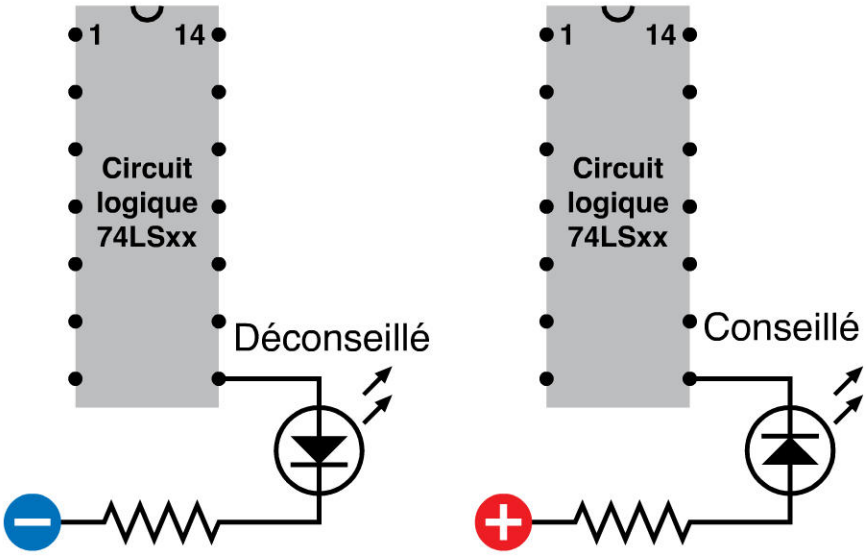


Figure 4-104. *La plupart des circuits TTL, y compris ceux de la génération LS, sont incapables de fournir un courant important à partir de leurs broches de sortie (à gauche) et doivent être généralement câblés pour absorber le courant depuis une source positive (à droite).*

Le seul problème, c'est que la LED s'éclaire maintenant quand la sortie du compteur est à l'état bas. En effet, le compteur est conçu pour afficher sa sortie sous forme d'impulsions à l'état haut. Par conséquent, la LED est éteinte quand elle devrait être allumée, et inversement.

Ce problème peut être résolu en transmettant le signal via un inverseur, mais la solution n'est guère satisfaisante. Pour le contourner, j'opte pour la solution qualifiée de déconseillée sur la fig. 4-104, en connectant une LED à très basse intensité à une résistance de charge de 4K7. Nous pouvons ainsi « voir » la sortie du compteur sans qu'il ait à nous fournir plus que sa limite estimée. J'aborderai ultérieurement

Copyright © 2013 Eyrolles.

la possibilité d'obtenir un affichage plus visible dans le cas d'une version définitive du circuit. Selon mon multimètre, la résistance de 4K7 maintient le courant entre 0,3 mA et 0,4 mA, valeur maximale estimée pour le compteur.

Installez la version initiale du circuit comme illustré aux fig. 4-102 et 4-103. Faites attention aux affectations de broches non standards lorsque vous câblez l'alimentation positive et l'alimentation négative sur le circuit intégré.

Le temporisateur 555 s'exécutera en mode astable, à 1 impulsion par seconde environ. Il s'agira du signal d'horloge du compteur. Les trois premières sorties binaires du compteur commandent alors les trois LED.

Le compteur avance quand le signal d'entrée passe de l'état haut à l'état bas. Par conséquent, quand la LED située à côté du timer 555 s'éteint, cela signifie que le compteur est incrémenté.

Si vous examinez bien le modèle généré par les sorties, vous constaterez la logique qui le gouverne, en vous rappelant que son état zéro équivaut à toutes les sorties en position OFF et que le cycle se répète une fois que le compteur a compté jusqu'à 5. Le schéma de la fig. 4-105 illustre cette séquence. Pour en savoir plus, reportez-vous à l'encadré ci-dessous : « Arithmétique binaire ».

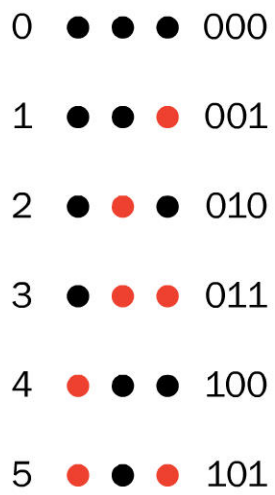


Figure 4-105. *Les états hauts des trois broches de sortie du compteur 74LS92 sont illustrés par des cercles rouges, tandis que le compteur passe de 000 à 101 en notation binaire.*

THÉORIE

Arithmétique binaire

Le principe du comptage en binaire n'est qu'une variante de celui que nous utilisons quotidiennement pour compter. Dans un système en base 10, nous comptons de 0 à 9, puis retenons 1 en plaçant ce chiffre juste à gauche pour obtenir 10, et continuons à compter de 0 à 9 au niveau du chiffre le plus à droite. Nous répétons cette procédure jusqu'à 99, puis retenons à nouveau 1 en décalant ce chiffre d'un cran vers la gauche pour obtenir 100, et ainsi de suite.

En arithmétique binaire, nous agissons de même, si ce n'est que nous nous limitons aux seuls chiffres 0 et 1. Nous commençons par 0 situé tout à droite et comptons jusqu'à 1. Comme 1 est la limite, nous le décalons sur la gauche et redémarrons à partir de 0 au niveau du chiffre le plus à droite. Comptons jusqu'à 1, puis ajoutons 1 à son emplacement juste à gauche. Mais comme le chiffre 1 est déjà présent, impossible de compter plus. Aussi nous déplaçons ce 1 d'un cran vers la gauche, et ainsi de suite.

Si une LED allumée correspond à 1 et une LED éteinte un 0, le schéma de la fig. 4-105 montre comment le circuit 74LS92 compte de 0 à 5 (en décimal) ou de 0 à 101 (en binaire). Le schéma de la fig. 4-106 illustre comment un compteur avec quatre sorties binaires affiche les nombres décimaux de 0 à 15, en utilisant à nouveau les LED pour représenter les 1 et les 0.

Une question pour vous : combien faut-il de LED pour représenter le nombre décimal 1024 en binaire ? Et pour 1023 ?

De toute évidence, le code binaire est idéalement adapté à une machine dont les composants logiques peuvent posséder un état haut ou bas. C'est pourquoi tous les ordinateurs utilisent l'arithmétique binaire (avant de la convertir en arithmétique décimale, pour notre plus grand plaisir).

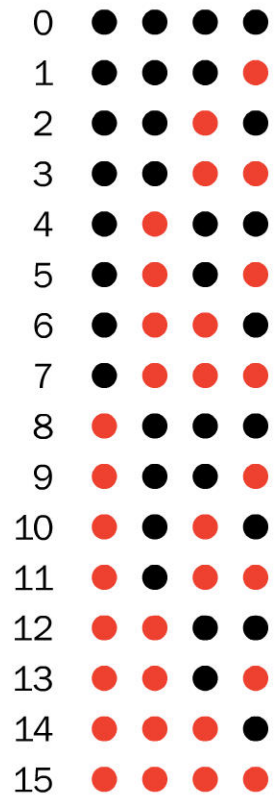


Figure 4-106. *Un compteur binaire hexadécimal génère cette suite d'états hauts à partir de ses quatre broches de sortie, tandis qu'il compte de 0 à 15 en notation décimale.*

Copyright © 2013 Eyrolles.

Revenons à notre projet : nous souhaitons maintenant utiliser les trois sorties binaires pour créer des motifs semblables à ceux d'un dé. Comment procéder ? En fait, c'est assez simple.

Pour ce faire, j'utiliserai sept LED. Les différents motifs peuvent être décomposés en groupes, que j'ai affectés aux trois sorties du compteur de la fig. 4-108. La première sortie (la plus à droite) peut commander une LED correspondant au point central du dé. La deuxième sortie (au milieu) peut commander les deux LED situées aux extrémités de la diagonale. La troisième sortie active les quatre LED placées aux coins.

Cette disposition fonctionne pour les motifs de 1 à 5, mais pas pour afficher 6. Supposons que je branche les trois sorties du compteur sur une porte NOR à trois entrées. La sortie de cette porte ne sera dans l'état haut que si ses trois entrées sont dans l'état bas. Par conséquent, nous n'obtiendrons une sortie à l'état haut que lorsque les trois sorties du compteur seront dans l'état bas. Je peux exploiter ce résultat pour créer le chiffre 6.

Notez qu'il est fortement déconseillé d'associer la génération LS de circuits TTL et la génération HC de circuits CMOS, car leurs plages d'entrées et de sorties sont différentes : par conséquent, le circuit NOR doit être un circuit 74SL27, et non un circuit 74HC27.

Le temps est venu de passer à un schéma simple. Sur la fig. 4-107, j'ai représenté certains fils en couleurs afin que vous puissiez les distinguer plus aisément. Les couleurs n'ont en elles-mêmes aucune signification particulière.

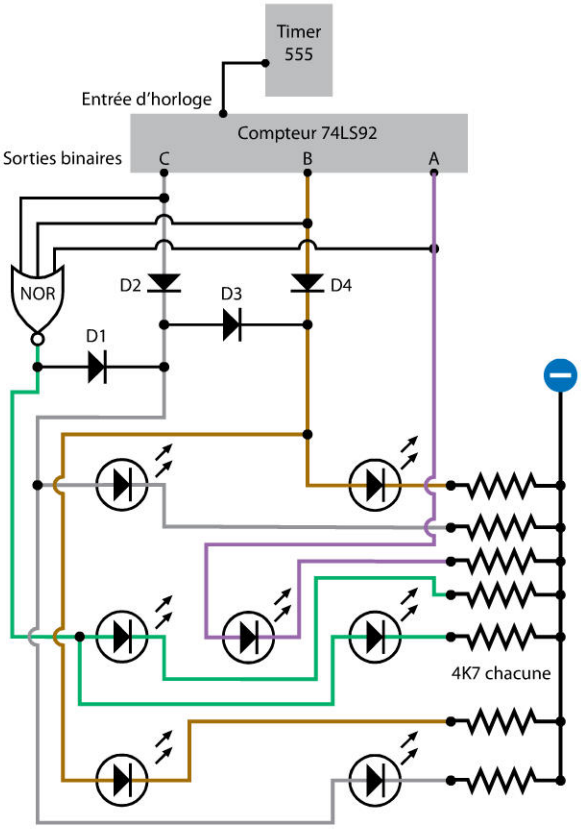


Figure 4-107. *Un schéma simplifié montre comment les sorties du compteur 74LS92 peuvent être associées, à l'aide de diodes de signal et d'une porte logique NOR à trois entrées, pour générer les différentes faces d'un dé. Les couleurs utilisées ici n'ont aucune signification particulière si ce n'est de permettre de distinguer les fils les uns des autres.*

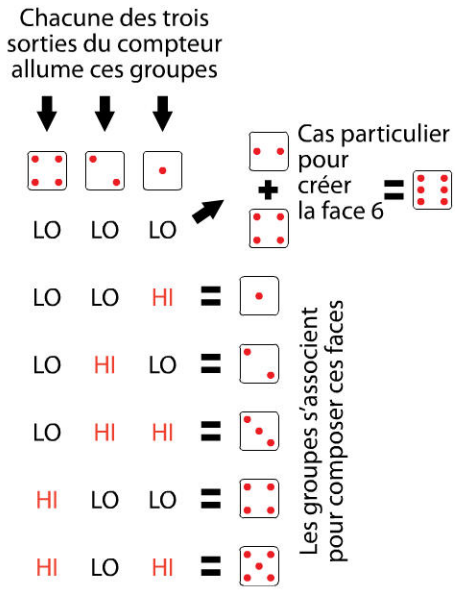


Figure 4-108. *Les sorties binaires du compteur 74LS92 peuvent être utilisées pour alimenter les LED disposées en groupes de façon à reproduire les faces d'un dé.*

Copyright © 2013 Eyrolles.

Chaque LED est reliée à la masse via une résistance de charge de 4K7 distincte. Malheureusement, cela signifie que lorsqu'elles affichent la face 6, elles fonctionnent toutes en parallèle à partir de la sortie de la porte NOR, ce qui la surcharge. Si vous ne laissez pas l'affichage trop longtemps, vous ne rencontrerez pas de problème. Vous pourriez augmenter les résistances de charge ou faire fonctionner les paires de LED via une seule résistance, mais leur éclairage sera alors très faible, car elles sont déjà proches de leur limite inférieure.

Vous noterez que j'ai ajouté quatre diodes de signal D1 à D4. Quand la sortie C est dans l'état haut, elle doit éclairer les diodes des quatre coins et, par conséquent, passe aussi bien dans le fil marron que dans le fil gris. Mais comme il ne faut jamais permettre à une sortie d'en réalimenter une autre, D4 est nécessaire pour protéger la sortie B quand la sortie C est dans l'état haut.

Comme il existe maintenant une connexion entre B et C, nous avons besoin de D2 pour protéger la sortie C quand la sortie B est dans l'état haut. Et comme la sortie C ne doit alimenter que deux des diodes situées dans les coins, nous avons aussi besoin de D3 pour l'empêcher d'éclairer les deux autres diodes. Enfin, nous devons protéger la sortie de la porte NOR quand C ou B est dans l'état haut : c'est le rôle de D1.

La fig. 4-109 illustre tout ce que j'ai décrit jusqu'à présent, assemblé comme sur une platine de montage, tandis que la fig. 4-110 montre la version de test que j'ai construite. Notez que les entrées logiques inutilisées du circuit 74LS27 sont reliées entre elles et connectées au côté positif de l'alimentation. La règle est la suivante :

- Si vous employez des circuits CMOS (comme la série HC), connectez les entrées logiques non utilisées au côté négatif de l'alimentation.
- Si vous employez des circuits TTL (comme la série LS), connectez les entrées logiques non utilisées au côté positif de l'alimentation.

J'imagine que vous vous êtes assez amusé à regarder les LED compter lentement, aussi ai-je modifié les valeurs des condensateurs et des résistances pour que la vitesse du timer 555 passe approximativement d'1 à 50 000 impulsions par seconde. Le compteur pourrait s'exécuter encore beaucoup plus vite, mais je souhaite juste que son cycle soit assez rapide pour que le décompte s'arrête sur un nombre impossible à prévoir quand l'utilisateur appuie sur le bouton et le relâche.

Le bouton démarre et arrête le temporisateur 555 en alimentant ou en cessant d'alimenter le circuit d'horloge. Cela équivaut à secouer les dés et à les jeter.

Quand le compteur s'exécute rapidement, les LED clignotent si vite qu'elles semblent toutes allumées à la fois. Au même moment, le circuit charge un nouveau condensateur de 68 µF, que j'ai ajouté entre le bouton-poussoir et la masse. Quand vous relâchez le bouton, le condensateur se décharge à travers la résistance d'1K. Tandis que la charge se dissipe, le condensateur d'horloge met de plus en plus de temps à se charger et à se décharger, et la fréquence du timer 555 diminue progressivement. Par conséquent, la LED clignotera aussi plus lentement, un peu comme une machine à sous qui s'arrête doucement sur la combinaison espérée (ou juste avant ou juste après…).

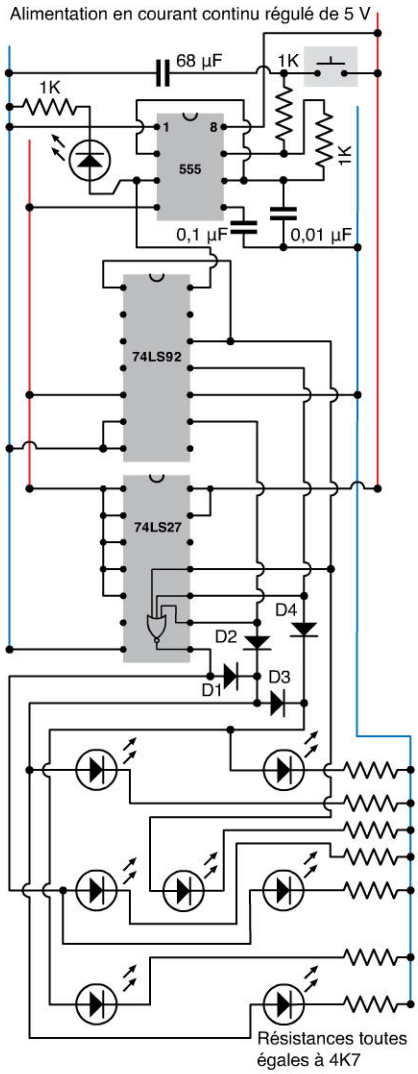


Figure 4-109. *Avec quelques composants supplémentaires, les schémas des fig. 4-102 et 4-107 peuvent être combinés pour reproduire les faces d'un dé.*

Copyright © 2013 Eyrolles.

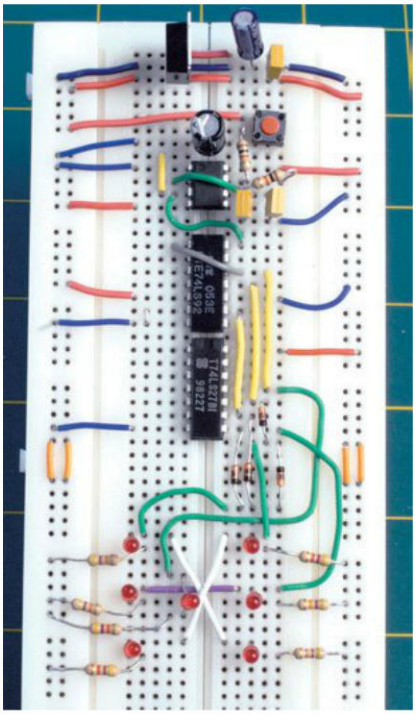


Figure 4-110. *Le projet des dés électroniques mis en œuvre sur une platine de montage, avec un bouton-poussoir en haut pour démarrer et arrêter le compteur, et 7 LED en bas pour afficher la sortie.*

Notez que pour optimiser l'effet, le bouton doit être maintenu enfoncé pendant une seconde ou plus, de telle sorte que le condensateur de 68 µF soit entièrement chargé avant que le bouton ne soit relâché.

Le circuit répond désormais à l'objectif initial. Mais peut-on encore l'améliorer ? Oui, bien sûr !

Améliorations

La première chose à améliorer est la luminosité des LED. Je pourrais ajouter un transistor pour amplifier le courant de chacune d'elles, mais il existe une solution plus simple : un inverseur à collecteur ouvert TTL.

Je souhaite utiliser un inverseur, car dans la famille des circuits TTL, nous pouvons absorber plus de puissance dans la broche de sortie d'un circuit que nous ne pouvons en délivrer. Par conséquent, je vais connecter les résistances de charge des LED vers le côté positif de l'alimentation. De cette façon, elles absorberont le courant vers les sorties de l'inverseur.

Le grand avantage de l'inverseur collecteur ouvert est qu'il est conçu pour absorber plus de courant qu'un circuit logique TTL normal. Il est estimé à 40 mA par broche. Seul inconvénient, il ne peut fournir aucun courant : sa sortie ne s'élève pas, mais se comporte comme un interrupteur ouvert. Mais pour notre circuit, cela suffira.

Le schéma de la fig. 4-111 inclut l'inverseur 74SL06, qui a également été ajouté à la version plaque de montage du circuit de la fig. 4-112. Je vous suggère de mettre de côté les petites LED à basse intensité et de les remplacer par des LED de taille normale. Si j'utilise les LED Kingbright standard WP15031D 5 mm, je constate que chacune d'elles tire presque exactement 20 mA avec une chute de tension égale à 2 V environ dans le cas d'une résistance en série de 120 ohms. Comme chaque broche de sortie de l'inverseur 74LS06 n'alimente pas plus de deux LED à la fois, elle respecte les spécifications requises. Je vous conseille, si vous montez ce circuit, de vérifier la consommation des LED et d'ajuster éventuellement les résistances en conséquence.

Souvenez-vous : pour mesurer la chute de tension aux bornes d'une LED, placez simplement les sondes du multimètre sur ses broches quand elle est éclairée. Pour mesurer le courant qu'elle consomme, déconnectez l'un des côtés de la LED et insérez le multimètre, en mode milliampère, entre la patte de la LED et le contact dans le circuit.

Pour obtenir un affichage réellement spectaculaire, vous pouvez utiliser des LED d'1 cm de diamètre (fig. 4-113). Vérifiez leurs spécifications ; vous constaterez que nombre de ces LED utilisent plus de puissance que le type 5 mm habituel. Mais quel que soit le type utilisé, n'oubliez pas de les retourner afin que leur face négative soit orientée vers l'inverseur et leur face positive vers les résistances, qui sont connectées au côté positif de l'alimentation.

Un dernier détail : j'ai dû ajouter deux résistances de 10K à cette version du circuit. Devinez-vous pourquoi ? Les diodes D1 à D4 sont conçues pour transmettre une tension positive jusqu'à l'inverseur lorsque cela est nécessaire, mais elles empêchent les entrées de l'inverseur de « voir » le côté négatif de l'alimentation quand les sorties du compteur sont faibles. Ces entrées d'inverseur requièrent des résistances de rappel vers le niveau bas pour les empêcher de flotter et de produire des résultats erronés.

opyright © 2013 Eyrolles.

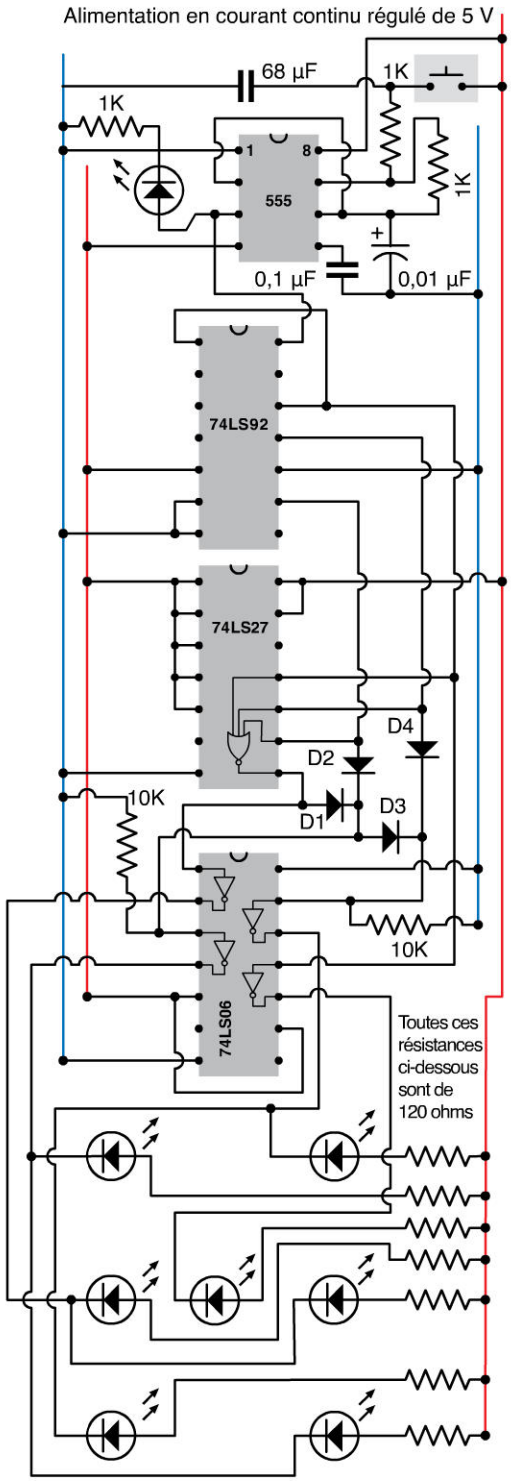


Figure 4-111. *Si des inverseurs à collecteur ouvert sont ajoutés au schéma des dés, ils peuvent commander des LED plus grandes qui consomment jusqu'à 40 mA, aussi longtemps que celles-ci sont orientées pour absorber le courant vers le circuit TTL au lieu d'essayer de tirer du courant en sortie de ce dernier.*

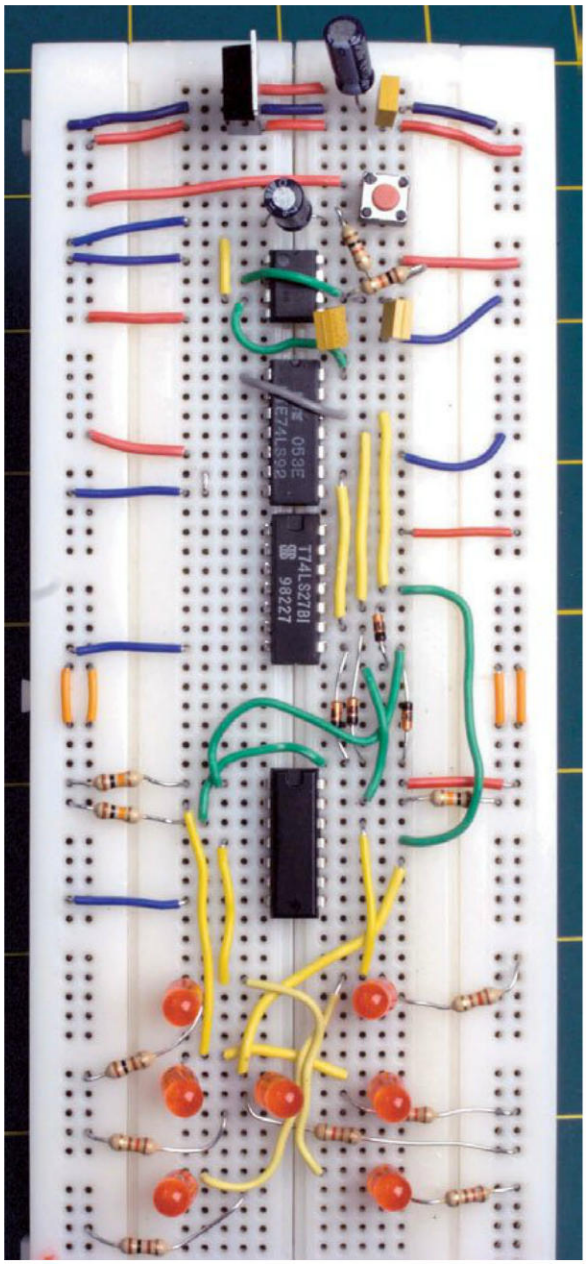


Figure 4-112. *Le circuit terminé, qui utilise un inverseur à collecteur ouvert pour commander des LED grandeur nature.*

opyright © 2013 Eyrolles.

Il vous appartient de procéder aux améliorations finales. La plus évidente est l'ajout d'un second dé, car de nombreux jeux en requièrent deux. Le circuit 74LS27 possède encore plusieurs portes NOR disponibles et vous pourrez utiliser l'une d'entre elles. Mais vous aurez besoin d'un timer 555 supplémentaire, s'exécutant à une vitesse réellement différente pour garantir le caractère aléatoire ; en outre, il devra commander un second compteur.

Une fois les dés prêts à fonctionner, il vous faut les tester. Comme les impulsions d'un temporisateur 555 sont d'égale longueur, chaque nombre possède les mêmes chances d'apparaître ; mais plus longtemps vous tenez le bouton enfoncé, plus vous avez de chances d'interrompre le comptage à un moment réellement aléatoire. Toute personne utilisant vos dés électroniques doit savoir qu'elle doit les *secouer* pendant au moins une seconde.

Bien sûr, j'aurais pu reproduire les dés plus facilement en écrivant quelques lignes de code pour générer des nombres aléatoires sur un écran, mais aucun écran, même le plus sophistiqué, ne pourra avoir le même attrait qu'un matériel bien conçu. La fig. 4-113 illustre des LED 1 cm montées dans une enceinte en polycarbonate poncé.

J'ai surtout tiré une grande satisfaction à utiliser des circuits simples et dédiés qui illustrent l'arithmétique binaire, dont la présence est fondamentale dans chaque ordinateur.

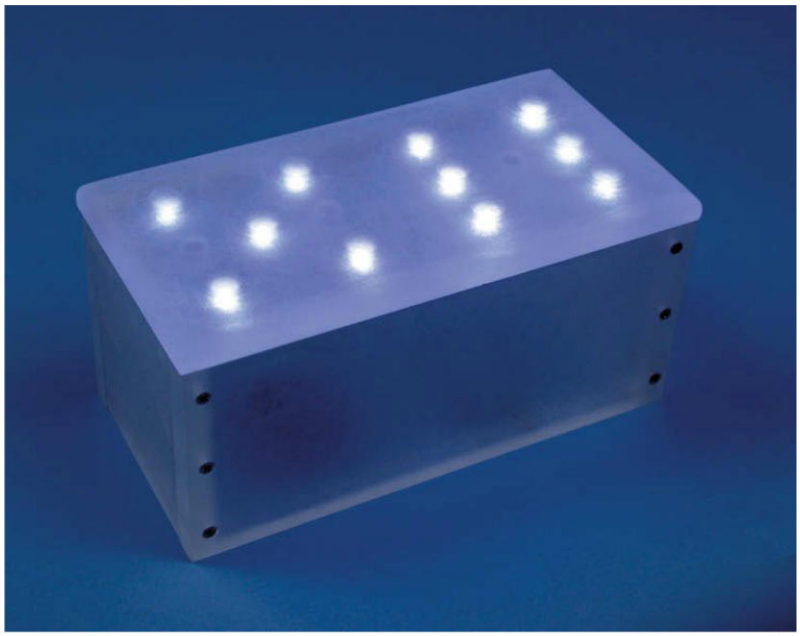


Figure 4-113. *L'inverseur à collecteur ouvert du circuit à dés est suffisamment puissant pour commander des LED 1 cm qui tirent environ 20 mA chacune, à l'aide d'un potentiel de 2 V. Dans cette version achevée, les LED sont intégrées à des cavités percées sous le polycarbonate, traité à l'aide d'une ponceuse pour créer une finition translucide.*

Copyright © 2013 Eyrolles.

Expérience 24 : finalisation de l'alarme d'intrusion

Grâce aux connaissances acquises dans ce chapitre, vous êtes maintenant en mesure de perfectionner le projet d'alarme de l'expérience 15. Vous devrez probablement relire les chapitres 2 et 3 pour « vous remettre dans le bain ».

Amélioration n° 1 : activation différée

L'alarme avait un gros défaut : dès qu'elle était activée, elle réagissait aussitôt à tout signal en provenance des détecteurs des portes et des fenêtres. Elle nécessitait donc une fonction qui retarde cette activation pour que vous ayez le temps de quitter votre logement avant que l'alarme ne s'arme elle-même. Un timer 555 peut assurer cette fonction, probablement en liaison avec un relais. L'alimentation de l'alarme doit passer à travers les contacts du relais, qui sont normalement fermés. Quand vous appuyez sur un bouton du temporisateur, il envoie une impulsion positive au relais durant 30 secondes environ, ce dernier demeurant ouvert pendant ce laps de temps. Vous pouvez monter le timer dans son propre boîtier en l'équipant d'un bouton sur lequel vous appuierez quand vous serez prêt à quitter votre logement. L'alimentation de 12 V de l'alarme passe à travers le boîtier contenant le circuit de temporisation. Pendant 30 secondes, le timer 555 interrompt l'alimentation de l'alarme, puis la rétablit, prête à passer à l'action.

Amélioration n° 2 : désactivation du pavé numérique

Rien de plus simple. Vous pouvez, sur le boîtier de l'alarme, remplacer l'interrupteur S1 par un relais à enclenchement (fig. 3-110) et utiliser un pavé numérique pour initialiser et réinitialiser le relais exactement de la même façon que dans le cas du code secret de l'expérience 20. Vous devrez faire passer trois fils supplémentaires entre le relais et le pavé numérique (l'un fournissant l'alimentation à la bobine du relais ON, l'autre à la bobine OFF et le troisième étant la masse). Vous pourrez employer une pile de 9 V pour alimenter le pavé, ou bien utiliser un quatrième fil à partir du boîtier de l'alarme pour transmettre une alimentation positive aux circuits logiques, en n'oubliant pas que vous devez insérer un régulateur de tension à un point ou un autre, pour faire baisser les 12 V utilisés par l'alarme aux 5 V requis par les portes logiques. Comme celles-ci utilisent très peu de puissance, la baisse de 12 à 5 V ne doit présenter aucun problème pour le régulateur de tension, car il n'aura pas trop de chaleur à dissiper.

Avec cette fonctionnalité supplémentaire, vous pouvez utiliser l'alarme ainsi :

- Appuyez sur la touche # du pavé numérique pour basculer le relais à enclenchement dans son mode ON, afin de transmettre l'alimentation à l'alarme, qui est désormais armée.
- Si vous voulez quitter votre logement, appuyez sur le bouton du temporisateur pour vous accorder 30 secondes.
- Si l'alarme est déclenchée, saisissez votre code secret sur le pavé numérique pour la désactiver en basculant le relais à enclenchement sur sa position OFF et en coupant l'alimentation de l'alarme.

opyright © 2013 Eyrolles.

Ces modifications sont si simples que je pense que le diagramme de la fig. 4-114 devrait vous suffire et qu'il est inutile que je vous fournisse les schémas. La seule modification à apporter à l'alarme existante consiste à remplacer l'interrupteur marche/arrêt par le relais à enclenchement.

Cependant, il reste encore une dernière amélioration à apporter : comment rentrer chez vous sans déclencher l'alarme ?

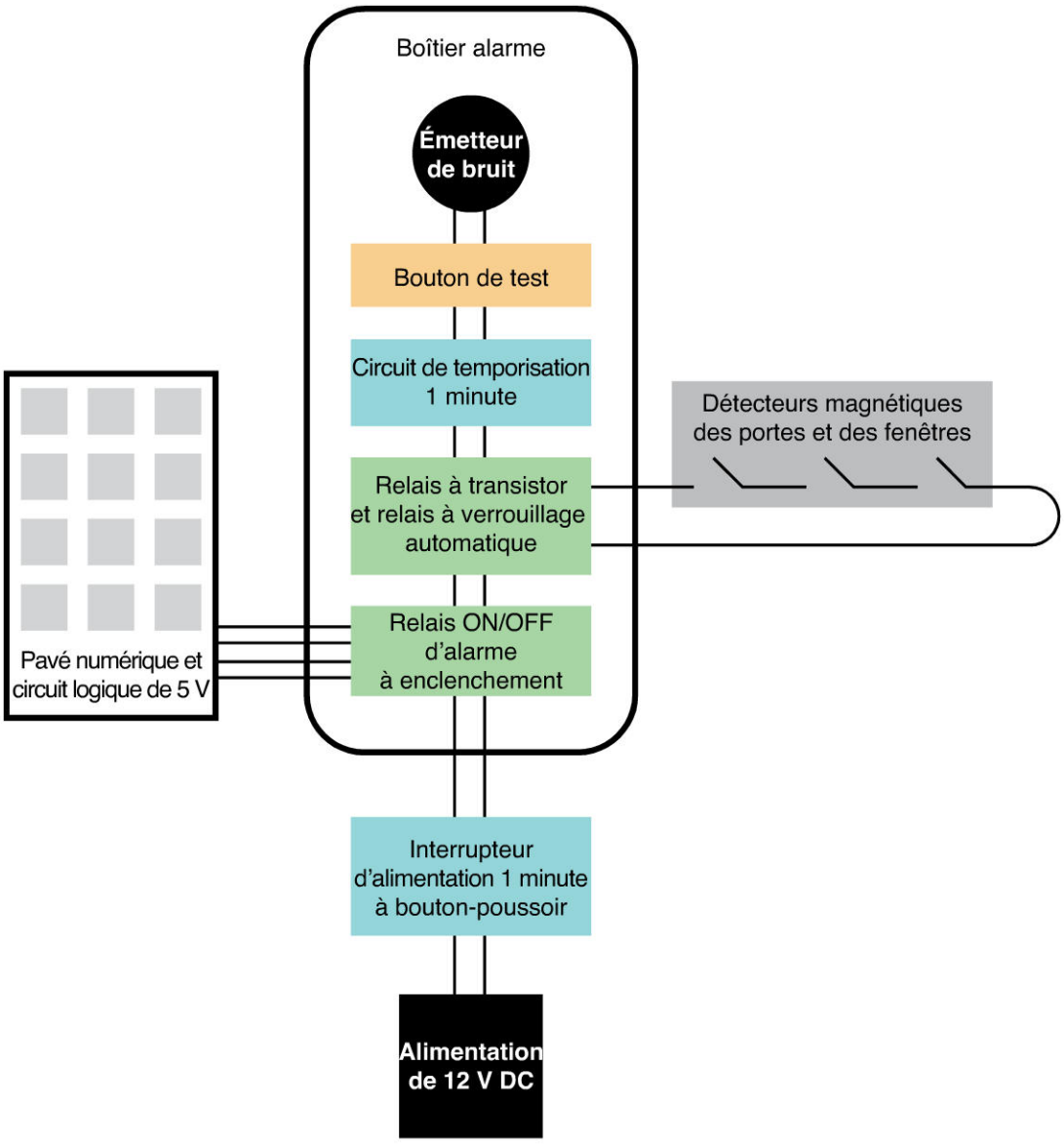


Figure 4-114. *Le diagramme illustre l'emplacement des anciens et des nouveaux composants. L'interrupteur d'alimentation – le bouton-poussoir – (qui vous permet de sortir avant que l'alarme ne s'enclenche) se place entre l'alimentation et le reste. Le relais à enclenchement remplace l'interrupteur DPDT de la version précédente de l'alarme. Le relais et le relais à verrouillage automatique, connectés aux détecteurs magnétiques des portes et des fenêtres, demeurent inchangés. Le nouveau circuit de temporisation est inséré entre le relais à verrouillage automatique et le module émetteur de bruit. Le bouton de test est câblé sur le relais à enclenchement de la même façon qu'il l'était précédemment sur l'interrupteur DPDT.*

Copyright © 2013 Eyrolles.

Amélioration n° 3 : temporisation avant désactivation

Généralement, les alarmes incluent une autre fonction de temporisation. Quand vous ouvrez la porte d'entrée d'un bâtiment et que cela enclenche une alarme, vous avez 30 secondes pour la désactiver, avant qu'elle commence à retentir.

Comment implémenter cette fonction de temporisation ? Si vous utilisez un autre timer 555 pour générer une impulsion et empêcher le bruit, cela ne fonctionnera pas, car la sortie du transistor ou du relais pourra se poursuivre indéfiniment. Le relais se verrouillera lui-même et le transistor pourra continuer à transmettre la tension aussi longtemps qu'une personne laisse la porte ouverte. Si l'un de ces signaux active un temporisateur en mode monostable, l'impulsion du timer ne prendra jamais fin et cela supprimera l'alarme indéfiniment.

Le mieux ici est d'utiliser une résistance et un condensateur pour créer une temporisation. Je les alimenterai au travers du relais existant, pour qu'ils reçoivent bien la tension totale de l'alimentation, le condensateur étant initialement déchargé. Ce dernier se chargera progressivement, mais je ne peux pas le connecter directement à l'émetteur de bruit, car celui-ci retentira de plus en plus fort lorsque la tension augmentera.

Je dois insérer un dispositif qui se déclenchera pour fournir une tension complète quand l'entrée passe au-dessus d'un certain point. À cette fin, j'utiliserai un timer 555 câblé en mode bistable. Ce type de modification est généralement qualifié de « bricolage », car il n'est guère élégant, utilise trop de composants et ce, de façon inappropriée. Ce qu'il me faudrait en réalité est un comparateur, mais je n'ai pas la place d'aborder ce sujet ici. Par conséquent, compte tenu des connaissances acquises jusqu'à présent, le schéma de la fig. 4-115 montre comment ajouter un temporisateur à l'alarme – sans grande finesse, mais de façon fiable.

Un problème demeure cependant : si vous alimentez un timer 555 en mode bistable, il y a une chance sur deux qu'il démarre lui-même avec sa sortie haute ou basse. Je dois donc tirer une tension basse sur la broche de réinitialisation (pour démarrer le minuteur avec sa sortie inhibée) et la laisser progressivement devenir positive (pour permettre la sortie). Au même moment, je souhaite démarrer avec une tension haute sur la gâchette et la baisser peu à peu, jusqu'à ce qu'elle se retrouve à moins d'1/3 de l'alimentation et déclenche la sortie.

Par conséquent, il y a deux circuits de synchronisation. Celui de la broche de réinitialisation fonctionne plus vite que celui de la gâchette, de telle sorte qu'au moment où le timer est déclenché, la réinitialisation ne s'interrompe pas.

Le schéma de la fig. 4-115 indique les valeurs appropriées des composants. Le condensateur de 10 µF démarre avec une valeur basse, mais se charge à travers la résistance 10K en quelques secondes. Le timer est alors prêt à être déclenché. Mais le condensateur de 68 µF démarre avec une valeur haute (car connecté au côté positif de l'alimentation) et nécessite 1 minute pour que la tension d'alimentation soit égale à 1/3, via la résistance 1M. À ce point, sa tension est assez basse pour déclencher le temporisateur 555. La sortie du minuteur s'élève et alimente l'émetteur de bruit.

Vous devez pouvoir insérer sans trop de difficulté ce petit module de temporisation dans votre boîtier d'alarme, entre la sortie du relais et l'entrée de l'émetteur. Et si vous voulez ajuster la temporisation, utilisez simplement une résistance dont la valeur est supérieure ou inférieure à 1M.

opyright © 2013 Eyrolles.

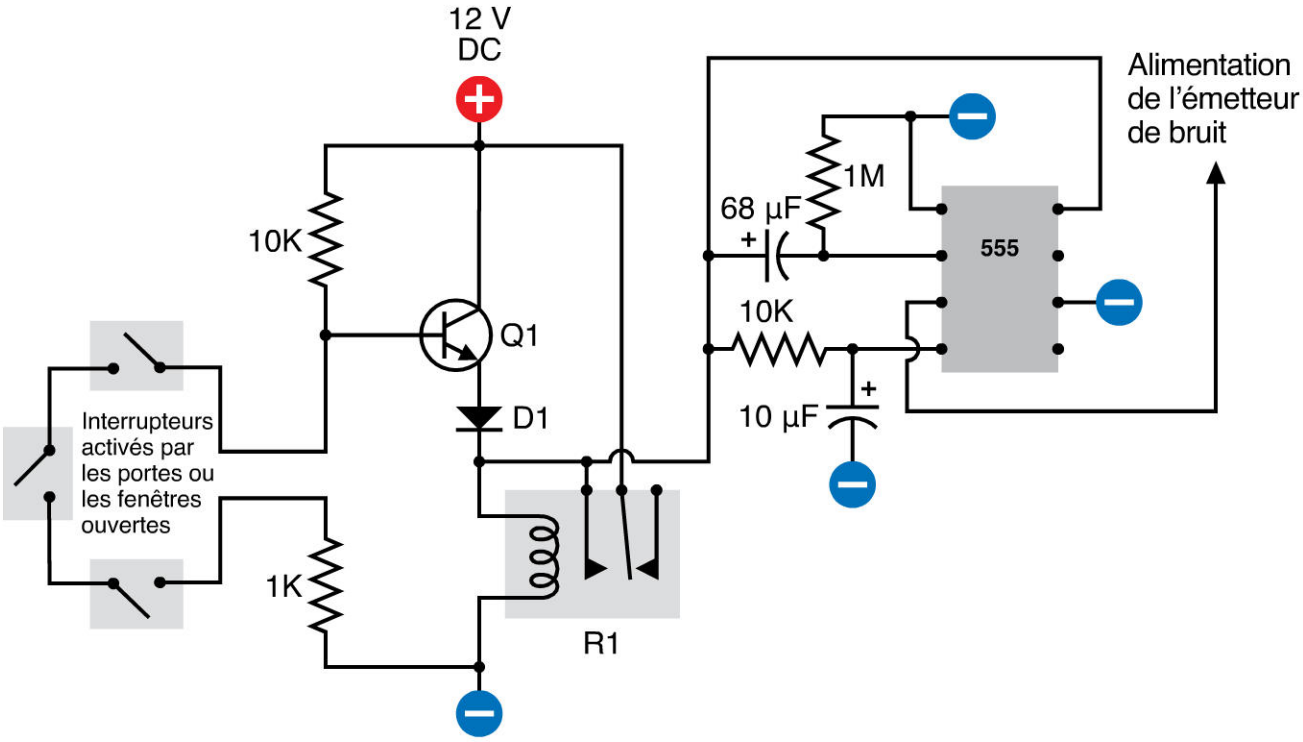


Figure 4-115. *Cet ajout au circuit d'alarme initial impose une temporisation d'une minute avant que l'alarme ne retentisse. Le timer 555 (câblé en mode bistable) reçoit l'alimentation à travers le relais R1. Le circuit de synchronisation inférieur applique une tension négative à la broche de réinitialisation, garantissant que le 555 commence à fonctionner avec sa sortie supprimée. La tension croît rapidement. Pendant ce temps, le circuit de synchronisation supérieur applique une tension à la gâchette qui diminue progressivement tandis que le condensateur 68 µF abaisse sa charge à travers la résistance 1M. Quand la tension diminue jusqu'au 1/3 de son alimentation, la sortie du timer passe à l'état haut et démarre l'émetteur de bruit. Si la puissance du circuit a été interrompue précédemment à un instant quelconque, le relais se relâche, les condensateurs se déchargent progressivement et l'alarme ne retentit pas.*

Récapitulatif

Si vous ajoutez ces trois améliorations, votre alarme aura toutes les caractéristiques souhaitées initialement. Bien sûr, si je la concevais à partir de zéro, avec toutes les informations présentées au fur et à mesure du chapitre, le résultat serait certainement plus séduisant. Mais les modifications apportées n'ont pas entraîné de changements destructifs sur notre projet original et tous les objectifs ont été atteints.

opyright © 2013 Eyrolles.

5

Et après ?

À ce stade du livre, plusieurs axes de développement sont possibles. En voici quelques-uns.

Électronique audio
: Il s'agit d'un domaine bien spécifique, allant du simple amplificateur au dispositif permettant de modifier le son d'une guitare.

Périphériques à fréquence radio
: Ce champ d'application inclut tout appareil qui reçoit ou transmet des ondes radio, de la radio à modulation d'amplitude jusqu'au contrôleur à distance.

Moteurs
: Le domaine de la robotique a favorisé l'apparition de sites Internet vendant différents types de moteurs.

Microcontrôleurs programmables
: Il s'agit de minuscules ordinateurs montés sur un seul circuit intégré. Vous écrivez un petit programme sur votre ordinateur, qui demandera au circuit de suivre un ensemble d'instructions, par exemple recevoir un signal d'entrée d'un capteur, attendre une certaine durée et envoyer un signal de sortie à un moteur. Puis vous transférez ce programme dans le circuit, qui le stocke dans une mémoire non volatile. Parmi les microcontrôleurs les plus connus, citons Arduino, PICAXE et BASIC Stamp.

De toute évidence, je n'ai pas la place ici pour présenter de manière détaillée ces différentes branches de l'électronique. Aussi vais-je me contenter, à titre d'introduction, de décrire un ou deux projets dans chaque domaine. Ce petit aperçu devrait vous aider à mieux cerner vos domaines de prédilection ; il ne vous restera plus qu'à lire des ouvrages spécialisés pour en apprendre davantage.

Dans ce chapitre, je vous donnerai aussi quelques conseils à propos de votre espace de travail, et vous fournirai une petite bibliographie d'ouvrages et de sites traitant d'électronique.

opyright © 2013 Eyrolles.

Matériel des expériences 25 à 36

Outils

Aucun nouvel outil n'est nécessaire dans ce chapitre.

Fournitures et composants

À ce stade du livre, vous souhaiterez peut-être ne réaliser que certains projets du chapitre. C'est pourquoi je listerai les fournitures et composants nécessaires en tête de chaque expérience.

Votre espace de travail

Si vous sentez la passion de l'électronique vous gagner, mais que vous ne vous êtes pas encore aménagé un espace de travail, voici quelques suggestions. Ayant testé de nombreuses configurations au fil des années, je ne vous dirai qu'une chose : ne construisez pas d'établi !

Beaucoup d'ouvrages d'électronique conseillent de se fabriquer son propre établi, en respectant des critères bien précis. Selon moi, la taille et la forme du plan de travail importent peu. Le point primordial est l'espace de rangement.

Les outils et les composants doivent être facilement accessibles, qu'il s'agisse de minuscules transistors ou de bobines de fil. Autrement dit, évitez de les entreposer sur des étagères à l'autre bout de la pièce !

Figure 5-1. *L'espace de travail idéal, avec les éléments de rangement tout autour. Sans jamais avoir à quitter votre chaise !*

Copyright © 2013 Eyrolles.

Cela m'amène à deux premières conclusions :

1. Il vous faut un rangement au-dessus du plan de travail.
2. Il vous faut un rangement au-dessous du plan de travail.

Beaucoup de livres proposent peu ou pas d'espace de rangement sous le plan de travail, ou suggèrent des étagères ouvertes, donc exposées à la poussière. Pour ma part, ma configuration minimale serait deux casiers métalliques à deux tiroirs, surmontés d'un plateau en contreplaqué d'une épaisseur de 2 cm environ ou d'un plan de travail de cuisine en mélaminé. Ces casiers conviennent parfaitement pour ranger toutes sortes d'objets.

Parmi tous les plans de travail que j'ai utilisés, mon préféré reste un vieux bureau en acier, comme ceux qu'on trouvait dans les années 1950. Ils sont lourds, donc difficiles à déplacer, et pas très beaux, mais généralement bon marché, grands et très résistants. Les tiroirs offrent une bonne profondeur et glissent aisément. Et surtout, l'acier du bureau vous permet de vous relier à la terre avant de toucher des composants sensibles à l'électricité statique. Si vous utilisez un bracelet antistatique, vous pouvez simplement l'attacher à une vis à tôle placée dans un angle du bureau.

Qu'allez-vous ranger dans les tiroirs de vos casiers ou de votre bureau ? Certains documents notamment, tels que :

- fiches techniques ;
- catalogues ;
- esquisses et plans que vous aurez dessinés.

L'espace restant des tiroirs peut être occupé par des boîtes de rangement en plastique. Celles-ci pourront contenir des outils que vous utilisez peu (pistolet thermique ou fer à souder de forte puissance, par exemple), ainsi que des composants de plus grande taille (enceintes, adaptateurs secteur, boîtiers de projet et cartes de circuit imprimé). Choisissez plutôt des boîtes de rangement aux bords droits, d'environ 30 × 20 × 12 cm.

J'apprécie tout particulièrement les boîtes Akro-Grid (voir fig. 5-2 et 5-3), fabriquées par Akro-Mils. Leur catalogue est disponible en téléchargement à l'adresse http://www.akro-mils.com.

Pour les composants de taille moyenne (potentiomètres, connecteurs d'alimentation, boutons de commande et interrupteurs à bascule), je conseille de grosses boîtes de rangement, d'environ 30 × 20 × 5 cm, divisés en quatre à six compartiments. J'ai l'habitude d'acheter sur Internet la marque Plano, très résistante (http://www.planomolding.com). Les produits Plano les mieux adaptés sont répertoriés comme boîtes de rangement pour matériel de pêche.

Figure 5-2. *Toutes les boîtes Akro-Grid comportent des rainures qui permettent de les compartimenter en plusieurs espaces de rangement.*

Figure 5-3. *Les couvercles des boîtes Akro-Grid, qui sont vendus séparément, permettent de protéger leur contenu de la poussière. Dans un tiroir de casier classique, vous pouvez loger trois exemplaires de la boîte de la fig. 5-2, et deux de celle montrée ici.*

opyright © 2013 Eyrolles.

Figure 5-4. *Cette boîte Plano est sans compartiments, ce qui permet d'y ranger des bobines de fil ou des outils de taille moyenne. Il est possible de placer trois boîtes, empilées l'une sur l'autre, dans un même tiroir.*

Quant aux boîtes de rangement plates, sans compartiments, le type présenté sur la fig. 5-4 (réf. Pro-Latch 23600-00 de Plano) convient parfaitement. Vous en trouverez dans les grandes surfaces de bricolage.

Plano vend aussi des boîtes à outils bien conçues, dotées de petits tiroirs qui permettent d'accéder facilement aux tournevis, pinces et autre matériel. Vous pouvez placer une boîte de ce type sur votre bureau, puisque la plupart des projets en électronique ne nécessitent qu'une surface de travail relativement réduite.

Si vous disposez d'un bureau en acier aux tiroirs assez profonds, l'un d'eux peut être réservé aux catalogues. Ne sous-estimez pas leur importance sous prétexte que vous pouvez tout acheter sur Internet. Le catalogue de Mouser, par exemple, possède un index qui s'avère finalement plus pratique que leur outil de recherche en ligne. À plusieurs reprises, j'ai trouvé dans ce catalogue des articles dont je ne soupçonnais même pas l'existence, simplement en tournant les pages. Certains distributeurs comme Mouser ou Gotronic vous envoient gratuitement leur catalogue. Chez d'autres, ces catalogues existent seulement en version numérique, notamment au format PDF.

Nous arrivons maintenant à la grande question : comment stocker tous les composants tels que résistances, condensateurs et circuits ? J'ai testé diverses solutions. La plus évidente consiste à acheter un ensemble de petits tiroirs amovibles, que vous placez sur votre bureau pour y accéder aisément. Cependant, je n'aime pas ce système, et ce pour deux raisons. D'abord, vous devrez subdiviser les tiroirs pour y ranger les composants les plus petits, mais les cloisons ne seront jamais totalement fiables. Ensuite, qui dit amovibilité des tiroirs dit risque de les renverser accidentellement. Peut-être serez-vous assez précautionneux pour éviter ce genre d'incident, mais pas moi !

Figure 5-5. *Les boîtes Darice Mini-Storage sont idéales pour les composants comme les résistances, les condensateurs et les semi-conducteurs. Les boîtes peuvent être empilées de façon stable ou rangées sur des étagères, puis étiquetées. L'autocollant de la marque peut être facilement retiré après avoir été chauffé avec un pistolet thermique.*

Personnellement, je préfère utiliser des boîtes Darice Mini-Storage (fig. 5-5). Vous pourrez vous en procurer via l'adresse http://www.craftamerica.com, par exemple. Les boîtes bleues sont divisées en cinq compartiments dont la taille et la forme sont exactement celles des résistances. Les boîtes jaunes possèdent dix compartiments, idéaux pour les semi-conducteurs. Les boîtes violettes n'ont pas de subdivisions et les boîtes rouges en ont qui sont variables.

Comme les cloisons sont moulées à l'intérieur des boîtes, elles ne risquent pas de sortir de leur emplacement, ni les composants de se mélanger. Les couvercles tiennent parfaitement : même si vous faites tomber une boîte, il y a peu de chance qu'elle s'ouvre. Les couvercles possèdent des charnières métalliques et les boîtes peuvent être empilées sans risque.

Je conserve ces petites boîtes de rangement au-dessus du bureau, sur des étagères espacées de 8 cm environ, ce qui me permet d'empiler deux boîtes sur chaque étagère. Si je souhaite travailler avec un sous-ensemble de boîtes, je les pose sur le bureau en les empilant.

Copyright © 2013 Eyrolles.

Étiquetage

Quelle que soit la façon dont vous rangez les composants, il est essentiel de procéder à un étiquetage. N'importe quelle imprimante à jet d'encre permet d'obtenir des étiquettes convenables, et si vous en choisissez qui sont repositionnables, vous pourrez revoir votre classement si besoin, comme cela arrive souvent. Pour les résistances, j'utilise des étiquettes comportant un code couleur : ainsi, en comparant les bandes d'une résistance et le code sur l'étiquette, je sais instantanément si la résistance a été rangée dans le mauvais compartiment. Voir fig. 5-6.

Figure 5-6. *Pour pouvoir vérifier que les résistances sont dans les bons compartiments, imprimez le code couleur sur chacune des étiquettes.*

Plus important encore : je vous conseille d'ajouter une deuxième étiquette (non adhésive) dans chaque compartiment, avec les composants. Cette étiquette doit indiquer la référence et la source du fabricant, afin de faciliter le réapprovisionnement. Par exemple, vous pouvez découper l'étiquette figurant sur l'emballage des composants et la glisser au fond du compartiment ad hoc de la boîte.

Si j'étais *vraiment* bien organisé, je créerais une base de données sur mon ordinateur qui répertorie tout ce que j'achète, en mentionnant la date d'achat, la source, le type de composant et la quantité. Mais je ne le suis pas !

Sur l'établi

Certains éléments sont si essentiels qu'ils devraient être en permanence sur votre bureau ou votre plan de travail. Il s'agit notamment du ou des fers à souder, de la troisième main avec loupe, de la lampe de bureau, de la platine de montage, du bloc multiprise et du bloc d'alimentation. Pour la lampe de bureau, je conseille une ampoule fluorescente avec spectre lumière du jour, car elle diffuse une luminosité uniforme et aide à distinguer les couleurs des bandes de couleurs des résistances.

La question du bloc d'alimentation est un choix personnel. Si vous êtes un passionné d'électronique, vous pouvez acheter un bloc délivrant un courant continu lissé à diverses tensions régulées et calibrées. L'adaptateur secteur à prise murale que vous avez utilisé jusqu'à présent ne répond à aucun de ces critères et sa sortie varie en fonction de la charge appliquée. Pourtant, comme vous l'avez vu, il convient très bien pour les expériences élémentaires et, lorsque vous utilisez des circuits logiques, vous devez de toute manière monter un régulateur 5 V sur la platine de montage. C'est pourquoi un bon bloc d'alimentation me paraît plutôt facultatif.

Autre appareil en option, l'oscilloscope. Il vous montrera, sous forme graphique, les variations électriques à l'intérieur des fils et des composants, et en appliquant les sondes en différents points, vous pourrez déceler les éventuelles erreurs de votre circuit. C'est un beau gadget, mais il vous en coûtera plusieurs centaines d'euros, et jusqu'à présent, il ne nous a pas été nécessaire. Si vous prévoyez de vous lancer sérieusement dans les circuits audio, un oscilloscope s'avérera bien plus important, car vous pourrez visualiser la forme des ondes que vous générerez.

Au lieu d'un oscilloscope, vous pouvez acheter une unité qui se branche sur le port USB de votre ordinateur et utilise l'écran pour afficher le signal. J'en ai testé une, sans être vraiment satisfait du résultat. L'unité a fonctionné, mais ne m'a pas paru précise ni fiable pour les signaux à basse fréquence. Peut-être ai-je été malchanceux, mais j'ai préféré ne pas essayer d'autres marques.

opyright © 2013 Eyrolles.

Inévitablement, la surface de votre bureau sera endommagée par des éraflures, des marques de coupures ou des gouttes de soudure. Personnellement, je la protège avec une plaque de contreplaqué, maintenue à l'aide d'un étau miniature. Pour réduire le risque d'électricité statique lorsque je travaille avec des composants sensibles, je recouvre le contreplaqué de mousse conductrice. Celle-ci n'est pas bon marché, mais évite que les circuits soient abîmés. En outre, au lieu d'éparpiller les composants, je peux les piquer dans la mousse, comme des fleurs dans un jardin. Et à la manière d'un jardin, je peux créer plusieurs zones, avec les résistances d'un côté, les condensateurs de l'autre, et les circuits au milieu.

Votre établi va forcément connaître la pagaille. Bouts de fils, vis éparses, attaches et morceaux d'isolants auront tendance à s'accumuler, et si des fragments de métal se glissent dans un projet que vous développez, ils pourront provoquer des courts-circuits. Par conséquent, il vous faudra un conteneur à déchets, facile d'emploi. Pour ma part, j'utilise un grand seau, pour être certain de ne pas manquer ma cible !

Enfin, vous aurez absolument besoin d'un ordinateur. Maintenant que toutes les documentations techniques sont disponibles sur Internet, que tous les composants peuvent y être commandés et que les passionnés d'électronique y proposent des exemples de circuits, je ne pense pas qu'il soit possible de travailler efficacement sans un accès rapide à Internet. Pour économiser l'espace, je vous conseille de choisir un ordinateur portable, bon marché et peu encombrant. La fig. 5-7 illustre une configuration possible d'établi, avec un bureau en acier.

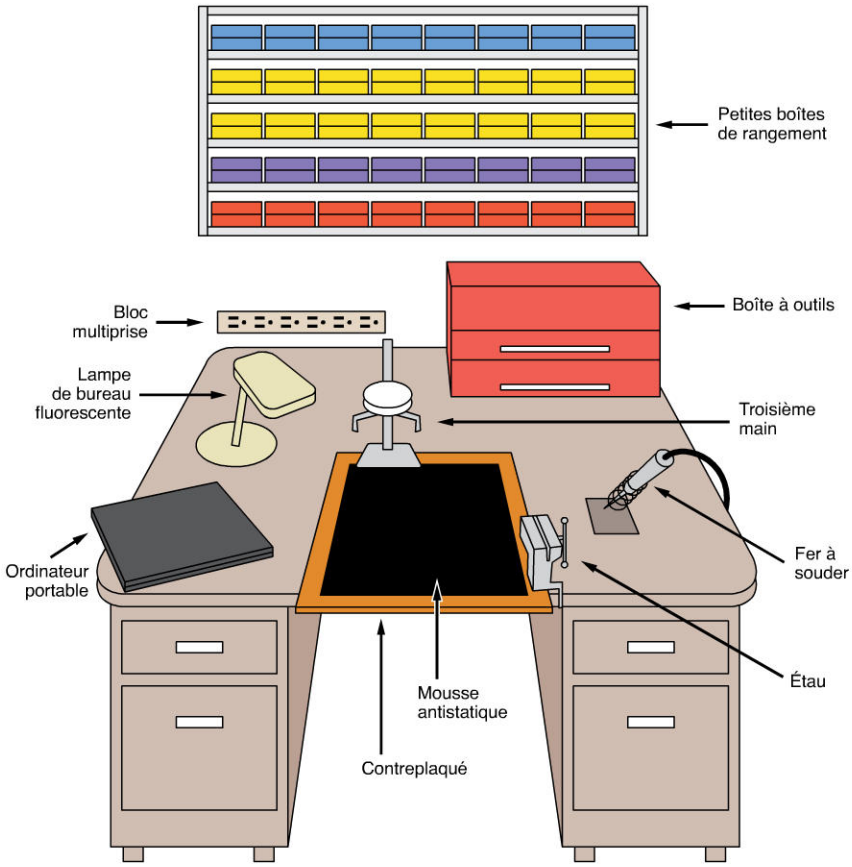


Figure 5-7. *Pour les petits projets d'électronique, un vieux bureau en acier fera aussi bien l'affaire, si ce n'est mieux, qu'un établi traditionnel. Il offre une surface de travail conséquente et une masse suffisante pour vous relier à la terre quand vous manipulez des composants sensibles à l'électricité statique.*

Copyright © 2013 Eyrolles.

Sources de référence en électronique

Voici quelques sites et ouvrages de référence consacrés à l'électronique, en français ou en anglais.

Sur Internet

Mon site favori est Doctronics (http://www.doctronics.co.uk), un site de référence britannique à vocation pédagogique. J'apprécie leurs schémas et leurs nombreuses illustrations de circuits sur platine de montage (ce que montrent rarement la plupart des autres sites).

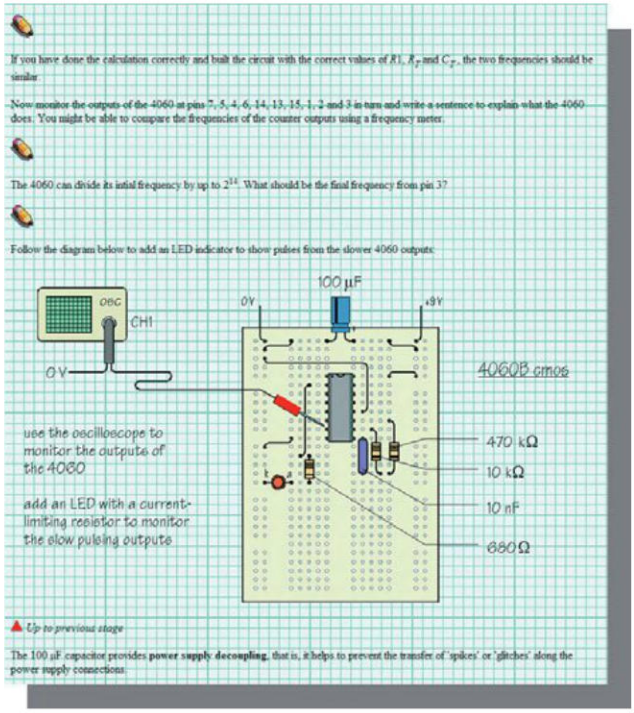


Figure 5-8. *Cette page extraite du site web de Doctronics illustre leur approche explicative détaillée.*

Parmi les sites français, on peut mentionner le site de Christian Tavernier (http://www.tavernier-c.com), auteur de plusieurs ouvrages de référence, qui offre toute une gamme de services liés à l'électronique et à la micro-informatique : documentations, brochages, normes, schémas, réalisations de montages divers, présentation de circuits intégrés, logiciels pour électroniciens, livres, etc.

On peut aussi citer le site d'Elektor, la revue homonyme d'électronique (http://www.elektor.fr), qui regroupe notamment des articles, un forum et des composants à la vente.

Copyright © 2013 Eyrolles.

Figure 5-9. *Page d'accueil du site Elektor.*

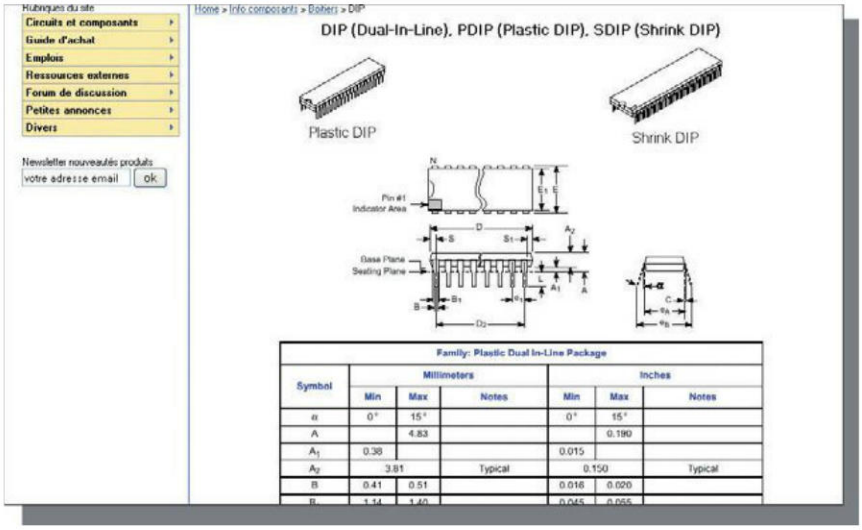


Figure 5-10. *Extrait de page du site ABCelectronique.*

Le portail ABCelectronique (http://www.abcelectronique.com) est également un site utilisé par les professionnels et les amateurs dans le domaine de l'électronique et des circuits intégrés, qu'ils soient débutants ou confirmés.

Copyright © 2013 Eyrolles.

Livres

Oui, certains livres d'électronique vous seront utiles. Puisque vous avez déjà acheté cet ouvrage d'initiation, je ne vous recommanderai pas de manuels similaires, mais plutôt des titres qui vous permettront d'approfondir vos connaissances.

Practical Electronics for Inventors, Second Edition, de Paul Scherz (McGraw-Hill, 2007)

Ouvrage complet et très utile. Il est ma principale référence et couvre un large éventail de principes, depuis les propriétés élémentaires des résistances et des condensateurs jusqu'aux notions de mathématiques les plus pointues. Si, en plus du livre que vous tenez entre les mains, vous devez en acheter un autre – et si l'anglais ne vous rebute pas –, ce sera celui-là.

Arduino - Maîtriser sa programmation et ses cartes d'interface (shields), de Christian Tavernier (Dunod, 2011)

Si vous appréciez la simplicité et les performances du microcontrôleur PICAXE que je décris plus loin dans ce chapitre, vous découvrirez que le circuit Arduino peut faire bien plus. Cet ouvrage est une excellente introduction et vous familiarisera avec Processing, le langage de programmation utilisé par Arduino.

Arduino – Applications avancées, de Christian Tavernier (Dunod, 2012)

Ce deuxième ouvrage de Christian Tavernier sur Arduino va plus loin que le premier, avec des applications de clavier tactile, télécommande par Internet, géolocalisation, reconnaissance vocale...

Making Things Talk, de Tom Igoe (Make: Books, 2007)

Ce livre (en anglais) exhaustif et ambitieux explique comment tirer le meilleur parti de la capacité du circuit Arduino à communiquer avec son environnement.

CMOS Sourcebook, de Newton C. Braga (Sams Technical Publishing, 2001)

Ouvrage entièrement consacré à la série 4000 des circuits CMOS, et non à la série 74HC00 traitée dans cet ouvrage. La série 4000 est plus ancienne et doit être manipulée avec soin, car elle est plus vulnérable à l'électricité statique que les générations ultérieures. En contrepartie, ces circuits offrent l'avantage de tolérer une large gamme de tensions, de 5 à 15 V. Le livre (en anglais) est découpé en trois parties : notions fondamentales sur les CMOS, diagrammes fonctionnels et schémas de circuits simples.

Fondements d'électronique, 6e édition, et Systèmes numériques, 9e édition, de Thomas L. Floyd, (Reynald Goulet, 2013)

Ces deux bibles d'électronique, régulièrement rééditées, constituent des ouvrages de référence pour les étudiants comme pour les amateurs, en dépit de leur aspect académique.

Guide des circuits intégrés (Publitronic, 1986)

Ce livre est une petite bible de descripion des circuits CMOS et TTL.

opyright © 2013 Eyrolles.

FONDAMENTAUX

Une relation dans les deux sens

Tout moteur électrique exploite la relation entre électricité et magnétisme. Rappelez-vous que l'électricité peut créer du magnétisme, car c'est fondamental :

Quand l'électricité circule dans un fil, elle crée une force magnétique autour de ce fil.

Ce principe est réciproque : le magnétisme peut créer de l'électricité. Quand un fil se déplace dans un champ magnétique, un flux d'électricité apparaît dans ce fil.

Ce second principe est utilisé pour la génération de l'alimentation électrique. Ainsi, on pourra utiliser un moteur diesel, une turbine alimentée à l'eau ou un moulin pour faire tourner, soit des bobines de fil dans un champ magnétique puissant, soit des aimants au milieu de grosses bobines de fil, ce qui induira de l'électricité dans ces bobines. Dans la prochaine expérience, nous en verrons une mini-démonstration spectaculaire.

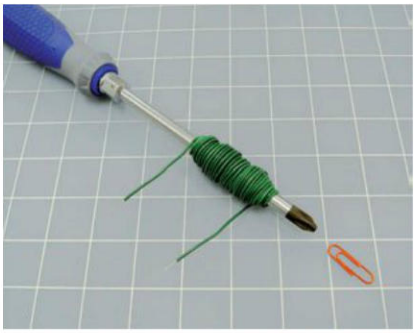


Figure 5-11. *Cette expérience élémentaire d'électromagnétisme consiste à montrer qu'une simple pile AA peut déplacer un trombone.*

Expérience 25 : autour du magnétisme

Même si vous avez déjà dû réaliser cette expérience au lycée, je vous conseille de la refaire, car elle ne nécessite que quelques instants et servira d'introduction à un sujet entièrement nouveau : la relation entre électricité et magnétisme. Je serai ensuite amené à parler de reproduction audio et de radio, puis je décrirai les aspects fondamentaux de l'auto-inductance, qui est la troisième et dernière propriété élémentaire des composants passifs (la résistance et la capacitance étant les deux autres). Jusqu'ici, je n'avais pas encore parlé d'auto-inductance, car elle n'avait pas vraiment de rapport avec les expériences précédentes. Mais maintenant que nous allons aborder les variations de signaux analogiques, elle va s'avérer essentielle.

Vous aurez besoin des éléments suivants :

- Un grand tournevis
- Environ 2 m de fil de diamètre 0,644 mm (ou plus fin)
- Une pile AA

Marche à suivre

Difficile de faire plus simple. Enroulez le fil autour du tournevis, près de sa pointe. Vous aurez 100 tours à faire, sur une longueur n'excédant pas 5 cm. Pour que tous les enroulements tiennent sur cet espace, vous devrez les superposer. Si le dernier tour tend à se défaire (ce qui arrivera si vous utilisez un fil multibrin), fixez-le avec un morceau de ruban adhésif. Voir fig. 5-11.

Appliquez ensuite une pile, comme sur la fig. 5-12. À première vue, cela semble une très mauvaise idée, car la pile va se décharger comme à l'expérience 2. Mais en passant le courant à travers un fil bobiné et non droit, vous pourrez utiliser la pile avant qu'elle rende l'âme.

Approchez un trombone de la pointe du tournevis, en plaçant le tout sur une surface lisse telle qu'un tissu. Beaucoup de tournevis étant déjà magnétiques, il se peut que le trombone soit déjà naturellement attiré vers la pointe. Si tel est le cas, placez le trombone en dehors du champ d'attraction. Puis appliquez les 1,5 V au circuit : le trombone doit se coller à la pointe du tournevis. Félicitations, vous venez de créer un électroaimant !

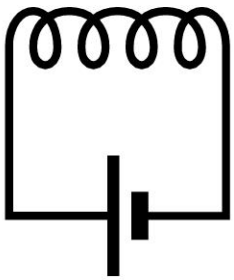


Figure 5-12. *Difficile de faire un schéma plus simple.*

Copyright © 2013 Eyrolles.

THÉORIE

L'inductance

Quand l'électricité passe à travers un fil, elle crée un champ magnétique autour. Comme l'électricité induit cet effet, on parle d'inductance. Voir fig. 5-13.

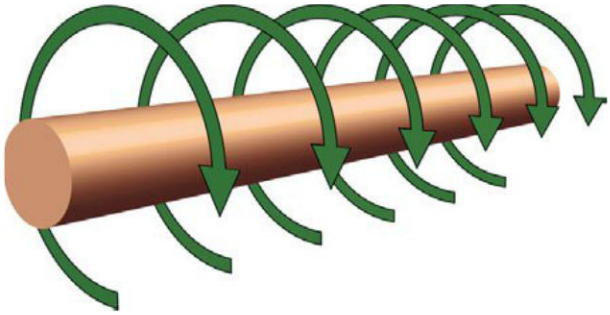


Figure 5-13. *Lorsque le flux d'électricité se déplace de gauche à droite le long de ce conducteur, il induit une force magnétique symbolisée par les flèches vertes.*

Le champ autour d'un fil droit est très faible, mais si nous donnons au fil la forme d'un cercle, la force magnétique commence à s'accumuler, pointant vers le centre de ce cercle, comme illustré à la fig. 5-14. Si nous ajoutons d'autres cercles, pour former une bobine, la force augmente encore. Et si nous plaçons un objet magnétique (tel qu'un tournevis) au centre de la bobine, elle s'accroît encore davantage.

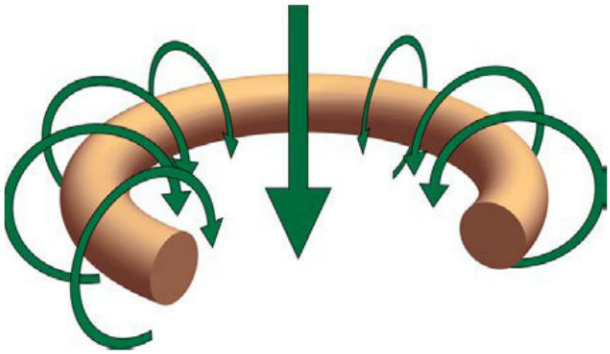


Figure 5-14. *Si le fil conducteur est courbé pour former un cercle, la force magnétique accumulée agit à travers le centre du cercle, comme illustré par la grande flèche verte.*

Voici la formule approchée donnant la relation entre le diamètre de la bobine, sa longueur, son nombre de spires et son inductance. La lettre L est le symbole de l'inductance, même si l'unité est le henry, du nom du savant américain Joseph Henry.

$$L \text{ (en microhenrys)} = (D^2 \times N^2) / [(460 \times D) + (1\,000 \times l)]$$

Dans cette formule, D désigne le diamètre de la bobine exprimé en mm, N son nombre de spires et l sa longueur, exprimée en mm (voir fig. 5-15). Cette équation permet d'affirmer que :

- l'inductance augmente avec le diamètre de la bobine ;
- l'inductance est proportionnelle au carré du nombre de spires : ainsi, trois fois plus de spires créent une inductance neuf fois supérieure ;
- pour un nombre de spires constant, l'inductance est plus élevée si la bobine est courte et large que si elle est longue et étroite.

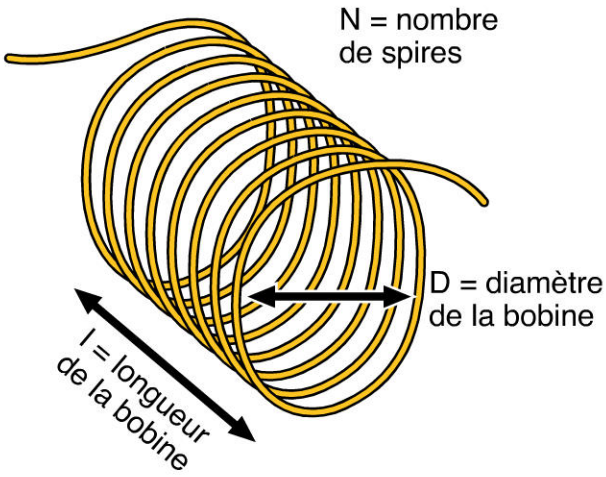


Figure 5-15. *L'inductance d'une bobine croît avec son diamètre et le carré de son nombre de spires. Si tous les autres paramètres sont constants, plus la bobine est courte, plus l'inductance est élevée.*

Copyright © 2013 Eyrolles.

FONDAMENTAUX

Les bobines

Examinez les symboles des bobines de la fig. 5-16. Si le noyau de la bobine est en fer, cela se traduit par deux traits supplémentaires (parfois un seul) sur son symbole. S'il est en ferrite, les traits sont remplacés par des tirets.

Un noyau de fer augmente l'inductance d'une bobine, parce qu'il accroît l'effet magnétique.

Une bobine isolée ne possède généralement pas de polarité. Vous pouvez la connecter dans un sens ou dans l'autre, mais la force magnétique sera inversée en conséquence (en revanche, les bobines interagissant avec un transformateur ou un solénoïde, par exemple, possèdent une polarité).

Le transformateur est l'application la plus courante des bobines : le courant alternatif d'une première bobine induit celui d'une deuxième, les deux partageant le même noyau de fer. Si la bobine principale (entrée) possède moitié moins de tours que la bobine secondaire (sortie), la tension sera doublée, avec une intensité diminuée de moitié – en supposant que le transformateur soit efficace à 100 %.

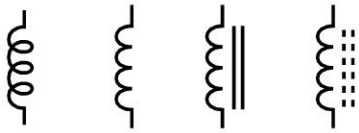


Figure 5-16. *Ces symboles représentent des bobines. Le plus à gauche est l'ancienne représentation. Les deux de droite indiquent que la bobine est enroulée autour d'un noyau magnétique solide ou en poudre de fer (le plus à droite).*

HISTOIRE

Joseph Henry

Né en 1797, Joseph Henry a été le premier à étudier et à démontrer la puissance des électroaimants. Il est aussi à l'origine du concept d'auto-induction, selon lequel l'inertie électrique est une propriété d'une bobine de fil.

Henry était le fils d'un journalier d'Albany (état de New York). Il travailla dans un grand magasin avant d'être embauché comme apprenti chez un bijoutier. Il rêvait de devenir acteur. Poussé par ses amis, il s'inscrivit à l'Académie d'Albany, où se révélèrent ses aptitudes pour la science. En 1826, il y est nommé professeur de mathématiques et de philosophie naturelle, sans être pour autant diplômé. Il se décrivait d'ailleurs lui-même comme un autodidacte.

Henry fut nommé à Princeton en 1832. Quand Morse tenta de breveter le télégraphe, Henry témoigna qu'il en connaissait déjà le concept. En effet, il avait conçu un dispositif similaire pour prévenir son épouse à son domicile, quand lui travaillait dans son laboratoire.

Outre la physique, Henry enseigna aussi la chimie, l'astronomie et l'architecture. La science n'étant pas alors compartimentée en spécialisations comme aujourd'hui, il s'intéressa à des phénomènes aussi divers que la phosphorescence, le son, la capillarité et la balistique. En 1846, il devint le secrétaire du Smithsonian Institute, récemment fondé.

Figure 5-17. *Joseph Henry est un scientifique américain, pionnier des recherches en électromagnétisme (source : Wikimedia Commons).*

Copyright © 2013 Eyrolles.

Expérience 26 : une alimentation électrique manuelle

Avec simplement trois composants, vous allez découvrir comment le magnétisme peut générer de l'électricité.

Vous aurez besoin des éléments suivants :

- 1 aimant néodyme cylindrique, de 2 cm de diamètre environ, magnétisé axialement
- 1 bobine de fil de diamètre 0,4 mm environ, longue de 30 m
- 1 bobine de fil aimanté, de diamètre 0,4 mm environ, longue de 100 m
- 1 LED générique
- 1 condensateur électrolytique de 100 µF
- 1 diode de signal, 1N4001 ou similaire
- 2 câbles avec pinces crocodile aux extrémités

Marche à suivre

Vous devriez pouvoir réaliser cette expérience avec la bobine de fil, mais comme les résultats seront sans doute plus probants avec le fil aimanté, j'imagine que vous choisirez cette seconde solution, au tout début du moins. Grâce à l'isolant très fin qui le recouvre, le fil aimanté permet d'obtenir des bobines extrêmement compactes, ce qui accroît leur inductance.

Par le centre de la bobine, vérifiez d'abord que l'extrémité intérieure du fil est bien accessible (fig. 5-18 et 5-19). Sinon, vous devrez dérouler le fil sur un objet cylindrique de grand diamètre, puis l'enrouler à nouveau sur la bobine, en laissant cette fois cette extrémité apparente.

Figure 5-18. *Une bobine de fil ordinaire peut normalement mettre en avant sa puissance inductrice.*

Raclez l'isolant transparent des deux extrémités du fil aimanté avec un couteau ou du papier de verre, jusqu'à ce que le cuivre apparaisse. À titre de vérification, branchez le multimètre, réglé sur la mesure des ohms, aux extrémités du fil. Si le contact est bien établi, la résistance mesurée doit être égale à 30 ohms au plus.

Placez la bobine sur une surface non magnétique et non conductrice, telle qu'une table en bois, en plastique ou en verre. Attachez la LED entre les extrémités du fil avec les pinces crocodile. La polarité importe peu. Puis introduisez rapidement un aimant néodyme cylindrique (comme celui de la fig. 5-20) dans le noyau central de la bobine et retirez-le tout aussi vite (fig. 5-21). La LED doit clignoter, lorsque l'aimant entre dans la bobine ou en sort.

Figure 5-19. *Le fil aimanté possède un isolant plus fin que le fil non aimanté. La possibilité d'obtenir des tours plus serrés induit un champ magnétique plus puissant.*

La même chose peut se produire (ou non) si vous utilisez le fil non aimanté. Idéalement, l'aimant cylindrique doit pouvoir épouser presque parfaitement le noyau de la bobine. Si l'interstice est trop grand, l'effet de l'aimant s'en trouvera considérablement réduit. Notez que si vous utilisez un ancien aimant en fer au lieu d'un aimant néodyme, vous n'aurez peut-être aucun résultat.

Copyright © 2013 Eyrolles.

Aimants : attention, danger !

Un aimant néodyme peut être dangereux. Il est fragile et peut se briser s'il heurte un morceau de métal magnétique (ou un autre aimant). Pour cette raison, de nombreux fabricants conseillent de se protéger les yeux.

Comme la force d'attraction d'un aimant croît avec la diminution de la distance le séparant d'un objet, il peut se coller brusquement à ce dernier. Veillez donc à ne pas vous pincer !

Si un objet en fer ou en acier se trouve à côté d'un aimant néodyme, celui-ci risque de l'attraper en provoquant des effets indésirables, notamment si cet objet possède des bords tranchants et que vos mains se trouvent à proximité. Lorsque vous utilisez un aimant, réservez un espace dégagé sur une surface non magnétique et vérifiez qu'il n'y a pas d'objets magnétiques en dessous. Mon aimant avait ainsi détecté une vis en acier sous une table de cuisine et l'a attirée violemment contre le plateau de la table.

Ayez à l'esprit que les aimants créent des aimants. Quand un champ magnétique traverse un objet en fer ou en acier, ce dernier récupère une partie du magnétisme. Attention à ne pas magnétiser votre montre !

N'utilisez pas d'aimants près d'un ordinateur, d'un lecteur de disque, d'une carte bancaire, d'une cassette, etc. Tenez aussi les aimants à distance des écrans de télévision et des moniteurs vidéo. Sachez enfin qu'un aimant puissant peut aussi interférer avec un stimulateur cardiaque et perturber son fonctionnement.

Figure 5-20. *Trois aimants néodymes, de diamètre 1/4, 1/2 et 3/4 de pouce. Impossible de les photographier en les maintenant séparés d'un centimètre.*

Figure 5-21. *En déplaçant vigoureusement un aimant verticalement à travers le noyau d'une bobine, vous générez assez de puissance pour que la LED clignote d'une lumière vive.*

Voici une autre expérience. Débranchez la LED et connectez un condensateur électrolytique de 100 µF en série avec une diode de signal (fig. 5-23). Reliez le multimètre, réglé sur la mesure des volts, au condensateur. Si le multimètre peut être réglé manuellement, choisissez le calibre de tension 20 V continue. Assurez-vous que le côté positif (non marqué) de la diode soit attaché au côté négatif (marqué) du condensateur, de telle sorte que la tension positive passe à travers le condensateur, puis à travers la diode.

Déplacez vigoureusement l'aimant verticalement dans la bobine. Le multimètre doit montrer que le condensateur accumule une charge, jusqu'à 10 V. Quand vous arrêtez de bouger l'aimant, la valeur affichée doit décliner progressivement, principalement parce que le condensateur se décharge à travers la résistance interne du multimètre.

Cette expérience est plus importante qu'il n'y paraît. Gardez à l'esprit que lorsque vous introduisez l'aimant dans une bobine, il induit le courant dans une direction, et que lorsque vous le retirez, il induit le courant dans la direction opposée. En fait, vous générez alors un courant alternatif.

La diode autorise le courant à circuler dans un seul sens à travers le circuit. Elle bloque le flux opposé, qui correspond à la façon dont le condensateur accumule sa charge. Si vous en concluez que les diodes peuvent être utilisées pour convertir le courant alternatif en courant continu, vous avez parfaitement raison ! On dit que la diode redresse le courant alternatif.

L'expérience 25 a montré que la tension peut créer un aimant, tandis que l'expérience 26 a prouvé qu'un aimant peut créer une tension. Nous voici prêts à appliquer ces résultats à la détection et à la reproduction de sons.

opyright © 2013 Eyrolles.

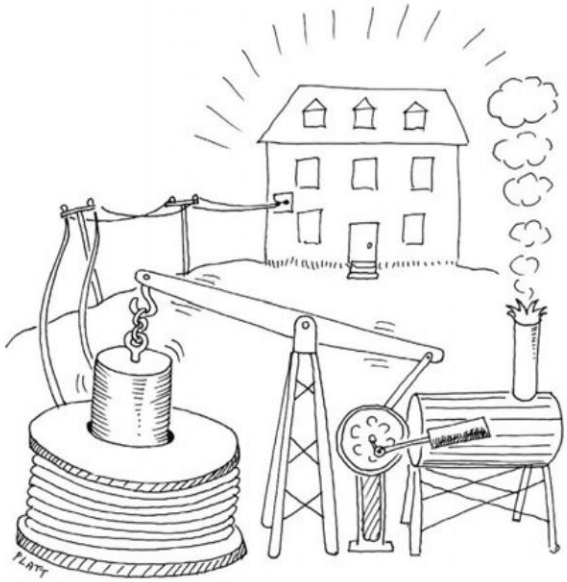


Figure 5-22. *Comme l'inductance est proportionnelle au diamètre d'une bobine et au carré du nombre de tours, la tension résultante du déplacement d'un aimant à travers cette bobine peut s'accroître de façon spectaculaire. Ceux qui veulent se passer du réseau électrique national peuvent considérer ce système d'alimentation à vapeur, qui convient pour une maison comportant trois chambres.*

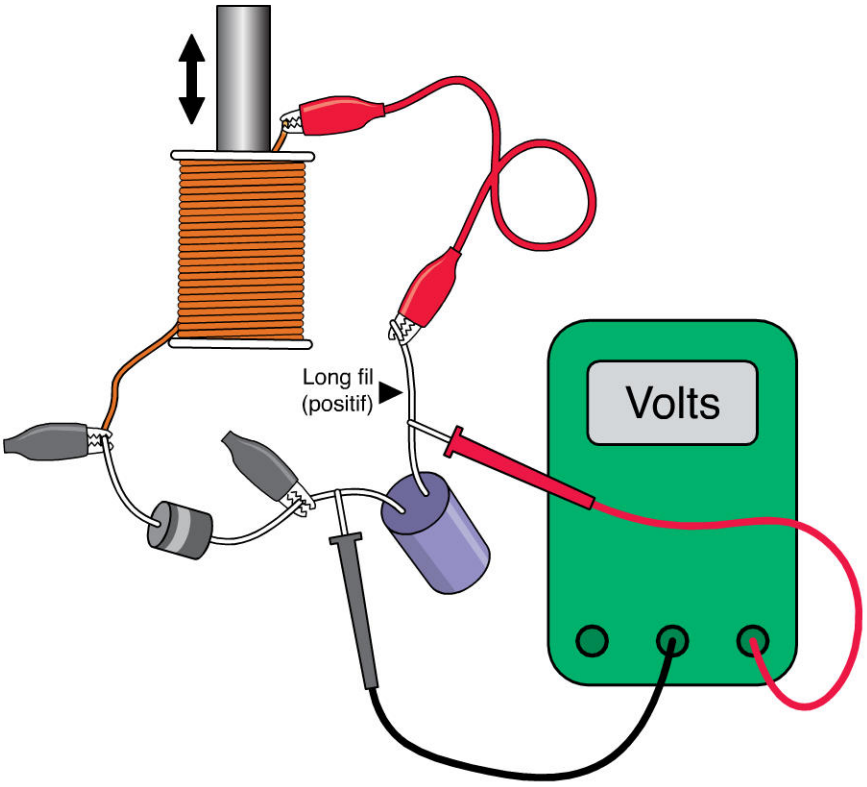


Figure 5-23. *Si vous utilisez une diode en série avec un condensateur, vous pouvez le charger avec les impulsions de courant générées en déplaçant l'aimant à l'intérieur de la bobine. Cette expérience illustre le principe de redressement du courant alternatif.*

opyright © 2013 Eyrolles.

Figure 5-24. *Il est instructif d'ouvrir ce haut-parleur, à l'aide d'une lame X-Acto, par exemple.*

Expérience 27 : démontez un haut-parleur

J'aimerais que vous sacrifiiez un haut-parleur, et donc les quelques euros qu'il vous aura coûté. De toute façon, ce sacrifice ne sera pas inutile, car pour comprendre comment fonctionne un composant, rien de mieux que de le démonter.

Il vous faudra :

- 1 haut-parleur de 5 cm de diamètre environ, le moins cher possible. La fig. 5-24 en présente un modèle typique.

Marche à suivre

Orientez le haut-parleur face vers le haut (comme sur la fig. 5-25), découpez le cône à l'aide d'un couteau ou d'une lame X-Acto, ainsi que la partie centrale, puis retirez le cercle de papier noir. Le résultat doit s'apparenter à celui de la fig. 5-26 : vous devez voir le cou flexible du haut-parleur, généralement composé d'un matériau tissé de couleur jaune. En découpant le bord, vous pouvez retirer le cylindre de papier et dégager la bobine de cuivre (fig. 5-27). Les deux extrémités de la bobine reçoivent normalement l'alimentation via les deux bornes au dos du haut-parleur. Quand elle est placée dans l'espace visible entre l'aimant intérieur et l'aimant extérieur, la bobine répond aux variations de tension en exerçant une force verticale en réaction au champ magnétique. Il s'ensuit une vibration du cône du haut-parleur et la création d'ondes sonores.

Les haut-parleurs de votre système stéréo fonctionnent exactement de cette manière. Ils possèdent simplement des aimants plus volumineux et des bobines pouvant supporter une plus grande puissance (généralement, jusqu'à 100 W).

Chaque fois que j'ouvre ce type de haut-parleur, je suis impressionné par la précision et la finesse des pièces qui le composent, et surpris qu'il puisse être fabriqué en série pour un coût si faible. J'imagine quel serait l'étonnement des pionniers de l'électricité (Faraday et Henry) s'ils voyaient les composants dont nous disposons aujourd'hui. Henry consacra des semaines entières à enrouler manuellement des bobines pour créer des électroaimants bien moins efficaces que ce petit haut-parleur bon marché.

Figure 5-25. *Haut-parleur prêt à être ouvert à des fins pédagogiques.*

Figure 5-26. *Le cône a été retiré.*

Figure 5-27. *Notez la bobine de fil de cuivre, qui s'adapte parfaitement à l'espace entre les deux aimants à la base du haut-parleur.*

opyright © 2013 Eyrolles.

HISTOIRE

Origine des haut-parleurs

Les haut-parleurs utilisent un principe simple : si vous faites passer un courant électrique variable à travers une bobine située dans un champ magnétique, celle-ci se déplace, en réaction au courant. Cette propriété a été utilisée en 1874 par Ernst Siemens, inventeur allemand prolifique (qui a aussi conçu le premier ascenseur électrique en 1880). Aujourd'hui, Siemens AG est l'une des plus grandes entreprises mondiales d'électronique.

Quand Alexander Graham Bell déposa le brevet du téléphone en 1876, il utilisa le concept de Siemens pour créer des fréquences audibles dans l'écouteur. À partir de là, les dispositifs de reproduction sonore gagnèrent progressivement en qualité et en puissance, jusqu'à la publication en 1925 d'un article de deux ingénieurs de General Electric, Chester Rice et Edward Kellog, qui établissaient les principes de base toujours utilisés dans la conception des haut-parleurs.

Sur le site http://radiolaguy.com/Showcase/Speakers/Gallery-HornSpkr.htm, vous trouverez des photos des tout premiers haut-parleurs, qui utilisaient une sorte de cornet pour accroître leur efficacité. Avec l'augmentation de puissance des amplificateurs, l'efficacité des haut-parleurs est devenue moins importante, au regard de la reproduction de la qualité et de la baisse des coûts de fabrication. Aujourd'hui, les haut-parleurs ne convertissent qu'1 % de l'énergie électrique en énergie acoustique.

Figure 5-28. *Ce magnifique Amplion AR-114x illustre les efforts des premiers concepteurs pour accroître l'efficacité des haut-parleurs, à une époque où la puissance des amplificateurs radio était encore très limitée. Photos de « Sonny, the RadiolaGuy » (RadiolaGuy.com).*

Copyright © 2013 Eyrolles.

THÉORIE

Son, électricité et... son

Il est temps que vous ayez une idée claire sur la manière dont le son se transforme en électricité et de nouveau en son.

Imaginez que quelqu'un frappe sur une cloche avec une baguette. La face métallique de la cloche se met à vibrer, créant des ondes sonores. Une onde sonore est un pic de pression atmosphérique, suivi d'un creux.

La longueur d'onde du son correspond à la distance (généralement comprise entre quelques millimètres et plusieurs mètres) entre deux pics de pression.

La fréquence du son est le nombre d'ondes par seconde, généralement exprimé en hertz.

Supposons que nous placions une petite membrane très sensible de plastique fin sur la trajectoire des ondes de pression. Le plastique bougera en réponse aux ondes, comme une feuille au vent. Maintenant, attachons une minuscule bobine de fil très fin au dos de la membrane, de telle sorte qu'elle bouge avec celle-ci, et plaçons un aimant fixe à l'intérieur de la bobine. Cette configuration ressemble à un minuscule haut-parleur ultrasensible, sauf qu'au lieu de produire des sons à partir d'électricité, c'est l'inverse qui se passe. Les ondes sonores font bouger la membrane d'avant en arrière, le long de l'axe de l'aimant, et le champ magnétique crée une tension variable dans le fil.

C'est ce que l'on appelle un microphone à bobine mobile. Il existe d'autres façons de créer un microphone, mais cette configuration est la plus facile à comprendre. Bien sûr, la tension qu'il génère est très faible, mais elle peut être amplifiée à l'aide d'un transistor ou d'un ensemble de transistors. Avec ce signal, nous pouvons alimenter une bobine dont l'aimant intérieur est relié au cou d'un haut-parleur, lequel recréera les ondes de pression dans l'air (voir fig. 5-29 à 5-32).

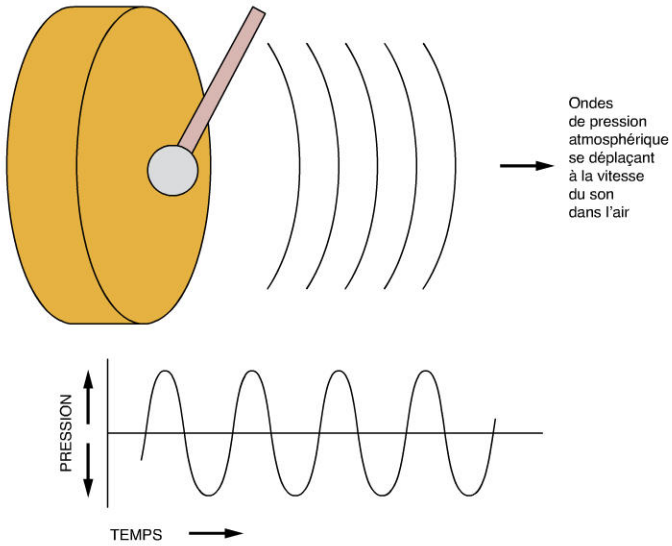


Figure 5-29. *Étape 1 de la conversion du son en électricité, puis de la conversion inverse. Quand le marteau frappe le gong, il vibre, créant des ondes de pression qui se déplacent dans l'air.*

Copyright © 2013 Eyrolles.

THÉORIE

Son, électricité et... son *(suite)*

Durant ce processus, il se peut que nous souhaitions enregistrer le son, puis le reproduire à nouveau. Dans les deux cas, le principe demeure le même. La part la plus difficile consiste à concevoir le microphone, l'amplificateur et le haut-parleur de telle sorte qu'ils reproduisent précisément les formes d'onde à chaque étape. Le défi est de taille, raison pour laquelle la reproduction exacte d'un son peut être délicate.

Réfléchissons maintenant à ce qui se passe dans un fil électrique quand il génère un champ magnétique. Manifestement, une partie de l'énergie du fil est transformée en force magnétique. Mais que se passe-t-il exactement ?

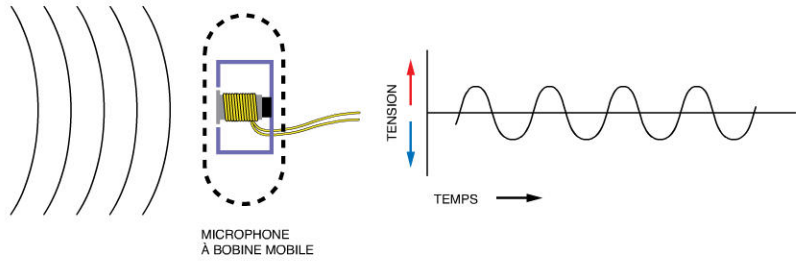


Figure 5-30. *Étape 2 : les ondes de pression pénètrent dans le microphone et entraînent la vibration du diaphragme, auquel est attachée une bobine. Quand celle-ci vibre, l'aimant en son centre induit un courant alternatif.*

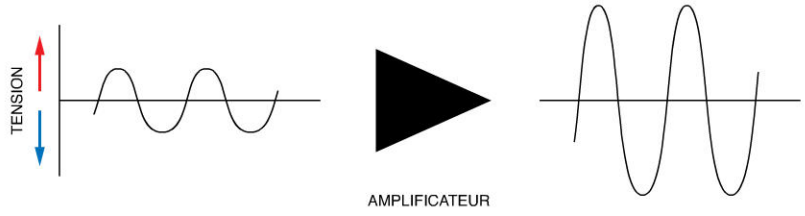


Figure 5-31. *Étape 3 : les minuscules signaux en provenance du microphone traversent un amplificateur, qui augmente leur amplitude tout en conservant leur fréquence et l'aspect de leur forme d'onde.*

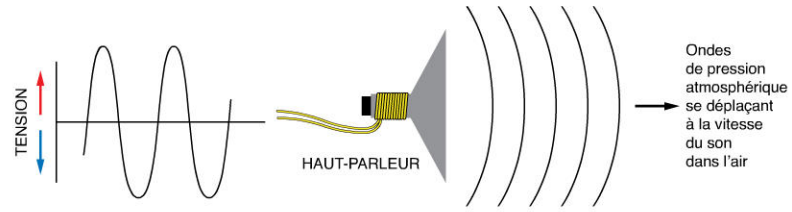


Figure 5-32. *Étape 4 : le signal électrique amplifié est transmis à travers une bobine autour du cou d'un cône de haut-parleur. Le champ magnétique induit par le courant entraîne la vibration du cône et la reproduction du son original.*

Copyright © 2013 Eyrolles.

Expérience 28 : faites réagir une bobine

Un condensateur absorbe le courant continu jusqu'à ce qu'il soit entièrement chargé, puis bloque le flux. Il y a un autre phénomène que je n'ai pas mentionné jusqu'à présent, qui est l'exact opposé de la capacitance. Nommé auto-inductance, il se produit dans toute bobine de fil. Au départ, il bloque le courant continu (en réagissant contre lui), mais cette opposition disparaît progressivement. Voici quelques définitions.

Résistance
: Contraint le flux de courant et fait baisser la tension.

Capacitance
: Permet d'abord au courant de circuler, avant de le bloquer. Ce comportement est appelé *réactance capacitive*.

Auto-inductance
: Bloque initialement le flux de courant, puis l'autorise. Ce phénomène est souvent appelé *réactance inductive*. On parle aussi simplement de réactance, mais j'utiliserai le terme auto-inductance, plus correct.

Dans l'expérience suivante, vous allez voir l'auto-inductance en action.

Vous aurez besoin des éléments suivants :

- 2 LED basse intensité
- 1 bobine de fil, de diamètre 0,4 mm environ, et de 30 m de long
- 1 résistance, 220 Ω, 1/4 W ou plus
- 1 condensateur électrolytique de 2 000 µF ou plus
- 1 interrupteur tactile SPST

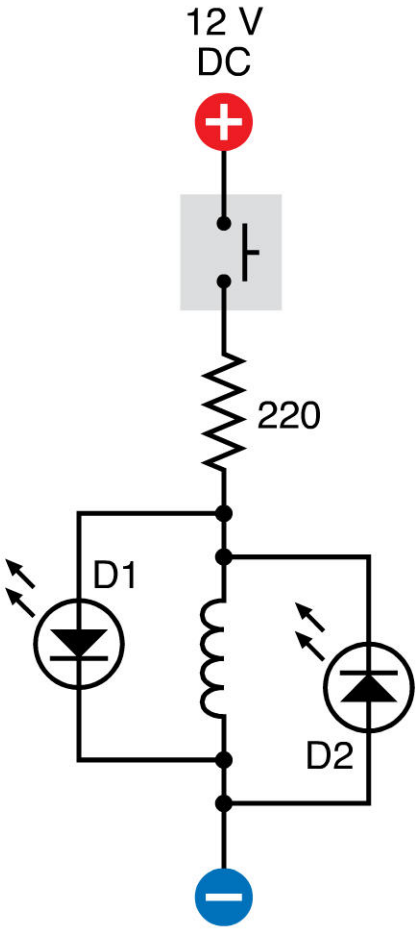


Figure 5-33. *Dans cette démonstration d'auto-inductance, D1 et D2 sont des LED basse intensité. Quand l'interrupteur est fermé, D1 brille brièvement car la bobine obstrue le flux initial d'électricité. Quand l'interrupteur est ouvert, D2 s'allume tandis que le champ magnétique induit par la bobine libère une autre brève impulsion de courant.*

Marche à suivre

Regardez le schéma de la fig. 5-33, qui n'a pas beaucoup de sens à première vue. Le symbole en forme de boucle est une bobine de fil. Donc, en apparence, la tension franchira la résistance de 220 Ω, puis la bobine, en ignorant les deux LED, puisque la bobine a manifestement une résistance bien inférieure aux deux LED (d'autant que l'une d'elles est inversée).

Va-t-il en être ainsi ? Voyons cela. La bobine pourra être constituée de fil de 0,4 mm de diamètre (ou moins), long de 30 m environ, même si la bobine de fil aimanté de l'expérience 25 fonctionnera mieux. Là encore, vous devrez avoir accès aux deux extrémités du fil.

Raccordez à présent la bobine à la platine de montage comme sur la fig. 5-34, où le cercle vert représente un interrupteur tactile, et les deux cercles rouges, les LED. Veillez à utiliser des LED basse intensité (sinon, vous risquez de ne rien voir), en vous assurant que l'une est branchée avec le côté négatif en haut et l'autre avec le côté positif en haut. La résistance de 220 Ω doit être d'1/4 W ou plus, si possible (voir l'encadré page suivante).

Copyright © 2013 Eyrolles.

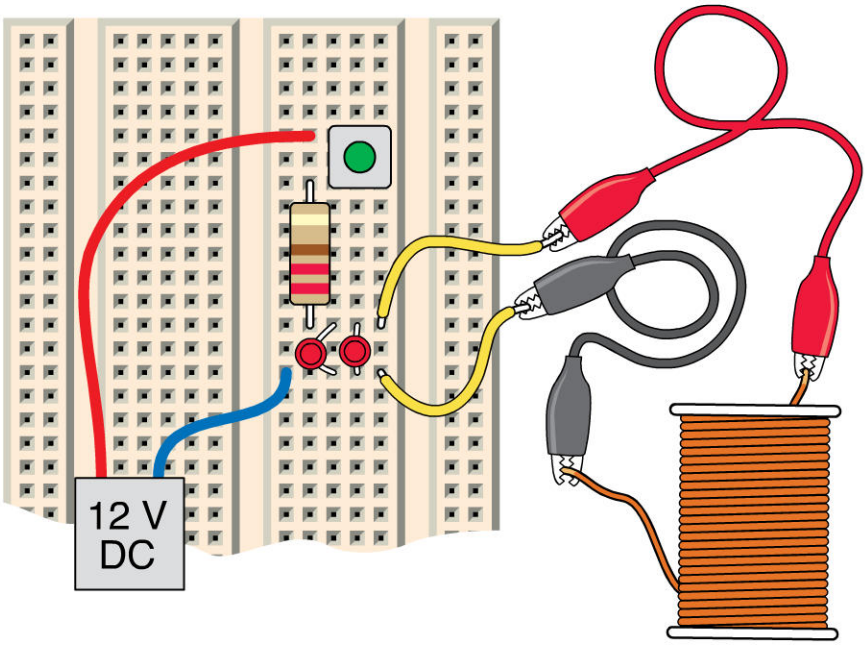


Figure 5-34. *La version plaque de montage du schéma de la fig. 5-33 illustre simplement notre démonstration. Le bouton vert est un interrupteur tactile. Les deux LED rouges doivent être placées de telle façon que la polarité de l'une soit l'opposée de l'autre.*

Quand vous appuyez sur le bouton, l'une des LED doit briller brièvement. Quand vous relâchez le bouton, l'autre doit s'allumer.

Que se passe-t-il ? La bobine possède une auto-inductance, ce qui signifie qu'elle réagit à toute modification soudaine du flux d'électricité. D'abord, elle le combat et, pendant un bref instant, bloque la plus grande partie du courant. En conséquence, le courant cherche un autre chemin et circule à travers D1 (D2 ne répond pas, puisqu'elle ne peut laisser passer le courant que dans l'autre sens).

Mais la tension finit rapidement par surmonter l'auto-inductance de la bobine. Quand l'auto-inductance disparaît, la résistance de la bobine ne dépassant pas 10 ohms, l'électricité circule alors principalement dans la bobine, et quasiment plus à travers la LED, qui s'éteint.

Quand vous stoppez l'alimentation, la bobine réagit à nouveau, puisqu'elle combat toute modification soudaine. À l'arrêt du flux d'électricité, elle reconvertit pendant un moment en électricité le champ magnétique qui s'effondre. Le flux résiduel de courant diminue de lui-même à travers D2.

Autrement dit, la bobine stocke de l'énergie dans son champ magnétique. Ce comportement est similaire à la manière dont un condensateur stocke de l'énergie entre deux plaques métalliques, à l'exception que la bobine bloque d'abord le courant puis le laisse s'accumuler, tandis que le condensateur absorbe le courant avant de le bloquer.

Plus votre bobine comporte de tours de fil, plus son auto-inductance sera élevée et plus le clignotement de la LED sera vif.

Résistances brûlantes

Vous allez faire passer environ 50 mA à travers la résistance de 220 Ω. À 12 V, la puissance est de 0,6 W. Si vous utilisez une résistance d'1/8 W, vous la surchargerez extrêmement vite et elle deviendra très chaude au point de vous brûler. Si vous choisissez une résistance d'1/4 W, elle continuera à être chaude, mais sans risque de brûlures, tant que vous n'appuierez pas sur le bouton de l'interrupteur plus d'une seconde.

Ne faites pas fonctionner le circuit sans la bobine de fil : vous feriez alors passer plus de 50 mA dans les LED.

Copyright © 2013 Eyrolles.

Voici une dernière variante de l'expérience précédente, qui vous permettra de tester vos connaissances en électricité. Remplacez la résistance de 220 Ω par une résistance d'l Ω (pour protéger la LED d'un courant soutenu). Remplacez la bobine par un très grand condensateur, idéalement de 4 700 µF environ (faites attention à sa polarité). Qu'observerez-vous quand vous presserez le bouton (en le maintenant appuyé quelques secondes) ? Et quand vous le relâcherez ? Rappelez-vous que la capacitance a un comportement opposé à celui de l'auto-inductance.

THÉORIE

Principes du courant alternatif

Voici une expérience simple. Imaginez que vous configurez un timer 555 pour envoyer un flux d'impulsions à travers une bobine. C'est une forme primitive de courant alternatif.

Nous pouvons penser que l'auto-inductance de la bobine interférera avec le flux d'impulsions, selon la durée de chaque impulsion et la valeur de l'inductance de la bobine. Si les impulsions sont trop courtes, l'auto-inductance de la bobine tendra à les bloquer. Peut-être que si nous pouvons ajuster précisément la durée des impulsions, elles se synchroniseront avec la constante de temps de la bobine. De cette manière, nous pouvons régler une bobine pour qu'elle permette au signal d'une certaine fréquence de la franchir.

Que se passe-t-il si nous utilisons un condensateur ? Si les impulsions sont trop longues, comparées à la constante de temps du condensateur, celui-ci tendra à les bloquer, car il aura assez de temps pour se charger entièrement. Mais si les impulsions sont plus courtes, le condensateur se chargera et se déchargera en rythme avec les impulsions et semblera les autoriser à le franchir.

La place me manque pour traiter en profondeur le principe du courant alternatif. C'est un domaine vaste et complexe, dans lequel l'électricité se comporte de façon aussi étrange que merveilleuse. Quant aux supports mathématiques qui permettent de le décrire, ils peuvent s'avérer assez ardus, faisant intervenir équations différentielles et nombres complexes. En revanche, nous pouvons facilement montrer les effets de filtre audio d'un haut-parleur et d'une bobine, grâce à l'expérience suivante.

Copyright © 2013 Eyrolles.

Expérience 29 : filtrez certaines fréquences

Dans cette expérience, vous allez découvrir comment l'auto-inductance et la capacitance peuvent être utilisées pour filtrer les fréquences audio. Vous allez créer un circuit séparateur, qui envoie les basses fréquences d'un côté et les hautes fréquences de l'autre.

Vous aurez besoin des éléments suivants :

- 1 haut-parleur de 8 Ω et de 12 cm de diamètre environ. La fig. 5-35 en présente un modèle typique.
- 1 amplificateur audio, STMicroelectronics TEA2025B ou similaire (fig. 5-36)

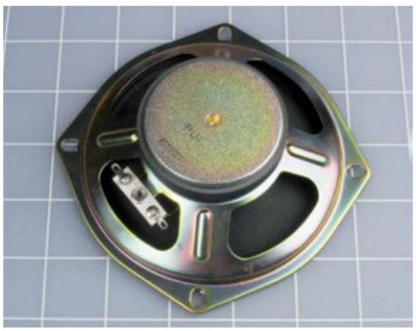


Figure 5-35. *Pour entendre les effets des filtres audio utilisant des bobines et des condensateurs, il vous faut un haut-parleur pouvant reproduire les basses fréquences. Ce modèle de 5 pouces (environ 12 cm de diamètre) est le minimum requis.*

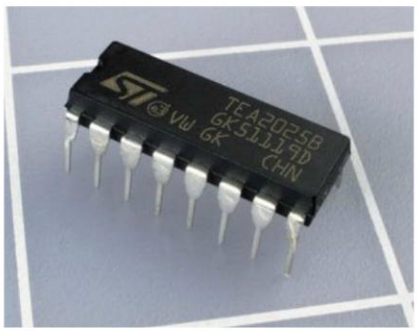


Figure 5-36. *Ce circuit simple contient un amplificateur stéréo capable de délivrer un total de 5 W dans un haut-parleur de 8 Ω lorsque les deux canaux sont combinés.*

Figure 5-37. *Un condensateur électrolytique non polarisé, appelé aussi condensateur bipolaire, ressemble à un condensateur électrolytique, à la différence près qu'il est écrit NP ou BP dessus.*

- 2 condensateurs électrolytiques non polarisés (appelés aussi bipolaires) de 100 µF. Voir la fig. 5-37. La mention NP ou BP doit y figurer pour indiquer qu'ils sont non polarisés ou bipolaires. Comme vous allez travailler avec des signaux audio qui alternent entre le positif et le négatif, vous ne pouvez pas utiliser les condensateurs électrolytiques polarisés habituels. Si vous ne voulez pas acheter de condensateurs non polarisés, vous pouvez utiliser deux condensateurs électrolytiques normaux, montés en série et en sens inverse, leur borne négative au milieu. Souvenez-vous simplement que la capacité totale de plusieurs condensateurs montés en série est égale à la moitié de celle de chacun. Par conséquent, il vous faudra deux condensateurs électrolytiques de 220 µF pour créer une capacité de 110 µF (voir fig.5-38).
- 3 condensateurs électrolytiques classiques de 100 µF
- 1 bobine pour circuit séparateur. Si vous ne pouvez en trouver à un prix acceptable, utilisez une simple bobine de fil longue de 30 m environ et d'un diamètre de 0,8 mm environ.
- 1 boîte en plastique de la taille d'une boîte à chaussures

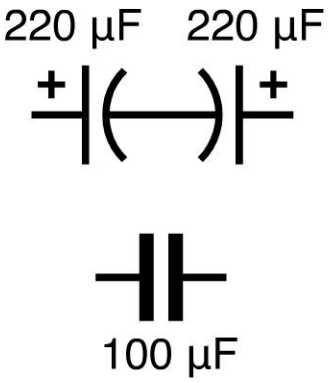


Figure 5-38. *Vous pouvez créer un condensateur électrolytique non polarisé en montant deux condensateurs électrolytiques normaux en série (c'est d'ailleurs ce que vous trouveriez si vous ouvriez un condensateur non polarisé). Le symbole du bas est à peu près équivalent aux deux du haut ; rappelez-vous que deux condensateurs en série ont une capacité totale égale à la moitié de celle de chacun.*

Copyright © 2013 Eyrolles.

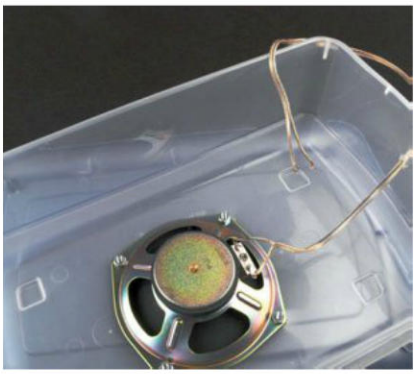


Figure 5-39. *Une caisse de résonance est nécessaire si vous voulez entendre certaines basses fréquences dans votre haut-parleur. Pour cette expérience, une boîte en plastique bon marché suffit.*

Figure 5-40. *Percez quelques trous d'1 cm de diamètre environ au fond de la boîte, puis fixez le haut-parleur, en faisant sortir le fil par un trou pratiqué sur le côté. Fermez avec le couvercle pour obtenir une qualité audio presque haute-fidélité.*

Marche à suivre

L'objectif du circuit amplificateur audio est de fournir assez de puissance pour obtenir une quantité de son acceptable hors du haut-parleur. Le recours à un haut-parleur de 12 cm environ permet d'entendre des sons de fréquence plus basse qu'avec les petits haut-parleurs utilisés précédemment. Les notes basses possèdent en effet de grandes longueurs d'onde que les petits haut-parleurs ne peuvent générer facilement.

Peut-être vous souvenez-vous, depuis l'expérience relative à l'alarme, qu'un haut-parleur produit beaucoup plus de bruit si les ondes sonores au dos du cône n'annulent pas celles générées à l'avant. Pour éviter ce phénomène d'annulation, le meilleur moyen consiste à placer le haut-parleur dans une boîte, en plastique de préférence, car ce type de boîte est bon marché (et la qualité sonore importe peu, pour autant que certaines basses fréquences soient audibles). Les fig. 5-39 et 5-40 montrent respectivement le haut-parleur fixé au fond de la boîte et le dessous de cette boîte.

Normalement, le réceptacle du haut-parleur doit être dans un matériau possédant une très faible fréquence de résonance – inférieure aux limites de l'audition humaine. Pour réduire la résonance de la boîte, vous pouvez y déposer un tissu doux et lourd avant de refermer le couvercle. Une serviette de toilette ou une paire de chaussettes devrait suffire à absorber une partie de la vibration.

Ajout d'un amplificateur

Dans les années 1950, il fallait des tubes à vide, des transformateurs et d'autres composants très gourmands en électricité pour construire un amplificateur audio. Aujourd'hui, il suffit d'acheter un circuit à 1 € et de lui ajouter quelques condensateurs et un contrôle du volume. Le TEA2025B que je vous conseille est utilisé dans les lecteurs CD bon marché ; il peut fonctionner en mode stéréo ou mono, à partir d'une alimentation de 3 à 9 V. Avec 9 V et les deux côtés du circuit réunis pour commander un haut-parleur de 8 Ω, il est possible de générer une puissance audio de 5 W. Cela semble peu, comparé à un home cinéma classique qui délivre 100 W par canal, mais le volume sonore obéissant à une échelle logarithmique, 5 W suffiront à agacer les quelques personnes se trouvant dans la pièce, voire dans celles d'à côté.

Si vous n'arrivez pas à vous procurer le TEA2025B, choisissez un autre circuit répertorié comme amplificateur audio. Essayez d'en trouver un permettant de commander un haut-parleur de 8 Ω offrant jusqu'à 5 W en mode mono. Consultez sa fiche technique pour savoir où placer les condensateurs. Vérifiez si certains d'entre eux n'ont aucune polarité spécifiée, même s'ils ont des valeurs assez élevées, telles que 100 µF. Ces condensateurs doivent fonctionner quelle que soit la façon dont le courant alternatif y circule ; je les ai notés NP (non polarisé) sur la fig. 5-41 (dans les catalogues, vous pouvez aussi les trouver identifiés comme BP ou bipolaires). Conformément à la liste du matériel, vous pouvez placer deux condensateurs de 220 µF en série, en joignant leur borne négative, pour obtenir le même effet qu'avec un seul condensateur non polarisé de 100 µF.

Pour ce projet, il est essentiel d'inclure le condensateur électrolytique de lissage de 100 µF dans l'alimentation. Sinon, l'amplificateur amplifiera les pointes de tension du circuit.

opyright © 2013 Eyrolles.

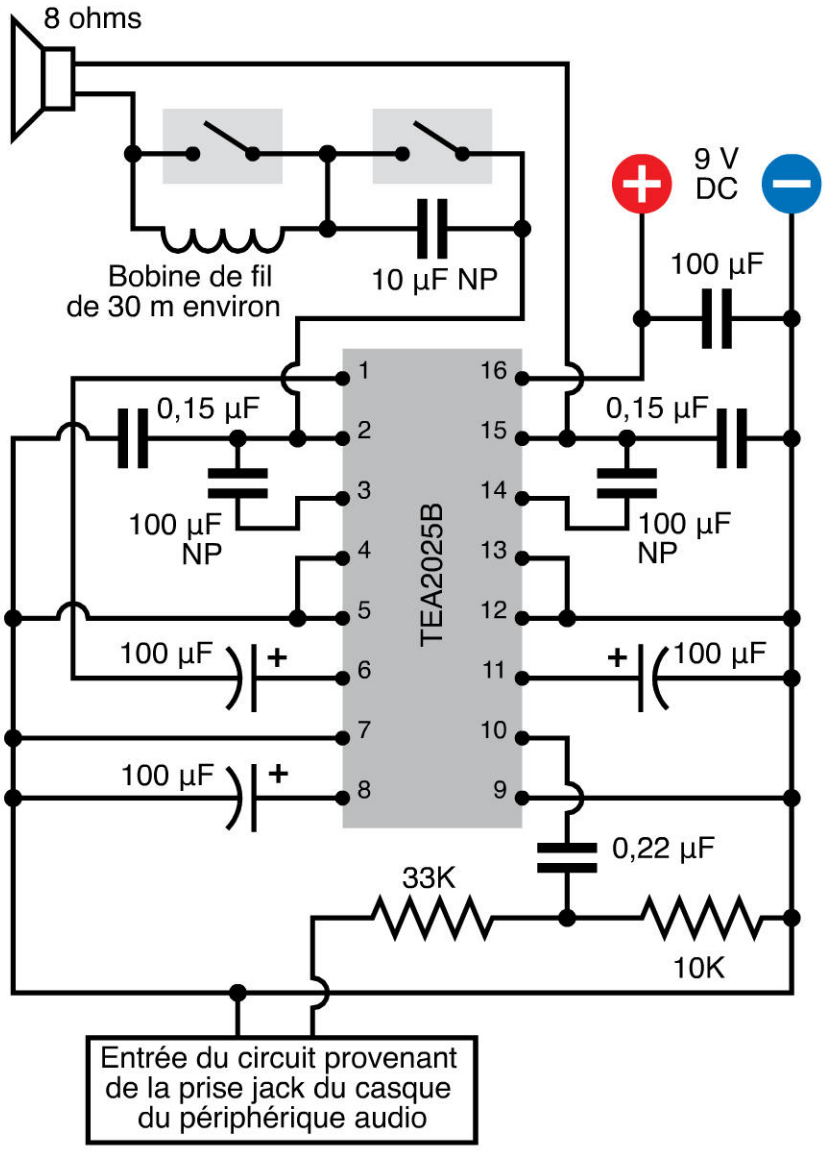


Figure 5-41. *Le circuit de l'amplificateur audio doit être relié à des condensateurs comme illustré, la mention NP indiquant ceux qui ne sont pas polarisés. Les sorties des broches 2 et 15 peuvent être reliées à une bobine ou un condensateur de 10 µF pour mettre en évidence le filtrage audio.*

L'entrée figurant sur le schéma peut être le signal produit par un lecteur classique, MP3 ou CD. Pour relier la prise jack du casque à la platine de montage, vous pouvez utiliser un adaptateur la convertissant en deux prises jack audio de type RCA, puis introduire un fil dans l'une d'elles (fig. 5-42). Le fil se connectera à la résistance de 33K du circuit de la platine de montage. Le corps chromé de la prise jack RCA doit être relié à la borne négative de l'alimentation de la platine de montage ; sinon, vous n'entendrez rien. Vous pouvez ignorer la deuxième sortie de l'adaptateur, car nous travaillons ici en mode mono et non stéréo.

Figure 5-42. *Pour échantillonner le signal de sortie issu de la prise casque d'un lecteur, vous pouvez employer cet adaptateur et introduire l'extrémité dénudée d'un bout de fil dans l'une de ses prises. Puis utilisez les pinces crocodile pour connecter le signal audio au circuit sur la platine de montage. N'oubliez pas de prévoir un fil supplémentaire pour relier le corps chromé de la prise jack RCA à la borne négative de l'alimentation de la platine de montage. Comme nous utilisons un seul haut-parleur, l'amplificateur n'est connecté qu'à l'une des sorties stéréo du lecteur.*

opyright © 2013 Eyrolles.

La résistance de 33K est nécessaire pour empêcher que l'amplificateur ne soit dépassé. Si vous n'obtenez pas un volume suffisant en utilisant votre lecteur audio, diminuez la valeur de 33K. Si la musique est trop forte et déformée, augmentez-la. Vous pouvez aussi essayer d'enlever ou d'accroître la résistance adjacente de 10K, afin de réduire le bourdonnement en fond sonore.

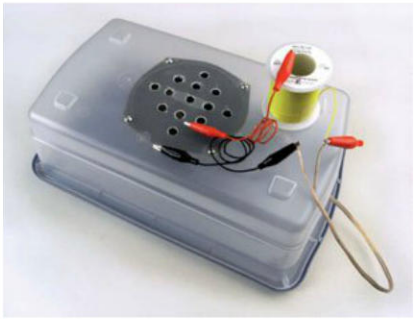


Figure 5-43. *Les pinces crocodile rouge et noire posées sur la boîte doivent être connectées à la sortie du circuit de l'amplificateur. Le fil rouge transmet le signal à travers une bobine de fil jusqu'au haut-parleur. Notez la différence de son quand vous raccourcissez la bobine.*

Le schéma de la fig. 5-41 comporte deux interrupteurs en haut : l'un pour court-circuiter une bobine, l'autre pour court-circuiter un condensateur. Vous pouvez utiliser des pinces crocodile à la place.

La fig. 5-43 montre une bobine constituée d'un fil de câblage. Les pinces crocodile rouge et noire sur la boîte se brancheront à la sortie du circuit (sur les broches 2 et 15). Il n'y a pas de polarité : peu importe quelle pince va sur quelle broche.

Commencez par baisser au minimum le volume de votre source sonore avant de brancher l'alimentation. Ne soyez pas surpris d'entendre un bourdonnement ou un craquement quand vous activez l'amplificateur : il recueillera toute tension égarée, car pour cette expérience, je ne vous ai pas demandé de protéger l'entrée. Aussi le circuit amplificateur peut collecter le bruit, car ses fils se comportent comme des antennes.

Notez que vous pouvez aussi obtenir des sons indésirables si vous utilisez l'amplificateur sur une surface conductrice. Pour ce projet, évitez toute feuille d'aluminium ou toute mousse conductrice.

Assurez-vous que votre lecteur diffuse de la musique, puis tournez lentement le bouton du volume jusqu'à ce que vous entendiez quelque chose. Si vous n'entendez rien, vous avez dû commettre une erreur de montage.

Nous voici arrivés à la partie intéressante de l'expérience. Placez la bobine entre une sortie de l'amplificateur et une entrée du haut-parleur (peu importe laquelle), ou si vous utilisez des interrupteurs, ouvrez celui qui contourne la bobine. En réponse, la musique doit perdre toutes ses hautes fréquences. À l'opposé, si vous remplacez la bobine par un condensateur de 10 µF, vous devriez entendre un son de casserole, ce qui signifie que seules les hautes fréquences ont été conservées.

Vous venez de tester deux filtres très simples.

- La bobine est un filtre passe-bas. Elle laisse passer les basses fréquences, mais bloque les hautes, car les cycles audio courts n'ont pas le temps de surmonter l'auto-inductance de la bobine. Une bobine plus grosse élimine une plage plus étendue de fréquences.
- Le condensateur est un filtre passe-haut. Il laisse passer les hautes fréquences et bloque les basses, car les cycles audio longs peuvent remplir la capacité, auquel cas le condensateur bloque le passage du courant. Un condensateur plus petit élimine une plage plus étendue de fréquences.

Vous pouvez pousser plus loin la conception de filtres, en utilisant des combinaisons complexes de bobines et de condensateurs pour bloquer les fréquences en un point quelconque du spectre audible. Vous trouverez sur Internet des centaines de schémas de filtres audio.

Copyright © 2013 Eyrolles.

Circuits séparateurs

Dans un système audio traditionnel, chaque enceinte de haut-parleur contient deux amplificateurs : un petit haut-parleur appelé *tweeter*, qui reproduit les aigus (hautes fréquences), et un grand haut-parleur nommé *boomer* ou *woofer*, qui reproduit les graves (basses fréquences). Aujourd'hui, ce dernier est souvent placé dans un boîtier à part, qui peut être positionné presque n'importe où, puisque l'oreille humaine perçoit difficilement la direction des sons de basse fréquence.

Le circuit de la fig. 5-41 est appelé circuit séparateur. Les passionnés de Hi-Fi construisent souvent le leur (notamment pour leur voiture), avec des haut-parleurs de leur choix dans des enceintes de leur fabrication.

Pour créer un circuit séparateur, utilisez des condensateurs de haute qualité en polyester (qui n'ont pas de polarité, durent plus longtemps que les condensateurs électrolytiques et sont mieux conçus), ainsi qu'une bobine avec le bon nombre de tours de fil et la bonne taille afin de bloquer la plage souhaitée de hautes fréquences.

La fig. 5-44 montre un condensateur en polyester, et la fig. 5-45, une bobine séparatrice audio achetée sur eBay à 6 euros. Comme j'étais curieux de savoir ce qui se trouvait dans cette bobine, j'en ai acheté deux et mis une de côté. D'abord, j'ai enlevé le ruban de vinyle noir qui l'entourait. À l'intérieur se trouvait du fil aimanté classique, finement recouvert de laque ou d'un plastique semi-transparent (fig. 5-46). J'ai déroulé le fil en comptant le nombre de tours, puis j'ai mesuré la longueur du fil. Enfin, j'ai utilisé un micromètre pour mesurer son diamètre.

La bobine elle-même est constituée de plastique ordinaire avec un noyau d'air – ni fer ni ferrite au milieu. La fig. 5-47 montre la bobine et le fil.

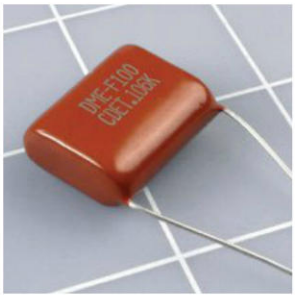


Figure 5-44. *Certains condensateurs non électrolytiques n'ont pas de polarité, comme ce condensateur de haute qualité à pellicule de polyester. Mais ils sont généralement beaucoup plus chers et difficiles à trouver au-delà de 10 µF.*

Figure 5-45. *Quels composants exotiques pouvons-nous trouver à l'intérieur de ce composant audio haut de gamme, utilisé avec un caisson de basse pour bloquer les hautes fréquences ?*

Figure 5-46. *Le retrait du ruban noir révèle une bobine de fil aimanté.*

Figure 5-47. *La bobine séparatrice audio se compose d'une bobine de plastique et de fil. Rien de plus.*

Copyright © 2013 Eyrolles.

Voici donc les caractéristiques de cette bobine particulière : 12 m de fil aimanté de 0,8 mm de diamètre, enroulés sur 200 tours autour d'une bobine en plastique épaisse d'1,6 mm, avec un noyau long de 2,2 cm et d'1,25 cm de diamètre extérieur. Le coût total de ces éléments ne doit pas dépasser quelques euros.

En conclusion, on peut dire que les composants audio font l'objet d'une vénération excessive et sont généralement vendus trop cher. Vous pouvez très bien fabriquer votre propre bobine à partir des caractéristiques précédentes, en les ajustant ensuite à vos besoins.

Supposons que vous souhaitiez installer des haut-parleurs de basse dans votre véhicule. Pourriez-vous fabriquer votre propre filtre de façon à ne laisser passer que les basses fréquences ? Absolument : il vous suffira d'enrouler plus de tours sur votre bobine, jusqu'à ce que vous ayez éliminé la plage souhaitée de hautes fréquences. Assurez-vous juste que le fil soit assez épais pour éviter une surchauffe quand vous faites passer 100 W ou plus.

Autre projet possible : un orgue de couleurs. Vous pouvez exploiter la sortie de votre équipement stéréo et utiliser les filtres pour séparer les fréquences audio en trois groupes, chacun d'eux commandant un ensemble de LED colorées. Les LED rouges clignoteront en réponse aux basses fréquences, les LED jaunes en réponse aux fréquences intermédiaires et les LED vertes en réponse aux hautes fréquences. Vous pouvez placer des diodes de signal en série avec les LED pour redresser le courant alternatif et des résistances en série pour limiter la tension des LED à 2,5 V environ (quand le volume de la musique est réglé au maximum). Vous utiliserez le multimètre pour vérifier l'intensité du courant passant à travers chaque résistance, puis vous multiplierez ce nombre par la chute de tension à travers la résistance afin de déterminer la puissance générée. Il faut en effet vous assurer que la résistance peut dissiper cette puissance sans risque de brûler.

opyright © 2013 Eyrolles.

THÉORIE

Formes d'onde

Si vous soufflez dans une bouteille, le son mélodieux que vous entendez est dû aux vibrations de l'air. Si vous pouviez visualiser ces ondes de pression, vous constateriez qu'elles ont un profil bien particulier.

Si vous pouviez ralentir le temps et tracer un graphique de la tension alternative délivrée au niveau d'une prise électrique de votre habitation, il présenterait ce même profil.

Si vous mesuriez la vitesse d'un pendule se balançant lentement dans le vide et représentiez le graphe de cette vitesse par rapport au temps, il correspondrait encore à ce même profil.

Ce profil est une onde sinusoïdale, ainsi appelée parce que vous l'obtenez à partir des principes de base de la trigonométrie. Dans un triangle rectangle, le sinus d'un angle est égal à la longueur du côté opposé divisée par celle de l'hypoténuse.

Plus simplement, imaginez une balle attachée à une corde tournant autour d'un point central, comme illustré à la fig. 5-48. Ignorez la force de gravitation, la résistance de l'air et autres variables. À intervalles de temps réguliers, tandis que la balle se déplace à vitesse constante le long d'une trajectoire circulaire, mesurez juste sa hauteur verticale et divisez-la par la longueur de la corde. Reportez le résultat sous forme de graphique : vous obtenez l'onde sinusoïdale de la fig. 5-49. Notez que quand la balle passe sous sa ligne horizontale de départ, sa hauteur est considérée comme négative, donc l'onde sinusoïdale le devient aussi.

Pourquoi cette courbe particulière apparaît-elle sous tant de formes dans la nature ? La physique fournit des réponses, mais je vous laisserai explorer vous-même ce sujet s'il vous intéresse. Revenons à la reproduction de sons. Il faut retenir que :

- tout son peut être décomposé en une série d'ondes sinusoïdales de fréquence et d'amplitude variables.
- ou, inversement, en combinant différentes ondes sinusoïdales audio, vous pouvez créer n'importe quel son.

Imaginons que deux sons soient émis simultanément. La fig. 5-50 illustre l'un d'eux par une courbe rouge et l'autre par une courbe bleue. Quand les deux sons se déplacent, comme des ondes de pression dans l'air ou comme des courants électriques alternatifs dans un fil, les amplitudes des ondes s'additionnent pour créer une courbe plus complexe, tracée en noir. Essayez à présent d'imaginer des dizaines, voire des centaines de fréquences ajoutées les unes aux autres, et vous aurez une idée de la complexité d'une forme d'onde d'un morceau de musique.

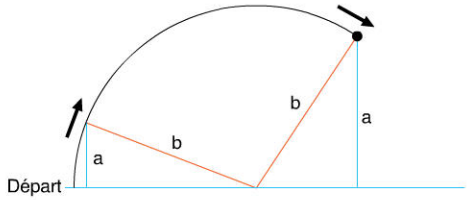


Figure 5-48. *Si un poids à l'extrémité d'une corde (longueur b) suit une trajectoire circulaire à vitesse constante, sa hauteur par rapport à sa ligne horizontale de départ (longueur a) peut être représentée graphiquement par rapport au temps. Le résultat est une onde sinusoïdale, ainsi appelée parce qu'en trigonométrie, le rapport a/b correspond au sinus de l'angle formé par la ligne b et la ligne de référence horizontale, mesuré au centre de la rotation. Les ondes sinusoïdales se retrouvent dans la nature, notamment dans les sons et le courant alternatif.*

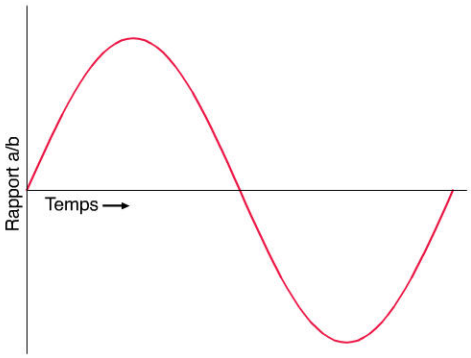


Figure 5-49. *Onde sinusoïdale pure.*

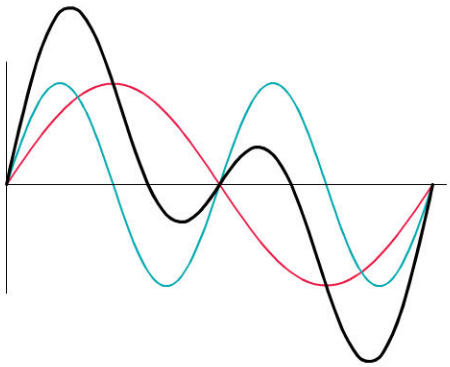


Figure 5-50. *Quand deux ondes sinusoïdales sont générées simultanément (par exemple, par deux musiciens jouant de la flûte), le son résultant se traduit par une courbe composée. La fréquence de l'onde sinusoïdale bleue est le double de celle de l'onde sinusoïdale rouge. La courbe composée noire est la somme des hauteurs des ondes sinusoïdales par rapport à l'axe horizontal du graphique.*

Copyright © 2013 Eyrolles.

THÉORIE

Formes d'onde *(suite)*

Vous pouvez créer votre propre forme d'onde en entrée de l'amplificateur audio avec le temporisateur 555 de la fig. 5-51. Veillez toutefois à ne pas surcharger l'entrée de l'amplificateur. Notez la résistance en série de 680K sur la broche de sortie du timer, ainsi que la présence du potentiomètre de 500 Ω.

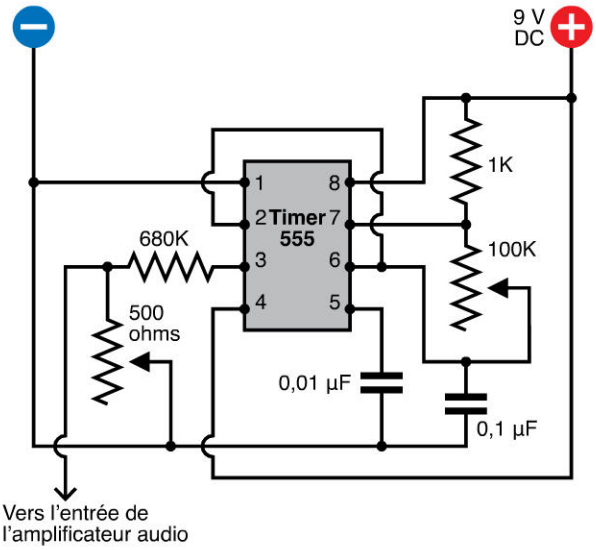


Figure 5-51. *Un timer 555 est câblé en mode astable avec les valeurs indiquées, afin de générer une plage étendue de fréquences audibles quand le potentiomètre de 100K est réglé. Une fois la puissance de sortie réduite, le signal peut alimenter l'amplificateur utilisé précédemment.*

Débranchez le lecteur et connectez la sortie du circuit 555 au point d'entrée (résistance de 33K) du circuit de l'amplificateur de la fig. 5-41. Vous n'avez pas à vous préoccuper d'une connexion distincte sur le côté négatif tant que le temporisateur 555 partage la même platine de montage et le côté négatif de son alimentation.

Assurez-vous que le potentiomètre de 500 Ω soit réglé de façon à relier la sortie du timer au côté négatif de l'alimentation. Cette liaison fera office de contrôle du volume. Veillez aussi à ce que le potentiomètre de 100K soit au milieu de sa plage. Branchez l'alimentation et tournez lentement le potentiomètre de 500 Ω jusqu'à ce que vous entendiez un son.

Réglez ensuite le potentiomètre de 100K pour créer une note grave. Vous constaterez qu'elle n'a pas un son pur et qu'il s'y mêle une sorte de bourdonnement. C'est parce que le temporisateur 555 génère des ondes carrées (fig. 5-52) et non sinusoïdales. Une onde carrée est la somme de plusieurs ondes sinusoïdales, certaines de haute fréquence. Vos oreilles perçoivent ces harmoniques, même s'ils ne sont pas évidents quand vous observez une onde carrée.

Acheminez l'une des connexions vers votre haut-parleur via la bobine de fil et vous devriez maintenant entendre un son beaucoup plus pur, car les hautes fréquences bourdonnantes sont bloquées par l'auto-inductance de la bobine. Remplacez la bobine par le condensateur de 10 µF et vous devriez entendre un bourdonnement plus élevé et moins de basses.

Vous avez accompli un premier pas en matière de synthèse sonore. Si le sujet vous intéresse, vous pouvez aller sur Internet et effectuer une recherche sur les circuits oscillateurs. Pour maîtriser parfaitement la relation entre formes d'onde et sons, vous aurez besoin d'un oscilloscope, qui vous montrera la forme de chaque onde que vous générerez et modifierez.

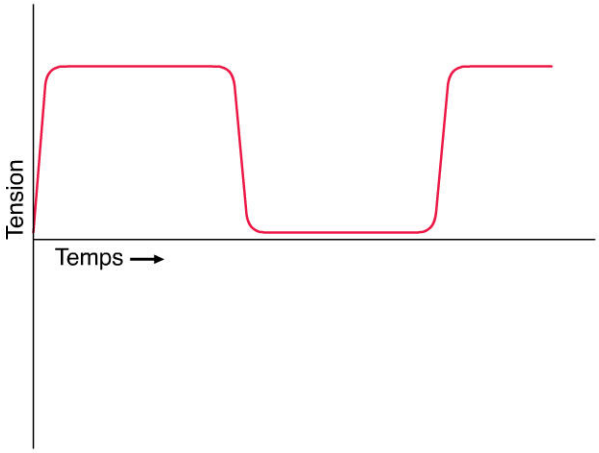


Figure 5-52. *La sortie d'un timer 555 possède la valeur ON ou OFF, avec une transition très rapide entre les deux états. Le résultat est une onde carrée presque parfaite. En théorie, elle peut être décomposée en une série complexe d'ondes sinusoïdales de fréquences très variées. L'oreille humaine perçoit les hautes fréquences comme extrêmement désagréables.*

Copyright © 2013 Eyrolles.

Expérience 30 : autour de la distorsion

Repartons du circuit de l'expérience 28. Cette fois, nous allons illustrer une autre notion fondamentale en audio : la distorsion.

Vous aurez besoin des éléments suivants :

- 1 autre potentiomètre de 100K
- 2 transistors NPN génériques : 2N2222 ou similaire
- Plusieurs condensateurs et résistances

HISTOIRE

Écrêtage *(clipping)*

Aux débuts de la Hi-Fi, les ingénieurs cherchaient à parfaire le processus de reproduction du son. Ils souhaitaient que la forme d'onde à la sortie de l'amplificateur soit la même que celle de l'entrée, mais plus grande et donc suffisamment puissante pour commander les enceintes. Même une très légère distorsion de la forme d'onde n'était pas acceptable.

Ces ingénieurs ignoraient que leurs amplificateurs à tube magnifiquement conçus allaient être mis à mal par une nouvelle génération de guitaristes de rock dont l'intention était de créer la plus grande distorsion possible.

L'aspect le plus courant de ce mauvais traitement est appelé écrêtage ou *clipping*. Si vous poussez un tube à vide ou un transistor de façon à amplifier une onde sinusoïdale au-delà des capacités du composant, il coupe le haut et le bas de la courbe. Celle-ci ressemble alors beaucoup plus à une onde carrée, ce qui se traduit par un bourdonnement (voir l'encadré page précédente). Pour les guitaristes de rock, ce son âpre est bel et bien l'effet souhaité.

Figure 5-53. *Cette pédale d'effet Vox Wow-Fuzz a été l'une des premières à créer ce type de distorsion dont les ingénieurs audio avaient cherché à se débarrasser pendant des décennies.*

Le premier système à proposer commercialement cet effet était connu sous le nom de boîte à distorsion, laquelle rognait délibérément le signal d'entrée. La fig. 5-53 montre l'une de ces premières boîtes à distorsion, tandis que la fig. 5-54 illustre l'écrêtage d'une onde sinusoïdale.

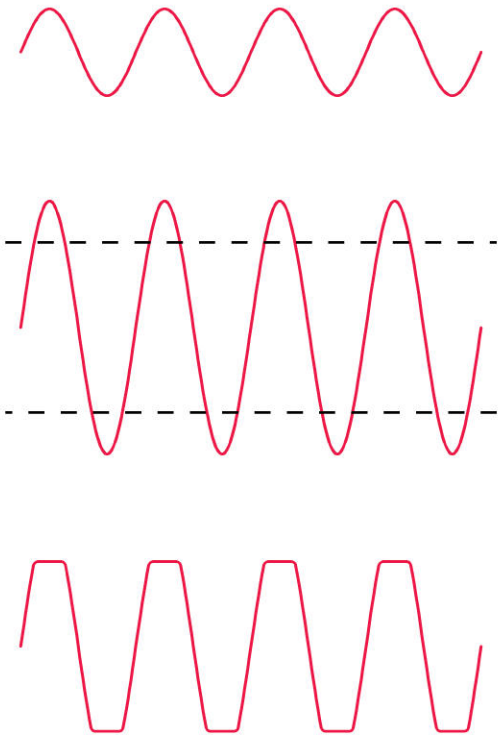


Figure 5-54. *Quand une onde sinusoïdale (en haut) passe dans un amplificateur réglé au-delà des limites de ses composants (symbolisées par les pointillés, au centre), l'amplificateur rogne l'onde (en bas). Le résultat, proche d'une onde carrée, constitue le principe de base d'une boîte à distorsion.*

Copyright © 2013 Eyrolles.

Schéma

La sortie du temporisateur 555 étant une onde carrée, elle émet déjà un son assez distordu, mais nous pouvons encore l'intensifier pour illustrer le principe d'écrêtage. J'ai redessiné la totalité du circuit (fig. 5-55), car plusieurs composants ont changé. La principale modification est l'ajout de deux transistors NPN.

Si vous assemblez ce circuit sur votre platine de montage, notez bien que les résistances de 33K et 10K en bas du circuit de l'amplificateur ont été remplacées par une seule résistance de 820 Ω. Le bas du condensateur adjacent de 0,22 µF constitue toujours le point d'entrée de l'amplificateur et, si vous suivez la connexion jusqu'au milieu du schéma, vous constaterez qu'elle mène à un potentiomètre de 100K. C'est lui qui vous permettra d'ajuster la distorsion.

Les deux transistors NPN sont disposés de sorte que celui de gauche reçoit la sortie du timer 555. Ce signal commande le flux d'électricité à travers le transistor à partir d'une résistance de 33K. Ce flux, à son tour, contrôle la base du transistor droit. C'est ce flux de courant traversant ce dernier qui, en fin de compte, contrôle l'amplificateur.

Quand vous mettez le circuit sous tension, utilisez le potentiomètre de 100K associé au temporisateur 555 pour régler la fréquence (comme auparavant) et actionnez le potentiomètre ajusteur de distorsion pour entendre l'entaille croissante qu'il ajoute au son jusqu'à ce que celui-ci devienne un bruit pur.

Les deux transistors font office d'amplificateurs. Bien sûr, nous n'en avions pas besoin ici – le niveau d'entrée du circuit amplificateur était déjà plus qu'approprié. L'objectif du transistor gauche est simplement de surcharger le transistor droit pour créer l'effet de distorsion. Et quand vous augmentez la sortie des transistors avec le potentiomètre ajusteur de distorsion, ils finissent par surcharger l'entrée du circuit amplificateur et créent même une distorsion supplémentaire.

Si vous voulez déformer la sortie, donnez d'autres valeurs à la résistance d'1K et au condensateur d'1 µF placés entre l'émetteur du transistor droit et la borne négative de l'alimentation. Une plus grande résistance surchargera moins le transistor. Selon la valeur du condensateur, le son sera plus ou moins discordant.

Sur Internet, vous trouverez des milliers de schémas de dispositifs permettant de modifier le son d'une guitare. Le circuit proposé ici est l'un des plus primaires. Si vous souhaitez quelque chose de plus sophistiqué, effectuez une recherche avec les mots « schéma » et « pédale d'effet ».

opyright © 2013 Eyrolles.

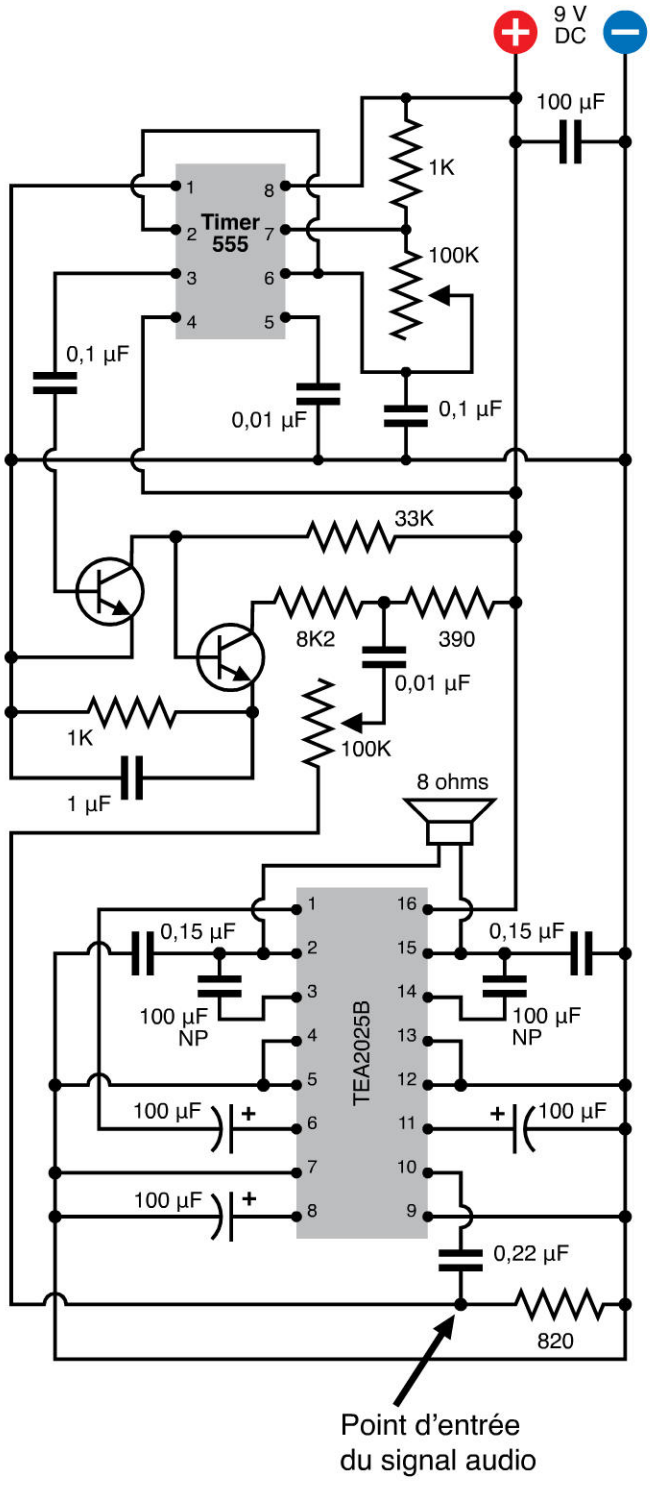


Figure 5-55. *Pour montrer l'écrêtage, ajoutez deux transistors entre la sortie du timer 555 et l'entrée du circuit amplificateur. L'un des transistors surcharge l'autre, de telle sorte que lorsque vous réglez le potentiomètre au centre du circuit, vous entendez un son discordant et déformé.*

Copyright © 2013 Eyrolles.

HISTOIRE

Origines de la pédale d'effet

Le premier titre à utiliser une boîte à distorsion fut « *The 2 000 Pound Bee* », enregistré par les Ventures en 1962. Faisant de l'effet un simple gimmick, il a sans doute dissuadé beaucoup de musiciens de prendre ce concept au sérieux.

Ray Davies, du groupe The Kinks, fut le premier à considérer la distorsion comme partie intégrante de sa musique. On dit qu'il brancha la sortie d'un amplificateur sur l'entrée d'un autre, lors de l'enregistrement de son tube « *You Really Got Me* », ce qui surchargea l'entrée et créa l'écrêtage, principe de base de la distorsion. Puis ce fut au tour de Keith Richards d'utiliser une pédale Gibson Maestro lorsque les Rolling Stones enregistrèrent « *(I Can't Get No) Satisfaction* » en 1965.

Aujourd'hui, il existe des milliers de défenseurs de la distorsion « idéale ». La fig. 5-56 montre un schéma de Flavio Dellepiane, concepteur italien de circuits, qui présente son travail sur le site http://www.redcircuits.com. Autodidacte, Dellepiane s'est formé grâce à la lecture de magazines d'électronique, comme Wireless World. Dans ce circuit, il utilise un amplificateur à gain très élevé, composé de trois transistors à effet de champ, qui reproduisent quasiment l'onde carrée arrondie typique d'un amplificateur à tube surchargé.

Dellepiane propose des dizaines de schémas supplémentaires sur son site, développés et testés avec un oscilloscope à double trace, un oscillateur sinusoïdal à faible distorsion, un distorsiomètre et un voltmètre audio. Ce dernier appareil et l'oscillateur, dont il donne les plans, ont été d'ailleurs conçus par Dellepiane lui-même. Son site constitue un lieu incontournable pour les passionnés d'électronique.

Mais avant la distorsion, il y avait le trémolo, que beaucoup confondent avec le vibrato. Alors clarifions ce point :

- Le vibrato appliqué à une note fait osciller la fréquence de haut en bas, comme quand un guitariste effectue un *bend* sur une corde.
- Le trémolo appliqué à une note entraîne une fluctuation du volume, comme si quelqu'un tournait le bouton du volume d'une guitare dans un sens et dans l'autre très rapidement.

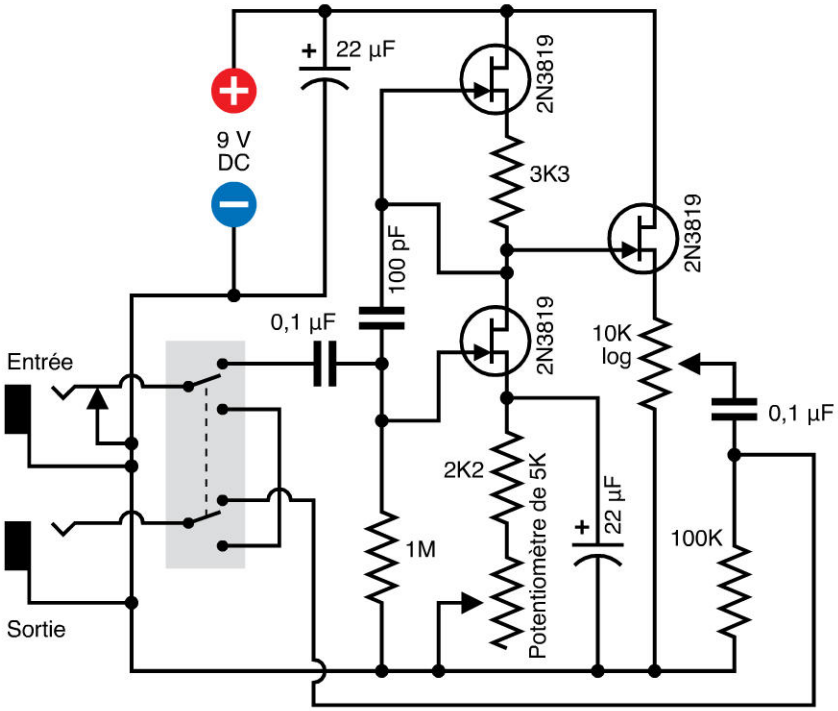


Figure 5-56. *Ce circuit conçu par Flavio Dellepiane utilise trois transistors pour simuler le type de distorsion créée habituellement en surchargeant l'entrée d'un amplificateur à tube.*

Copyright © 2013 Eyrolles.

HISTOIRE

Origines de la pédale d'effet *(suite)*

Harry DeArmond commercialisa la première pédale d'effet trémolo, qu'il appela Trem-Trol. Elle ressemblait aux anciennes radios portables, avec deux boutons sur le devant et une poignée sur le dessus. Peut-être afin de réduire les coûts, DeArmond n'utilisa aucun composant électronique. La pédale se composait d'un moteur et de son arbre sur lequel s'appuyait une roue en caoutchouc. La vitesse de la roue variait lorsque vous tourniez un bouton pour la repositionner de haut en bas de l'arbre. La roue, à son tour, actionnait une petite capsule d'une solution électrolytique (appelé « hydrofluide » par DeArmond), dans laquelle deux fils étaient immergés, transportant le signal audio. Tandis que la capsule se déplaçait d'avant en arrière, le liquide se répandait d'un côté à l'autre, faisant varier la résistance entre les électrodes. La sortie audio s'en trouvait modulée.

Les pédales Trem-Trol sont désormais des objets de collection. L'ingénieur Dan Formosa en montre quelques-unes sur son site http://www.danformosa.com/dearmond.html. De son côté, Johann Burkard a publié un fichier MP3 émanant de sa pédale Trem-Trol à l'adresse http://johannburkard.de/blog/music/effects/DeArmond-Tremolo-Control-clip.html

Le concept d'une source mécanique pour un son électronique a eu d'autres applications. Le son unique des premiers orgues Hammond provenait ainsi d'un ensemble de roues dentées actionnées par un moteur. Chaque roue créait une inductance variable dans un capteur comme la tête d'enregistrement d'un lecteur de cassettes.

Mais revenons au trémolo : imaginez un disque transparent recouvert de peinture noire, à l'exception d'une bande circulaire aux deux extrémités effilées. Pendant que le disque tourne, si vous allumez une LED puissante derrière la bande transparente, avec devant une résistance variant en fonction de la lumière, vous aurez le principe d'une pédale trémolo. Vous pourriez même créer des effets jamais entendus jusqu'ici en variant les motifs de la bande circulaire du disque (fig. 5-57 et 5-58).

Aujourd'hui, les guitaristes disposent de tout un assortiment d'effets, qui peuvent être reproduits à partir de plans trouvés sur Internet. Je vous conseille également ces deux ouvrages (en anglais) :

- *Analog Man's Guide to Vintage Effects*, de Tom Hughes (For Musicians Only Publishing, 2004).
- *How to Modify Effect Pedals for Guitar and Bass*, de Brian Wampler (Custom Books Publishing, 2007). Guide extrêmement détaillé pour les débutants. Disponible à ce jour uniquement en téléchargement sur des sites tels que http://www.openlibrary.org.

Bien entendu, si vous avez quelques centaines d'euros à dépenser, vous pouvez toujours acheter une pédale Boss ME-20, qui utilise un procédé numérique pour reproduire de multiples effets de distorsion, trémolo et autres. Naturellement, les puristes vous affirmeront que le son n'est pas le même, mais peut-être que le problème est ailleurs. Certains demeureront juste insatisfaits tant qu'ils n'auront pas créé leur propre pédale, qui produira un son bien à eux.

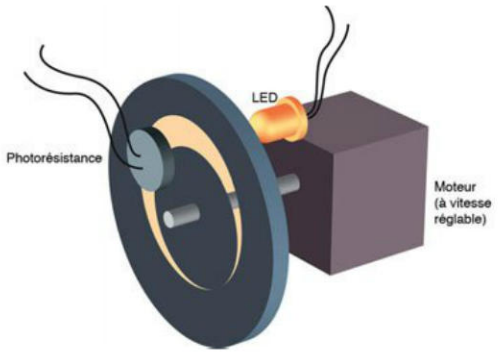


Figure 5-57. *Même si les systèmes audio électromécaniques sont aujourd'hui obsolètes, certaines pistes sont encore à explorer. Ce dispositif pourrait ainsi créer divers effets de trémolo, à condition d'avoir la patience de le fabriquer.*

Figure 5-58. *Divers modèles de bande peuvent être utilisés en liaison avec l'appareil électromécanique imaginaire de la fig. 5-57 pour créer différents effets de trémolo.*

Copyright © 2013 Eyrolles.

Expérience 31 : une radio sans soudure ni alimentation

Revenons une fois de plus sur l'inductance et la capacitance, avec une expérience qui illustre comment les formes d'onde peuvent s'ajouter les unes aux autres. Je vais vous montrer comment un circuit simple sans aucune alimentation peut recevoir les signaux d'une radio AM et les rendre audibles. Ce type de radio est souvent appelé récepteur à cristal, car le circuit comporte une diode au germanium contenant un cristal. Son principe remonte à la naissance de la radio, mais si vous ne l'avez jamais testée, vous manquez une expérience vraiment magique.

Il vous faudra :

- 1 objet cylindrique rigide, tel qu'une boîte à comprimés
- 18 m de fil électrique rigide de 0,6 mm de diamètre environ
- 30 m de fil électrique souple d'1,3 mm de diamètre environ
- 1 corde en polypropylène ou en nylon, longue de 3 m
- 1 diode au germanium
- 1 casque à haute impédance

La diode et le casque peuvent être commandés sur les sites de Gotronic ou de Radiospares, par exemple. Vous ne pouvez pas utiliser de casque comme celui d'un lecteur MP3.

La fig. 5-59 présente une partie du matériel.

Figure 5-59. *Ajoutez à cette photo du fil et une bobine, et c'est tout ce dont vous aurez besoin pour recevoir les signaux radio AM. Le disque noir constituera le bouton de réglage, une fois qu'il aura été vissé sur le condensateur variable (à droite). Une diode au germanium (au centre) redressera le signal radio. L'écouteur à haute impédance (en haut) créera un son tout juste audible.*

Figure 5-60. *Une boîte à comprimés vide, de 7,5 cm de diamètre, constitue un noyau idéal pour une bobine de récepteur à cristal. Les trous permettent de fixer le fil autour de la boîte.*

Tout d'abord, vous devez fabriquer une bobine, de 7,5 cm de diamètre environ, en l'enroulant autour d'un verre vide ou d'un conteneur en plastique de cette dimension, pour autant qu'il soit rigide. Une bouteille d'eau ne convient pas, car la force d'écrasement qui s'accumule au fur et à mesure que vous enroulez le fil pourrait la déformer au point qu'elle ne soit plus circulaire.

J'ai choisi une boîte de vitamines qui avait exactement la dimension requise. Pour retirer l'étiquette, je me suis servi d'un pistolet thermique, puis j'ai enlevé l'adhésif résiduel à l'aide d'un solvant appelé xylol (ou xylène), très efficace. Pensez toujours à utiliser des gants de protection (en latex, par exemple) et à vous exposer le moins longtemps possible aux vapeurs. Comme le xylol peut dissoudre certains plastiques, il représente clairement un danger pour vos poumons.

Puis percez quatre trous dans la boîte à comprimés, comme sur la fig. 5-60. Ces trous permettront de fixer les extrémités de la bobine.

Prenez ensuite le fil électrique rigide de 0,6 mm de diamètre. Si vous choisissez un fil aimanté, dont l'isolant est fin, les spires de la bobine seront plus rapprochées et la bobine un peu plus efficace. Mais un fil ordinaire avec un isolant en vinyle fera aussi l'affaire et sera plus facile à manipuler.

Commencez par retirer les 15 premiers centimètres de l'isolant à l'extrémité du fil. Conservez environ 1,20 m de fil isolé et coupez l'isolant à cet emplacement avec les pinces à dénuder, en veillant à ne pas couper le fil lui-même. Retirez

opyright © 2013 Eyrolles.

l'isolant avec les ongles, en laissant 1,25 cm environ de fil nu, comme sur la fig. 5-61. Puis pliez-le au centre et formez une boucle (fig. 5-62).

Vous venez de créer une prise intermédiaire, à savoir un point où vous pourrez utiliser une partie de la bobine après l'avoir enroulée. Vous aurez besoin de 11 autres prises intermédiaires, toutes espacées d'1,2 m environ (si le diamètre de la boîte que vous utilisez comme noyau de la bobine n'est pas de 7,5 cm, multipliez le diamètre par 16 pour obtenir l'espacement souhaité des prises intermédiaires).

Une fois les 12 prises intermédiaires créées, coupez le fil et mettez à nu 15 cm de cette extrémité. Pliez alors l'extrémité en forme de U sur 1,25 cm de diamètre environ, de façon à l'introduire par les deux trous percés en haut ou en bas de la boîte. Faites passer le fil, puis formez une boucle pour créer un point d'ancrage sécurisé.

Enroulez ensuite le reste du fil autour de la boîte, en le tirant fermement de façon à ce que les enroulements demeurent proches les uns des autres. Quand vous êtes parvenu à l'extrémité du fil, introduisez-le à travers les deux autres trous pour le fixer comme sur la fig. 5-63. La bobine complète est proposée en fig. 5-64.

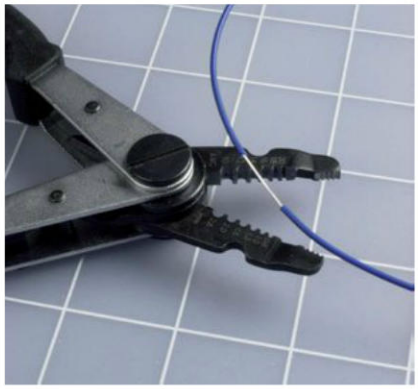


Figure 5-61. *Les pinces à dénuder exposent le conducteur à intervalles réguliers sur un fil de 0,6 mm de diamètre.*

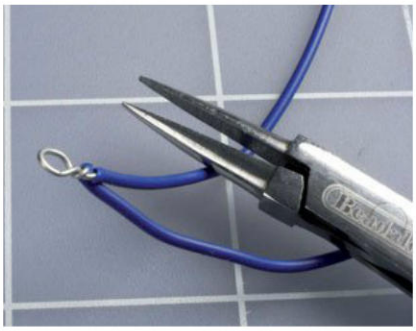


Figure 5-62. *Chaque section du fil mise à nue est transformée en boucle à l'aide d'une pince à becs longs.*

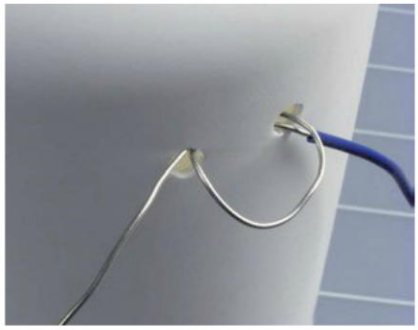


Figure 5-63. *L'extrémité du fil mise à nu est sécurisée à travers les trous percés dans la boîte.*

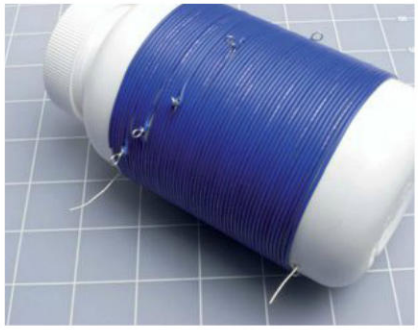


Figure 5-64. *La bobine complète, enroulée fermement autour de la boîte à comprimés.*

L'étape suivante consiste à installer une antenne. Si vous vivez dans une maison avec un jardin, rien de plus facile : ouvrez juste la fenêtre, passez à l'extérieur une bobine de fil d'1,3 mm de diamètre en tenant l'extrémité libre, puis allez dehors et fixez l'antenne, à l'aide de la corde de polypropylène ou de nylon, à un arbre, une gouttière ou un poteau. La longueur totale du fil doit être de 30 m environ. Il faut que le fil de l'antenne soit aussi éloigné que possible de la terre ou d'objets fixés au sol.

Si vous vivez en appartement, essayez de tendre l'antenne autour de la pièce, en l'accrochant en divers endroits avec des morceaux de corde. L'antenne doit toujours être longue de 30 m environ, mais évidemment elle ne suivra pas une ligne droite.

Accrochez l'extrémité libre de l'antenne à une extrémité de la bobine. À cette dernière, vous devez aussi connecter une diode au germanium, qui fonctionne comme une diode à base de silicium, mais qui convient mieux aux minuscules courants et tensions de cette expérience. L'autre extrémité de la diode doit être reliée à l'un des fils qui mène à un écouteur à haute impédance. Le fil de retour de l'écouteur est connecté à un fil dont l'autre extrémité peut être fixée à l'une des prises intermédiaires de la bobine.

Haute tension !

Le monde qui nous entoure est plein d'électricité. En temps normal, nous n'en sommes pas conscients, mais un orage ne manque pas de nous rappeler qu'il y a un immense potentiel électrique entre le sol à nos pieds et les nuages au-dessus.

Si vous installez une antenne extérieure, ne l'utilisez jamais en cas d'orage, car cela peut être extrêmement dangereux. Chez vous, débranchez l'extrémité de votre antenne et plantez-la dehors dans le sol pour sécuriser le système.

opyright © 2013 Eyrolles.

Une dernière modification et vous serez prêt à écouter votre radio. Vous devez relier à la terre le fil qui joint le casque à la bobine. En d'autres termes, vous devez le connecter à quelque chose qui entre littéralement dans la terre. Pour cela, on utilise souvent une conduite d'eau, mais à condition qu'elle soit en métal. Comme la tuyauterie tend à être en plastique de nos jours, vérifiez sous l'évier ou le lavabo que votre canalisation est bien métallique avant de l'utiliser comme liaison à la terre.

Une autre solution consiste à attacher le fil à la vis du couvercle d'une prise électrique, l'installation électrique de votre habitation étant forcément reliée à la terre. Mais pour garantir une parfaite mise à la terre, le mieux est de planter dehors un piquet stratifié cuivré, haut d'1,2 m environ, dans une terre relativement humide. N'importe quel magasin de matériel électrique doit pouvoir vous vendre un piquet de ce type, très utilisé pour relier à la terre tout équipement de soudage autogène.

Figure 5-65. *Le simple plaisir de capter un signal radio à l'aide de composants ultrasimples et sans alimentation supplémentaire.*

Copyright © 2013 Eyrolles.

Les fig. 5-66 et 5-67 montrent la radio terminée.

Si vous avez réussi à suivre ces instructions, il est temps de régler la radio sur la station la plus proche. Déplacez le fil d'une prise intermédiaire à une autre de la bobine. Selon la position géographique de votre logement, vous recevrez une ou plusieurs stations, parfois même simultanément.

Vous pourriez avoir l'impression d'avoir obtenu un résultat sans avoir rien fait, l'écouteur produisant un bruit sans source d'alimentation. En fait, il y en a une pourtant : l'émetteur de la station radio. Un grand amplificateur absorbe l'alimentation de la tour de diffusion et module une fréquence fixe. Quand la combinaison de la bobine et de l'antenne résonne à cette fréquence, vous absorbez la tension et le courant strictement nécessaires pour alimenter un écouteur à haute impédance.

Si vous avez dû procéder à une mise à la terre de qualité, c'est parce que la station radio émet son signal à une certaine tension par rapport au sol. La terre complète le circuit entre vous-même et l'émetteur. Pour plus d'informations, reportez-vous à l'encadré : « Fonctionnement d'une radio » page suivante.

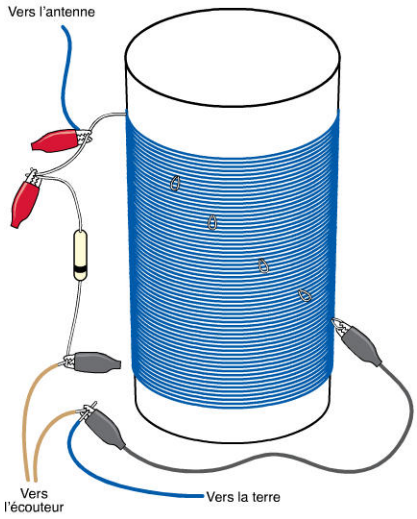


Figure 5-66. *Un signal en provenance de l'antenne peut passer à travers la bobine jusqu'au sol. Si la pince crocodile est fixée à une prise intermédiaire appropriée de la bobine, le circuit résonne avec le signal radio, de façon assez puissante pour alimenter l'écouteur câblé en série avec une diode.*

Améliorations

Plus votre antenne est haute, mieux elle devrait fonctionner. Mais difficile de l'élever là où je vis, car il s'agit d'une région désertique sans arbres ! Cependant, si je fais juste passer le fil par ma fenêtre et le relie avec une corde au pare-chocs avant de ma voiture, j'obtiens un léger signal radio.

Pour améliorer la sélectivité de votre radio, vous pouvez ajouter un condensateur variable (voir page 267), ce qui vous permettra de régler la résonance de votre circuit avec plus de précision. Les condensateurs variables sont rares aujourd'hui, mais vous pouvez en trouver sur les sites de Gotronic et de Radiospares, déjà mentionnés pour l'écouteur et la diode au germanium.

Sur le site http://www.scitoyscatalog.com de Simon Quellan Field, vous trouverez bon nombre de projets amusants que vous pourrez réaliser chez vous. L'un d'entre eux consiste à remplacer la diode au germanium de votre radio par une LED en série avec une pile d'1,5 V. Cette expérience n'a pas fonctionné chez moi, car je vis à près de 80 km de l'émetteur AM le plus proche. Mais si vous êtes plus proche, vous devriez constater que la LED varie en intensité.

Figure 5-67. *Concrétisation de la fig. 5-66.*

Copyright © 2013 Eyrolles.

THÉORIE

Fonctionnement d'une radio

Quand les fréquences électriques sont très élevées, le rayonnement qu'elles créent possède assez d'énergie pour parcourir des kilomètres. Tel est le principe de la transmission radio : un signal de haute fréquence est émis par une antenne isolée électriquement de la terre.

Quand je dis « terre », je parle littéralement du sol sous nos pieds. Si vous installez une antenne de réception, elle peut recueillir une faible trace de la transmission par rapport à la terre – comme si la terre était un immense conducteur. En réalité, la terre est si gigantesque et contient tellement d'électrons qu'elle fonctionne comme un évier commun, comme une version géante du meuble de rangement que je vous avais suggéré de toucher pour éliminer l'électricité statique de votre corps avant de manipuler un circuit logique CMOS.

Pour fabriquer un émetteur radio, je pourrais utiliser un timer 555 à 850 kHz (850 000 cycles par seconde) et faire passer ce courant d'impulsions, via un amplificateur, jusqu'à un pylône de transmission. Si vous aviez la possibilité de bloquer toutes les autres activités électromagnétiques dans l'air, vous pourriez détecter mon signal et le réamplifier.

Ce fut plus ou moins ce que fit Marconi en 1901 (fig. 5-68), après avoir acheté le brevet de télégraphie sans fil d'Edison, bien qu'il ait dû utiliser un éclateur rudimentaire à la place d'un temporisateur 555 pour créer les oscillations. Ses transmissions étaient d'une utilisation limitée, car elles n'avaient que deux états : ON ou OFF. Vous pouviez envoyer des messages en morse et rien d'autre.

Figure 5-68. *Marconi, le grand pionnier de la radio (photographie Wikimedia Commons).*

Cinq ans plus tard, le premier véritable signal audio fut transmis en imposant des fréquences audio plus basses sur l'onde porteuse à hautes fréquences. Autrement dit, le signal audio fut ajouté à la fréquence porteuse, de telle sorte que la puissance du transporteur variait avec les pics et les creux du signal audio.

À l'extrémité réceptrice, la combinaison très simple d'un condensateur et d'une bobine détectait la fréquence porteuse parmi les autres bruits du spectre électromagnétique. Les valeurs du condensateur et de la bobine avaient été choisies pour que leur circuit résonne à la même fréquence que l'onde porteuse. Les fig. 5-69 et 5-70 illustrent ce principe.

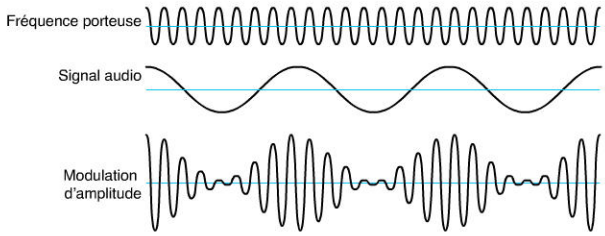


Figure 5-69. *Quand un signal audio (au centre) est combiné électroniquement avec une fréquence porteuse élevée (en haut), le résultat est un signal composé (en bas). En réalité, la fréquence porteuse serait beaucoup plus haute que la fréquence audio, dans un rapport d'environ 1 000:1.*

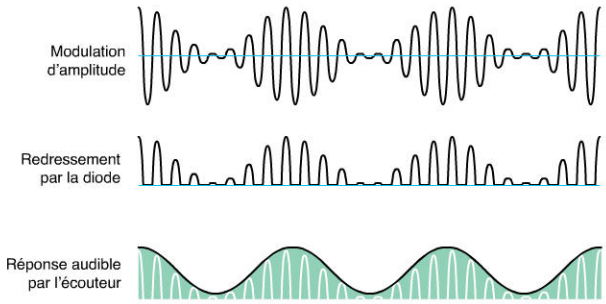


Figure 5-70. *Quand on passe le signal composé dans une diode, seule la moitié supérieure subsiste. Comme un écouteur ne peut pas réagir assez vite pour reproduire une fréquence porteuse élevée, il parcourt les sommets et reproduit ainsi la fréquence audio.*

Le schéma de la fig. 5-71 montre le circuit simple que vous avez construit en enroulant une bobine autour d'une boîte à comprimés vide. Quand une impulsion positive est reçue par l'antenne, elle résonne avec l'antenne et la bobine, à condition que l'antenne soit assez longue et que la bobine ait un nombre approprié de tours.

Copyright © 2013 Eyrolles.

THÉORIE

Fonctionnement d'une radio *(suite)*

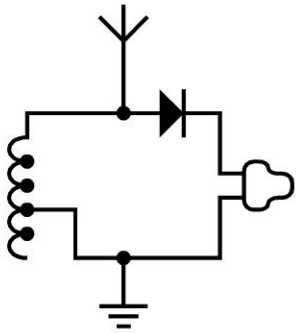


Figure 5-71. *L'antenne en haut du schéma recueille un léger rayonnement électromagnétique provenant d'un émetteur distant. La bobine à gauche possède des prises intermédiaires à intervalles réguliers pour que sa résonance puisse être ajustée et corresponde à la fréquence porteuse du signal radio. D'autres fréquences sont reliées à la terre (en bas du schéma). La diode transmet la moitié supérieure du signal à l'écouteur de droite, qui est incapable de répondre assez vite pour reproduire la fréquence porteuse, si bien qu'il la filtre, ne laissant passer que les fréquences audio qui lui étaient superposées.*

En ajoutant un condensateur, vous pouvez régler le circuit. Une impulsion entrante de l'émetteur est initialement bloquée par l'auto-inductance de la bobine, tandis que le condensateur est en cours de charge. Si une même impulsion négative est reçue après un intervalle correctement synchronisé avec les valeurs de la bobine et du condensateur, elle coïncide avec la décharge du condensateur et la conduction de la bobine. De cette façon, la fréquence appropriée de l'onde porteuse fait résonner le circuit en harmonie, tandis que les variations de fréquence audio présentes dans le signal reçu se traduisent en variations de tension dans le circuit.

Qu'en est-il des autres fréquences captées par l'antenne ? Les plus basses passent par la bobine jusqu'à la terre et les plus hautes passent par le condensateur jusqu'à la terre. Elles sont tout simplement éliminées.

La moitié droite du circuit échantillonne le signal en le faisant passer à travers une diode au germanium et un écouteur. La puissance de l'émetteur suffit juste à faire vibrer le diaphragme de l'écouteur, une fois que la diode a soustrait la moitié négative du signal.

Revenez sur le schéma du signal à modulation d'amplitude. Vous verrez que ce signal fluctue de haut en bas si rapidement que l'écouteur ne peut probablement pas suivre un tel niveau de variations positives/négatives du signal – d'où la nécessité d'utiliser une diode. L'écouteur demeure hésitant, se situe au milieu, entre les pics et les creux, et ne produit aucun son. La diode résout le problème en soustrayant la moitié inférieure de l'enveloppe audio, gardant juste les pointes positives de tension. Bien que celles-ci soient très petites et brèves, elles poussent le diaphragme de l'écouteur dans la même direction, de telle sorte qu'il les répartit et reconstruit approximativement l'onde sonore originale.

La fig. 5-72 montre comment le circuit peut être amélioré avec un condensateur variable, qui permet de le régler sans avoir recours aux prises intermédiaires de la bobine.

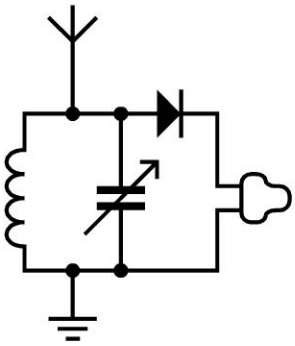


Figure 5-72. *En ajoutant un condensateur au circuit, sa résonance peut être réglée plus précisément. La flèche oblique indique l'utilisation d'un condensateur variable.*

La radio peut capter les stations de la bande AM (modulation d'amplitude) les plus puissantes de votre zone. La bande d'ondes s'étend de 300 kHz à 3 MHz. Si le domaine de la radio vous intéresse, pourquoi ne pas construire une radio avec quelques transistors ? Vous pourriez même fabriquer (légalement) votre émetteur AM à basse puissance. Un kit ultra-simple est disponible sur le site http://www.scitoys.com ; il comporte deux composants principaux, un oscillateur à cristal et un transformateur (fig. 5-73), et rien d'autre.

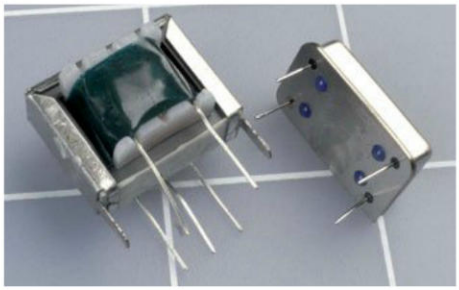


Figure 5-73. *Un émetteur radio AM peut être fabriqué à partir de deux composants : un transformateur (à gauche) et un oscillateur à cristal (à droite).*

opyright © 2013 Eyrolles.

Figure 5-74. *Un micro-interrupteur possède un petit bouton (au premier plan, sur la droite) qui est souvent actionné par une lame métallique. L'interrupteur peut répondre à une pression très légère, tout en gérant des courants relativement élevés.*

Figure 5-75. *Pour notre robot, j'ai utilisé ce moteur 5 V, fourni avec un disque s'adaptant à l'arbre de sortie. Coût total : moins de 10 euros.*

Expérience 32 : un petit véhicule à guidage automatique

La robotique est une autre application de l'électronique, à laquelle beaucoup de livres sont consacrés. C'est pourquoi, là encore, je vais juste introduire ce sujet, en vous donnant quelques conseils si vous souhaitez aller plus loin. Comme toujours, je commencerai par le dispositif le plus simple possible, à savoir un véhicule qui se déplace tout seul dans votre séjour.

Vous aurez besoin des éléments suivants :

- 2 micro-interrupteurs SPST ou SPDT nécessitant une pression minimale pour les activer, dans l'idéal une force comprise entre 0,02 et 0,1 N (fig. 5-74)
- 1 moteur DC (à courant continu) à engrenages, de tension comprise entre 5 et 12 V, d'intensité maximale de 100 mA et avec un arbre de sortie tournant entre 30 et 60 tours/minute (fig. 5-75)
- 1 disque ou bras fixé de façon sécurisée à l'arbre du moteur
- 1 temporisateur 555
- 1 relais DPDT monostable, avec tension identique à celle du moteur
- 1 morceau de plastique ou de contreplaqué de 5 à 10 mm d'épaisseur, de 60 cm^2 environ
- 2 douzaines de vis à métaux de diamètre 3 ou 4 mm, longues de 15 ou 20 mm
- 2 douzaines d'écrous autofreinés à insert en nylon pour vis de diamètre 3 ou 4 mm
- 4 boulons de diamètre 6 mm, longs de 25 ou 30 mm, avec écrous, pour monter les roues

Je préfère ne pas spécifier de moteur en particulier, car il pourrait ne plus être disponible au moment où vous lirez ces lignes. En effet, les moteurs ne sont pas comme les circuits logiques, qui ont conservé leurs fonctions de base au fil de leurs améliorations. Les moteurs vont et viennent, et vous pouvez très bien tomber sur des moteurs que vous ne reverrez plus jamais ! Faites une recherche sur Internet de « moteur à engrenages » et trouvez-en un qui soit proche des spécifications fournies. La puissance de sortie mécanique importe peu, car nous n'exigerons pas beaucoup de travail de la part du moteur.

Attention, quand vous achetez un moteur, prévoyez aussi quelque chose s'adaptant à son arbre de sortie, comme un disque ou un bras qui puisse se visser sur l'arbre. Vous pouvez alors y ajouter une roue plus grande, en la découpant avec une scie-cloche, ou en la fabriquant à partir d'un couvercle de pot ou de tout objet circulaire.

Une plus grande roue permettra à votre robot de se déplacer plus rapidement, mais réduira son couple et limitera sa capacité à surmonter les obstacles.

Copyright © 2013 Eyrolles.

Ce qui m'amène au sujet suivant : la fabrication. Vous devez savoir installer des moteurs (qui sont des dispositifs électromécaniques) sur certains types de machines pour obtenir des résultats performants. Vous pouvez utiliser du contreplaqué pour les deux petits projets de robotique proposés ici (idéalement, un contreplaqué fin et de haute qualité), mais je recommande un matériau plus agréable d'aspect et plus facile à utiliser : le plastique ABS. Avant de vous y mettre, lisez l'encadré ci-dessous « Tout sur l'ABS ».

FONDAMENTAUX

Tout sur l'ABS

Sauf si pour vous le mouvement littéraire Steampunk est trop moderne, vous n'aurez probablement pas envie que votre robot ressemble à une relique du XVIIIe siècle. Dans ce cas, ne choisissez pas du bois comme matériau de construction. Le métal convient mieux, mais il est difficile à travailler. Pour un résultat rapide et digne du XXIe siècle, je conseille bien évidemment le plastique, et plus particulièrement l'ABS (abréviation d'*acrylonitrile butadiène styrène*). Les Lego®, par exemple, sont en ABS. Les installateurs d'autoradios et les passionnés de modélisme ferroviaire l'utilisent. Vous pouvez le scier, le percer, le tailler et y serrer des vis, sans qu'il se déforme, se fende ou éclate. Il est lavable, n'a pas besoin d'être peint et dure presque éternellement.

Il existe un autre type de plastique, le Delrin®, mais plus coûteux et un peu plus difficile à percer et à découper. L'ABS est assez facile à utiliser, mais nécessite quelques précautions quand on le perce (voir page suivante). Le Delrin® est autolubrifiant et offre de meilleures propriétés de fusion sous la chaleur des outils, si bien qu'il se perce et se découpe beaucoup plus proprement que l'ABS.

Où trouver de l'ABS ?

Vous trouverez en vente sur Internet des morceaux d'ABS de quelques centimètres carrés, mais ce sera plus économique d'en acheter chez un fournisseur proche de votre domicile, sous forme de grandes feuilles à la manière du contreplaqué.

L'ABS existe en noir, blanc et beige. Les feuilles possèdent généralement une face légèrement texturée, qui doit être orientée vers l'extérieur, car elle est plus résistante aux éraflures que le côté lisse.

Comme vous n'ajouterez pas de peinture ou d'autre finition, veillez à ne pas érafler le plastique lorsque vous le manipulez. Nettoyez soigneusement votre espace de travail avant de commencer, prenez soin d'enlever les particules métalliques, lesquelles ont tendance à s'incorporer au plastique. Placez des cales en bois dans les mâchoires de l'étau et évitez de poser par inadvertance le plastique sur un outil pointu ou une vis. L'utilisation de l'ABS exige un environnement propre et une manipulation minutieuse.

Copyright © 2013 Eyrolles.

Couper avec soin

Vous pouvez scier l'ABS, mais si vous utilisez une scie circulaire sur table, le plastique aura tendance à fondre et à adhérer à la lame. Ces traînées chaufferont, deviendront collantes quand vous introduirez un nouveau morceau de plastique dans la scie, et le résultat sera extrêmement désagréable. La lame risque d'attraper le plastique et de le projeter dans votre direction, au risque de vous briser les os. Ce phénomène, appelé rejet de pièce, est à prendre très au sérieux lorsque vous sciez du plastique.

Si vous êtes passé maître dans l'art de la scie circulaire, vous serez en fait encore plus vulnérable, car les précautions et les réflexes adaptés au sciage du bois ne conviennent pas pour le plastique. Donc soyez très vigilant !

Avant toute chose, vous devez utiliser une lame de découpe dotée d'un grand nombre de dents épaisses qui absorberont la chaleur. La lame que j'ai utilisée est une Freud 80T, mais il en existe d'autres. Si vous employez une lame inappropriée, vous constaterez que les traînées collantes s'accumuleront peu à peu. Nettoyez alors vite la lame avec un solvant (de l'acétone, par exemple) et ne l'utilisez plus jamais pour découper de l'ABS.

Portez toujours des gants et des lunettes de protection lorsque vous manipulez une scie circulaire sur table et tenez-vous sur le côté lorsque vous sciez des matériaux. Personnellement, après un rejet de pièce qui a failli me casser le bras, j'ai décidé de ne plus jamais utiliser ce genre de scie pour découper du plastique.

Pour les découpes longues et droites, vous avez le choix entre plusieurs outils :

- *scie égoïne (grande et chère, mais sûre et précise) ;*
- *scie circulaire miniature portative dotée d'une lame de 10 cm de diamètre environ ;*
- *scie à main. Ma préférée est une scie japonaise qui effectue des coupes très propres : la Vaughan Extra-Fine Cross-Cut Bear, 9-1/2 pouces (environ 24 cm), 17 dents par pouce. Veillez à tenir votre main libre à l'écart, car la scie peut aisément sortir de la zone de découpe. Comme elle est conçue pour des matériaux durs comme le bois, elle coupera sans peine la peau ! Il est fortement recommandé de porter des gants.*

Figure 5-76. *Les dangers du rejet de pièce. Le plastique adhérant facilement à la lame d'une scie circulaire, vous risquez fort de vous blesser inopinément. Choisissez d'autres outils pour découper le plastique.*

Copyright © 2013 Eyrolles.

Arrondir des découpes

Arrondir une découpe ne présente guère de danger, même si les gants et les lunettes de protection sont toujours recommandés. Mes outils favoris pour cela :

- scie à ruban avec lame de 3/8 ou 1/4 de pouce d'épaisseur (6 ou 9 mm), convenant au bois ou au contreplaqué fin ;
- scie sauteuse. Ma préférence va à la DeWalt XRP, avec lames Bosch convenant pour le plastique ou le bois dur. Elle découpe des courbes complexes dans l'ABS aussi facilement que des ciseaux dans du papier.

Quel que soit le type de scie utilisé, vous devrez supprimer les bavures de découpe. Pour cela, utilisez un ébarboir, comme celui mentionné dans le chapitre 3. Une ponceuse à bande ou une ponceuse à disque (ou lapidaire) sont idéales pour arrondir les coins et une lime à métaux permet d'aplanir les aspérités des bords censés être droits.

Les fig. 5-77 à 5-80 présentent différents outils de découpe.

Figure 5-77. *Une scie à ruban est idéale pour découper des formes complexes dans de l'ABS.*

Figure 5-78. *Une scie circulaire portative, sciant du plastique le long d'un bord droit, est beaucoup plus sûre qu'une scie circulaire sur table, tout en offrant des résultats comparables.*

Figure 5-79. *Cette scie japonaise coupe lorsque vous la déplacez en tirant plutôt qu'en poussant. Après un peu d'entraînement, elle vous permettra de réaliser des découpes très précises.*

Figure 5-80. *La scie sauteuse DeWalt peut fonctionner à des vitesses très lentes, ce qui garantit un travail précis et minutieux avec du plastique.*

Figure 5-81. *Un ébarboir nettoie et biseaute le bord scié d'un morceau de plastique en quelques mouvements rapides.*

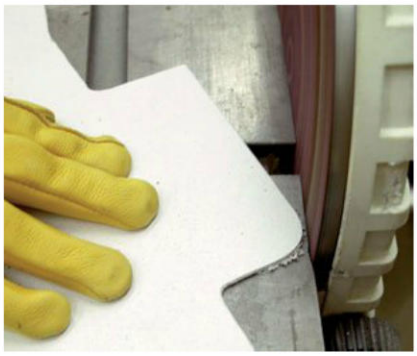


Figure 5-82. *Une ponceuse à bande ou une ponceuse à disque est l'outil idéal pour arrondir les coins des pièces en ABS.*

opyright © 2013 Eyrolles.

Figure 5-83. *Une mèche Forstner permet d'obtenir des trous nets et précis, alors qu'une mèche normale fera des dégâts.*

Faire des plans

J'aime utiliser des logiciels de dessin pour créer des plans, que j'essaye d'imprimer en grandeur nature. Je les colle sur la face lisse d'un morceau d'ABS blanc ou beige, puis j'utilise un poinçon pour reproduire le plan sur la surface en dessous. Je retire le papier et relie les marques du poinçon en dessinant sur le plastique à l'aide d'un crayon ou d'un stylo à pointe fine. Ces lignes peuvent être effacées plus tard avec un chiffon humide. N'utilisez pas de marqueur permanent, car les solvants permettant de l'enlever peuvent attaquer le plastique.

Comme l'ABS tend à se fissurer si vous le pliez suivant un petit rayon, vous devrez percer des trous à cet emplacement, comme illustré sur le schéma de la fig. 5-92, page 275.

Un foret de 10 mm de diamètre est trop agressif et tend à se coincer dans le plastique au premier coup de perceuse. Utilisez les mèches Forstner (fig. 5-83 et 5-84) pour obtenir de jolis cercles réguliers.

Notez que la chaleur consécutive au pliage tend à laisser des marques définitives sur le plastique.

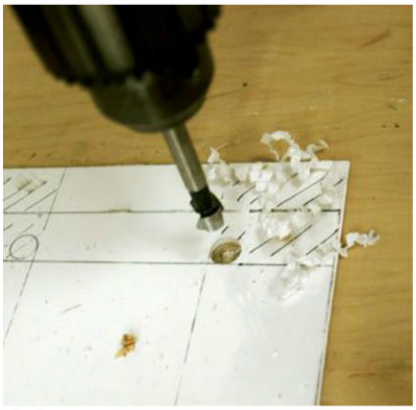


Figure 5-84. *En perçant des trous à l'intersection de deux plis, vous réduisez le risque de fissure du plastique.*

Plier du plastique

L'un des grands avantages du plastique sur le bois est de pouvoir créer des formes complexes en les pliant, au lieu de découper différentes pièces puis de les assembler avec des clous, des vis ou de la colle. Malheureusement, cette opération nécessite une machine à plier : un dispositif de chauffage électrique monté dans une enceinte métallique longue et fine que vous placez sur votre établi. Ces machines sont assez onéreuses ; vous pouvez en trouver par exemple sur *http://www.otelo.fr*.

Attention aux brûlures lors du pliage !

Une machine à plier du plastique peut provoquer de graves brûlures si vous laissez votre main posée dessus par inadvertance. Comme il n'y a pas de voyant lumineux, vous pouvez facilement oublier que la machine est restée branchée. Utilisez des gants !

Figure 5-85. *Pour obtenir des plis propres et précis avec de l'ABS, il suffit de le poser sur une machine intégrant un dispositif de chauffage électrique.*

Pour plier du plastique, posez-le sur la zone chaude de la machine un bref instant (de 25 secondes à une minute selon l'épaisseur de la pièce en ABS). Si vous le surchauffez, une odeur se dégagera et quand vous le retournerez, il ressemblera à un fromage fondu marron ! Donc évitez que le plastique n'atteigne ce stade.

Lorsque l'ABS est prêt à se plier quand on appuie dessus, retirez-le de la machine et pliez-le vers le côté non chauffé. Si vous le pliez vers le côté chaud, le plastique ramolli se retroussera à l'intérieur du pli.

Copyright © 2013 Eyrolles.

Vous pouvez manipuler le plastique pendant une demi-minute environ : une fois satisfait du résultat, vaporisez de l'eau dessus ou épongez-le. Si vous avez besoin de plus de temps, vous pouvez de nouveau le chauffer. Comme la force nécessaire pour plier les feuilles croît en proportion de la longueur du pli, je m'aide parfois d'un étau.

Le pliage du plastique étant très similaire à l'obtention de formes en origami, il peut être judicieux de reproduire vos projets en papier avant de passer à l'ABS.

Si vous ne voulez pas dépenser d'argent avec l'achat d'une machine à plier, vous pouvez utiliser des vis pour assembler les différentes parties, avec plus de facilité que si vous travailliez avec le bois.

Créer des joints à 90°

Si enfoncer des vis dans la tranche d'un morceau de contreplaqué entraîne presque toujours une séparation de ses couches, rien de tel avec l'ABS, qui ne possède pas de couches (ni de grain), ne se fend pas et n'éclate pas. Autrement dit, vous pouvez facilement assembler deux pièces à 90° à l'aide de petites vis (de diamètre 3 mm et de longueur 15 mm).

Les fig. 5-86 à 5-90 illustrent la procédure pour fixer un morceau d'ABS de 3 mm d'épaisseur (ou plus) à un autre de 6 mm d'épaisseur, que je considère comme l'épaisseur minimale pour insérer des vis :

1. Marquez le morceau de plastique le plus fin, à 3 mm du bord. Si vous utilisez des vis de diamètre 3 mm, percez des trous avec un foret de 3 mm. Si vous choisissez des vis à tête plate, fraisez les trous très doucement.

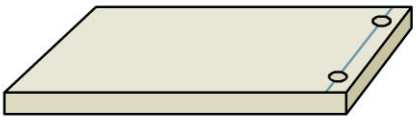


Figure 5-86

2. Maintenez l'assemblage en place et introduisez un crayon dans les trous pour marquer le bord de l'ABS d'épaisseur 6 mm qui se trouve en dessous.
3. Retirez le plastique fin, serrez le plastique de 6 mm dans un étau et percez les trous de guidage des vis au niveau de chaque marque, centrés dans l'épaisseur du plastique. Comme l'ABS ne se comprime pas comme le bois, les trous doivent être plus gros qu'habituellement ; sinon, le plastique gonflera autour de la vis. Un foret de 2,5 mm convient tout juste pour une vis de 3 mm de diamètre.
4. Assemblez les différents éléments en ne serrant pas trop les vis pour ne pas couper le plastique.

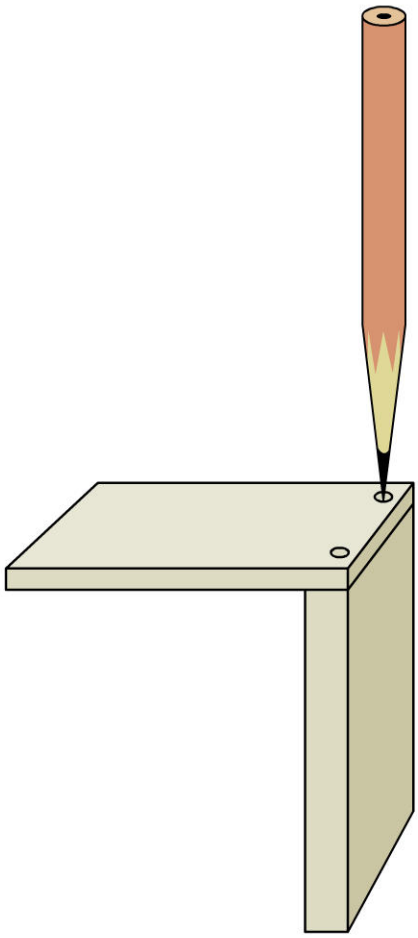


Figure 5-87

Copyright © 2013 Eyrolles.

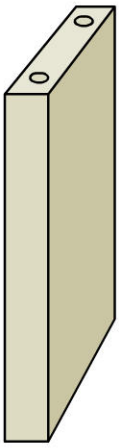


Figure 5-88

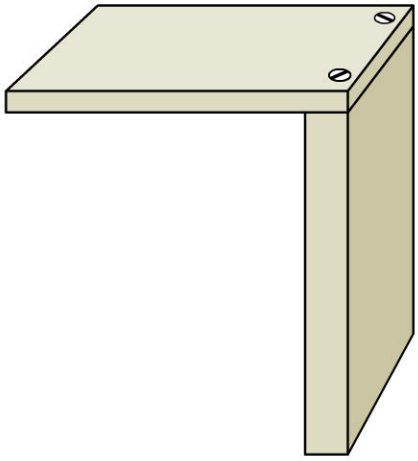


Figure 5-89. *Les fig. 5-86 à 5-89 illustrent les quatre étapes à suivre pour assembler deux morceaux d'ABS à l'aide de vis à métaux de 3 mm de diamètre. Percez des trous de 3 mm sur une ligne à 3 mm du bord du premier morceau, puis marquez les trous sur la tranche du second. Percez des trous de 2,5 mm, bien centrés dans l'épaisseur, puis vissez les morceaux ensemble.*

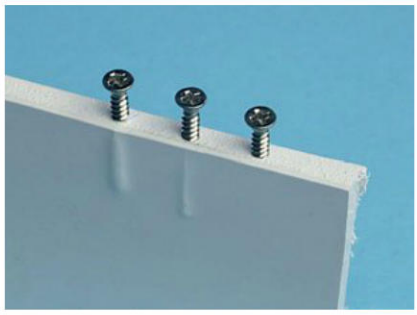


Figure 5-90. *Trois vis de 3 mm vissées dans la tranche de l'ABS, à l'aide d'un trou de guidage de respectivement 1,5 mm, 2 mm et 2,5 mm. Comme les deux premiers trous de guidage étaient trop petits, le plastique a gonflé autour de la vis (mais sans casser).*

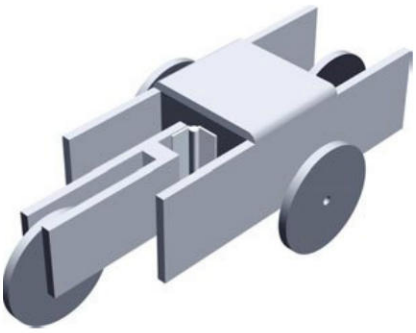


Figure 5-91. *Un logiciel de dessin 3D est une excellente manière de tester la faisabilité d'un projet avant de passer aux phases de découpe et d'assemblage. Ce rendu m'a ainsi permis de démontrer la faisabilité de notre petit robot.*

Construire le chariot

Pour des raisons qui seront bientôt évidentes, j'ai choisi pour les roues une configuration inhabituelle. Sur la maquette de la fig. 5-91, la roue avant (à l'arrière-plan à droite) est motrice, la roue arrière (au premier plan à gauche) dirige le chariot et les roues latérales maintiennent son équilibre.

Selon le type de moteur que vous achèterez, vous devrez imaginer comment le monter sur la partie avant du chariot. N'ayez pas peur d'utiliser des colliers de serrage, du ruban adhésif ou même des élastiques pour le fixer au cadre. Il s'agit ici d'un simple prototype, pas d'un objet de collection (quoique si le chariot vous plaît, vous pourrez toujours le reconstruire en plus beau).

Le plan de la fig. 5-92 montre les pièces dont vous aurez besoin. La pièce A est le corps du chariot. Si vous prévoyez de plier l'ABS, percez des trous de 10 mm de diamètre environ à l'aide d'une mèche Forstner, au niveau des quatre coins intérieurs, afin que ces derniers aient un contour arrondi. Car si vous sciez simplement le plastique pour obtenir des angles à 90°, le pliage risque de provoquer des fissures aux coins. Si vous n'avez pas de machine à plier et si vous ne souhaitez pas en acheter une, vous pouvez fabriquer la partie A à partir de trois rectangles distincts, puis les visser ensemble.

opyright © 2013 Eyrolles.

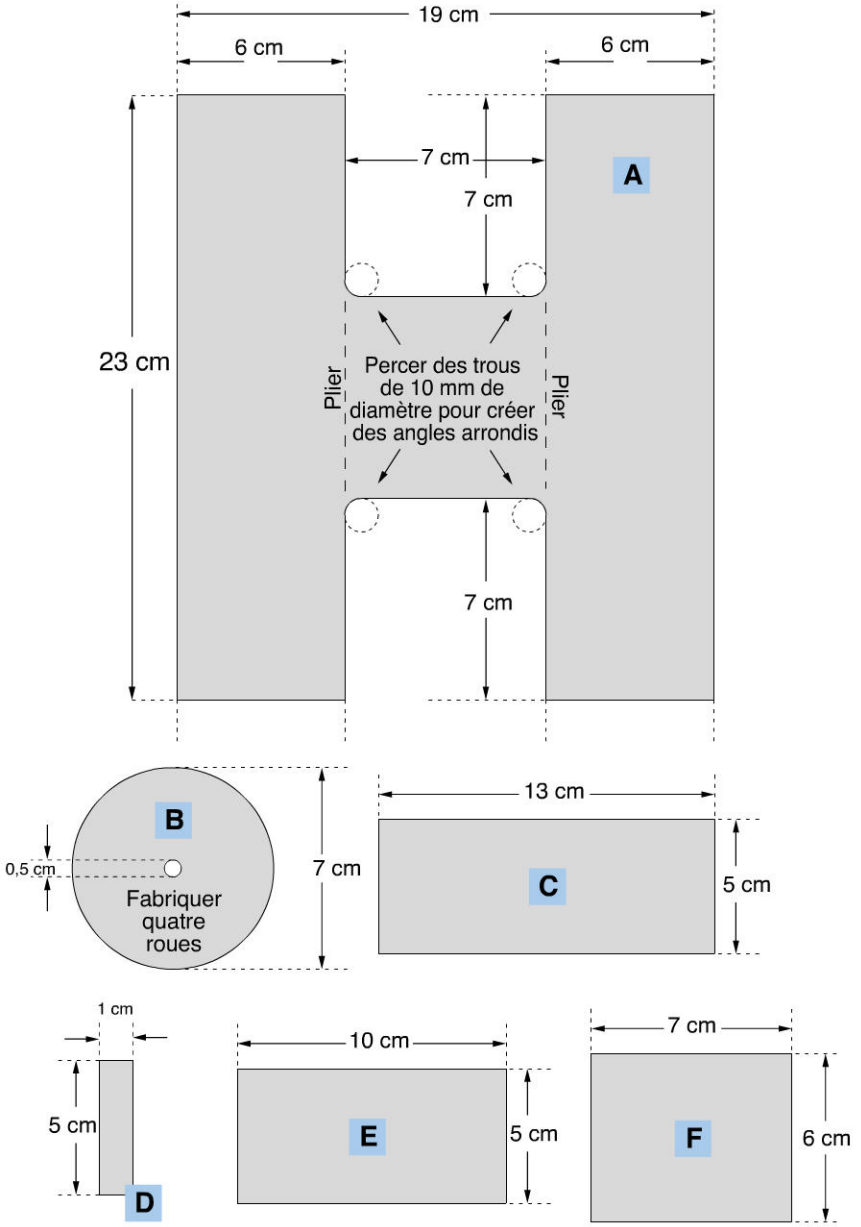


Figure 5-92. *Ces morceaux de plastique de 6 mm d'épaisseur peuvent être assemblés pour créer le robot de l'expérience 32.*

La pièce B correspond à l'une des quatre roues. Je les ai découpées avec une scie-cloche de 70 mm de diamètre environ. La roue avant est vissée au disque ou bras que vous avez choisi pour s'accoupler à l'arbre de transmission du moteur. Voir fig. 5-93.

Les pièces C, D et E s'assemblent pour former l'empiècement sur lequel la roue arrière est montée. J'ai utilisé une charnière de 5 cm pour le faire pivoter. Celle-ci est montée sur la pièce F, située au milieu du cadre du chariot. Les photos des fig. 5-94 et 5-95 vous aideront à mieux comprendre. Au départ, quand

Figure 5-93. *Une roue de 70 mm de diamètre est vissée au disque qui s'accouple à l'arbre de transmission du moteur.*

Copyright © 2013 Eyrolles.

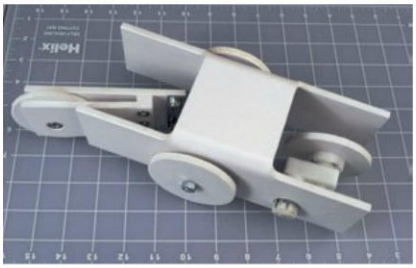


Figure 5-94. *Le corps assemblé du chariot, avant l'ajout des éléments électroniques. La roue à l'extrémité droite tirera le chariot de gauche à droite, tandis que celle à gauche lui permettra d'avancer sur une ligne relativement droite, mais aura tendance à le faire tourner quand il reculera.*

Figure 5-95. *Gros plan de la roue arrière, qui tourne librement et peut se déplacer d'un côté à l'autre avec un minimum de frottement.*

vous installez la pièce F, n'utilisez que deux vis, une de chaque côté, afin de pouvoir ajuster son angle. Cette étape est nécessaire pour optimiser le contact des roues avec le sol.

Les roues latérales et la roue arrière doivent tourner librement, mais sans osciller. J'ai simplement serré les boulons des écrous qui servent d'axes aux roues, en laissant environ un demi-millimètre d'espace libre. J'ai ajouté une goutte de colle pour que les boulons ne se desserrent pas.

Les plans ne montrent pas précisément où percer les trous pour les boulons, car leur emplacement dépend de la taille des roues. Veillez juste à ce que les roues latérales ne soient pas montées trop bas : elles ne doivent pas soulever la roue avant ou la roue arrière du sol. L'idéal est qu'elles soient légèrement plus hautes, par rapport au sol, que les roues avant et arrière.

Sur un sol carrelé ou un parquet, la traction du robot peut être améliorée en ajoutant un élastique épais autour des deux disques utilisés pour la roue motrice et la roue directrice.

Le plus important dans ce montage, c'est l'emplacement des micro-interrupteurs, afin qu'ils se déclenchent quand le robot se heurtera à un obstacle. J'ai positionné les miens aux coins avant (fig. 5-96 et 5-97).

Figure 5-96

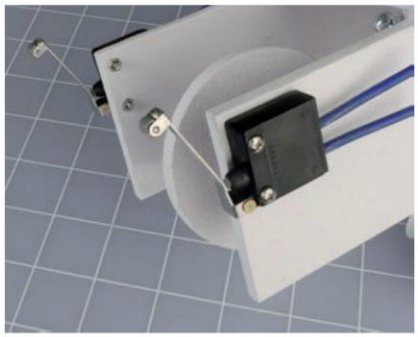


Figure 5-97. *Deux micro-interrupteurs à lames métalliques sont montés de part et d'autre du robot pour détecter tout obstacle éventuel.*

Le circuit

Le schéma est simplissime, avec seulement quatre composants principaux : deux micro-interrupteurs qui détectent les obstacles à l'avant du robot, un relais et un temporisateur 555. Vous aurez aussi besoin d'un petit interrupteur, d'une pile ou d'un bloc-piles, d'une résistance et de condensateurs pour le timer. Un potentiomètre vous permettra de régler la durée de l'état ON du temporisateur 555, qui correspondra au temps pendant lequel le robot recule. Voir fig. 5-98.

Copyright © 2013 Eyrolles.

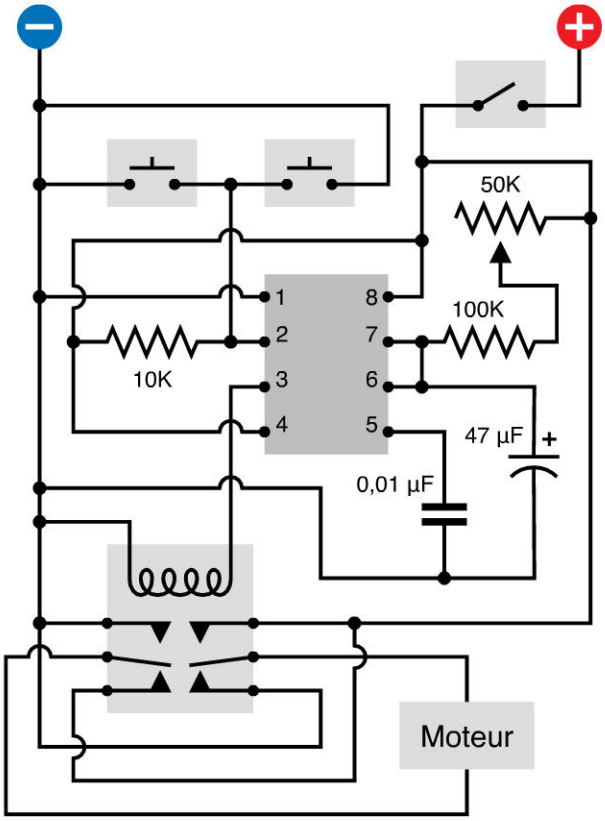


Figure 5-98. *Ce schéma ultrasimple est tout ce dont le robot a besoin pour reculer quand il se heurte à un obstacle.*

Comme le moteur que j'ai choisi fonctionne avec du 5 V, j'ai dû utiliser un régulateur de tension avec une pile de 9 V. Si votre moteur utilise du 6 V, vous pouvez y raccorder directement quatre piles AA. Si vous avez un moteur de 12 V, vous pouvez employer deux piles de 9 V en série, qui fourniront l'alimentation via un régulateur de tension de 12 V.

Assemblez les composants, montez-les sur le chariot et mettez ce dernier sous tension : il devrait avancer lentement selon une ligne plus ou moins droite. S'il recule, inversez les connexions aux bornes du moteur.

Lorsque le chariot heurte un objet, l'un des deux micro-interrupteurs applique une tension négative à la broche d'entrée du timer 555. Celui-ci se déclenche alors en mode monostable, produisant une seule impulsion de 5 secondes environ, ce qui ferme le relais, câblé de façon à inverser la tension.

Quand la tension d'un moteur à courant continu est inversée, celui-ci fonctionne dans l'autre sens, donc le robot recule. Comme la roue arrière est montée sur un empiècement qui pivote, elle part d'un côté ou de l'autre, amenant le robot à décrire un arc de cercle en marche arrière. À la fin du cycle du temporisateur, le relais se relâche et le chariot avance à nouveau. La roue arrière se contente alors de suivre, sans exercer de force directrice, si bien que le robot tend à se déplacer en ligne droite – jusqu'à ce qu'il rencontre un nouvel obstacle, auquel cas il recule et cherche un autre trajet.

opyright © 2013 Eyrolles.

FONDAMENTAUX

Tout sur les interrupteurs de fin de course

L'amélioration la plus évidente à apporter au robot porte sur le mécanisme de direction. Pour cela, vous pourriez utiliser un autre moteur, avec deux interrupteurs de fin de course. Comme ces interrupteurs, associés à des moteurs, constituent un dispositif classique, je vais en parler plus en détail.

La fig. 5-99 présente trois vues successives d'un moteur relié à un bras, qui peut appuyer sur un bouton-poussoir inférieur ou supérieur. Normalement, les deux boutons-poussoirs sont fermés, mais s'ouvrent quand le bras du moteur y exerce une pression. Ces boutons sont les interrupteurs de fin de course. Généralement, vous utilisez des micro-interrupteurs, comme ceux qui ont servi de détecteurs d'obstacle à l'avant du chariot.

En outre, le circuit comporte un relais DPDT, activé par un simple interrupteur ON/OFF placé sur le côté droit. Sur le robot, le timer 555 occupe la place de cet interrupteur, en alimentant le relais.

Supposons que le moteur démarre avec le bras orienté vers le bas, comme sur la vue supérieure de la fig. 5-99, et qu'il soit câblé pour tourner dans le sens inverse des aiguilles d'une montre quand il reçoit une tension négative à sa borne inférieure et une tension positive à sa borne supérieure. C'est ce qui se produit quand l'interrupteur ON/OFF est fermé et envoie l'alimentation au relais DPDT. La tension positive des contacts du relais ne peut pas passer par la diode supérieure, mais par l'interrupteur de fin de course supérieur, lequel est fermé. La tension négative ne peut pas passer par l'interrupteur de fin de course inférieur, car il est ouvert, mais par la diode inférieure. Ainsi, le moteur commence à tourner en sens inverse des aiguilles d'une montre. Au milieu de l'arc décrit, il est alimenté par les deux interrupteurs de fin de course.

Puis le bras du moteur atteint l'interrupteur supérieur et l'ouvre, ce qui empêche la tension positive d'atteindre le moteur via cet interrupteur, sachant qu'elle est aussi bloquée par la diode supérieure. À ce stade, le moteur s'arrête donc.

Supposons maintenant que l'interrupteur ON/OFF soit ouvert, comme sur la vue supérieure de la fig. 5-100. Comme le relais perd son alimentation, ses contacts se relâchent. La tension du moteur est maintenant inversée. La tension négative passe par la diode supérieure, tandis que la tension positive accède au moteur par l'interrupteur de fin de course inférieur. Le moteur commence à tourner dans le sens des aiguilles d'une montre, jusqu'à ce que son bras atteigne l'interrupteur inférieur, l'ouvre et coupe l'alimentation du moteur.

Ces interrupteurs de fin de course sont nécessaires, car si vous continuez à appliquer une tension à un moteur DC incapable de tourner, ce dernier absorbe plus de courant, chauffe et peut brûler.

Il est facile de comprendre comment ce type de dispositif peut être utilisé pour contrôler la direction du robot. Bien que le moteur ait seulement deux positions, celles-ci suffisent à faire tourner le chariot en marche arrière, et à le faire avancer droit sinon.

Pour réduire la consommation électrique, le relais DPDT peut être remplacé par un relais à enclenchement à deux bobines. Le circuit doit alors être modifié pour que le relais bascule d'avant en arrière à chaque impulsion de l'une des bobines.

opyright © 2013 Eyrolles.

FONDAMENTAUX

Tout sur les interrupteurs de fin de course *(suite)*

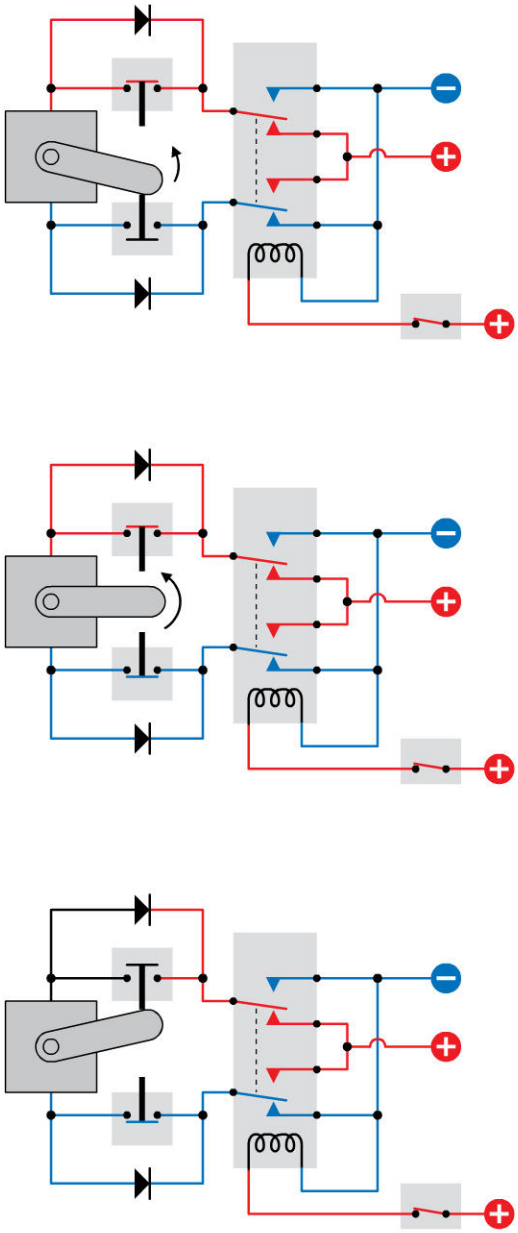


Figure 5-99. *Ces trois schémas représentent trois instantanés d'un moteur contrôlé par un relais DPDT et deux interrupteurs de fin de course. Quand l'interrupteur ON/OFF en bas à droite alimente le relais, les contacts inférieurs de ce dernier conduisent le moteur à tourner dans le sens inverse des aiguilles d'une montre jusqu'à ce qu'il s'arrête de lui-même quand son bras ouvre l'interrupteur de fin de course supérieur.*

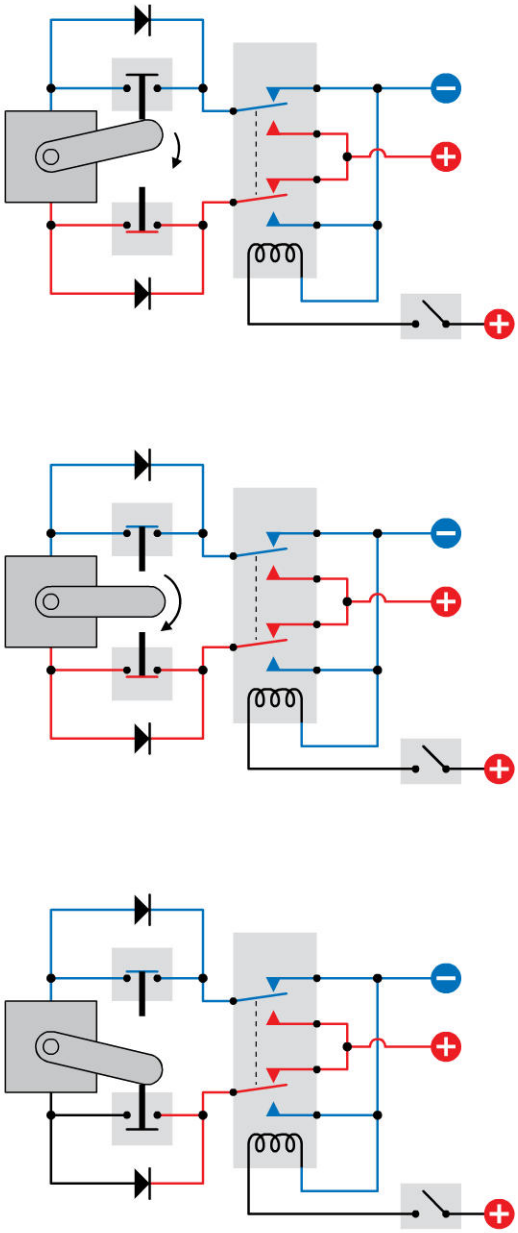


Figure 5-100. *Quand l'interrupteur ON/OFF en bas à droite s'ouvre, le relais connecte ses contacts supérieurs. Le moteur se met alors à tourner dans le sens des aiguilles d'une montre jusqu'à ce que son bras ouvre l'interrupteur de fin de course inférieur. Les interrupteurs de fin de course évitent la surchauffe et les dommages susceptibles de se produire quand l'alimentation est fournie à un moteur incapable de tourner.*

Copyright © 2013 Eyrolles.

FONDAMENTAUX

Tout sur les moteurs

Moteur DC à balais

Il s'agit du type le plus ancien et le plus simple de moteur électrique, présenté en version très simplifiée fig. 5-101. Reliées à un axe, les bobines peuvent interagir avec des aimants fixes situés tout autour. L'attraction magnétique fait tourner légèrement l'axe, après quoi la bobine suivante est alimentée pour le faire tourner un peu plus, et ainsi de suite. Pour que cela se produise, l'électricité est transmise dans les bobines par des « balais », qui se composent généralement de protections en carbone conduisant l'alimentation jusqu'au commutateur, divisé en plusieurs sections connectées à différentes bobines.

Il est intéressant d'utiliser un tel dispositif pour construire un petit gadget motorisé, comme un robot miniature ou même un modèle réduit d'avion, car il est :

- facile à trouver ;
- bon marché ;
- simple d'utilisation ;
- fiable ;

et fonctionne dans l'autre sens si la tension est inversée.

En outre, les moteurs à balais sont souvent vendus avec un embrayage intégré. Ces articles sont appelés moteurs à engrenages. Ils vous dispensent d'utiliser vos propres engrenages ou courroies pour ajuster la vitesse de sortie. Il vous suffit de choisir le moteur qui convient à vos besoins.

Moteur DC pas-à-pas

Ce système nécessite un contrôleur, à savoir un ensemble de composants électroniques qui commande au moteur de faire pivoter son axe par légères saccades. Un tel moteur offre deux avantages :

- positionnement précis de l'axe ;
- ajustement précis de la vitesse.

Les moteurs pas-à-pas conviennent parfaitement aux appareils comme les imprimantes, où le papier doit avancer sur une certaine distance, tandis que la tête d'impression doit se déplacer latéralement de manière tout aussi précise. Mais ils sont aussi adaptés aux robots : si le moteur est assez petit pour tirer moins de 200 mA et fonctionne en 12 V ou moins, vous pouvez le contrôler avec les impulsions d'un timer 555. Je décrirai plus longuement les moteurs pas-à-pas lors de l'expérience 33.

Servomoteur

Ce moteur est généralement utilisé en liaison avec un microcontrôleur programmable, qui ordonne à l'axe du moteur de pivoter jusqu'à une position spécifique et de s'y maintenir. J'évoquerai les servomoteurs quand j'aborderai les microcontrôleurs, mais ne les traiterai pas en détail.

Il existe d'autres types de moteurs, comme les moteurs DC sans balais (qui nécessitent un autre type de contrôleur et qu'on trouve par exemple dans les lecteurs CD et les disques durs d'ordinateur) ou les moteurs AC (comprenant les moteurs synchrones, qui synchronisent leur rotation avec la fréquence de la tension alternative, et qui étaient très utilisés dans les horloges, avant l'arrivée du numérique).

Dans ce livre, je parlerai principalement de moteurs DC à balais et pas-à-pas.

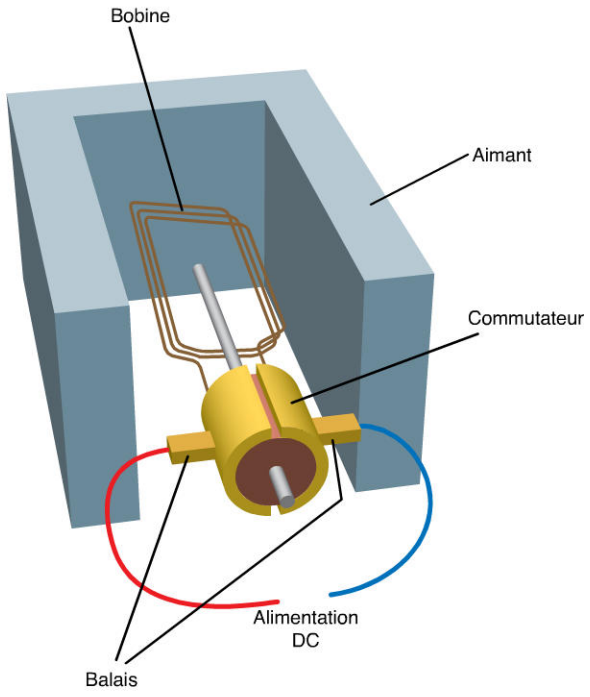


Figure 5-101. *Principe de base d'un moteur DC simple. Le commutateur fait passer l'électricité dans une bobine, ce qui crée un champ magnétique qui interagit avec un aimant situé autour du moteur. La bobine tourne et le commutateur avec elle, jusqu'à ce que le champ électrique qui passe par la bobine soit inversé. Et le processus se répète. En réalité, un moteur s'apparente à un commutateur composé de plusieurs segments, reliés à différentes bobines. Mais le principe reste le même.*

Copyright © 2013 Eyrolles.

Les principaux points à retenir de cette expérience sont les suivants :

- Vous pouvez acheter des moteurs DC simples avec embrayage intégré, en choisissant le nombre de tours/minute. Des centaines de sites web vendent de petits moteurs destinés aux projets de robotique.
- Quand vous inversez la tension d'un moteur DC, celui-ci tourne dans l'autre sens.
- Un relais DPDT peut être câblé pour qu'il inverse l'alimentation d'un moteur lorsqu'il ferme ses contacts.
- Vous pouvez utiliser deux interrupteurs de fin de course et deux diodes pour arrêter un moteur sur deux positions. Dans ses deux positions d'arrêt, le moteur ne consomme aucune puissance et vous ne risquerez pas de le brûler.

Quels autres projets pouvez-vous imaginer à partir de ces différentes propriétés ?

Puissance mécanique

Aux États-Unis, le couple d'un moteur est habituellement mesuré en livres-pieds ou en onces-pouces. En Europe, c'est le système métrique qui est utilisé : on mesure le couple en newtons-mètres.

La notion de newton-mètre est facile à comprendre. Imaginez un levier qui pivote à une extrémité, comme illustré à la fig. 5-102. Si la longueur du levier est d'1 mètre et que vous suspendez à son extrémité un poids d'1 newton, le couple est égal à 1 newtons-mètres.

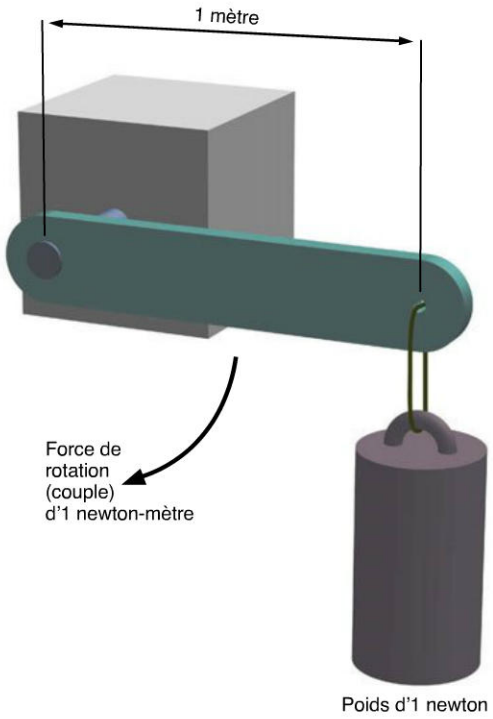


Figure 5-102. *La force de rotation créée par un moteur est appelée couple. Dans le système métrique, elle se mesure en newtons-mètres, et aux États-Unis, en livres-pieds (ou en onces-pouces pour les petits moteurs). Notez que ce couple varie en fonction de la vitesse du moteur.*

Copyright © 2013 Eyrolles.

THÉORIE

Calcul de la différence de potentiel

Il est utile de connaître la différence de potentiel introduite par une longueur de fil donnée dans un circuit. Car si vous souhaitez obtenir le maximum de puissance d'un moteur, il faut éviter de perdre de la tension dans les câbles auxquels il est relié.

La chute de tension est complexe, parce qu'elle dépend du câble, mais aussi de la charge sur le circuit. Supposons que vous utilisiez 30 m de câble de diamètre 0,6 mm, dont la résistance est d'environ 1,5 Ω. Si vous le reliez à une pile de 12 V et commandez une LED et une résistance série dont la résistance totale effective est de 1 200 Ω, la résistance du câble, en comparaison, est négligeable. Selon la loi d'Ohm :

ampères = volts / ohms

donc l'intensité dans le circuit n'est que de 10 mA.

Toujours selon la loi d'Ohm :

volts = ohms × ampères

donc le câble d'une résistance de 1,5 Ω impose une différence de potentiel de 1,5 × 0,01 = 0,015 V.

Supposons maintenant que vous fassiez tourner un moteur. Ses bobines créent une impédance, plutôt qu'une résistance, mais si nous mesurons la quantité de courant passant dans le circuit, nous pouvons établir sa résistance effective. Si le courant est d'1 A, nous obtenons une différence de potentiel dans le fil de 1,5 × 1 = 1,5 V ! Voir fig. 5-103.

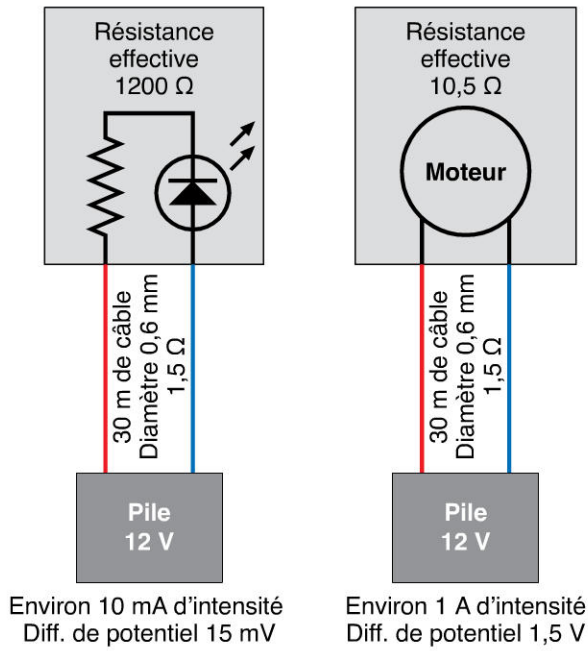


Figure 5-103. *La différence de potentiel imposée par le câblage dépend de l'intensité et de la résistance du circuit. Elle est maximale quand la résistance du circuit est faible et l'intensité élevée.*

Expérience 33 : déplacement pas à pas

Le temps est venu de construire quelque chose de plus sophistiqué : un robot qui s'oriente de lui-même vers une source lumineuse. Je vais vous indiquer tout ce dont vous aurez besoin pour lancer ce projet, mais je ne décrirai pas cette fois la totalité de la procédure. Il faut que vous preniez l'habitude de régler les détails, d'améliorer les plans et de faire preuve d'inventivité.

Il vous faudra :

- 8 timers 555 et 2 potentiomètres ajustables, 2K linéaires
- 4 LED. Si vous en avez assez d'utiliser des résistances série pour protéger les LED d'un circuit de 12 V, achetez des LED de 12 V telles que Chicago Miniature 606-4302H1-12V, qui possèdent une résistance intégrée (sur la fig. 5-107, on a supposé cependant que vous utiliserez des LED traditionnelles de 2 V ou 2,5 V)
- 2 moteurs pas à pas : unipolaires, quatre phases, 12 V. Parallax 27964 ou similaire, consommant 100 mA maximum

Copyright © 2013 Eyrolles.

- 2 photorésistances, idéalement entre 500 et 3 000 Ω
- 2 ensembles Darlington ULN2001A ou ULN2003A, chez STMicroelectronics
- 2 compteurs CMOS octal ou décimal
- Assortiment de résistances et de condensateurs

Exploration du moteur

J'ai choisi un moteur 12 V unipolaire à quatre phases, car il s'agit d'un type très commun (voir fig. 5-104). Si vous n'arrivez pas à trouver le modèle indiqué, achetez-en un autre ayant les mêmes caractéristiques. « Unipolaire » signifie que vous n'avez pas à commuter l'alimentation électrique du positif au négatif, puis de nouveau vers le positif, pour faire fonctionner le moteur. « À quatre phases » veut dire que les impulsions commandant le moteur doivent s'appliquer en séquence à quatre fils distincts. Comme vous ferez fonctionner le moteur directement depuis les temporisateurs 555, plus la consommation sera basse, mieux ce sera.

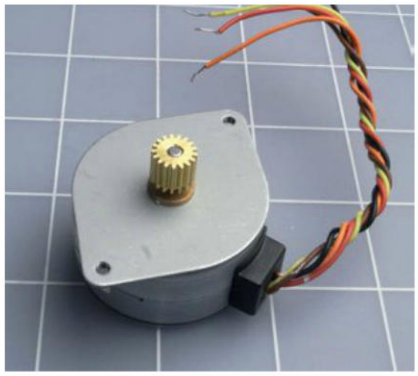


Figure 5-104. *Moteur pas-à-pas typique. L'axe tourne par pas quand les impulsions négatives sont appliquées en séquence à quatre des cinq fils, le cinquième correspondant à l'alimentation commune positive.*

Mais tout d'abord, appliquons la tension au moteur sans ajouter d'autres composants. Le moteur possédera très probablement cinq fils, avec les extrémités mises à nues afin que vous puissiez les insérer facilement dans les trous d'une platine de montage (fig. 5-105). Vérifiez la fiche technique de votre moteur : normalement, quatre fils sont utilisés pour alimenter le moteur et le faire tourner par pas, tandis que le cinquième constitue la connexion commune. Bien souvent, la connexion commune doit être reliée à la borne positive de l'alimentation électrique, tandis que vous appliquez en séquence la tension négative aux quatre autres fils.

La fiche technique vous indique dans quel ordre l'alimentation doit être appliquée aux fils. Vous pouvez procéder par tâtonnements si nécessaire. Une chose à ne pas oublier : un moteur pas-à-pas est très tolérant. Tant que vous y appliquez la tension correcte, vous ne pouvez pas le brûler.

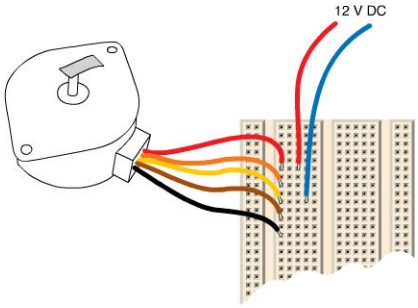


Figure 5-105. *Pour comprendre comment fonctionne un moteur pas-à-pas, le test le plus simple consiste à appliquer manuellement la tension à chacun de ses quatre fils de contrôle, en ayant fixé un morceau de ruban adhésif sur l'axe de sortie.*

Pour savoir comment le moteur fonctionne, fixez un morceau de ruban adhésif à l'extrémité de l'axe. Puis appliquez la tension aux fils, l'un après l'autre, en déplaçant la connexion d'alimentation négative vers le suivant. Vous devriez voir l'axe tourner par pas.

À l'intérieur du moteur se trouvent les bobines et les aimants, qui fonctionnent différemment de ceux d'un moteur DC. Imaginez une configuration semblable à celle de la fig. 5-106. Chaque fois vous appliquez la tension à une bobine différente, le quart de cercle noir de l'axe tourne pour faire face à la bobine. En réalité, le moteur tourne selon un angle inférieur à 90°, mais ce modèle simplifié donne une bonne idée de ce qui se passe. Pour une explication plus précise, consultez l'encadré « À l'intérieur d'un moteur pas-à-pas » page 286.

Rappelez-vous que, tant que l'un des fils du moteur est connecté, il tire constamment de l'électricité, même si rien ne se passe. Contrairement à un moteur DC classique, un moteur pas-à-pas est conçu pour ne rien faire la plupart du temps. Quand vous appliquez la tension à un fil différent, le moteur passe à la position suivante et c'est tout.

Copyright © 2013 Eyrolles.

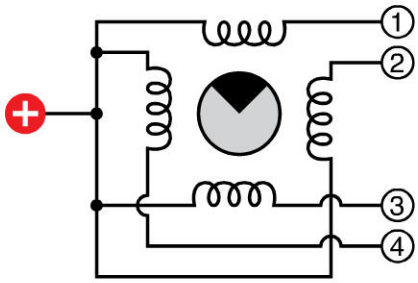


Figure 5-106. *Ce schéma très simplifié aide à comprendre le fonctionnement d'un moteur pas-à-pas. Mais en réalité, presque tous les moteurs répondent aux impulsions par une rotation inférieure à 90°.*

La bobine à l'intérieur du moteur maintient l'axe en place et la puissance absorbée par le moteur se dissipe sous forme de chaleur. Il est assez normal que le moteur chauffe lorsque vous l'utilisez. Attention, si vous l'alimentez à l'aide d'une pile et que vous la laissez branchée, la pile ne maintiendra pas sa charge très longtemps.

Petite démonstration

Maintenant que vous avez prouvé que le moteur était fonctionnel, comment le faire tourner en pratique ? Vous devez envoyer tour à tour une impulsion à chacun des quatre fils, selon un rythme soutenu. Si vous pouvez aussi ajuster la vitesse des impulsions, c'est encore mieux : dans le cadre d'une démonstration aussi simple que rapide, vous pouvez relever le défi à l'aide de 4 temporisateurs 555, tous en mode monostable et chacun déclenchant le suivant.

La fig. 5-107, moins complexe qu'il y paraît, montre ce que j'ai en tête. Chaque timer ayant pour environnement la même configuration de composants, il vous suffit de créer un premier module et de le dupliquer trois fois.

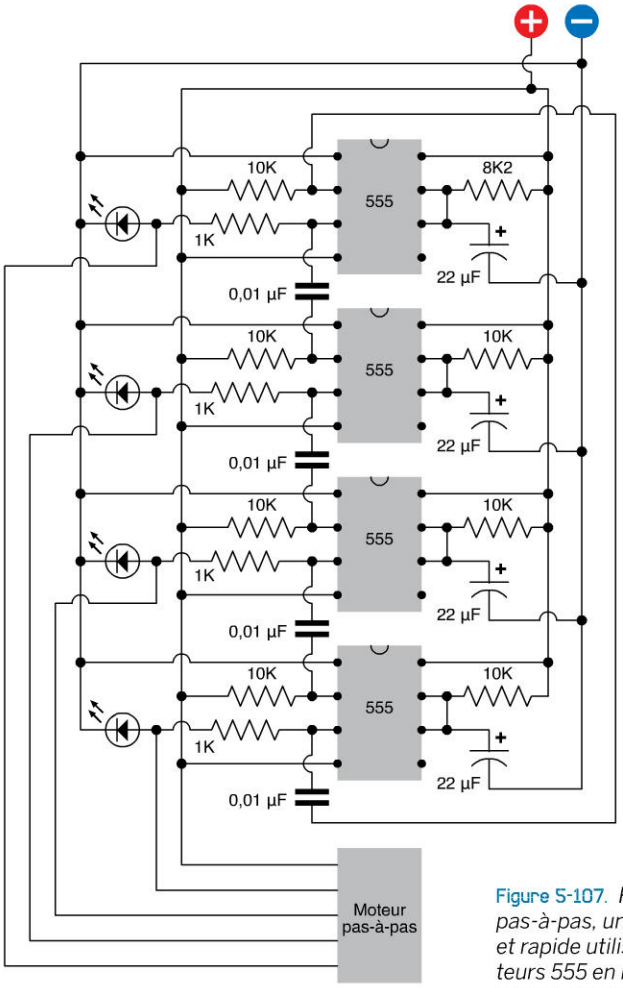


Figure 5-107. *Pour contrôler un moteur pas-à-pas, un circuit à la fois simple et rapide utilise quatre temporisateurs 555 en mode monostable, chacun déclenchant le suivant selon une séquence répétitive.*

Copyright © 2013 Eyrolles.

J'ai choisi une résistance de 10K pour maintenir à l'état haut l'entrée de chaque timer 555, afin qu'ils soient tous les quatre naturellement à l'état inactif. Comme un condensateur de 0,01 µF relie la sortie de chaque temporisateur à l'entrée du suivant, ils sont isolés électriquement les uns des autres ; le condensateur transmet simplement un pic de tension quand un timer achève son cycle ON et sa sortie faiblit, ce qui déclenche le temporisateur suivant.

Sur le côté droit, j'ai placé des résistances de 10K et des condensateurs de 22 µF afin de générer un cycle d'environ un quart de seconde. Seul le temporisateur le plus haut possède une résistance de 8K2, car lorsque l'alimentation est appliquée pour la première fois, les timers s'attendent tous les uns les autres pour démarrer, et les timers 2 et 4 ou 1 et 3 peuvent se déclencher ensemble. En attribuant à un timer un cycle plus court qu'aux autres, je réduis ce risque.

J'ai ajouté des LED pour pouvoir visualiser ce qui se passe. Sans elles, en cas d'erreur de câblage, le moteur tournera de façon erratique et vous ne saurez pas pourquoi. Vous pouvez d'ailleurs faire tourner votre circuit avec uniquement les LED connectées pour vous assurer que tout fonctionne. La fig. 5-108 présente le circuit sur la plaque de montage avant que le moteur ne soit branché. Ajoutez ensuite celui-ci en insérant les fils dans la plaque de montage, où vous établirez les connexions avec les sorties (broches 3) des timers. Voir fig. 5-109.

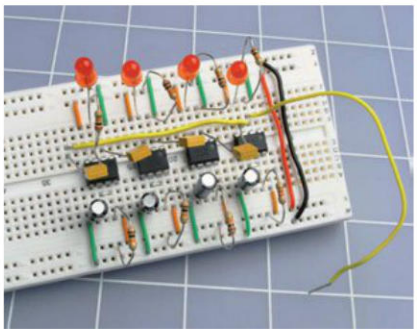


Figure 5-108. *Pour déceler d'éventuelles erreurs sur le circuit, quatre LED affichent les sorties des quatre timers 555. Le fil jaune libre à droite se connecte à la broche 2 du premier temporisateur. Mettez en contact l'extrémité libre du fil avec le côté positif de l'alimentation pour réinitialiser les timers, puis, si nécessaire, établissez une brève connexion négative avec l'extrémité du fil pour redémarrer la séquence.*

Appliquez l'alimentation. Le moteur doit tourner pas à pas et les LED doivent s'éclairer les unes après les autres. Si la séquence des LED n'est pas stable :

1. Branchez directement un fil depuis l'entrée (broche 2) du temporisateur le plus haut jusqu'au côté positif de la tension d'alimentation, puis attendez que les timers se stabilisent.
2. Redémarrez la séquence en déconnectant l'extrémité libre de ce fil, ou (si nécessaire) en la mettant brièvement en contact avec le côté négatif de l'alimentation, afin de déclencher le premier temporisateur.

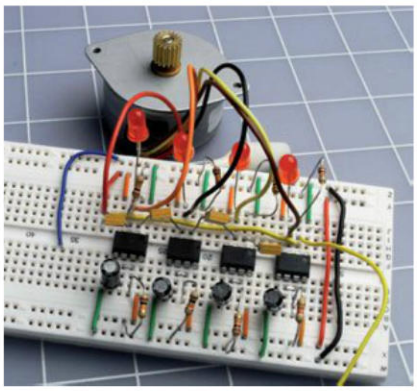


Figure 5-109. *Une fois le circuit testé, vous pouvez ajouter le moteur en reliant ses fils de commande aux sorties des quatre timers 555.*

Peut-être avez-vous remarqué que la borne commune du moteur était connectée au côté positif. Par conséquent, quand chaque timer fournit en sortie une tension positive, ce signal n'alimente pas réellement le moteur. La sortie à l'état bas des trois temporisateurs qui ne se déclenchent pas à un instant donné absorbe le courant du moteur. Quelques notions théoriques sont nécessaires pour comprendre ce phénomène.

Copyright © 2013 Eyrolles.

THÉORIE

À l'intérieur d'un moteur pas-à-pas

Si vous consultez la page Wikipédia traitant des moteurs pas-à-pas, vous pourrez admirer un très beau rendu 3D d'un rotor à dents, entouré de quatre bobines. Peut-être fut-il un temps où ces moteurs étaient fabriqués ainsi, mais plus maintenant.

Imaginez deux rangées horizontales de bobines. Entre ces rangées se trouve une série de petits aimants pouvant se déplacer vers la gauche ou la droite (fig. 5-110 et 5-111). Chaque bobine possède deux enroulements, dans des directions opposées : ainsi, le courant qui traverse l'un crée une force magnétique ascendante, tandis celui qui traverse l'autre génère une force descendante. Chaque rangée d'enroulements est reliée en parallèle, de telle sorte qu'ils s'allument et s'éteignent simultanément.

À l'étape 1, la connexion négative alimente les enroulements supérieurs des bobines supérieures, ce qui crée une force magnétique ascendante. J'ai illustré cette force par des flèches vertes afin que vous ne la confondiez pas avec un flux électrique. Cette force attirant les pôles nord des aimants et repoussant les pôles sud, les aimants se déplaceront d'un pas vers la droite si leur position d'origine est celle de l'étape 1.

Les aimants arrivent alors dans la position de l'étape 2. Maintenant, les enroulements supérieurs des bobines inférieures sont alimentés et, de nouveau, il s'ensuit une force ascendante qui attire les pôles nord des aimants et repousse les pôles sud.

La nouvelle position des aimants est celle de l'étape 3. Les enroulements inférieurs des bobines supérieures sont alimentés, d'où la production d'une force descendante. Les pôles nord des aimants son repoussés, leur pôle sud attiré. Par conséquent, les aimants continuent à se déplacer.

Ils atteignent la position de l'étape 4. Les enroulements inférieurs des bobines inférieures sont alimentés, produisant une force descendante qui continue à attirer les pôles sud tout en repoussant les pôles nord. Les aimants se déplacent donc d'un ultime pas vers la droite – ce qui les amène dans la même position que celle de l'étape 1. Et le processus peut se répéter indéfiniment.

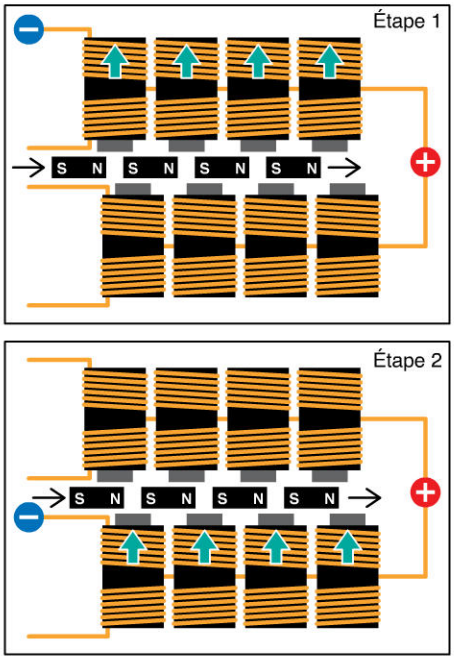


Figure 5-110. *Cette séquence montre les deux premières étapes correspondant au déplacement du rotor d'un moteur pas-à-pas (présenté comme un ensemble d'aimants nord-sud), en réponse aux impulsions via des électroaimants.*

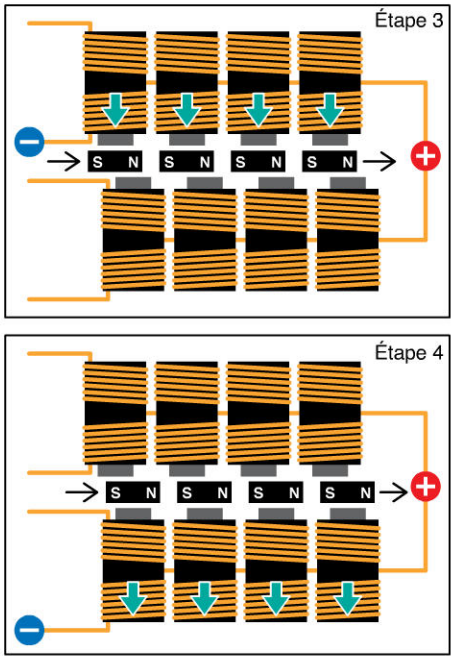


Figure 5-111. *Après deux nouveaux pas, le moteur retourne à sa position initiale (étape 1 de la fig. 5-110).*

Copyright © 2013 Eyrolles.

THÉORIE

À l'intérieur d'un moteur pas-à-pas *(suite)*

En réalité, les aimants ne sont pas distincts les uns des autres. Le bord d'un rotor est magnétisé en des zones qui alternent polarité sud et polarité nord. Et, au lieu de plusieurs bobines, il y a simplement quatre enroulements autour de tous les noyaux magnétiques. Mais le principe demeure le même (voir fig. 5-113 et 5-114).

Retenez bien que quand ce dispositif est commandé par un ensemble de timers 555, nous ne connectons pas l'alimentation négative à un seul fil, en laissant les autres libres. En réalité, à tout moment, trois timers ont une sortie négative et le quatrième une sortie positive. Le schéma du bas de la fig. 5-111 illustre cette situation.

Supposons que le fil supérieur soit soumis à une tension positive et les trois autres à une tension négative, comme sur la fig. 5-112. L'autre extrémité des bobines supérieures étant aussi alimentée positivement, la sortie positive n'a aucun effet, car les deux fils négatifs attachés aux bobines inférieures créent des forces égales et opposées qui s'annulent (en gaspillant un peu d'alimentation). Le résultat est donc celui de l'étape 3.

En fait, vous devriez constater que vous pouvez débrancher le fil commun pendant que vous utilisez le moteur pas-à-pas avec les temporisateurs 555. Le moteur continuera à tourner, car l'un des timers fournit une alimentation positive et les autres une alimentation négative. En réalité, ils fonctionneront plus efficacement ainsi.

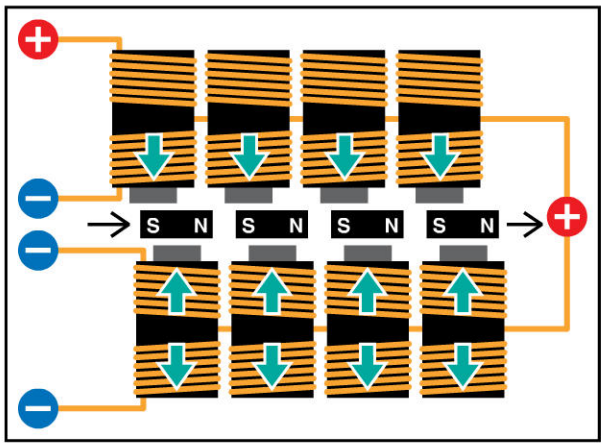


Figure 5-112. *Les quatre timers 555 qui commandent le moteur créent des forces magnétiques en écoulant la tension positive de chaque bobine. Le fonctionnement interne du moteur ressemble à ce schéma.*

Les fig. 5-113 et 5-114 aident à la compréhension d'un tel moteur.

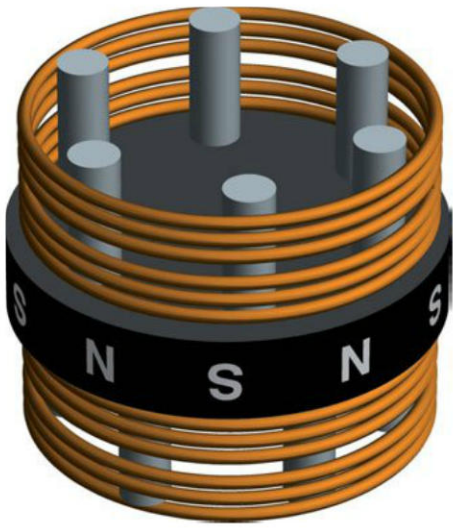


Figure 5-113. *Ce rendu en 3D offre une meilleure vision de l'intérieur d'un moteur pas-à-pas typique. Les bobines en cuivre et les cylindres gris sont fixes, tandis que le disque noir tourne au milieu.*

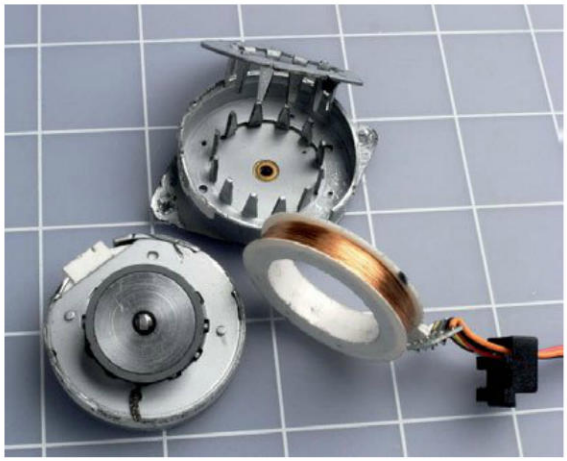


Figure 5-114. *Voici probablement ce que vous trouverez à l'intérieur d'un moteur pas-à-pas. À gauche, le rotor du moteur, comportant une bande magnétisée sur sa circonférence, est encore fixé à la moitié inférieure du boîtier. À droite, la moitié supérieure a été ouverte et la bobine retirée (en réalité, l'enroulement que vous pouvez voir se compose de deux bobines, enroulées en sens inverse). Les pointes correspondent aux cônes magnétiques qui exercent une force sur le rotor.*

Copyright © 2013 Eyrolles.

Contrôle de la vitesse

Si vous êtes fin observateur, vous aurez peut-être remarqué que, sur le schéma de commande du moteur pas-à-pas (fig. 5-107), j'ai laissé déconnectée la broche 5 de chaque timer. Normalement, elle devrait être reliée à la masse par un condensateur pour l'empêcher de collecter les tensions perdues qui peuvent affecter la précision du circuit intégré.

J'ai laissé ces broches non connectées, car j'ai l'intention des les utiliser pour modifier le timing du circuit, afin de régler la vitesse du moteur pas-à-pas.

Si vous connectez ensemble les broches 5 des quatre timers (fig. 5-115) et placez un potentiomètre ajustable de 2K entre elles et le côté négatif de l'alimentation électrique (voir fig. 5-116), vous constaterez que, lorsque vous tournerez le potentiomètre pour diminuer sa résistance, les temporisateurs commenceront à fonctionner plus rapidement. La fig. 5-117 montre la disposition du circuit sur la plaque de montage. Puis quand la résistance passe en dessous des 150 Ω, tout s'arrête. Les LED s'éteignent, car vous avez réduit la tension de la broche 5 au-dessous du seuil considéré comme acceptable par le temporisateur 555.

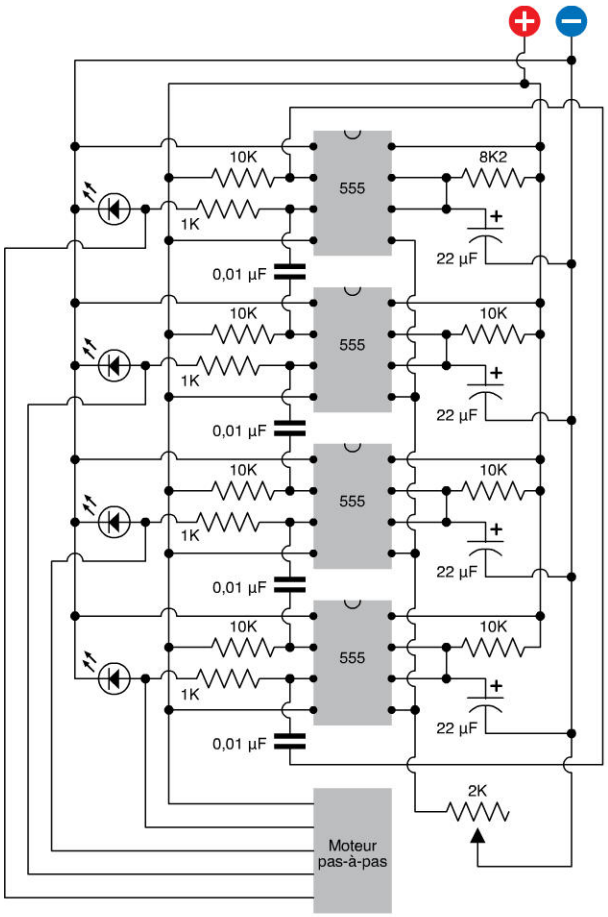


Figure 5-115. *Pour ajuster la vitesse de la séquence des timers 555, leurs broches de contrôle (broches 5) sont reliées ensemble et connectées à un potentiomètre ajustable, qui règle la résistance entre les broches et le côté négatif de l'alimentation.*

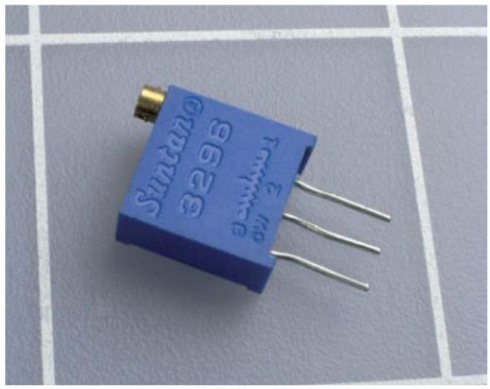


Figure 5-116. *Gros plan d'un potentiomètre ajustable, dont les broches sont espacées de 0,25 cm pour qu'il puisse être fiché sur une plaque de montage ou une plaque perforée. La vis en laiton, en haut à gauche, actionne un engrenage interne qui garantit un réglage précis de la résistance.*

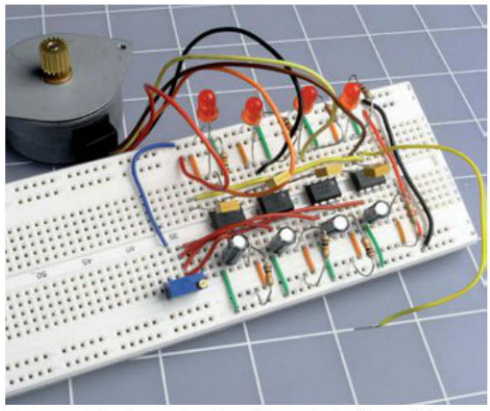


Figure 5-117. *Le potentiomètre ajustable a été ajouté au circuit, ce qui permet de contrôler la vitesse du moteur.*

Copyright © 2013 Eyrolles.

Au départ, je vous suggère une durée de pas d'1/4 seconde pour que vous puissiez voir ce qui se passe. Mais quand vous utiliserez réellement ce circuit, vous n'aurez pas d'intérêt à le faire fonctionner aussi lentement. Vous pourrez donc augmenter toute la plage des vitesses, en remplaçant les condensateurs de temporisation de 22 µF par des condensateurs de 4 µF ou plus petits. Vous disposerez ainsi d'une gamme de vitesses adaptée.

Ajout d'autonomie

Actuellement, le circuit fait simplement ce que vous lui dites de faire. L'étape suivante consiste à le rendre autonome – autrement dit, à lui donner l'illusion qu'il décide par lui-même. Je propose de remplacer le potentiomètre ajustable par une photocellule, appelée photorésistance. La résistance d'une photorésistance (par exemple, au sulfure de cadmium) est élevée dans l'obscurité et faible en pleine lumière.

Comme les photorésistances semblent apparaître et disparaître sur le marché aussi rapidement que les moteurs DC, je ne vous proposerai aucune référence. Il faut juste que votre modèle possède une résistance minimale (en pleine lumière) et une résistance maximale (dans l'obscurité) appropriées. Une photorésistance dont la valeur varie de 500 à 3 000 Ω conviendra très bien. Si les seules que vous trouvez ont une résistance minimale en pleine lumière supérieure à 500 Ω, placez-en deux en parallèle.

Montage du robot en quête de lumière

Pourquoi vouloir contrôler la vitesse d'un moteur pas-à-pas avec une photorésistance ? Parce que l'objectif initial de cette expérience était de construire un robot qui soit attiré par la lumière.

Le principe est assez simple, faisant appel à deux moteurs pas-à-pas, chacun contrôlant la vitesse d'une roue du robot. Pour cela, utilisez deux photorésistances, chacune contrôlant la vitesse du moteur pas-à-pas opposé. Quand la photorésistance de droite recueille plus de lumière, sa résistance baisse, ce qui conduit les timers de gauche à fonctionner plus vite, et donc à faire tourner plus rapidement la roue gauche. Ainsi, le robot s'orientera en direction de la lumière. La fig. 5-118 illustre ce principe.

Cependant, avant que vous ne commenciez à câbler plus de temporisateurs 555, sachez qu'il existe un composant plus approprié. Les circuits ULN2001A et ULN2003A contiennent en effet des amplificateurs Darlington spécialement conçus pour fournir du courant aux charges inductives comme les solénoïdes, les relais ou les moteurs. Chaque puce possède sept entrées qui exigent très peu de courant et sept sorties qui peuvent fournir 500 mA chacune. Les entrées sont des circuits compatibles TTL et CMOS (le circuit 2001A offre une tolérance plus grande aux tensions que le 2003A) et chaque canal du circuit fonctionne comme un inverseur, de telle sorte que lorsque l'entrée devient élevée, la sortie baisse et absorbe le courant. C'est bien sûr ce dont nous avons besoin pour notre moteur pas-à-pas qui dispose d'une connexion positive commune.

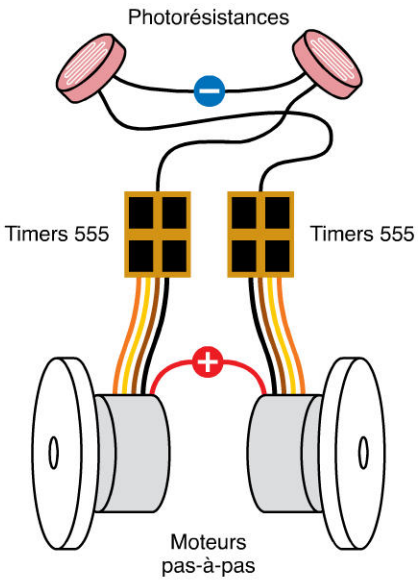


Figure 5-118. *Si deux photorésistances contrôlent la vitesse de deux ensembles de timers 555, la différence de vitesse entre une roue et l'autre permet de diriger le chariot vers une source lumineuse.*

opyright © 2013 Eyrolles.

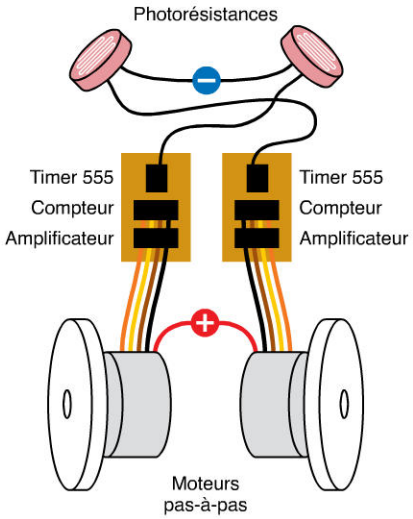


Figure 5-119. *Une manière plus efficace de commander les moteurs consiste à utiliser un timer pour définir leur vitesse, à l'aide d'un compteur et d'un amplificateur (circuits avec amplificateurs Darlington, par exemple) envoyant les impulsions le long des fils. Mais le principe demeure le même.*

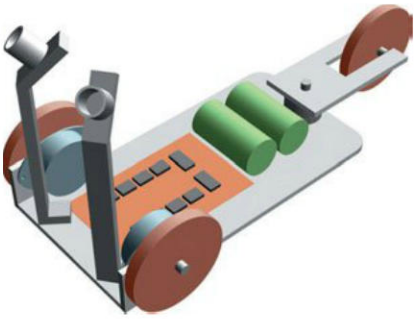


Figure 5-120. *Ce rendu 3D propose une configuration possible du robot, avec deux photorésistances enfermées dans de petits tubes afin de limiter leur réaction à la lumière.*

Comme le circuit ULN2001A n'est qu'un dispositif d'amplification, vous devez le faire précéder d'un compteur, qui varie de 1 à 4 puis redémarre. Vous pouvez conserver vos temporisateurs 555, puisque vous les avez déjà assemblés, ou bien les remplacer par des compteurs CMOS décimaux ou octaux qui envoient leurs impulsions de sortie vers un ensemble de broches. Utilisez simplement la sortie de la cinquième broche comme sortie porteuse pour redémarrer la séquence de décompte. J'ai suggéré des compteurs CMOS car ils fonctionnent avec du 12 V : dans ce cas, vous pourrez utiliser la même alimentation électrique que celle du moteur pas-à-pas.

Si vous optez pour des compteurs CMOS, vous aurez toujours besoin de deux timers 555 envoyant leurs impulsions aux compteurs. Ils fonctionneront en mode astable et les photorésistances contrôleront leur vitesse. La fig. 5-119 illustre cette configuration.

Dernier élément nécessaire : une batterie 12 V. Bien sûr, vous pouvez assembler huit piles AA, mais il est préférable que vous achetiez un pack rechargeable, par exemple sur http://www.gotronic.fr.

Une fois l'ensemble monté, vous devriez constater que, lorsque vous placez le robot dans une pièce très faiblement éclairée, il se tourne en direction du faisceau d'une lampe de poche. Pour obtenir un résultat précis, placez chaque photorésistance dans un petit tube, afin qu'elles reçoivent beaucoup plus de lumière quand elles font face à la lampe de poche que lorsqu'elles s'en détournent (voir fig. 5-120).

Une autre idée serait de recâbler le robot de façon à ce qu'il s'éloigne de la lumière. Voyez-vous comment il faudrait procéder ?

Une dernière piste : en utilisant des photorésistances infrarouges, vous pourrez contrôler le robot à l'aide de LED infrarouges, sous un éclairage normal. Si vous êtes plusieurs à avoir un émetteur infrarouge dans la pièce, vous pourrez faire déplacer le robot de l'un à l'autre, comme un chien obéissant.

Nous voici arrivés au stade que je ne souhaite pas dépasser en robotique. Je vous recommande vivement de consulter les sites Internet spécialisés si vous voulez aller plus loin. Vous pouvez aussi acheter divers kits de robotique, même si je trouve plus intéressant de créer des dispositifs par soi-même.

Il ne me reste plus qu'à vous présenter un appareil qui devrait vous être très utile, même s'il est beaucoup plus complexe que tout ce que nous avons vu jusque-là.

Copyright © 2013 Eyrolles.

Expérience 34 : à la croisée du matériel et du logiciel

Le but de ce livre est de vous faire découvrir l'électronique par la pratique. Je vous ai ainsi proposé de réaliser différentes expériences, à l'issue desquelles nous avons pu dégager des principes généraux. Une fois n'est pas coutume, je vais procéder autrement, car l'expérience 34 nécessite une telle préparation qu'il est préférable de vous expliquer d'abord où je veux en venir.

Nous allons entrer dans le monde des microcontrôleurs. Un microcontrôleur contient une mémoire flash, qui stocke un programme que vous écrivez vous-même. La mémoire flash est comme la mémoire d'un lecteur MP3 ou la carte mémoire d'un appareil photo numérique : elle n'a nul besoin d'électricité pour son alimentation. Un microcontrôleur comprend en outre un processeur qui exécute les instructions de votre programme. Il possède une RAM pour stocker les variables sur une base temporaire et une ROM qui explique comment exécuter les tâches telles que la détection de tension variable en entrée et sa conversion en une forme numérique en vue d'une utilisation interne. Il contient enfin un oscillateur qui lui permet de mesurer le temps avec précision. Le tout assemblé constitue un minuscule ordinateur que vous pouvez acheter pour moins de 5 €.

Supposons que vous possédiez une serre dans laquelle la température ne doit jamais descendre en dessous de zéro. Vous y installez une sonde thermique et deux appareils de chauffage. Vous voulez que l'un d'eux démarre si la température tombe sous 3° C. Et que, si cet appareil ne fonctionne pas pour une raison quelconque, le second se mette en route, faisant office d'appareil de chauffage de secours, au cas où la température deviendrait inférieure à 2° C.

Il est très facile de programmer un microcontrôleur dans ce but. Vous pourriez même ajouter une seconde sonde thermique, en cas de défaillance de la première, et demander au microcontrôleur d'utiliser la sonde indiquant la valeur la plus basse de température.

Autre application d'un microcontrôleur, la mise au point d'un système de sécurité assez élaboré. Le circuit pourrait surveiller l'état de plusieurs capteurs d'intrusion et prendre en conséquence diverses mesures préprogrammées. Vous pourriez également prévoir des intervalles de temporisation.

Nombre de microcontrôleurs possèdent des fonctionnalités supplémentaires intégrées, comme la possibilité de contrôler des servomoteurs qui tournent selon un angle spécifique en réponse à un flux d'impulsions. Les servomoteurs sont très utilisés sur les bateaux radiocommandés, les avions et par les amateurs de robotique.

Puisque les microcontrôleurs sont si performants, vous vous demandez peut-être pourquoi nous ne les avons pas encore utilisés ? Et pourquoi j'ai passé tant de temps à décrire la mise au point d'un système d'alarme à partir de composants choisis, alors qu'un seul circuit intégré aurait suffi ?

opyright © 2013 Eyrolles.

Il y a trois raisons à cela :

1. Les microcontrôleurs ne peuvent pas tout faire. Ils ont besoin d'autres composants pour les aider à interagir avec le monde environnant, comme des transistors, des relais, des capteurs et des amplificateurs. Vous devez savoir comment ces composants fonctionnent, pour pouvoir utiliser intelligemment les microcontrôleurs.
2. Les microcontrôleurs peuvent générer des problèmes et des erreurs, en combinant éléments logiciels et matériels (voir page 313).
3. Les microcontrôleurs ont leurs limites et contraintes. En particulier, ils requièrent une alimentation électrique régulée de 5 V et sont incapables d'émettre ou d'absorber un courant important sur chaque broche. Ils nécessitent aussi que vous appreniez un langage de programmation (qui diffère d'une marque de microcontrôleur à l'autre). Et pour transférer le programme dans le microcontrôleur, vous devez brancher ce dernier à un ordinateur et procéder à un téléchargement, ce qui n'est pas toujours aisé.

Dans cette expérience, vous allez apprendre à écrire un programme pour un microcontrôleur très simple, puis vous l'y transférerez pour voir comment il fonctionne.

HISTOIRE

Origine des circuits programmables

Dans les usines et les laboratoires, beaucoup de procédures sont répétitives. Un capteur de flux doit contrôler un élément d'un appareil de chauffage, un capteur de mouvement doit ajuster la vitesse d'un moteur, etc. Les microcontrôleurs sont parfaits pour ce type de tâche.

Une entreprise nommée General Instrument proposa une première version des microcontrôleurs en 1976, en les appelant PIC (*Programmable Intelligent Computer* ou *Programmable Interface Controller*, selon les sources). General Instrument vendit la marque à une autre compagnie, Microchip Technology, qui en est toujours propriétaire.

PIC est une marque déposée, mais parfois utilisée comme terme générique. Dans ce livre, j'ai choisi une gamme de contrôleurs basés sur l'architecture PIC. Leur licence est accordée par la société britannique Revolution Education Ltd., qui a baptisé sa gamme de microprocesseurs « PICAXE ».

J'apprécie ces microcontrôleurs parce que leur vocation première était pédagogique et qu'ils sont très faciles à utiliser. Ils sont bon marché et certains d'entre eux sont extrêmement puissants. Malgré leur nom étrange, je pense qu'ils constituent la meilleure façon d'aborder les principaux concepts des microcontrôleurs.

Une fois que vous vous serez familiarisé avec la gamme PICAXE, et si vous souhaitez aller plus loin, intéressez-vous au microcontrôleur BASIC Stamp (qui utilise un langage très semblable, mais avec des commandes supplémentaires très performantes) et à la très populaire carte Arduino (de conception plus récente, aux fonctions efficaces, mais qui exige que vous appreniez une variante du langage C pour la programmer). Je reviendrai plus loin sur ces circuits.

Copyright © 2013 Eyrolles.

Fournitures

Le PICAXE 08M a été le microprocesseur le moins cher de sa catégorie pendant longtemps, mais il a récemment été remplacé par le 08M2, plus performant, même si on le trouve encore dans le commerce. Les expériences 34 à 36 ont été réalisées avec cet ancien modèle, mais tout devrait fonctionner de manière similaire si vous faites l'acquisition d'un 08M2. La fig. 5-121 présente les caractéristiques des deux PICAXE, tandis que la fig. 5-122 montre un gros plan du 08M, avec ses pattes soigneusement protégées dans de la mousse conductrice.

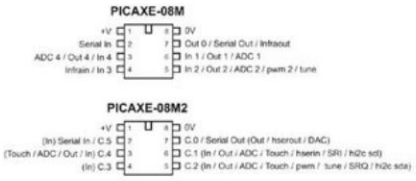


Figure 5-121. *Caractéristiques des deux PICAXE 08M et 08M2. Ce microcontrôleur, qui n'avait au début qu'une vocation pédagogique, est devenu un outil de prototypage très utile.*

En France, deux distributeurs vendent le PICAXE :

- http://www.gotronic.fr
- http://www.a4.fr

Il existe des kits de démarrage (starter pack ou starter kit), comme celui de la fig. 5-123, peut-être parce que le PICAXE est si bon marché qu'il ne procure guère de marge aux distributeurs. Mais dans le cadre de notre expérience, il suffit d'acheter le microcontrôleur. Procurez-vous en deux, au cas où vous en abîmiez un (par exemple, en y connectant la tension de manière incorrecte).

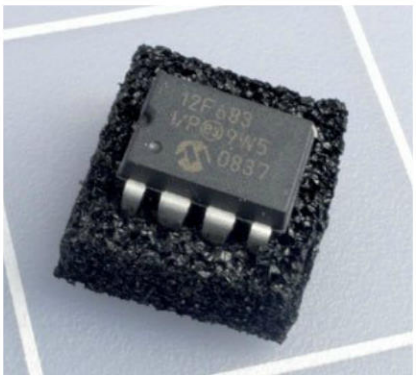


Figure 5-122. *Quand il est livré par l'un de ses distributeurs américains, le microprocesseur PICAXE 08M arrive protégé dans un petit morceau de mousse conductrice. La puce est de la même taille qu'un timer 555, mais avec la puissance d'un minuscule ordinateur.*

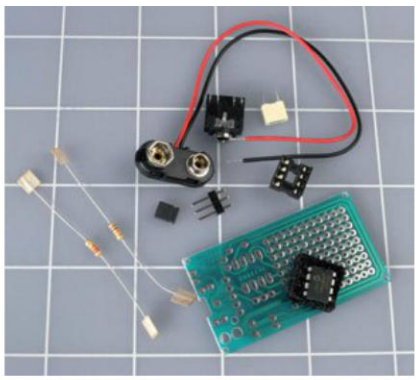


Figure 5-123. *Un kit PICAXE classique comprend une carte de circuit imprimé et d'autres éléments pas forcément indispensables. Mais la prise jack stéréo 3,5 mm (en haut, au centre) est absolument nécessaire.*

Pour télécharger les instructions de votre programme dans le microprocesseur, saisissez-les d'abord sur un ordinateur, puis transférez-les par câble dans la mémoire du PICAXE. Par conséquent, vous devrez acheter un câble et vous aurez besoin d'un logiciel pour vous aider à écrire le programme.

Copyright © 2013 Eyrolles.

Figure 5-124. *Le câble de téléchargement USB à utiliser avec le PICAXE se termine par une prise audio de 3,5 mm. À ne pas insérer dans n'importe quel périphérique audio. Le câble établit une connexion série avec un ordinateur, permettant le téléchargement du programme dans le microprocesseur.*

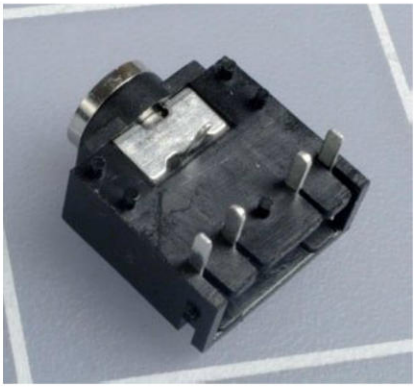


Figure 5-125. *Gros plan de la prise stéréo femelle 3,5 mm utilisée avec le câble de téléchargement USB.*

Attention à ne pas télécharger par erreur le pilote de l'adaptateur USB-Serial USB010. Cet adaptateur n'a absolument rien à voir avec cette expérience.

Vous pouvez utiliser le PICAXE avec un câble en série, mais je ne vous le conseille pas. L'ancienne norme série RS-232 étant pratiquement obsolète sur PC, les fabricants du PICAXE vous proposent un câble USB, qui contient un convertisseur en série dans sa prise. Le câble USB est un peu plus cher, mais il est compatible avec les ordinateurs Apple. Voir fig. 5-124.

Pour écrire votre programme et le transférer dans le microprocesseur, vous utiliserez l'environnement de programmation du PICAXE, Programming Editor, si vous êtes sur PC. Pour ceux qui sont sur Mac OS ou Linux, vous pouvez télécharger gratuitement un logiciel comme AXEpad, qui possède moins de fonctionnalités, mais qui conviendra parfaitement. Pour le récupérer, allez sur le site http://www.picaxe.com/Software/PICAXE/AXEpad.

Enfin, il vous faudra une prise audio stéréo (jack) femelle 3,5 mm avec connexions soudées. En effet, les fabricants du PICAXE ont doté l'extrémité libre de leur câble USB d'une prise jack mâle que vous devez pouvoir connecter à quelque chose. L'adaptateur de platine de montage au PICAXE, SparkFun référence DEV-08331, contient la prise stéréo femelle nécessaire. Voir fig. 5-125.

Assez curieusement, le câble USB est l'article le plus cher de la liste du matériel, en raison de son électronique.

Installation du logiciel et montage

Vous devrez à présent suivre cette procédure d'installation et de montage :

1. Installez un pilote afin que votre ordinateur reconnaisse le câble USB.
2. Installez le logiciel Programming Editor (ou AXEpad pour Mac OS/Linux) afin que votre ordinateur vous aide à écrire les programmes et à les transférer dans le microprocesseur.
3. Montez le PICAXE sur la platine de montage et ajoutez la prise permettant de récupérer les téléchargements.

Ces différentes étapes sont détaillées ci-après.

Le pilote USB

Sur le site de PICAXE (http://www.picaxe.com), allez dans le menu Software, situé en haut de la page. Dans la page qui apparaît, cliquez dans la section Drivers sur le lien AXE027 USB Cable Driver.

Ouvrez l'onglet Download pour choisir le pilote correspondant à votre système d'exploitation et démarrez son téléchargement. Selon le driver choisi, vous récupérerez un fichier exécutable que vous devrez lancer en double-cliquant dessus. Dans cet onglet Download se trouve aussi un guide d'installation du driver au format PDF.

opyright © 2013 Eyrolles.

Lors de l'installation du pilote sur une plate-forme Windows, voici quelques précautions à prendre :

1. N'oubliez pas que le câble USB contient des composants électroniques. Ce n'est pas juste un câble, mais un dispositif permettant d'interagir avec un microprocesseur PICAXE. Ne jamais l'utiliser pour autre chose !
2. Vous devez brancher le câble sur un port USB avant d'installer le pilote, car l'ordinateur aura besoin de vérifier que le pilote correspond au câble.
3. Vous ne devez pas relier le microprocesseur PICAXE à l'autre extrémité du câble tant que vous n'avez pas installé le pilote.
4. Chaque port USB de votre ordinateur possède une identité propre. Quel que soit celui que vous choisissez lorsque vous branchez le câble pour la première fois, utilisez toujours ce même port à l'avenir. Sinon, vous devrez réitérer le processus d'identification auprès de votre ordinateur.
5. Sans oublier le point précédent, évitez d'utiliser le câble sur un concentrateur USB autonome.
6. Le câble trompe le microprocesseur PICAXE en lui faisant croire qu'il communique avec un port série de votre ordinateur. Ces ports de communication sont appelés COM1, COM2, COM3 ou COM4. Quand vous installez le pilote, le programme d'installation choisit automatiquement l'un de ces ports, et vous devrez savoir lequel. Le manuel PDF devrait vous guider dans cette procédure.

Le logiciel Programming Editor

L'étape suivante est bien plus facile. Vous avez besoin du logiciel PICAXE Programming Editor, qui est proposé en téléchargement gratuit sur la page Software mentionnée dans la section précédente (si vous êtes sur Mac OS ou Linux, vous devrez télécharger AXEpad, qui se trouve aussi sur cette page).

Le téléchargement et l'installation de Programming Editor devraient se dérouler sans difficulté. Après quoi, vous constaterez la présence d'un raccourci sur votre Bureau. Double-cliquez dessus, allez dans View→Options et, dans la fenêtre qui s'ouvre (voir fig. 5-126), ouvrez l'onglet Serial Port. Une boîte de dialogue apparaît, semblable ou en tout cas similaire à celle de la fig. 5-127. Assurez-vous alors que le logiciel a sélectionné le port COM qui a été choisi par le pilote USB. Sinon, il ne pourra pas trouver votre microprocesseur PICAXE.

Toujours dans Programming Editor, allez dans View→Options, cliquez sur l'onglet Mode, puis sélectionnez le circuit 08M.

opyright © 2013 Eyrolles.

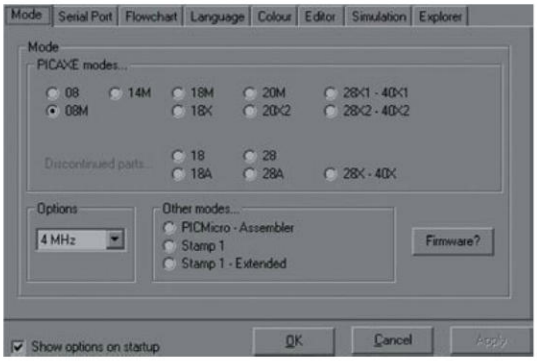


Figure 5-126. *Cette capture d'écran montre la fenêtre d'options du logiciel PICAXE Programming Editor, qui vous permet de sélectionner le circuit que vous prévoyez de programmer.*

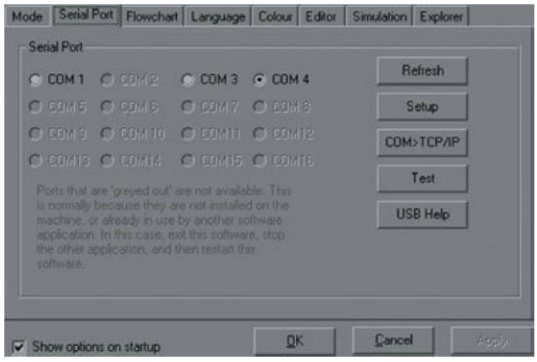


Figure 5-127. *Cette autre capture d'écran de la fenêtre d'options porte sur l'autre paramètre important à définir : le port COM que le programme d'installation du pilote a choisi sur votre ordinateur.*

La dernière étape avant de pouvoir utiliser le PICAXE consiste à le monter, ainsi que sa prise, sur votre plaque de montage.

Montage du matériel

Le PICAXE 08M ressemble à un timer 555 (d'autres circuits de la gamme PICAXE ont plus de broches et de fonctions). Il requiert une tension de 5 V correctement régulée, tout comme les circuits logiques vus précédemment.

La société PICAXE insiste particulièrement sur la protection de ces microcontrôleurs contre les pointes de tension et conseille d'utiliser deux condensateurs (l'un de 100 µF, l'autre de 0,1 µF) de chaque côté d'un régulateur LM7805. Cette mesure est un peu disproportionnée, mais il est plus difficile de remplacer un microprocesseur PICAXE qu'un temporisateur 555. Alors suivons les conseils du fabricant et configurons la plaque de montage dans ce sens (voir fig. 5-128 et 5-129).

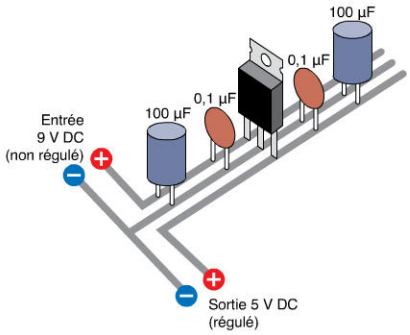


Figure 5-128. *La documentation du PICAXE préconise deux condensateurs de 100 µF et 0,1 µF sur l'entrée d'un régulateur 5 V, ainsi que deux autres semblables à sa sortie. Sur une plaque de montage, ils peuvent être disposés ainsi.*

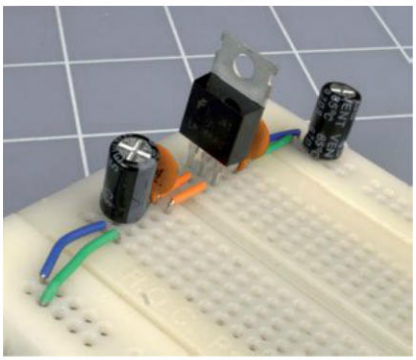


Figure 5-129. *Les composants de la régulation de l'alimentation, installés sur une plaque de montage et délivrant une tension de 5 V (positive et négative) de chaque côté.*

À propos du circuit lui-même, notez que les broches d'alimentation positive et négative sont inversées par rapport à celles du timer 555. Aussi soyez vigilant !

Préparez votre plaque de montage selon le schéma de la fig. 5-130. Vous remarquerez que je montre le dessous de la prise stéréo, car je pense qu'il faut l'utiliser ainsi sur la plaque. Si vous essayez d'introduire ses broches dans les trous de la plaque de montage, vous y parviendrez, mais quand vous insérerez la fiche jack dans la prise, l'épaisseur de la fiche aura tendance à soulever la prise et à rompre le contact électrique. Je crois que la meilleure solution est de souder les fils aux broches de la prise et d'introduire les fils dans la plaque de montage. Voir fig. 5-132.

opyright © 2013 Eyrolles.

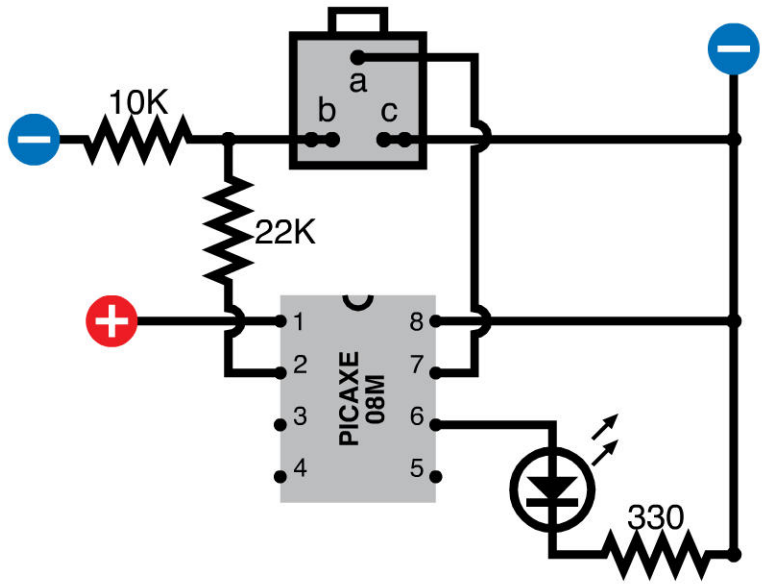


Figure 5-130. *Sur ce schéma d'un circuit de test du PICAXE 08M, on peut voir le dessous de la prise stéréo, les résistances de 10K et de 22K sur la broche d'entrée et une LED pour montrer une sortie du circuit.*

Sachez que le manuel du PICAXE présente les choses différemment, même si j'ai conservé la convention d'étiquetage des contacts (ou bornes) des prises audio stéréo mâle et femelle, notés a, b et c.

Attention, la prise fournie avec le PICAXE comporte généralement deux paires de contacts notées b et c dans le manuel et sur mon schéma. Quand vous soudez une connexion, le joint de soudure doit inclure les *deux* contacts de chaque paire, comme illustré sur la fig. 5-131.

Souvenez-vous que le PICAXE doit recevoir une tension continue de 5 V et que votre régulateur ne délivrera cette tension de façon fiable que si vous lui fournissez une tension supplémentaire sur son entrée. Si vous alimentez le régulateur en 9 V, vous aurez une réserve de tension suffisante pour que la tension de sortie du régulateur soit constante.

Les résistances de 22K et 10K sont essentielles dans le circuit (voir l'encadré ci-contre). Sur le schéma figurent aussi une LED et une résistance de 330 Ω, mais elles ne serviront que pour le test que nous allons effectuer ultérieurement.

Broche 2 à l'état bas

Prévoyez toujours les résistances de 22K et 10K dans le circuit de la fig. 5-130. Ces résistances appliquent en effet une tension correcte à la connexion série, et quand vous utilisez le microprocesseur PICAXE seul, elles diminuent la tension de la broche 2.

Si la broche 2 est non connectée (flottante), elle peut recueillir des tensions aléatoires, que le microprocesseur peut interpréter à tort comme un nouveau programme ou d'autres instructions, avec des résultats imprévisibles et indésirables.

Les résistances de 22K et 10K doivent être considérées comme des ajouts permanents à votre PICAXE, qu'il soit relié ou non à votre ordinateur.

opyright © 2013 Eyrolles.

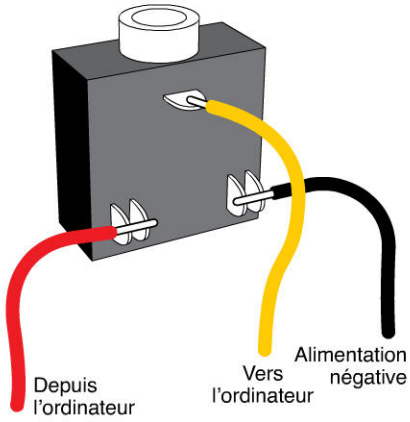


Figure 5-131. *Le câblage de la prise est primordial. Lorsque vous soudez les fils aux bornes inférieures, assurez-vous qu'ils soient bien reliés aux deux bornes de chaque paire.*

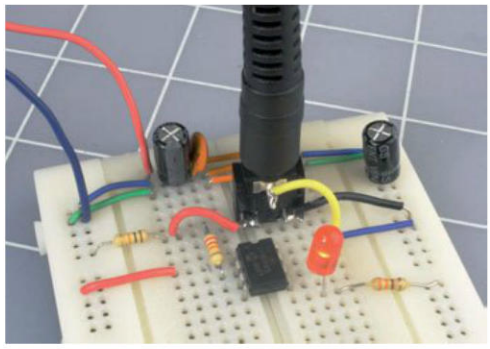


Figure 5-132. *La version plaque de montage du schéma de test, avec la fiche du câble USB de téléchargement insérée dans la prise jack. Le microprocesseur PICAXE peut maintenant recevoir un programme pour l'exécuter.*

Vérification de la connexion

Suivez soigneusement cette procédure chaque fois que vous souhaitez programmer ou reprogrammer votre PICAXE :

1. Insérez la prise USB du câble du PICAXE dans le même port USB que celui utilisé lors de l'installation.
2. lancez Programming Editor (ou AXEpad si vous travaillez sous Mac OS ou Linux).
3. Dans Programming Editor, allez dans View→Options pour vérifier que l'éditeur utilise le bon port COM et qu'il mise sur la présence du circuit PICAXE 08M.
4. Connectez la fiche de l'extrémité libre du câble USB dans la prise jack câblée sur la plaque de montage (voir fig. 5-132 et 5-133).
5. Vérifiez le câblage, puis connectez l'alimentation à la plaque de montage.
6. Cliquez sur le bouton Program dans la fenêtre de Programming Editor pour demander au logiciel de rechercher le circuit PICAXE.

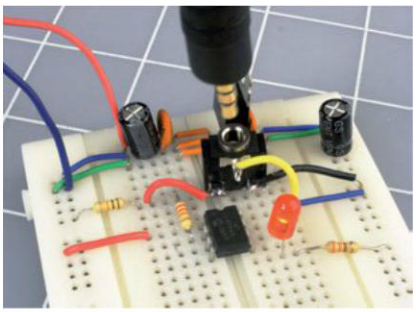


Figure 5-133. *Une fois le programme téléchargé, la prise peut être retirée. Le programme continuera à s'exécuter et la LED à clignoter.*

En cas de dysfonctionnement

La première chose à faire est de retirer la prise du câble USB de la plaque de montage du PICAXE, en laissant son autre extrémité reliée à l'ordinateur. Réglez le multimètre sur la mesure des volts DC et fixez ses sondes aux contacts b et c de la prise (voir fig. 5-134). Cliquez à nouveau sur le bouton Program : le multimètre devrait afficher la valeur 5 V, tension en bout de câble en provenance de l'ordinateur.

Copyright © 2013 Eyrolles.

Si vous détectez cette tension, cela signifie que le logiciel est bien installé et fonctionne correctement. Le problème se situe alors sur la plaque de montage, dans le circuit ou au niveau du câblage.

Si vous ne détectez aucune tension, le logiciel n'a probablement pas été installé correctement ou ne recherche pas le bon port série. Désinstallez le logiciel et réinstallez-le.

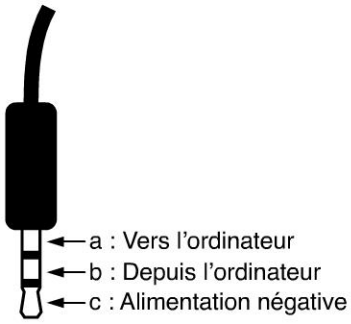


Figure 5-134. *La prise stéréo située à l'extrémité du câble USB de téléchargement peut être utilisée pour dépister les erreurs. En reliant à ses bornes b et c un multimètre (réglé sur volts DC), on vérifie que Programming Editor envoie bien des données via la connexion en série.*

Votre premier programme

Vous voici enfin prêt à écrire votre premier programme. Saisissez le code suivant dans la fenêtre de Programming Editor :

```
main:
    high 1
    pause 1000
    low 1
    pause 1000
    goto main
```

N'oubliez pas, sur la première ligne, d'insérer un deux-points après `main` (qui signifie ici « programme principal »). Reportez-vous à la capture d'écran de la fig. 5-135. Pour créer les tabulations, appuyez plusieurs fois sur la touche Tab. Leur seule utilité est de rendre le programme plus lisible. Le logiciel les ignore.

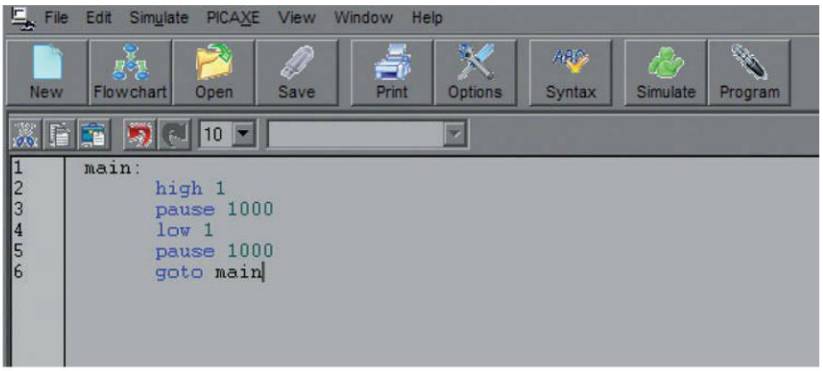


Figure 5-135. *Cette capture d'écran illustre le premier programme de test affiché par Programming Editor (sur Windows).*

Cliquez ensuite sur le bouton Program pour transférer le programme dans le circuit. Aussitôt le téléchargement terminé, le circuit doit commencer à faire clignoter la LED, la laissant allumée une seconde puis éteinte la seconde suivante. La fig. 5-136 illustre les étapes à suivre pour programmer le PICAXE.

Puis déconnectez le câble USB de la plaque de montage : la LED doit continuer à clignoter.

Débranchez l'alimentation de la plaque de montage et attendez une minute ou deux que les condensateurs perdent leur charge. Puis rebranchez l'alimentation : la LED doit recommencer à clignoter.

En effet, le programme transféré dans le circuit demeure en mémoire et s'exécutera chaque fois que l'alimentation lui sera appliquée.

Figure 5-136. *Les quatre étapes de création et d'exécution d'un programme sur le microcontrôleur PICAXE.*

opyright © 2013 Eyrolles.

Le programme n'utilise pas les numéros de broche habituels du circuit, mais ce que j'appelle les numéros de broche logiques. La fig. 5-137 montre comment ils sont numérotés et la fig. 5-138 présente leurs diverses fonctions. J'ai mis la broche logique 0 entre parenthèses, parce que sa fonction principale est d'envoyer des données à l'ordinateur via le câble USB. Elle peut jouer aussi le rôle de sortie numérique, mais si elle est débranchée au préalable du câble USB.

Déchiffrage du code

Étudions de plus près le programme que vous venez d'écrire. La première ligne identifie une section du programme. Ici, il n'en possède qu'une, appelée `main`. Tout terme suivi d'un deux-points est un nom de section du programme :

```
main:
```

La deuxième ligne demande au microprocesseur de fixer la broche logique 1 en sortie à l'état haut :

```
high 1
```

La troisième ligne interrompt le microprocesseur pendant 1 000 millisecondes, soit 1 seconde :

```
pause 1000
```

La quatrième ligne demande que la broche logique 1 soit rétablie à l'état bas :

```
low 1
```

La cinquième ligne interrompt à nouveau le microprocesseur pendant 1 000 millisecondes :

```
pause 1000
```

La dernière ligne indique au microprocesseur de reprendre l'exécution du programme au début de la section `main` :

```
goto main
```

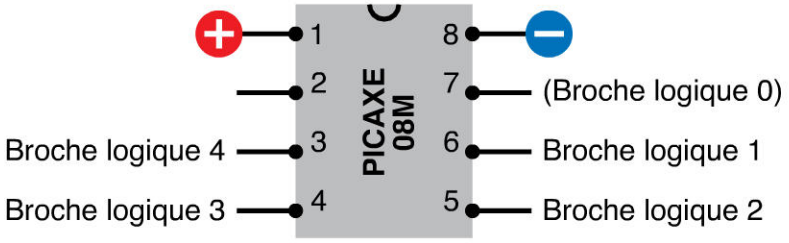


Figure 5-137. *Les numéros de broche du PICAXE ne correspondent pas au système de numérotation utilisé par le langage de programmation associé. Pour réduire les risques de confusion, les numéros des broches utilisés dans les programmes de cet ouvrage font référence aux broches logiques.*

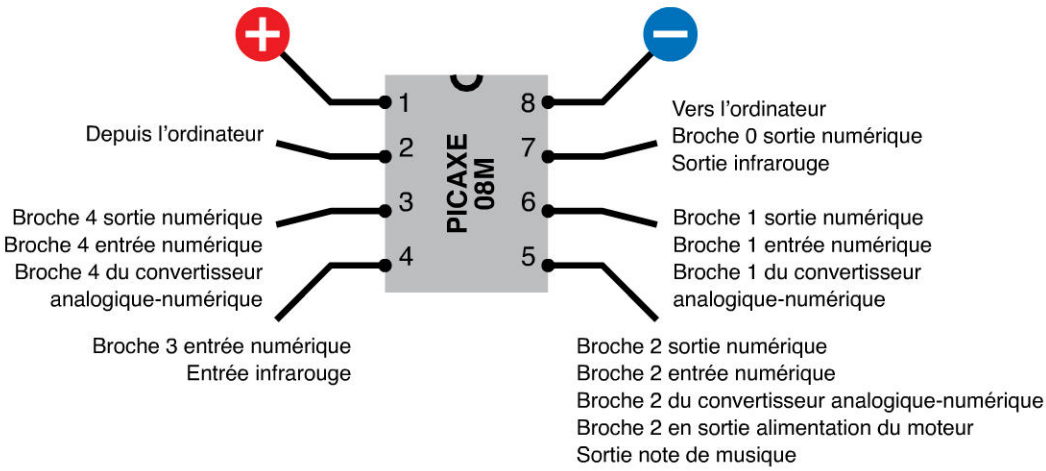


Figure 5-138. *La plupart des broches du PICAXE 08M possèdent plusieurs fonctions, qui peuvent être activées par des instructions de programmation spécifiques.*

Copyright © 2013 Eyrolles.

Modification du programme

Vous voulez modifier le programme ? Pas de problème ! Utilisez Programming Editor pour changer l'une des lignes du programme. Par exemple, remplacez 1000 par 100 millisecondes (la commande `pause` peut être suivie de n'importe quel nombre jusqu'à 65535). Attention, n'utilisez pas la virgule comme séparateur des milliers dans le programme.

Branchez à nouveau le câble USB sur la plaque de montage et appuyez sur le bouton Program. La nouvelle version du programme sera alors automatiquement transférée dans le circuit, en remplacement de l'ancienne.

Comment faire pour sauvegarder le programme en vue d'une utilisation future ? Dans Programming Editor, il suffit d'aller dans le menu File pour enregistrer le programme sur le disque dur de votre ordinateur. Comme le PICAXE utilise une variante du langage informatique BASIC, il ajoutera une extension .bas au nom du fichier.

Simulation du programme

Si vous commettez une simple faute de frappe, Programming Editor la décèlera et stoppera le transfert du programme. Mais il vous laissera découvrir comment corriger la ligne contenant l'erreur.

Même si toutes les déclarations de votre programme sont correctement saisies, il peut être judicieux de voir comment elles fonctionnent, avant de les transférer sur le microprocesseur. Pour cela, cliquez sur le bouton Simulate de la barre de menus de Programming Editor. Une fenêtre s'ouvre, présentant une vue schématique du microprocesseur PICAXE et des états de ses broches (notez que si vous utilisez des commandes `pause` très brèves, la simulation ne fonctionnera pas assez vite pour afficher le temps écoulé avec précision). Voir fig. 5-139.

Le bouton >> en bas à droite de la fenêtre de simulation permet d'afficher la liste de toutes les variables de votre programme. Pour le moment, cette liste est vide, mais elle se remplira bientôt. Tous les zéros à droite sont des nombres binaires, que vous pouvez ignorer pour l'instant.

Il vous faudra consulter la deuxième partie de la documentation du PICAXE, qui liste toutes les instructions de programmation en précisant leur syntaxe. À ce jour, elle est disponible à l'adresse http://www.picaxe.com/Getting-Started/PICAXE-Manuals/ en cliquant sur le lien Section 2 – BASIC Commands.

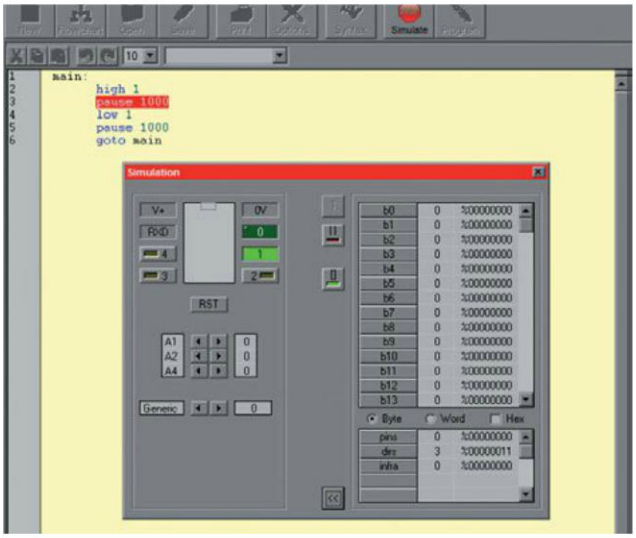


Figure 5-139. *Cette capture d'écran montre la fenêtre de simulation qui peut être ouverte dans Programming Editor pour tester le code du programme avant qu'il soit transféré sur le microprocesseur. Les valeurs des variables sont affichées à droite, les états des broches à gauche.*

Copyright © 2013 Eyrolles.

Écriture d'une boucle

J'aimerais que vous essayiez autre chose. Réécrivez le code comme ci-dessous et transférez-le sur le microprocesseur PICAXE :

```
main:
    for b0 = 1 to 5
        high 1
        pause 200
        low 1
        pause 200
    next
    wait 2
    goto main
```

Notez que `b0` est la lettre b suivie d'un zéro et non de la lettre O majuscule. Là encore, les tabulations supplémentaires ne servent qu'à faciliter la lecture du code. En effet, les quatre lignes de `high 1` à `pause 200` seront exécutées de manière répétitive. Il est donc pratique de les présenter dans un bloc.

Figure 5-140. *Pour comprendre comment un programme fonctionne, imaginez une variable comme une case mémoire avec son nom à l'extérieur et un nombre à l'intérieur.*

Observez la LED. Elle devrait clignoter brièvement cinq fois, s'arrêter deux secondes, puis clignoter à nouveau cinq fois, et ainsi de suite. Vous venez ainsi d'ajouter une boucle à votre programme. Ce type de boucle est très utile si vous souhaitez exécuter une action plus d'une fois.

`b0` est une variable. Assimilez-la à une petite case mémoire, dont l'étiquette porte le nom `b0` (voir fig. 5-140). Cette case peut contenir n'importe quel nombre entre 0 et 255. La boucle commence par demander au microprocesseur de placer le nombre 1 dans la case, puis traite les instructions suivantes jusqu'à ce que le mot `next` renvoie le processeur à la première ligne et ajoute 1 au contenu de `b0`. Si la valeur de `b0` est inférieure ou égale à 5, la boucle se répète. Si `b0` vaut 6, la boucle est terminée car elle s'est exécutée cinq fois. Le PICAXE passe alors à l'instruction `wait 2` située après l'instruction `next`. Voir la fig. 5-141 pour une version commentée du code.

`wait` est une commande qui s'exprime en secondes. `wait 2` signifie ainsi « attendre 2 secondes ». Puis `goto main` permet de recommencer entièrement la procédure.

Si cette expérience a fonctionné comme prévu, il est temps de faire exécuter quelque chose de plus utile au microprocesseur.

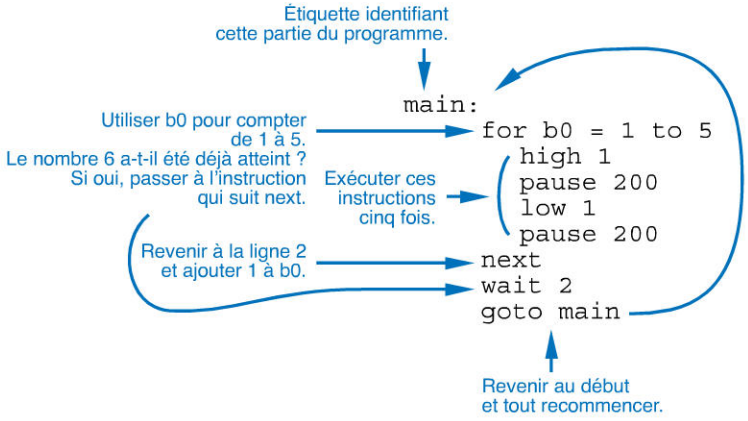


Figure 5-141. *Les annotations en bleu traduisent ce que le programme, à droite, demande au microprocesseur PICAXE d'exécuter.*

Copyright © 2013 Eyrolles.

FONDAMENTAUX

Ce qu'il faut savoir sur le PICAXE

Voici les principaux points à connaître à propos du microprocesseur PICAXE :

- Le PICAXE requiert du 5 V DC régulé.
- Ses entrées et sorties sont compatibles avec les circuits logiques de 5 V qui peuvent s'y brancher directement.
- Chaque broche du PICAXE peut fournir ou absorber jusqu'à 20 mA, la totalité du circuit pouvant délivrer jusqu'à 90 mA. Par conséquent, vous pouvez faire fonctionner, directement depuis les broches, des LED, un transducteur piézoélectrique (qui tire très peu de courant), ou un transistor.
- Vous pouvez utiliser un circuit comme le Darlington ULN2001A (déjà mentionné dans l'expérience précédente) pour amplifier la sortie du PICAXE et commander un relais ou un moteur, par exemple.
- Le PICAXE exécute chaque ligne du programme en 0,1 milliseconde environ.
- Le microprocesseur 08M possède une mémoire flash suffisante pour 80 lignes de code environ. Les autres PICAXE ont plus de mémoire.
- Le PICAXE dispose de 14 variables nommées b0 à b13. La lettre b vient de byte (octet), car chaque variable occupe un octet. Chacune d'elles peut contenir une valeur comprise entre 0 et 255.
- Aucune valeur négative ou fractionnaire n'est autorisée pour une variable.
- Il existe également 7 variables de deux octets, appelées mots, nommées w0 à w6. La lettre w est pour word. Chaque mot peut contenir une valeur comprise entre 0 et 65535.
- Les variables b partagent le même espace mémoire que les variables w. Plus précisément :
  - b0 et b1 utilisent les mêmes octets que w0.
  - b2 et b3 utilisent les mêmes octets que w1.
  - b4 et b5 utilisent les mêmes octets que w2.
  - b6 et b7 utilisent les mêmes octets que w3.
  - b8 et b9 utilisent les mêmes octets que w4.
  - b10 et b11 utilisent les mêmes octets que w5.
  - b12 et b13 utilisent les mêmes octets que w6.
  - b14 et b15 utilisent les mêmes octets que w7.

  Par conséquent, si vous utilisez w0 comme variable, n'utilisez pas b0 ou b1. Si vous utilisez b6 comme variable, n'utilisez pas w3, etc.
- Les valeurs des variables sont stockées dans la mémoire RAM et disparaissent quand l'alimentation est coupée.
- Le programme, stocké dans une mémoire non volatile, demeure intact quand l'alimentation est coupée.
- Selon les spécifications du fabricant, la mémoire non volatile est réinscriptible jusqu'à 100 000 fois.
- Si vous voulez connecter un interrupteur ou un bouton-poussoir à une broche et l'utiliser comme entrée, vous devez ajouter une résistance de tirage vers le niveau bas de 10K entre la broche et le côté négatif de l'alimentation pour maintenir la broche dans un état bas quand l'interrupteur est ouvert. La fig. 5-142 montre comment les résistances de tirage vers le niveau bas doivent être utilisées en liaison avec un interrupteur SPST ou un bouton-poussoir.
- Si vous appliquez une résistance variable entre les broches logiques 1, 2 ou 4, et le côté négatif de l'alimentation, le microprocesseur 08M peut la mesurer et convertir cette valeur en un nombre entier. On parle alors de conversion analogique-numérique, ce qui nous amène à notre prochaine expérience.

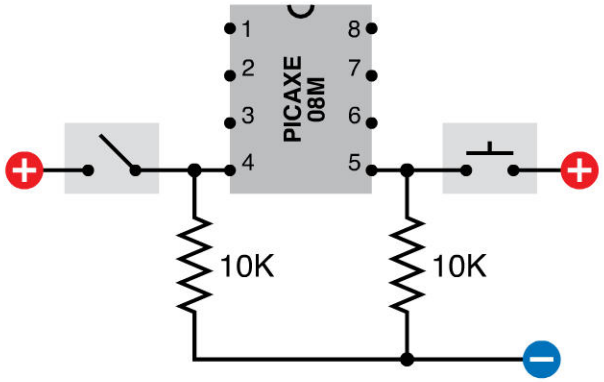


Figure 5-142. *Le microprocesseur PICAXE peut réagir à l'état d'un interrupteur ou d'un bouton connecté à l'une de ses broches d'entrée. Une résistance de 10K doit être utilisée pour baisser l'état de la broche quand le contact de l'interrupteur ou du bouton est ouvert. Sinon, vous risquez d'obtenir des résultats imprévisibles.*

opyright © 2013 Eyrolles.

Expérience 35 : à l'épreuve de la réalité

Généralement, un microcontrôleur permet d'effectuer une mesure et d'y répondre de manière appropriée. Par exemple, il peut mesurer une basse température et déclencher en retour une alarme.

Le PICAXE possède trois convertisseurs analogiques-numériques (CAN) intégrés, accessibles via les broches logiques 1, 2 et 4 (voir fig. 5-138). La meilleure façon de les utiliser est d'appliquer un potentiel quelque part entre 0 et 5 volts. Dans cette expérience, je vais vous montrer comment calibrer la réponse du microcontrôleur.

Vous aurez besoin des éléments suivants :

- 1 potentiomètre ajustable de 2K
- 1 microprocesseur PICAXE 08M, avec câble USB et prise jack

Marche à suivre

Utilisez le même potentiomètre ajustable que celui de l'expérience 32 et connectez sa borne intermédiaire à la broche logique 2 du PICAXE (broche 5 physique). Les deux autres bornes du potentiomètre doivent être reliées respectivement à l'alimentation positive et à l'alimentation négative. Ainsi, selon la façon dont vous réglez le potentiomètre, la broche du PICAXE est directement connectée à l'alimentation positive (à l'une des extrémités), à l'alimentation négative (à l'autre extrémité) ou quelque part au milieu. Voir le schéma révisé du circuit fig. 5-143 et sa photo fig. 5-144.

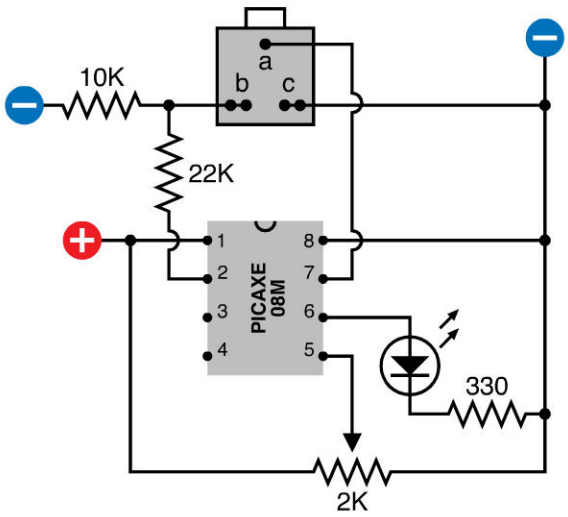


Figure 5-143. *Ce schéma montre comment utiliser un potentiomètre de 2K pour appliquer une tension variable à l'une des broches du PICAXE permettant de convertir un signal analogique en valeur numérique.*

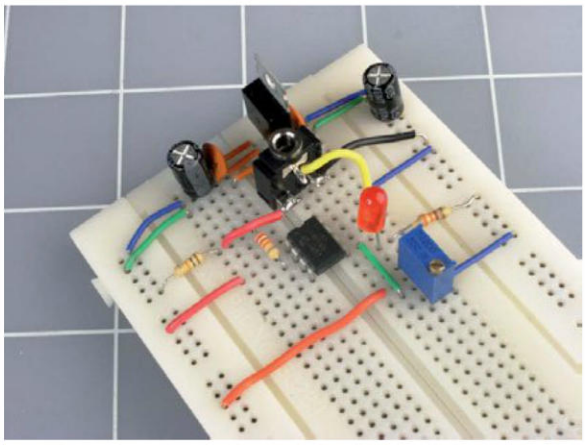


Figure 5-144. *Le potentiomètre ajustable ajouté au circuit.*

opyright © 2013 Eyrolles.

Il nous faut maintenant un programme pour dire au microprocesseur ce qu'il doit effectuer. Dans Programming Editor, ouvrez un nouveau document. Le code doit être le suivant :

```
main:
    readadc 2,b0
    debug b0
    goto main
```

La commande `readadc 2,b0` signifie « lire l'entrée analogique de la broche logique 2, la convertir en numérique et stocker le résultat dans `b0` ».

La commande `debug b0` indique au microprocesseur de passer en mode de débogage de programmes. Dans ce mode, il utilise son câble USB pour fournir à Programming Editor les valeurs de toutes les variables durant l'exécution du programme. Ces variables sont affichées dans une fenêtre de débogage.

Transférez le programme. Dès qu'il commence à s'exécuter, la fenêtre de débogage doit s'ouvrir. Réglez alors le potentiomètre, ce qui fera varier la valeur de `b0`.

Vous pouvez dresser un tableau et dessiner un graphique traduisant la relation entre la valeur de `b0` et la résistance située entre la broche logique 2 et la masse. Retirez le potentiomètre de la plaque de montage et mesurez sa résistance avec un multimètre. Augmentez-la de 200 Ω par exemple, puis replacez le potentiomètre sur la plaque et notez la valeur de `b0`.

Cette opération étant un peu laborieuse (comme tout calibrage de matériel), je m'en suis chargé : voir le graphique fig. 5-145 et le tableau page suivante. J'ai eu le plaisir de constater que le PICAXE fournit une réponse linéaire très précise à la tension d'entrée. Autrement dit, le graphique est une ligne droite.

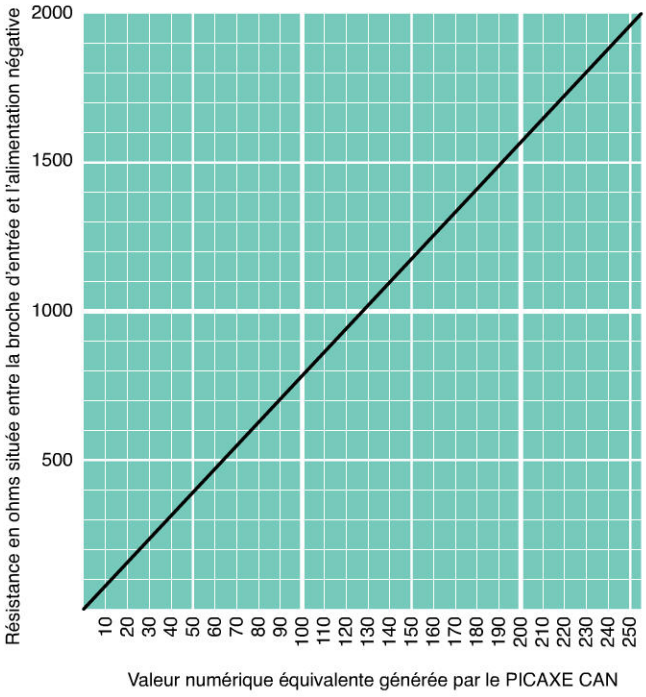


Figure 5-145. *Quand une broche d'entrée CAN est connectée à un potentiomètre de 2K, relié à la même tension que celle alimentant le circuit, la résistance située entre la broche d'entrée et le côté négatif de l'alimentation électrique doit générer une suite de valeurs numériques correspondant à ce graphique. Notez que l'alimentation doit être rigoureusement de 5 V.*

Copyright © 2013 Eyrolles.

Ce tableau présente les mesures effectuées avec le microcontrôleur PICAXE 08M.

Résistance (en ohms) entre la broche CAN et l'alimentation négative	Valeur numérique equivalente
2000	255
1900	243
1800	230
1700	218
1600	205
1500	192
1400	179
1300	166
1200	154
1100	141
1000	128
900	115
800	102
700	90
600	77
500	64
400	51
300	38
200	26
100	13
0	0

Nous pouvons à présent modifier le programme pour qu'il exécute une action à partir des informations reçues :

```
main:
    readadc 2,b0
    let w1 = 5 * b0
    high 1
    pause w1
    low 1
    pause w1
    goto main
```

Copyright © 2013 Eyrolles.

Notez bien ce qui se passe désormais. D'abord, nous obtenons une valeur dans `b0`, avec laquelle nous effectuons un calcul à la ligne suivante. L'astérisque signifie « multiplier ». En d'autres termes, l'instruction signifie « prenez la valeur de `b0`, multipliez-la par 5 et rangez-la dans la variable `w1` ». Nous devons utiliser une variable `w`, parce que quand nous multiplions la valeur de `b0` par 5, nous pouvons obtenir un nombre plus grand que 255, qui ne tiendrait donc pas dans une variable d'un octet.

Pour finir, nous utilisons la variable `w1` dans une déclaration `pause` au lieu d'une valeur numérique fixe. Nous demandons au PICAXE d'effectuer une pause, d'une durée égale à la valeur de `w1`, en millisecondes, quel que soit le nombre de millisecondes obtenu.

Le programme utilise donc la valeur d'une résistance variable pour fixer la vitesse de clignotement de la LED.

Repensez au cas du robot alimenté par des moteurs pas-à-pas. Il fallait vérifier les deux photorésistances et régler la vitesse de chaque moteur en conséquence. Ce programme du PICAXE va dans le même sens. Il peut mesurer la tension sur une broche et changer la fréquence de sortie sur une autre. Si vous aviez deux microprocesseurs PICAXE, vous pourriez raccorder chacun d'eux à une photorésistance et un moteur. Pour régler le comportement de votre robot, il faudrait alors modifier la deuxième ligne du programme, qui convertit la valeur de `b0` en `w1`, qui sera utilisée dans la commande `pause` pour déterminer le nombre d'impulsions par seconde. Au lieu de multiplier par 5, vous pourriez multiplier par 7 ou tout autre nombre correspondant au résultat souhaité. Cela nous amène à une conclusion importante : le grand avantage d'un circuit programmable est de pouvoir procéder à des modifications dans le programme.

Comme le PICAXE 08M possède plusieurs entrées CAN et trois broches opérationnelles en sortie, pourquoi ne pas l'utiliser pour contrôler les deux moteurs en réponse aux entrées des deux capteurs ? Le problème, c'est que les trois broches de sortie du 08M sont aussi les trois broches d'entrée CAN et qu'il faut choisir de les utiliser soit en sortie, soit en entrée. Le nombre de broches est donc insuffisant. Vous feriez mieux d'acheter un modèle PICAXE plus perfectionné, comme le 18M, qui offre un plus grand choix de broches. Il utilise le même jeu élémentaire d'instructions de programmation et n'est guère plus cher.

Par ailleurs, vous devriez lire la documentation du PICAXE et rechercher la commande `pwmout`, spécifiquement dédiée au fonctionnement des moteurs pas-à-pas. Elle établit la fréquence de sortie des impulsions qui sont émises pendant que le microprocesseur obéit à d'autres instructions du programme.

opyright © 2013 Eyrolles.

COMPLÉMENTS

Autres fonctionnalités du PICAXE

Un guide complet du microprocesseur 08M nécessiterait un livre à lui seul et d'ailleurs, ce type d'ouvrage existe déjà. Toutefois, je terminerai ma présentation de ce microcontrôleur en listant quelques-unes de ses autres fonctionnalités, tout en vous laissant le soin de les explorer plus en détail. Puis je vous proposerai une dernière expérience.

Interruptions

Le PICAXE 08M permet de programmer ce qu'on appelle une interruption. Autrement dit, si un événement particulier se produit (tel qu'un interrupteur appliquant une tension à une broche), le microprocesseur doit stopper toutes ses autres actions et répondre à l'interruption.

Infrarouge

Une broche du PICAXE 08M peut être utilisée pour recevoir les signaux infrarouges d'une télécommande. Si un capteur infrarouge est relié au circuit, vous pouvez envoyer des commandes à distance. Ce microprocesseur a donc été spécifiquement conçu pour le contrôle des systèmes télécommandés.

Servomoteurs

Chaque microprocesseur PICAXE possède au moins une broche qui peut envoyer un flux d'impulsions pour contrôler un servomoteur. Sur le 08M, il s'agit de la broche logique 2. La durée de chaque impulsion indique au moteur de combien il doit tourner à partir de sa position centrale avant de s'arrêter. Un timer 555 peut aussi envoyer ce flux, mais un PICAXE rend la chose plus aisée. Sur Internet, vous trouverez plus d'informations sur les servomoteurs, très utilisés sur les voitures télécommandées et les robots.

Musique

Le PICAXE possède un générateur de fréquences musicales qui peut être programmé avec la commande `tune` pour jouer des airs que vous écrivez dans le code.

Entrée/sortie alphanumérique

La commande `kbin` est disponible sur les modèles PICAXE 20X2, 28X1, 28X2, 40X1 et 40X2. Vous pouvez brancher un clavier d'ordinateur standard sur le microprocesseur, lequel lira les séquences de touches. Vous pouvez aussi le relier à un afficheur alphanumérique, mais ces installations ne sont pas évidentes. En effet, votre programme doit contenir la liste de tous les codes hexadécimaux spéciaux créés par le clavier.

Générateur de nombres pseudoaléatoires

Tous les modèles PICAXE peuvent générer des nombres pseudoaléatoires à l'aide d'un algorithme intégré. Pour initialiser le générateur de nombres, vous pouvez demander à l'utilisateur d'appuyer sur un bouton, mesurer le temps que cela lui a pris, et alimenter le générateur avec le résultat de cette mesure. Le générateur produira ainsi une séquence peu susceptible de se répéter.

Pour plus d'informations, consultez le manuel qui est disponible à l'adresse http://www.picaxe.com/Getting-Started/PICAXE-Manuals/ en cliquant sur le lien Section 2 – BASIC Commands.

opyright © 2013 Eyrolles.

Expérience 36 : verrou revu et corrigé

Le verrou à combinaison de l'expérience 20 se prête bien à l'emploi d'un microcontrôleur, puisqu'il exige une série d'opérations tout comme un programme informatique. Je vais donc vous montrer comment ce projet peut être revu en utilisant un PICAXE 08M. À vous ensuite de déterminer les autres projets du livre qui pourraient être aussi convertis.

Vous aurez besoin des éléments suivants :

- Mêmes types de pavé et de relais que ceux de l'expérience 20
- Transistor ou boîtier Darlington pour amplifier la sortie du PICAXE de façon à commander le relais

Lecture de l'entrée utilisateur

Toute broche d'entrée du PICAXE peut détecter une fermeture d'interrupteur. Malheureusement, nous ne disposons que de trois broches et il vous faudra acheter un modèle PICAXE beaucoup plus perfectionné pour en avoir dix. Alors comment relier un pavé numérique de 10 touches au 08M ?

Je vous suggère de relier diverses résistances au pavé de telle sorte que chaque touche applique une tension différente à l'une des broches CAN. Exploitez alors la fonction CAN pour convertir la tension en nombre, et utilisez un tableau des nombres possibles pour savoir sur quelle touche l'utilisateur a appuyé. Ce n'est sans doute pas la solution la plus élégante, mais elle fonctionne !

Le pavé peut être raccordé comme sur la fig. 5-146. La touche étoile est toujours utilisée pour fournir l'alimentation, comme dans l'expérience 20, tandis que la touche dièse réinitialise le relais à la fin de la session de calcul, comme auparavant.

Le courant circule à travers une série de résistances, à commencer par celle de 500 Ω. Comme il ne s'agit pas d'une valeur standard, vous aurez à combiner d'autres résistances en série ou à régler un potentiomètre ajustable. Après cela, chaque bouton sera ainsi séparé du suivant par une résistance de 100 Ω. Enfin, à la fin de la chaîne, une résistance de 600 Ω sépare le dernier bouton du côté négatif de l'alimentation. De nouveau, il ne s'agit pas d'une valeur standard et vous aurez peut-être à utiliser un potentiomètre ajustable.

Additionnez toutes les résistances et vous obtiendrez 2K, soit la valeur conseillée pour l'utilisation du PICAXE. Quand vous appuyez sur un bouton, vous exploitez la chaîne de résistances. Le bouton 9 place 600 Ω entre la broche CAN du PICAXE et la masse, le bouton 6 700 Ω, le bouton 3 800 Ω, etc. Si vous préférez, vous pouvez disposer les boutons de façon à ce que la résistance progresse d'une façon plus logique. J'ai choisi de les disposer ainsi afin qu'ils soient le plus facile à visualiser sur un pavé numérique.

En pressant un bouton, vous insérez une résistance différente entre la broche CAN du PICAXE et la masse. Vous pourriez penser qu'en appuyant sur le 3 du pavé numérique, par exemple, cela insérerait 600 Ω. Mais ce n'est pas si simple, car j'ai dû ajouter une résistance de 2K (en haut du schéma de la fig. 5-146) pour que le CAN à l'intérieur du PICAXE soit toujours alimenté en tension, même si l'on n'appuie sur aucun bouton. Si je ne l'avais pas fait, l'entrée du CAN aurait « flotté » et fourni des valeurs aléatoires.

opyright © 2013 Eyrolles.

Voici le tableau indiquant la résistance obtenue en appuyant sur chaque bouton. Comme votre alimentation électrique et vos résistances peuvent varier en valeur, j'indique aussi la plage acceptable.

Bouton	Résistance	Plage
3	108	100-114
6	120	115-126
9	132	127-137
2	143	138-148
5	153	149-158
8	163	159-168
0	173	169-178
1	183	179-187
4	192	188-196
7	202	197-208

Supposons que vous connectiez la broche commune du pavé numérique à la broche logique 2 du CAN du PICAXE. Vous pouvez maintenant utiliser l'environnement de programmation pour écrire un programme comme celui-ci :

```
getkey:
    readadc 2,b0
    let b1 = 3
    if b0 < 115 then finish
    readadc 2,b0
    let b1 = 6
    if b0 < 127 then finish
    readadc 2,b0
    let b1 = 9
    if b0 < 138 then finish
    readadc 2,b0
    let b1 = 2
    if b0 < 149 then finish
    readadc 2,b0
    let b1 = 5
    if b0 < 159 then finish
    readadc 2,b0
    let b1 = 8
    if b0 < 169 then finish
    readadc 2,b0
    let b1 = 0
    if b0 < 179 then finish
    readadc 2,b0
    let b1 = 1
    if b0 < 188 then finish
    readadc 2,b0
    let b1 = 4
    if b0 < 197 then finish
    readadc 2,b0
    let b1 = 7
    if b0 < 210 then finish
    goto getkey

finish:
    readadc 2,b0
    if b0 < 250 then finish
    return
```

Copyright © 2013 Eyrolles.

Expliquons l'action de la routine `getkey`.

`b0` reçoit la valeur fournie par le convertisseur analogique-numérique lorsqu'il examine le pavé. Après avoir stocké le nombre dans `b0`, la routine doit établir à quelle touche du pavé il correspond. L'identité de la touche (0 à 9) sera stockée dans une autre variable, `b1`.

Le programme démarre en assignant la valeur 3 à `b1`. Puis il vérifie si `b0` < 115. Si c'est le cas, `b0` se trouve dans la plage acceptable et la routine se termine, le programme allant à la ligne `finish`. Sinon, le PICAXE passe par défaut à la ligne suivante, ce qui entraîne une deuxième tentative pour savoir quelle touche a été activée. Le programme attribue la valeur 6 à `b1` et effectue de nouveau un test, et ainsi de suite. Si tous les tests échouent, cela signifie qu'aucune touche n'a été pressée, donc la procédure `getkey` reprend. Enfin, la procédure `finish:` se répète jusqu'à ce que l'utilisateur relâche la touche.

Si vous connaissez d'autres langages informatiques que le BASIC, ceci peut vous paraître un peu laborieux. Pourquoi ne pas utiliser simplement une instruction comme la suivante ?

```
if b0 > 114 and b0 < 127 then b1 = 6
```

C'est tout simplement parce que le langage BASIC du PICAXE n'est pas assez sophistiqué. Une instruction `if then` doit forcément se traduire par un saut à une autre section du programme.

Si vous n'avez pas d'expérience antérieure en programmation, la routine pourra aussi vous sembler laborieuse, voire déconcertante. C'est compréhensible, car vous voici amené à suivre un cours intensif de programmation sans y être préparé. Cependant, l'environnement de programmation du PICAXE peut vous être d'une grande aide, car il dispose de sa propre fonction de simulation. Pour utiliser cette dernière, vous devrez faire précéder la routine précédente d'une routine de contrôle (voir fig. 5-147).

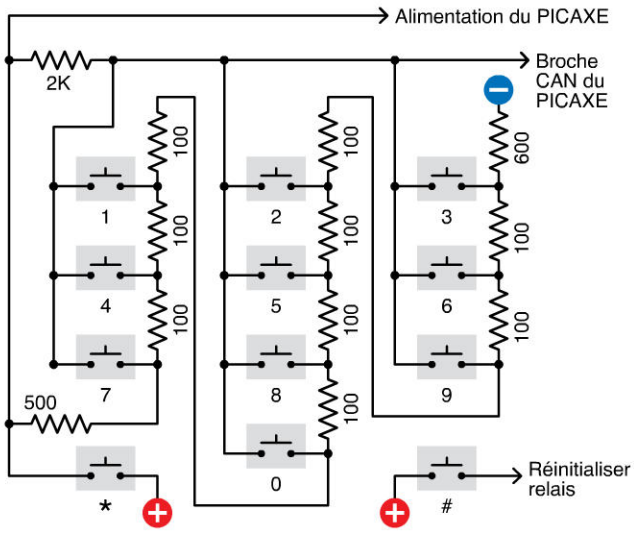


Figure 5-146. *Une manière rapide et simple de relier un pavé numérique au PICAXE est d'utiliser une chaîne de résistances totalisant 2 000 Ω. Quand l'utilisateur appuie sur un bouton, il connecte la broche d'entrée CAN à un point de la chaîne. La résistance détectée par la broche d'entrée peut alors être convertie par le programme du microprocesseur pour déterminer la touche qui a été pressée.*

opyright © 2013 Eyrolles.

J'ai choisi arbitrairement la combinaison 7-4-1 pour notre verrou. Avec ces nombres, la section principale du programme (`main`) se présente ainsi :

```
main:
    low 1
    gosub getkey
    if b1<>7 then main
    gosub getkey
    if b1<>4 then main
    gosub getkey
    if b1<>1 then main
    high 1
    end
```

Les deux symboles `<>` signifient « différent de ». La quatrième ligne du programme se traduit donc par « si `b1` est différent de 7 ».

La valeur de `b1` est supposée être 7 si l'utilisateur saisit la combinaison correcte. Si ce n'est pas le cas, l'instruction `if then` renvoie au début du programme. Et il en sera ainsi chaque fois que l'utilisateur saisira un chiffre ne correspondant pas à la combinaison 7-4-1.

Mais que signifie le mot `gosub` ? Il signifie « passer à un sous-programme ». Un sous-programme est un ensemble d'instructions qui se termine par l'instruction `return`. Ainsi `gosub getkey` demande au PICAXE de marquer son emplacement actuel dans le programme, puis de passer à la section de code `getkey:`. Une fois parvenu au mot `return`, il reprend alors l'exécution du programme là où il l'avait interrompu.

Le PICAXE poursuit l'exécution du programme jusqu'à ce qu'il atteigne le mot `end`. J'ai dû insérer ce mot, sans quoi le PICAXE continuerait à exécuter le programme et passerait dans le sous-programme. La fig. 5-147 présente une capture d'écran du programme complet.

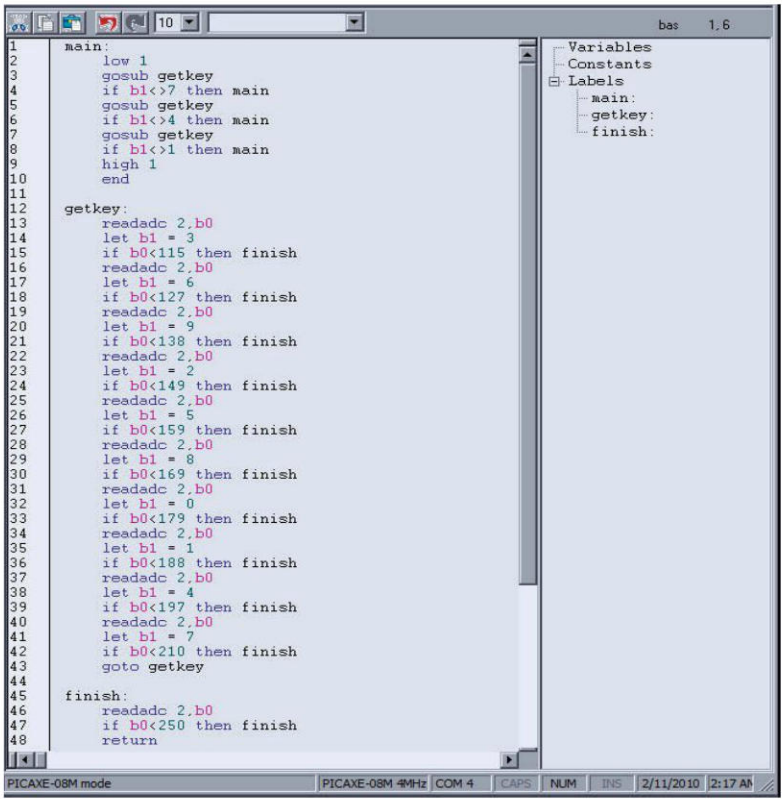
Est-ce tout ? Oui. Si, dans Programming Editor, vous saisissez le code tel que je vous l'ai fourni, vous devriez pouvoir l'exécuter en mode simulation et, dans la fenêtre de simulation, cliquer sur la flèche droite jouxtant la broche logique A2 pour incrémenter sa valeur. Chaque fois que vous transmettrez l'une des valeurs à la procedure `getkey`, la valeur de la variable `b1` sera modifiée à l'écran.

Voici tout ce que vous devez savoir pour faire marcher le verrou à combinaison. Quand le PICAXE exécute ce programme, il attend la combinaison correcte. S'il reçoit la bonne combinaison, il place la sortie de la broche logique 1 à l'état haut ; sinon, la broche logique 1 demeure à l'état bas.

Le seul élément supplémentaire dont vous ayez besoin est un transistor ou une porte CMOS entre la broche logique 1 et le relais qui déverrouille l'ordinateur, car le PICAXE ne peut pas fournir assez de courant pour que le relais fonctionne par lui-même.

L'emploi d'un microcontrôleur dans ce projet simplifie non seulement le circuit, mais offre un autre avantage : pour changer la combinaison du verrou, il suffit de modifier le programme et de transférer la nouvelle version sur le microcontrôleur.

opyright © 2013 Eyrolles.



```
main:
    low 1
    gosub getkey
    if b1<>7 then main
    gosub getkey
    if b1<>4 then main
    gosub getkey
    if b1<>1 then main
    high 1
    end

getkey:
    readadc 2,b0
    let b1 = 3
    if b0<115 then finish
    readadc 2,b0
    let b1 = 6
    if b0<127 then finish
    readadc 2,b0
    let b1 = 9
    if b0<138 then finish
    readadc 2,b0
    let b1 = 2
    if b0<149 then finish
    readadc 2,b0
    let b1 = 5
    if b0<159 then finish
    readadc 2,b0
    let b1 = 8
    if b0<169 then finish
    readadc 2,b0
    let b1 = 0
    if b0<179 then finish
    readadc 2,b0
    let b1 = 1
    if b0<188 then finish
    readadc 2,b0
    let b1 = 4
    if b0<197 then finish
    readadc 2,b0
    let b1 = 7
    if b0<210 then finish
    goto getkey

finish:
    readadc 2,b0
    if b0<250 then finish
    return
```

Variables
Constants
Labels
main:
getkey:
finish:

PICAXE-08M mode | PICAXE-08M 4MHz | COM 4 | CAPS | NUM | INS | 2/11/2010 | 2:17 AM

Figure 5-147. *Cette capture d'écran montre le code complet d'un programme lisant une séquence de trois touches sur un pavé numérique. Si la séquence correspond à la bonne combinaison, le microcontrôleur PICAXE place l'une de ses broches de sortie dans l'état haut. Dans le cas contraire, le programme retourne à la première instruction.*

FONDAMENTAUX

Limites des microcontrôleurs

Le PICAXE présente certains inconvénients. Ainsi, ses exigences en matière de tension ne vous permettent pas de l'utiliser avec la même liberté qu'un temporisateur 555.

En outre, alors que j'obtiens immédiatement un résultat en branchant un timer 555 sur une plaque de montage avec quelques résistances et condensateurs, l'utilisation d'un PICAXE m'oblige à prévoir une prise de téléchargement pour le relier à mon ordinateur, à écrire un programme dans l'environnement de programmation et à le transférer.

Certains n'aiment pas écrire de programmes ou rencontrent des difficultés à le faire, préférant plutôt assembler du matériel. Pour d'autres, c'est l'inverse. Mais une chose est sûre : les programmes contiennent souvent des erreurs qui ne sont décelées que des semaines, voire des mois après.

Le PICAXE, par exemple, ne vous protège pas si un nombre est attribué à une variable alors qu'il dépasse la limite autorisée. Supposons ainsi que b1 = 200, que b2 = 60 et que votre programme contienne l'instruction suivante :

```
let b3 = b1 + b2
```

Le résultat sera 260, mais les variables de la taille d'un octet ne peuvent compter que jusqu'à 255. Que se passe-t-il ? Vous constaterez que b3 prend la valeur 4, sans le moindre avertissement ni la moindre explication. Cette erreur, appelée erreur de débordement, est très difficile à prévoir, car elle se produit à l'exécution, quand ce sont des facteurs externes qui sont en jeu. Le code semble parfait, l'environnement de programmation ne décèle aucune erreur et la simulation se déroule correctement. Mais en pratique, des jours ou des mois plus tard, une suite de circonstances se traduira par une entrée causant un débordement, et comme le code se trouve à l'intérieur du microcontrôleur, il se peut que vous mettiez du temps à comprendre ce qui s'est passé.

Les logiciels ont leurs problèmes, le matériel ses avantages.

Copyright © 2013 Eyrolles.

COMPLÉMENTS

Autres champs d'exploration

Si vous avez pris le temps de réaliser la plupart des projets de ce livre, vous avez bénéficié d'une introduction rapide aux domaines les plus fondamentaux de l'électronique.

Qu'avez-vous manqué en route ? Voici quelques sujets qui mériteraient d'être étudiés, mais allez d'abord voir sur Internet s'ils vous intéressent.

J'ai choisi pour cet ouvrage une approche informelle de l'apprentissage par la pratique. J'ai ainsi passé sous silence la plupart des références mathématiques que l'on s'attendrait à trouver dans un cours plus rigoureux sur le sujet. Mais si vous avez des aptitudes en la matière, n'hésitez pas à les exploiter pour mieux comprendre le fonctionnement des circuits.

Je n'ai pas non plus beaucoup parlé de l'architecture des ordinateurs. Nous ne sommes pas allés très loin en matière de code binaire et vous n'avez pas conçu de demi-additionneur, qui constitue une excellente manière de comprendre le fonctionnement d'un ordinateur. Peut-être devriez-vous envisager d'en construire un.

Je n'ai pas tellement exploré les propriétés fascinantes et mystérieuses du courant alternatif. Là encore, elles impliquent certaines connaissances en mathématiques, mais rien que le comportement du courant en hautes fréquences est déjà un sujet très intéressant.

Pour des raisons déjà exposées, j'ai évité les composants montés en surface, mais vous pouvez toujours vous pencher sur la question, et ce pour un investissement relativement modique. Si la perspective de créer des dispositifs minuscules vous fascine, foncez !

Je n'ai pas traité les tubes à vide, car ils ne présentent pratiquement qu'un intérêt historique. Pourtant, il s'en dégage quelque chose de très spécial et de très beau à la fois, surtout si vous les présentez dans de beaux coffrets en bois. Entre les mains d'un artisan, les amplificateurs à tube et les radios peuvent devenir des objets d'art.

Je n'ai pas expliqué comment graver vos propres cartes de circuits imprimés. Peu s'y intéressent et cela nécessite que vous réalisiez des dessins très propres ou que vous utilisiez un logiciel dédié. Si vous disposez de ces ressources, vous pouvez vous lancer ! Cette étape pourrait être un premier pas vers la fabrication en série de vos propres dispositifs.

Je n'ai pas du tout couvert l'électricité statique. Les étincelles à haute tension n'ont aucune application pratique et posent quelques problèmes de sécurité – mais elles sont véritablement impressionnantes et vous pouvez facilement obtenir les informations nécessaires pour en créer. Peut-être devriez-vous essayer ?

Copyright © 2013 Eyrolles.

Autres contrôleurs

Si vous souhaitez quelque chose de plus puissant, le microcontrôleur BASIC Stamp est l'étape suivante logique après un PICAXE. Son nom vient du fait, qu'à l'origine, il ressemblait à un timbre. Il possède un plus grand nombre de commandes et dispose d'une plus grande variété de dispositifs complémentaires (y compris des afficheurs graphiques et un petit clavier spécifiquement conçu pour être utilisé avec le contrôleur). Voir fig. 5-148.

Revers de la médaille, vous constaterez que tout ce qui est associé au BASIC Stamp est un peu plus cher et que la procédure de téléchargement n'est pas si simple.

À la fois élaboré et puissant, le circuit Arduino constitue l'une des avancées les plus récentes dans le monde des microcontrôleurs. Il se programme en C, langage un peu délicat à assimiler et possédant de très lointaines similitudes avec celui utilisé pour le PICAXE et le BASIC Stamp. Mais cela vaut la peine de l'apprendre, car le potentiel d'Arduino est vraiment stupéfiant. Grâce à sa popularité, vous trouverez beaucoup de documentation, de sites et de forums pour vous aider à le maîtriser.

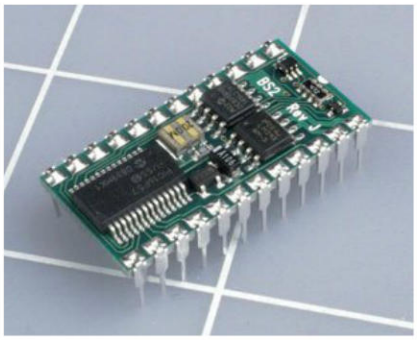


Figure 5-148. *Le contrôleur BASIC Stamp est constitué de composants montés en surface sur une plate-forme dont les broches sont espacées de 0,25 cm environ, en vue d'une insertion sur une plaque de montage ou une plaque perforée. Il utilise une version de BASIC similaire au langage de programmation du PICAXE, mais possède plus d'extensions. Il peut être employé avec des périphériques très divers, comme des afficheurs à matrice de points alphanumérique.*

Conclusion

Je pense que le but d'un ouvrage d'initiation est de vous présenter un large spectre du domaine concerné : à vous ensuite de décider quels sujets vous souhaiterez explorer plus en détail. L'électronique est le domaine rêvé pour ceux qui aiment construire les choses par eux-mêmes, car pratiquement chaque champ d'application – de la robotique aux télécommunications, en passant par l'informatique – peut être étudié en amateur, sans nécessiter de gros moyens.

Lorsque vous serez immergé dans l'électronique qui vous intéresse, j'espère que vous en retirerez beaucoup de satisfaction. Et surtout du fun !

opyright © 2013 Eyrolles.

opyright © 2013 Eyrolles.

Principaux fournisseurs et liste du matériel

A

Cette annexe vous indique les principaux fournisseurs de matériel électronique en France, ainsi que le matériel requis (avec des exemples de références) pour mener les expériences de chaque chapitre de l'ouvrage. En général, il s'agit de produits disponibles sur les sites Internet des fournisseurs grand public.

Principaux fournisseurs

Les composants électroniques ont été longtemps disponibles dans des magasins spécialisés, qui aujourd'hui ont souvent disparu au profit de sociétés proposant leur catalogue en ligne. Les sites retenus ici ne constituent pas une liste exhaustive mais une source sérieuse pour acquérir vos premiers composants. Vous pouvez également rechercher près de votre domicile un magasin spécialisé. Renseignez-vous toujours sur les conditions générales de vente de ces fournisseurs, et notamment sur les frais d'expédition et les éventuelles taxes douanières pour les sites étrangers.

Fournisseurs grand public

- www.composants-electroniques.com
- www.conrad.fr
- www.electronique-diffusion.fr
- www.gotronic.fr
- www.reboul.fr
- www.selectronic.fr

Fournisseurs professionnels

Certains sites de composants électroniques s'adressent surtout aux professionnels, mais vendent sous certaines conditions aux particuliers. Leurs catalogues sont très complets, même s'ils sont parfois déroutants pour un amateur.

- www.fr.farnell.com
- www.rs-particuliers.com (site de vente aux particuliers de RadioSpares, dont le site professionnel a pour adresse : www.radiospares-fr.rs-online.com)

Fournisseurs spécialisés

- www.a4.fr (distributeurs PICAXE)
- www.micromodele.fr (distributeurs des outils de coupe X-Acto)
- www.supermagnete.fr et www.kjmgnetics.com (fournisseurs d'aimants)

opyright © 2013 Eyrolles.

Matériel du chapitre 1

Matériel requis	Exemples de références
1 mini-pince à becs longs	Pince à longs becs miniature pour tous travaux d'électronique, poignées isolées, Go Tronic (réf. 13972)
	Jeu de 5 pinces miniatures Go Tronic (réf. 13012). Ensemble économique comprenant une pince coupante de côté, une pince coupante devant, une pince à becs plats, une pince à becs courbés et une pince à becs droits
	Pince à becs effilés pour électronique Conrad (réf. 822950)
Pinces coupantes	Pinces coupantes obliques ESD 110 mm Conrad (réf. 820719)
	Pinces coupantes miniatures de qualité pour tous travaux d'électronique, poignées isolées, Go Tronic (réf. 13974)
	Pinces coupantes fines antistatiques PRO'SKIT Selectronic (réf. 5902-1)
Multimètre	Multimètre digital M9912 à sélection de calibre automatique ou manuelle, multifonction (mesure de tension continue, tension alternative, courant continu, courant alternatif, résistance, capacitance, température, fréquence, rapport cyclique, test de continuité, test de diodes), Go Tronic (réf. 14512)
	Multimètre digital M93 à sélection de calibre manuelle, multifonction (mesure de tension continue, tension alternative, courant continu, courant alternatif, résistance, test de transistors, test de continuité), Go Tronic (réf. 14058)
	Multimètre numérique Amprobe 5XP-A à sélection de calibre manuelle, multifonction (mesure de tension continue, tension alternative, courant continu, courant alternatif, résistance), Radiospares (réf. 411-772)
	Multimètre digital ITC921 20A à sélection de calibre manuelle, multifonction (mesure de tension continue, tension alternative, courant continu, courant alternatif, résistance, capacitance, inductance, température, test de transistors, test de continuité, test de diodes), Électronique Diffusion (réf. MEITC920)
1 pile de 9V	Nombreux points de vente
6 piles AA (ou LR06) de 1,5 V chacune	Nombreux points de vente. Choisir des piles alcalines non rechargeables car certaines seront endommagées lors des expériences.
1 connecteur à pression pour pile de 9V avec fils	Connecteur à pression en I pour pile 9 V Go Tronic (réf. 09570)
	Connecteur 9 V Selectronic (réf. 0759)
1 coupleur pour 1 pile AA (ou LR06) avec fils	Coupleur 1 pile LR6 EM1P à raccordement par fils ou cosses selon approvisionnement (vous pourrez utiliser le connecteur à pression pour pile 9V mentionné plus haut pour obtenir une sortie avec fils) Go Tronic (réf. 09580)
	Coupleur 1 pile R6 à fils Électronique Diffusion (réf. ALA300IT-F)
1 coupleur de 2 piles AA (ou LR06) avec fils	Coupleur pour 2 piles LR6 à raccordement par fils ou cosses selon approvisionnement (vous pourrez utiliser le connecteur à pression pour pile 9V mentionné plus haut pour obtenir une sortie avec fils) Go Tronic (réf. 09590)
	Coupleur 2 piles R6 à fils Électronique Diffusion (réf. ALA206L-F)
1 coupleur de 4 piles AA (ou LR06) avec fils	Coupleur 4 piles LR6 avec sortie sur connecteur standard pour pile 9V (vous pourrez utiliser le connecteur à pression pour pile 9V mentionné plus haut pour obtenir une sortie avec fils) Selectronic (réf. 0762)
	Boîtier coupleur 4 piles R6 noir connexions à pression ((vous pourrez utiliser le connecteur à pression pour pile 9V mentionné plus haut pour obtenir une sortie avec fils) Conrad (réf. 615579)
	Coupleur 4 piles R6 carré à fils Électronique Diffusion (réf. ALA302-F)
Au moins 6 pinces crocodile isolées	Jeu de 10 câbles de liaison contenant 1 paire de chaque couleur : rouge, noir, vert, jaune, blanc, avec pinces crocodiles isolées, Go Tronic (réf. 08329)
	Ensemble de 10 câbles de longueur 45 cm en 5 couleurs, équipés à chaque extrémité d'une pince crocodile miniature Selectronic (réf. 8217)
3 fusibles mini-lame pour automobile de 3A	Fusible plat standard 3A Conrad (réf. 839647)
	Fusible avec voyant 3A Conrad (réf. 078186)
	Fusible automobile 3A 32 V (lot de 10) Radiospares (réf. 563-740)

Copyright © 2013 Eyrolles.

2 potentiomètres linéaires à montage en façade, monotour, 2 kΩ, 0,1 W minimum	Potentiomètre linéaire 2,2 kΩ Go Tronic (réf. 22187)
	Potentiomètre simple en piste Carbone axe 6 mm 2,2 kΩ Selectronic (réf. 5300)
	Potentiomètre rotatif mono Lin 2,2 kΩ Conrad (réf. 445389)
Un assortiment d'au moins 100 résistances de puissance 1/4 W minimum, mais incluant obligatoirement des résistances de 470 Ω, 1 kΩ et 2 kΩ (ou 2,2 kΩ)	Assortiment de 610 résistances 1/4 W Go Tronic (réf. 04099). Série E12, 61 valeurs de 10 à 1 MΩ
	Résistances à couche métallique 1/2 W Selectronic (réf. 4558-10 pour 470 Ω). Par lot de 10, nombreuses valeurs disponibles.
10 LED de n'importe quelle taille ou couleur	Assortiment de 80 LED 3 et 5 mm rouges, jaunes et vertes, Go Tronic (réf. 03991)
	Lot de 10 LED rouges 5 mm Go Tronic (réf. 03025). LED à l'unité ou d'autres couleurs également disponibles.
	Assortiment de 30 LED KEMO S036 standards de différentes formes et couleurs (rouge, vert, jaune et infrarouge) Conrad (réf. 182225)

Matériel du chapitre 2

Matériel requis	Exemples de références
1 bloc d'alimentation ou adaptateur secteur universel, délivrant une tension continue de 3 à 12 V sous 1 A	Adaptateur PSU05RS Go Tronic (réf. 14654) avec tension de sortie régulée commutable entre 3 et 12 V DC, courant maximum 0,6 A
	Adaptateur PSU12R Go Tronic (réf. 14307) avec tension de sortie régulée entre 3 et 12 V DC, courant maximum 1,2 A
	Bloc-secteur régulé multitension Selectronic (réf. 8091) avec tension de sortie régulée commutable entre 3 et 12 V DC, courant maximum 1 A
1 plaque de montage	Plaque de montage rapide Go Tronic (réf. 12302) SD03N 270 contacts
	Plaque de montage rapide éco Go Tronic (réf. 12305) SD12ECO 840 contacts
	Platine d'essai Conrad (réf. 531326) 830 contacts
	Platine d'essai Selectronic (réf. 2330-3) 1 660 points avec bornier d'alimentation à vis
	Platine d'essai Selectronic (réf. 2330-2) 630 points
Des pinces à dénuder	Pinces à dénuder Radiospares (réf. 540-1515) pour câbles de 16 à 26 AWG (de 0,13 à 1,5 mm^2)
	Pinces à dénuder 95001 automatiques C&K Go Tronic (réf. 30130). Elles sont conçues pour dénuder de manière répétitive et sans fatigue les câbles et fils plats et ronds. Dénudage de 0,2 à 6 mm^2.
	Pinces à dénuder et à couper HT205 Go Tronic (réf. 13158). Ce sont des pinces multi-usage qui coupent et dénudent des câbles en cuivre de 10 à 24 AWG.
Des fils de câblage	Assortiment FCR60 Go Tronic (réf. 08957) de 60 m de fil de câblage rigide de 0,20 mm^2, 10 couleurs
	Fil de câblage de 0,20 mm^2 noir ou rouge Go Tronic (réf. MD500N ou MD500R). Vendu au mètre.
	Assortiment Selectronic (réf. 3460) de fils de câblage de 0,2 mm^2 mono-brin, 10 couleurs
	Assortiment Selectronic (réf. 2509) de 80 fils rigides dénudés (plusieurs longueurs et couleurs)
	Coffret de pontage Reboul (réf. 1269-7885) de 140 pièces, 14 longueurs différentes de 3,5 à 125 mm
Des cordons de raccordement	Jeu de câbles de liaison CC400 Go Tronic (réf. 08329) : 10 câbles de plusieurs couleurs avec pinces crocodile
	Set de 10 câbles Conrad (réf. 108489) 280 mm / 0,1 mm^2 à pinces crocodile
1 bouton-poussoir à action de commutation momentané, SPST, parfois appelé bouton de type OFF-(ON) ou (ON)-OFF	Bouton-poussoir droit SDT21SP Conrad (réf. 07446) OFF-(ON)
	Bouton-poussoir unipolaire Reboul (réf. 1015-4625) OFF-(ON) à picots coudés
	Poussoir subminiature 1R droit Selectronic (réf. 6146-1) OFF-(ON)
2 interrupteurs à bascule unipolaire bidirectionnel (SPDT), parfois appelés interrupteurs de type ON-ON	Inverseur unipolaire 80-13 Go Tronic (réf. 07005) avec cosses à souder
	Inverseur unipolaire Reboul (réf. 1015-2959) avec cosses à vis
2 relais DPDT (bipolaire bidirectionnel), monostables, 12 V DC	Relais circuit imprimé bas profil Reboul (réf. 1136-0360), fabricant Omron, réf. G2RL212DC.

Copyright © 2013 Eyrolles.

1 potentiomètre linéaire 1 MΩ	Potentiomètre linéaire 1 MΩ Go Tronic (réf. 22195)
	Potentiomètre à piste carbone linéaire 1M Reboul (réf. 1278-2727)
4 transistors NPN tels que 2N2222 et 4 transistors unijonction programmables 2N6027	Transistor 2N2222A Go Tronic (réf. 02412) NPN à boîtier métallique TO18
	Transistor 2N2222A Selectronic (réf. 3362) NPN à boîtier métallique TO18
	Transistor programmable unijonction 2N6027 Composants-electroniques (réf. 10266200)
1 assortiment de condensateurs électrolytiques capables de supporter une tension minimale de 25 V et incluant 1 condensateur de 1 000 µF et 2 condensateurs de 2,2 µF	Condensateurs électrochimiques à l'unité Go Tronic (réf. 04994 pour 2,2 µF, réf. 22721 pour 1 000 µF). Nombreuses valeurs disponibles.
	Blister de 120 condensateurs chimiques Go Tronic (réf. 04992). Valeurs usuelles.
	Condensateurs électrochimiques polarisés à sortie radiale Selectronic (réf. 9267-2 pour 2,2 µF, réf. 9070 pour 1 000 µF). Lot de 2, nombreuses valeurs disponibles.
1assortiment de condensateurs céramiques incluant 1 condensateur de 0,0047 µF	Condensateurs céramiques à l'unité Go Tronic (réf. 15844 pour 4,7 nF). Nombreuses valeurs disponibles.
	Blister de condensateurs céramiques Go Tronic (réf. 04697). 56 valeurs de 1 pF à 100 nF.
1 assortiment de résistances (valeur minimale 1/4 W)	Résistances au carbone 1/4 W Go Tronic (réf. 04028 pour 220 Ω). Par lot de 10, nombreuses valeurs disponibles.
	Assortiment de 610 résistances 1/4 W Go Tronic (réf. 04099). Série E12, 61 valeurs de 10 Ω à 1 MΩ.
	Résistances à couche métallique 1/2 W Selectronic (réf. 4558-10 pour 470 Ω). Par lot de 10, nombreuses valeurs disponibles.
1 haut-parleur 3 cm de 8 Ω	Haut-parleur miniature 8 Ω Go Tronic (réf. 05516), diamètre 29 mm, HP 308
	Haut-parleur 8 Ω Composants-electroniques (réf. 44808890), diamètre 29 mm, 250 mW

Matériel du chapitre 3

Matériel requis	Exemples de références
1 fer à souder de type crayon 15 W Nécessaire	Fer à souder Antex Mk2 230VAC 15 W, Radiospares (réf. 2315376)
	Fer à souder CS18 Antex 230VAC 18 W Go Tronic (réf. 13327)
	Fer à souder Toolcraft 15 W 230VAC Conrad (réf. 588539)
1 fer à souder de 30 ou 40 W Nécessaire	Pistolet à souder instantané Weller TB100, 230 VAC, puissance de maintien 30 W, source de chaleur rapide et puissante, Go Tronic (réf. 13345) ou Électronique Diffusion (réf. OUWTB100EU)
	Fer à souder Ersa 330-KD 30 W 230 VAC Radiospares (réf. 674443)
	Fer à souder RAPID16/32 bi-puissance 16 W - 32 W Go Tronic (réf. 13403)
	Fer à souder Antex TCS50 40 W thermo-réglé à température variant en continu de 200 à 450 °C, Go Tronic (réf. 13425)
1 troisième main ou support à pinces Nécessaire	Support articulé PCH5 avec loupe et deux pinces crocodile Go Tronic (réf. 13173)
	Lampe loupe avec troisième main et support de fer à souder Conrad (réf. 826054)
	Support Stannol pinces doubles avec loupe Radiospares (réf. 6142217)
1 loupe Nécessaire	Loupe de bureau diamètre 100 mm grossissement × 2,5 Selectronic (réf. 7603)
	Loupe grossissante à 3 lentilles (× 5, × 10 et × 15) GCB-280 Conrad (réf. 182038)
	Loupe pour électronique grossissement × 15 Conrad (réf. 529713)
2 cordons de mesure grippe-fil, 1 rouge et 1 noir Nécessaire	Cordon noir 6033PN, fiche banane 4 mm - grippe-fil, Go Tronic (réf. 48736). Existe également en rouge et bleu.
	Cordon de mesure grippe-fil / fiche de 4 mm Conrad (réf. 121524). Existe également en rouge.
	Fiche banane seule 1060N 4 mm noire à visser Go Tronic (réf. 08250). Il faut y visser un fil et la relier à une fiche grippe-fil (référence ci-après) pour obtenir un cordon de mesure grippe-fil.
	Grippe-fil seul TH10N subminiature noir Go Tronic (réf. 08340). Il faut y souder un fil et la relier à une fiche banane (référence précédente) pour obtenir un cordon de mesure grippe-fil.

Copyright © 2013 Eyrolles.

1 pistolet à air chaud Nécessaire	Pistolet à air chaud Proxxon MH550 Go Tronic (réf. 13792). Convient pour la gaine thermorétractable, la mise en forme de plastiques, le séchage, le décapage, etc.
	Décapeur thermique Mannesmann Conrad (réf. 082912)
1 pompe à dessouder Nécessaire	Pompe à dessouder Selectronic (réf. 7009). Embouts de rechange disponibles.
	Pompe à dessouder Weller professionnelle SA21A Électronique Diffusion (réf. OUS20A). Antistatique, entièrement métallique, embouts de rechange disponibles.
De la tresse à dessouder Nécessaire	Tresse à dessouder non étamée ECU02 1,5 mm × 1,6 m Go Tronic (réf. 13651). Existe dans d'autres longueurs et diamètres.
	Tresse à dessouder cuivre 2 mm × 1,60 m Électronique Diffusion (réf. OU7103C00). Existe dans d'autres longueurs et diamètres.
1 ensemble de tournevis miniatures Nécessaire	Coffret de 6 tournevis VTSET-1 contenant 4 tournevis plats (1 - 1,6 - 2,4 - 3 mm) et 2 tournevis cruciformes (n° 0 et n° 1) Selectronic (réf. 5547)
	Jeu de 6 tournevis CT261 de précision 110 mm comprenant 3 tournevis à lame plate (1,4 - 1,8 - 2,4 mm) et 3 tournevis cruciformes (PH00-PH0-PH1) Go Tronic (réf. 13814)
1 support de fer à souder Recommandé	Support de fer RF200 économique livré avec éponge de nettoyage Go Tronic (réf. 13560)
	Support de fer universel en fonte livré avec son éponge Selectronic (réf. 4168)
1 scie à main miniature Recommandé	Couteau X-Acto équipé de base avec lame n° 19, micro-modèle (réf. 790-3205). Les lames de scie peuvent être montées sur le couteau.
	Lame de scie n° 15 X-Acto en boîte de 5 pièces, micro-modèle (réf. 790-215).
1 étau miniature Recommandé	Étau en aluminium ETA650, ouverture maximale 50 mm, Go Tronic (réf. 13171)
	Étau miniature de table, ouverture des mâchoires pouvant atteindre 25 mm, micro-modèle (réf. DO-11)
	Étau PanaVise. S'installe sur toute surface plane grâce à son puissant système à ventouse. Tête inclinable et tournante dans toutes les directions, Selectronic (réf. 0724).
1 ébarboir Recommandé	Set grattoir universel Exact 4 pièces (un manche et 3 lames pour ébarber) Conrad (réf. 813077)
	Ébarbeur Linear Tools RB1000 Radiospares (réf. 3394336)
1 fraise à main Facultatif	Ébavureur manuel Exact, Radiospares (réf. 5088803)
	Fraise à main 45°, idéale pour loger la tête fraisée d'une vis dans le bois, le plastique, les matériaux tendres, manche en plastique, Sélectronic (réf. 6217)
1 assortiment de piques et crochets Facultatif	Assortiment de crochets contenant 3 crochets tire-ressort, 1 crochet inversé pousse-ressort, 1 outil à plier et 1 manche, Sélectronic (réf. 1817)
	Jeu d'outils pour soudure 2052K4, ensemble de 6 outils à 2 fonctions pour travaux de soudure : brosses, grattoir, crochets, etc., Go Tronic (réf.13098)
1 pied à coulisse Facultatif	Pied à coulisse numérique 150 mm, affichage en mm ou en pouces, gamme de mesure 0 à 150 mm (0 à 6"), résolution 0,01 mm (0,0005"), Selectronic (réf. 5937-1)
	Pied à coulisse 200 mm, gamme de mesure 0 à 200 mm, résolution de lecture 0,05 mm, Conrad (réf. 821424)
De la soudure sans plomb, 1 bobine fine, 1 bobine plus épaisse	Fil de soudure sans plomb à âme décapante, bobine de 100 g diamètre 0,5 mm, Go Tronic (réf. 13675)
	Fil de soudure sans plomb à âme décapante, bobine de 100 g diamètre 1,0 mm, Go Tronic (réf. 13680)
	100 grammes de soudure sans plomb diamètre 0,5 mm, Conrad (réf. 079418)
	Fil à souder sans plomb HS10 diamètre 1,5 mm 100 g Stannol, Conrad (réf. 811084)
Fil électrique torsadé rouge, noir et vert, 3 m minimum de chaque couleur	Fil de câblage FC50N, section 0,50 mm² souple noir, vendu au mètre, Go Tronic (réf. 08940). Existe également en rouge (FC50R) et vert (FC50V).
Fil blanc isolé à deux conducteurs	Câble torsadé pour sonnette 2 × 0.08 mm² blanc, marron, Go Tronic (réf. 609888)
1 assortiment de gaines thermorétractables	Pochette de gaine thermo multicolore GT40M, 40 longueurs de 12 cm de gaine de 1,2 à 12,7 mm de diamètre, Go Tronic (réf. 08914)
	Coffret assortiment gaine thermo, 6 diamètres, 170 pièces de 10 cm, Électronique Diffusion (réf. FIGTSETBOX-COL)

opyright © 2013 Eyrolles.

1 paire de pince crocodile en cuivre	Pinces crocodile en cuivre Radiospares (réf. 7531807)
1 plaque perforée pour transférer chaque montage définitif	Plaque d'essai BCS100 100 × 100 mm en Bakélite percée au pas de 2,54 mm. Pastilles rondes de diamètre 2,2 mm. Go Tronic (réf. 12471)
	Plaque d'essai BCS160/3 100 × 160 mm en Bakélite percée au pas de 2,54 mm. Blocs de 3 pastilles. Go Tronic (réf. 12477)
	Plaque de Bakélite à pastilles dimensions 100 × 100 mm, Électronique Diffusion (réf. CPAJP10)
	Plaque de montage perforée en Bakélite 160 × 100 sans cuivre Conrad (réf. 529569)
1 boîtier d'environ 15 × 7,5 × 5 cm	Boîtier en ABS noir incassable, de finition remarquable. Guides internes pour circuit imprimé. Go Tronic (réf. 11167). De nombreux autres modèles disponibles.
	Boîtier rigide 155 × 59 × 96 mm. La partie inférieure comporte des éléments de fixation pour circuits imprimés. Les parties inférieures et supérieures sont assemblées avec 2 vis autotaraudeuses. Conrad (réf. 524000)
1 fiche d'alimentation jack 5,5 × 2,5 mm (mâle)	Fiche d'alimentation jack FA250P, 5,5 × 2,5 mm, Go Tronic (réf. 48156)
1 embase pour fiche d'alimentation jack 5,5 × 2,5 mm (femelle)	Embase pour fiche d'alimentation jack 5,5 × 2,5 mm SC255, Go Tronic (réf. 48153)
2 douilles banane	Douille châssis isolée de 4 mm rouge BE450R Go Tronic (réf. 08291). Existe également en noir (réf. 08290) et d'autres couleurs.
1 barrette de connecteurs mâle et 1 barrette de connecteurs femelle au pas de 2,54 mm	Connecteurs en barrette HE14 mâle droite, 1 rangée de 36 contacts au pas de 2,54 mm, Go Tronic (réf. 08000)
	Connecteurs femelles sécables en barrette de 1 × 36 points au pas de 2,54 mm, Go Tronic (réf. 08006)
	Barrette simple rangée droite mâle 1 × 36 pôles pas 2,54 mm MPE Garry STL1-1260GGT-036U, Conrad (réf. 734193)
	Réglette à douilles 36 pôles sécables Rm 2,54 mm, Conrad (réf. 741120)
1 interrupteur à bascule unipolaire bidirectionnel (SPDT), parfois appelé interrupteur de type ON-ON	Inverseur unipolaire 80-13 Go Tronic (réf. 07005) avec cosses à souder
	Inverseur unipolaire Reboul (réf. 1015-2959) avec cosses à vis
1 relais DPDT (bipolaire bidirectionnel), monostables, 12 V DC	Relais circuit imprimé bas profil Reboul (réf. 1136-0360), fabricant Omron, réf. G2RL212DC
Plusieurs interrupteurs magnétiques ILS	Relais reed MK41A71B 23 × 14 × 6 mm Go Tronic (réf. 06096)
	Ensemble contact magnétique ILS 1T SCR604 Go Tronic (réf. 060141)
1 interrupteur à bouton-poussoir DPDT de type ON-(ON) avec des bornes à souder	Bouton-poussoir bipolaire à enclenchement ON-ON MS251 Go Tronic (réf. 07042)
	Interrupteur 8642 A bipolaire, Apem réf. 8642A, Radiospares (réf. 1035760)
Au moins 10 diodes de signal de type 1N4001	Diode de redressement DO-41, 50 V, 1 A, Diotec 1N 4001, Conrad (réf. 162213)
Au moins 6 LED de 5 mm	LED standard 5 mm rouge Selectronic (réf. 2536). Autres couleurs disponibles.
	LED 5 mm rouge diffusante Conrad (réf. 184543). Autres couleurs disponibles.
	Lot de 10 LED rouges 5 mm Go Tronic (réf. 03025). LED à l'unité ou d'autres couleurs également disponibles.
1 haut-parleur de diamètre compris entre 50 et 60 mm	Haut-parleur miniature HP508, 8 Ω, 50 mm, Go Tronic (réf.05518), ou HP708, 8 Ω, 66 mm, Go Tronic (réf.05519)

Matériel du chapitre 4

Matériel requis	Exemples de références
1 sonde logique	Sonde logique Radiospares (réf. 5375179)
4 timers 555	NE555N, temporisateur universel Go Tronic (réf. 21210)
	Single Timer PDIP8 STMicroelectronics NE555N, paquet de 20, Radiospares (réf. 7140994)
Au moins 4 circuits intégrés logiques 74HC00	M74HC00B1R STMicroelectronics, Conrad (réf. 155700)
	74HC00, 4 portes NAND à 2 entrées Go Tronic (réf. 20450)

Copyright © 2013 Eyrolles.

Au moins 4 circuits intégrés logiques 74HC02	74HC02, 4 portes NOR à 2 entrées Go Tronic (réf. 20452)
	Circuit logique porte NOR 74HC02N, NXP, Radiospares (réf. 1696028)
Au moins 4 circuits intégrés logiques 74HC04	Circuit logique 74 HC 08 Selectronic (réf. 7251)
	Circuit intégré logique STMicroelectronics M74HC04B1R Conrad (réf. 155704)
Au moins 4 circuits intégrés logiques 74HC08	74HC08 4 portes AND à 2 entrées Go Tronic (réf. 20458)
	Circuit logique 74HC08 Selectronic (réf. 7250)
Au moins 4 circuits intégrés logiques 74HC32	Circuit logique porte OR 74HC32N, NXP, Radiospares (réf. 1696062)
	74HC32 4 portes OR à 2 entrées Go Tronic (réf. 20474)
Au moins 4 circuits intégrés logiques 74HC86	Circuit logique porte XOR 74HC86N, NXP, Radiospares (réf. 1697380)
	74HC86 4 portes OR-EXCL Go Tronic (réf. 20489)
4 compteurs décimaux 4026	CD4026 compteur 7 segments Go Tronic (réf. 20286)
	Circuit intégré CD4026 Toshiba, compteur décimal sortie 7 segments, Conrad (réf. 173142)
2 compteurs 74LS92	Compteur jusqu'à 12, Linear Technology SN74LS92, Conrad (réf. 172081)
2 inverseurs 74LS06	Inverseur à collecteur ouvert, Linear Technology SN74LS06, Conrad (réf. 168866)
	74LS06 sextuple inverseur buffer Go Tronic (réf. 20017)
2 circuits logiques 74LS27	74LS27 3 portes NOR à 3 entrées Go Tronic (réf. 20027)
	Triple NOR-Gatter 3 entrées, Linear Technology SN74LS27, Conrad (réf. 169129)
5 supports de circuits intégrés de 8, 14 et 16 broches	Support 8 contacts SUP08L, 14 contacts SUP14L et 16 contacts SUP16L Go Tronic (réf. 08161, 08162 et 08163)
	Support de circuit intégré standard 08P, 14P et 16P, Conrad (réf. 189502, 189510 et 189529)
Au moins 10 LED faible consommation	LED 3 mm rouge L934LID, faible consommation, Go Tronic (réf. 03000). Autres couleurs disponibles.
	LED 3 mm HLMP-K150 rouge, Avago Technologies, Conrad (réf. 180650)
5 diodes de signal de type 1N4148	Diode universelle D0-35 75 V 150 mA Diotec 1N4148 Conrad (réf. 162280)
Afficheur 7 segments à LED, 3 chiffres ou un ensemble de 3 chiffres	Afficheur haut chiffre 14 mm, Kingbright SC56-11EWA, Conrad (réf. 160116)
	Afficheur LED 4 chiffres 7 Segments Common Kathode Kingbright CA 56-11EWA, Conrad (réf. 186570)
	Afficheur rouge à LED à cathode commune, SC04-11EWA, Go Tronic (réf. 03172)
1 relais bistable 5 V	Relais 2 formes C, accrochage 2 bobines, Panasonic DS2ESL25, Radiospares (réf. 6996067)
	Relais Panasonic 5 V 2RT DS2E-S-DC5V, Électronique Diffusion (réf. RLDS2ESDC5V)
	Relais bistable Omron 1T type G6BK-1114P-1-US 5 V DC à 2 bobines, Go Tronic (réf. 06017)
1 potentiomètre linéaire 5K	Potentiomètre linéaire 4,7 kΩ, Go Tronic (réf. 22188)
	Potentiomètre T16 mono 5 kΩ linéaire, Conrad (réf. 445979)
1 potentiomètre linéaire 10K	Potentiomètre linéaire 10 kΩ, Go Tronic (réf. 22189)
	Potentiomètre simple axe de 4 mm de 10 kΩ, Selectronic (réf. 5342)
1 potentiomètre linéaire 100K	Potentiomètre linéaire 100 kΩ, Go Tronic (réf. 22192)
	Potentiomètre simple axe de 4 mm de 100 kΩ, Selectronic (réf. 5345)
1 potentiomètre ajustable (trimmer) 10K	Potentiomètre ajustable horizontal 10 kΩ carbone monotour, Go Tronic (réf. 04601)
	Potentiomètre ajustable horizontal 10 mm, piste carbone 10 kΩ, lot de 2, Selectronic (réf. 5290-2)
1 régulateur de tension de 5 V	L7805CV, régulateur 5V 1,5A TO220, Go Tronic (réf. 02450)
	Régulateur de tension ST Microelectronics L7805CV, Conrad (réf. 156048)
1 bouton-poussoir tactile	Bouton-poussoir subminiature KRS0612, hauteur 5,0 mm, 4 picots pour circuit imprimé, Go Tronic (réf. 07123)
	Bouton miniature long 2 mm, Conrad (réf. 700460)

Copyright © 2013 Eyrolles.

1 clavier 12 touches	KB12C, clavier 12 touches communes, à fixation par vis, sortie sur connecteur au pas de 2,54 mm, Go Tronic (réf. 07275)
	Clavier numérique 1 × 12. Les touches de saisie disposent d'un raccordement commun et de 12 contacts de commutation à sortie séparée d'un pas de 2,54 mm. Conrad (réf. 195561).

Matériel du chapitre 5

Matériel requis	Exemples de références
Aimant néodyme cylindrique	Disque magnétique diamètre 20 mm hauteur 10 mm, supermagnete (réf. S-10-05-N). Assemblez-en 4 pour former un cylindre de 4 cm de hauteur.
	Aimant cylindrique diamètre 3/4 pouce hauteur 1 pouce, kjmagnetics (réf. DCX0)
1 haut-parleur de diamètre compris entre 50 et 60 mm	Haut-parleur miniature HP508, 8 Ω, 50 mm, Go Tronic (réf.05518), ou HP708, 8 Ω, 66 mm, Go Tronic (réf.05519)
1 haut-parleur de diamètre 120 mm environ	Haut-parleur HP928, miniature 8 Ω 100 mm Go Tronic (réf.05520)
1 amplificateur audio	Amplificateur stéréo 1W TEA2025B Go Tronic (réf. 21496)
3 condensateurs électrolytiques de 100 µF	Condensateur chimique polarisé 100 V Go Tronic (réf. 04938)
2 condensateurs bipolaires de 100 µF	Condensateur bipolaire 100 µF 100 V DC Conrad (réf. 472808)
1 potentiomètre logarithmique de 100K	Potentiomètre logarithmique 100 kΩ Go Tronic (réf. 04522)
	Potentiomètre Alpha M7 100 kΩ Log Potentiometer Conrad (réf. 450045)
1 adaptateur jack RCA	Adaptateur fiche jack 3,5 mm mâle droite stéréo vers 2 fiches Cinch/RCA femelles droites 24K017, Conrad (réf. 731401)
1 diode au germanium	Diode Schottky 1N60 Conrad (réf. 162205)
	Diode au germanium Reboul (réf. 1062-3435)
1 casque haute impédance	Écouteur miniature cristal haute impédance 2 kΩ Go Tronic (réf. 05526)
1 motoréducteur	Motoréducteur GM8 très économique à sortie sur axe de diamètre 7 mm à double méplat pouvant recevoir l'encodeur optique WW02 spécialement adapté. Vitesse : 70 t/min à 5 V DC. Go Tronic (réf. 25342)
1 roue à fixer sur le moteur	Cette roue en plastique dur se fixe directement sur les axes des moteurs GM2, GM3, GM8 et GM9. Elle est le plus souvent utilisée comme support pour la fixation d'autres accessoires. Go Tronic (réf. 25360)
2 potentiomètres ajustables de 2K	Potentiomètre ajustable T93YA 2,2 kΩ Cermet 25 tours, Go Tronic (réf. 04669)
4 LED 12 V avec résistance intégrée (optionnel)	LED 5 mm L53ID12 rouge, résistance intégrée pour alimentation directe en 12 V DC, Go Tronic (réf. 03076)
1 moteur pas-à-pas	Moteur ST35, unipolaire à 4 enroulements, alimentation 12 V DC, résistance 50 Ω, intensité 60 mA, nombre de pas 85, Go Tronic (réf. 01506)
2 photorésistances	Photorésistance LDR1000, présentant une résistance supérieure à 10 MΩ dans l'obscurité, diamètre 10 mm. Cette résistance chute entre 75 et 300 Ω lors de l'exposition à la lumière. Go Tronic (réf. 03133)
	Photorésistance boîtier 2 broches THT Perkin Elmer VT 93 N2, 4 mm, Conrad (réf. 140375)
2 ensembles de transistors Darlington	ULN2003A, réseau de 7 transistors Darlington, Go Tronic (réf. 21591)
	Réseau de 7 transistors Darlington ULN2003AN, Texas Instruments, Radiospares (réf. 4368451)
1 batterie 12 V et 1 chargeur	Accu modélisme NiMh, 12 V, 2 Ah, à forte capacité pour modélisme convenant pour charge lente ou rapide. Go Tronic (réf. 09735)
	Chargeur pour modélisme Ultramat 8. Chargeur Graupner pour accus NiCd et NiMh de 1 à 10 éléments ou pour accus LiPo de 1 à 4 éléments. Il peut s'alimenter sur le secteur ou sur une source de tension 12 V DC via les pinces crocodile. Go Tronic (réf. 09598)
2 microcontrôleurs PICAXE 08M	Microcontrôleur PICAXE 08M2, Go Tronic (réf. 25280)
	Microcontrôleur PICAXE 08M2, a4 (réf. IC-RE08M2)
Prise audio stéréo	Embase femelle CP395 stéréo 3,5 mm pour circuit imprimé, Go Tronic (réf. 08467)
1 câble de téléchargement USB	Câble de téléchargement USB AXE027, Go Tronic (réf. 25216)
	Câble de programmation pour liaison avec port USB de l'ordinateur, a4 (réf. AXE027, CABLE-USBPICAXE)

Copyright © 2013 Eyrolles.

Index

A

ABS, 269
adaptateur secteur, 55
aimant néodyme, 239, 240
afficheur à sept segments, 173
aimant, 240
ampérage, 10
ampère, 11, 36
Ampère, André-Marie, 13
amplificateur, 250
ampoule, 16, 20, 31
  à incandescence, 53
anode, 83, 84
antenne extérieure, 263
Arduino, 227, 292, 315
arithmétique binaire, 217
atome, 33
audio
  amplificateur, 250
  distorsion, 257
auto-inductance, 236, 246

B

Bardeen, John, 78
bascule bistable, 159
BASIC Stamp, 227
basses fréquences, 252, 253
Bell, Alexander Graham, 243
bloc d'alimentation, 231
bobine, 237, 238, 246
  de fil, 239
  séparatrice audio, 253
  tension, 58
boîte à distorsion, 257, 260
boîte de rangement, 229
boîtier de projet, 102
Boole, George, 184
boomer, 253
bornier à vis, 39
boucle de programme, 312
bouton-poussoir, 47
  SPST, 42
Brattain, Walter, 78
broche, 161
  de contrôle, 156
  flottante, 175

C

câblage
  plaque de montage, 116
  point à point, 116
câble d'alimentation, 111
Camenzind, Hans, 160
capacitance, 64, 236, 246
capacité
  condensateur, 61, 64
  de commutation, 58
carte de test, 54
catalogue, 230
cathode, 83, 84
chaînage de circuits, 167
chaleur, 9
champ magnétique, 13, 236, 237
charge
  négative, 33, 35
  positive, 33, 35
circuit
  74xx, 148
  amplificateur audio, 250
  Arduino, 292
  Basic Stamp, 292
  CMOS, 149, 172
  électronique
    capacitance, 39
    résistance, 23, 39
  intégré, 148
  logique, 194, 197
  Picaxe, 292
  programmable, 292
  séparateur, 249, 253
  TTL, 190
clipping, 257
CMOS, 149, 172
collecteur ouvert, 220
commutation, 39
  capacité, 58
  charge résistive, 58
  semi-conducteur, 39
comparateur, 158
compteur décimal, 173
condensateur, 61
  capacitance, 64
  céramique, 43, 63
  électrolytique, 42, 63, 249
  non polarisé, 249
conducteur *voir* matériau conducteur
  fil, 5
connecteur à pression, 3
constante de temps, 71
conteneur à déchets, 232
contreplaqué, 102
cordon de raccordement, 41
coulomb, 36
couple, 281

Copyright © 2013 Eyrolles.

coupleur
1 pile AA, 3
2 piles AA, 4
4 piles AA, 4
courant, 10
alternatif, 12, 240, 248
continu, 12
de fonctionnement, 58
galvanomètre, 13
inductance, 26
intensité, 10
court-circuit, 9
batterie, 9
prise de courant, 9

D

DeArmond, Harry, 261
défaut de réalisation, 139
DEL *voir* LED
détecteur d'alarme, 128
diagramme de Venn, 184
différence de potentiel, 20, 282
diode, 132, 134
au germanium, 262
de signal, 134
électroluminescente, 22
Zener, 134
DIP, 148
dissipateur thermique, 115
distorsion, 257
DPDT, 51
Dummer, Geoffrey W. A., 152

E

ébarboir, 271
écrêtage, 257
électricité
courant, 10
court-circuit, 9
matériau conducteur, 6, 8
électroaimant, 236
électrolyte, 9
électromagnétisme, 13
électron, 7, 30, 31, 33, 35
flux, 10, 35
enroulement de connexions, 106
espace de travail, 228
étau troisième main, 96
étiquetage, 231

F

farad, 61
Faraday, Michael, 64
fer
à souder, 96, 104
crayon, 96, 108
fiche
banane, 97
technique, 26, 28
fil
aimanté, 239
d'essai, 41
de soudure, 100
filtre
passe-bas, 252
passe-haut, 252
flux
électron, 10, 35
force magnétique, 236, 237
forme d'onde, 255
foudre, 35
Franklin, Benjamin, 35
fréquence, 165
sonore, 244, 249

G

gaine thermorétractable, 98, 100
galvanomètre, 13

H

hautes fréquences, 252, 253
haut-parleur, 43, 242, 243
boîte, 87
cornet, 87
diaphragme, 87
fiche cartonnée roulée, 87
henry, 237
Henry, Joseph, 237, 238

I

impulsion
durée, 157
inductance, 237
induction électromagnétique, 64
intensité
courant, 10
unité de mesure, 11
interrupteur
à action momentanée, 47
à contacts scellés, 46
à couteau, 46, 49
bidirectionnel, 46, 212
bipolaire, 46
center off, 47
bipolaire et bidirectionnel, 51
borne centrale, 46
bouton-poussoir, 48
contrôlé à distance, 55
DPDT, 51
fin de course, 278
ILS, 128
magnétique de détection, 128
multimètre, 48
ON/OFF, 39, 46
relais, 56
SPDT, 42, 46
SPST, 46, 51
tactile, 151
unidirectionnel, 46
unipolaire, 46
center off, 47
momentané normalement fermé, 47
momentané normalement ouvert, 47
unipolaire et bidirectionnel, 46
unipolaire et unidirectionnel, 46, 51
inverseur à collecteur ouvert, 222
isolant, 6

J

joint de soudure, 104
joule, 36

K

Kilby, Jack, 152

L

lampe de bureau, 231

opyright © 2013 Eyrolles.

LED, 4, 13, 16, 28
  à faible intensité, 32
logique booléenne, 184
loi d'Ohm, 8, 25, 26
loupe, 96

M

magnétisme, 236, 239
Marconi, Guglielmo, 266
matériau conducteur, 6, 8
  métaux, 6
microcontrôleur, 227, 291
microphone à bobine mobile, 244
mode
  astable, 164
  monostable, 158
modulation d'amplitude, 267
moteur DC
  à balais, 280
  électrique, 236
  pas-à-pas, 280
mousse conductrice, 232
multimètre, 2, 49
  analogique, 2
  numérique, 2
  sélection automatique, 2
  sélection manuelle, 2

N

newton, 36
nombre décimal, 29
noyau
  atomique, 33
  bobine, 238
  fission, 33
  relais, 58
Noyce, Robert, 152

O

ohm, 6
Ohm, loi d', 8, 25, 26
Ohm, Georg Simon, 8
onde
  carrée, 256
  sinusoïdale, 255
  sonore, 244
ordinateur, 232
orgue
  de couleurs, 254
  Hammond, 261
oscillateur à relais, 60
oscilloscope, 231

P

particules d'électricité *voir* électron
pavé numérique, 151
pédale d'effet, 260
  Trem-Trol, 261
perfboard, 101
photorésistance, 289
PICAXE, 227, 292
pied à coulisse, 99
pile
  au citron, 32
  au lithium, 9
  durée de vie, 123
  rechargeable, 33
  secondaire *voir* pile rechargeable
  voltaïque, 12
pince
  à becs effilés, 2
  à dénuder, 40
  à longs becs, 2
  coupante, 2
  crocodile, 4
pistolet thermique, 98, 110
plan de travail, 229
plaque
  de montage, 39, 40
  de prototypage, 101
  perforée, 101, 116, 119, 136
plastique ABS, 269
platine de montage, 39, 40
pompe à dessouder, 98
porte logique, 192
  NAND, 182, 186
  NOT, 186
potentiel électrique, 36
potentiomètre, 4, 18
  linéaire, 18, 42
prise
  électrique, 12
  jack, 49
proton, 33
puissance électrique, 31
PUT *voir* transistor unijonction programmable

R

radio, 262, 266
réactance, 246
  capacitive, 246
  inductive, 246
réaction galvanique, 12
rebond de contact, 174
récepteur à cristal, 262
redimensionnement d'un circuit, 119
régulateur de tension, 151, 181
relais, 39, 56, 58, 59
  à enclenchement, 131
  à verrouillage automatique, 131
  bistable, 58, 151
  bobine, 58
  DPDT, 42
  DPST, 58
  non polarisé, 58
  noyau de fer, 58
  SPDT, 58
  SPST, 58
résistance, 6, 7, 8, 10, 13, 14, 15, 28
  de rappel, 156
  en parallèle, 25
  en série, 25
  langue, 16
  valeur, 14,15
retour d'état, 205

S

scie
  à main, 270
  circulaire, 270
  égoïne, 270
Scribner, Charles E., 49
semi-conducteur
  bipolaire
    NPN, 76
    PNP, 76
  CMOS, 190
  commutation, 39
  transistor, 76
servomoteur, 280
Shannon, Claude, 184
Shockley, William, 78

opyright © 2013 Eyrolles.

Siemens, Ernst, 243
signal radio, 265
son, 244
sonde, 5
  logique, 147
soudure, 106, 107, 109
SPDT, 46
SPST, 46, 51
supraconducteur, 36
synthèse sonore, 256
système de mesure
  anglo-saxon, 124
  métrique, 124

T

temporisateur 555, 153, 160, 161
tension, 10, 11, 18, 27, 36, 37
  anode, 83
  bobine, 58
  définie, 58
  fil, 39
  réinitialisation, 156
  unité de mesure, 11
Thomson, J. J., 35
timer 555 *voir* temporisateur 555
  bistable, 176
transistor
  2N2222, 73
  bipolaire, 82
  collecteur, 73
  NPN, 42, 76, 129
  PNP, 76
  puissance d'amplification, 80
  unijonction programmable, 82, 83, 84
  valeur bêta, 80
transmission radio, 266
trémolo, 260
tweeter, 253

U

unité de mesure, 36
  ampère, 11, 36
  ampère-heure, 123
  farad, 61
  henry, 237
  joule, 36
  newton, 36
  volt, 11
  watt, 28, 31

V

vibrato, 260
vis
  de mécanique, 102
  inviolable, 203
volt, 11
Volta, Alessandro, 10, 12

W

watt, 31, 36
Watt, James, 28
woofer, 253
wrapping *voir* enroulement de connexions

Copyright © 2013 Eyrolles.

Remerciements

Mes relations avec le magazine *MAKE* ont débuté le jour où son rédacteur en chef, Mark Frauenfelder, m'a demandé d'y écrire des articles. Je suis toujours très reconnaissant à Mark du soutien qu'il a apporté à mon travail. J'ai pu ainsi rencontrer au sein de *MAKE* un personnel aussi compétent que motivé. Gareth Branwyn, qui me suggéra d'écrire un livre d'introduction à l'électronique, est donc à l'origine de ce projet qu'il a ensuite supervisé, et je lui en suis infiniment redevable. Après avoir écrit un synopsis du livre où j'évoquais mon idée d'« apprentissage par la pratique » et l'intérêt pédagogique de démonter ou de brûler un composant, le directeur de *MAKE*, Dale Dougherty, prononça cette phrase mémorable : « Je veux ce livre ! » En conséquence, je remercie particulièrement Dale pour avoir cru en mes capacités. Dan Woods, directeur associé, m'a aussi manifesté un vif soutien.

La réalisation du livre s'est faite de façon rapide, efficace et indolore. À ce sujet, je remercie mon éditeur chez O'Reilly, Brian Jepson, ainsi que l'éditrice de production Rachel Monaghan, la préparatrice de copie Nancy Kotary, la correctrice Nancy Reinhardt, la spécialiste en index Julie Hawks, le designer graphique Ron Bilodeau, et Robert Romano, qui retoucha mes illustrations. Par-dessus tout, je dois beaucoup à Bunnie Huang, mon conseiller technique, qui a relu le texte en profondeur et en sait bien plus que moi. S'il reste des erreurs, elles ne peuvent être que de mon fait, même si j'aurais aimé en jeter la responsabilité sur Bunnie.

Merci aussi à Matt Mets, Becky Stern, Collin Cunningham, Marc de Vinck, Phillip Torrone, Limor Fried, John Edgar Park, John Baichtal et Jonathan Wolfe pour leur aide lors de tests de dernière minute. Je ne voudrais pas terminer sans mentionner le génie de John Warnock et de Charles Geschke, fondateurs d'Adobe Systems et créateurs du langage PostScript, qui a révolutionné le monde de la publication. Je ne peux imaginer l'horreur qu'aurait été la création de ce livre à l'aide d'outils graphiques d'un autre éditeur de logiciels. D'ailleurs, sans Illustrator, Photoshop, Acrobat et InDesign, je me demande si je me serais réellement lancé dans l'aventure. Je dois aussi beaucoup à mon appareil photo, un Canon 1Ds équipé d'un objectif macro de 100 mm, avec lequel j'ai pris la plupart des photos de ce livre.

Je n'ai reçu aucune compensation d'aucune sorte de la part des différents fournisseurs mentionnés dans l'ouvrage, à l'exception de deux livres fournis par *MAKE*, que j'ai lus pour m'assurer que je ne répétais pas ce qui avait déjà été publié.

opyright © 2013 Eyrolles.

opyright © 2013 Eyrolles.

À propos de l'auteur

Charles Platt a commencé à s'intéresser aux ordinateurs en 1979, lorsqu'il s'est acheté un Ohio Scientific C4P. Après avoir conçu des logiciels et les avoir vendus par correspondance, il a enseigné le BASIC, MS-DOS, puis Adobe Illustrator et Photoshop. Au cours des années 1980, il a écrit cinq livres d'informatique.

Il est aussi l'auteur de romans de science-fiction, tels que *The Silicon Man* et *Protektor*. Il a arrêté d'en écrire quand il a commencé à collaborer au magazine *Wired* en 1993, avant d'en devenir, quelques années plus tard, l'un des principaux rédacteurs.

Charles Platt a contribué au magazine *MAKE* dès le troisième numéro. *Make: Electronics* est son premier titre pour Make Books. Actuellement, il conçoit et développe des prototypes d'équipement médical dans son atelier, situé dans l'environnement sauvage du nord de l'Arizona.