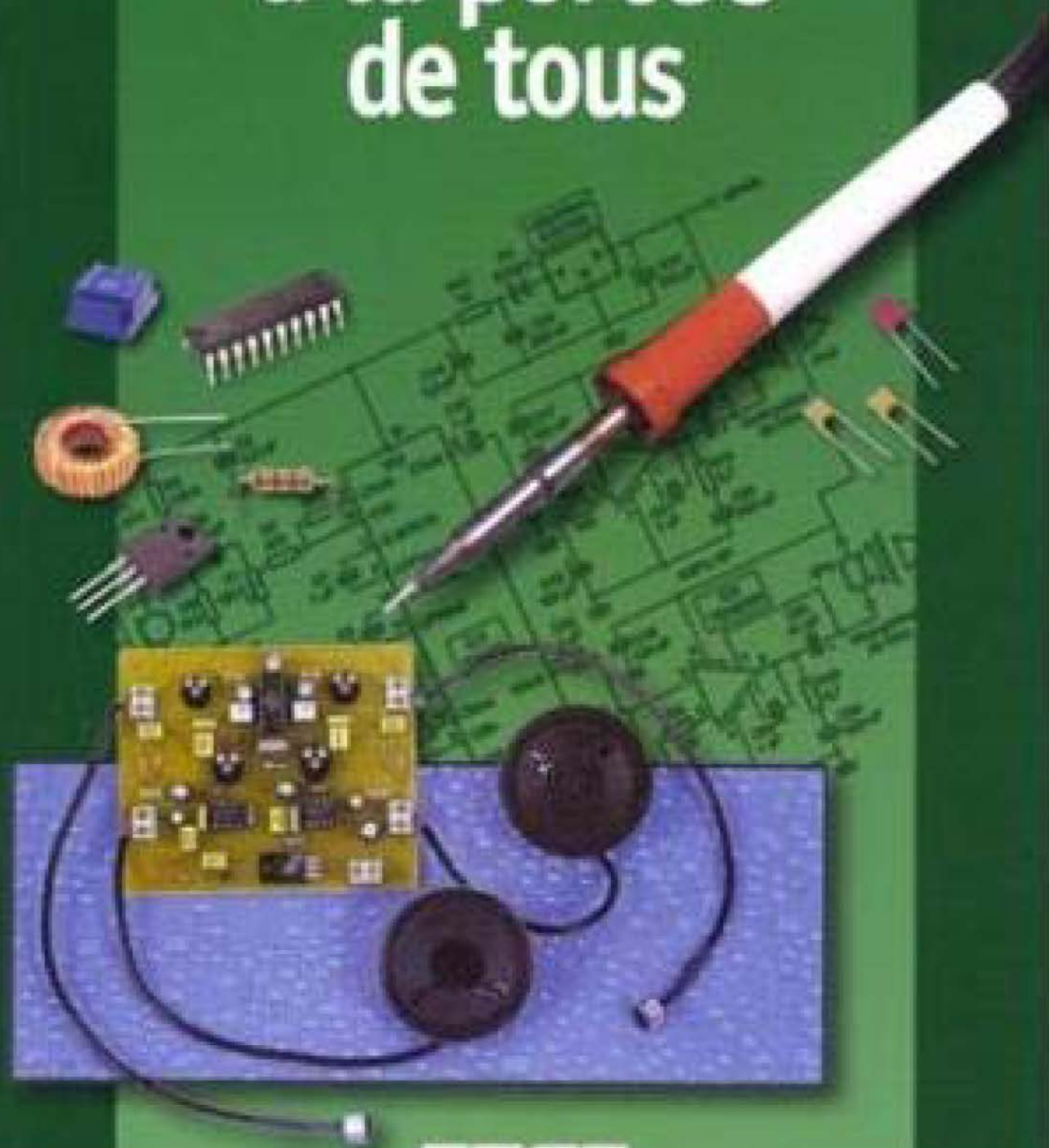


GUY ISABEL

L'électronique à la portée de tous



ETSF

EDITIONS TECHNIQUES ET SCIENTIFIQUES FRANÇAISES

L'ÉLECTRONIQUE À LA PORTÉE DE TOUS

Série Initiation

Michel Archambault,

- Formation pratique à l'électronique moderne
- Guide pratique des montages électroniques

René Besson,

- Électricité domestique

B. Fighiera / R. Knoerr,

- Pour s'initier à l'électronique

Claude Gallès,

- Astuces et méthodes électroniques

Frédéric Giamarchi

- Petits robots mobiles

Guy Isabel,

- L'électronique à la portée de tous

J.-P. Cehmichen,

- Apprendre l'électronique fer à souder en main
- Progressez en électronique

René Rateau,

- Mes premiers pas en électronique

Alain Reboux

- Electronique et programmation

GUY ISABEL

L'ÉLECTRONIQUE À LA PORTÉE DE TOUS

ETSF

EDITIONS TECHNIQUES ET SCIENTIFIQUES FRANÇAISES

Consultez nos catalogues
sur le Web...

<http://www.dunod.com>



L'auteur tient à remercier la société Lego pour son
aimable collaboration.

Ce pictogramme mérite une explication. Son objet est d'alerter le lecteur sur la menace que représente pour l'avenir de l'écrit, particulièrement dans le domaine de l'édition technique et universitaire, le développement massif du **photocopillage**.

Le Code de la propriété intellectuelle du 1^{er} juillet 1992 interdit en effet expressément la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Or, cette pratique s'est généralisée dans les

établissements d'enseignement supérieur, provoquant une baisse brutale des achats de livres et de revues, au point que la possibilité même pour les auteurs de créer des œuvres nouvelles et de les faire éditer correctement est aujourd'hui menacée.

Nous rappelons donc que toute reproduction, partielle ou totale, de la présente publication est interdite sans autorisation du Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC, 20 rue des Grands-Augustins, 75006 Paris).



© DUNOD, Paris, 2000 pour la nouvelle édition

© ETSF, Paris, 1990 pour le tome 1 de la première édition

© ETSF, Paris, 1991 pour le tome 2 de la première édition

ISBN 2 10 005265 9

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droits ou ayants cause est illicite selon le Code de la propriété intellectuelle (Art L 122-4) et constitue une contrefaçon réprimée par le Code pénal. Seules sont autorisées (Art L 122-5) les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective, ainsi que les analyses et courtes citations justifiées par le caractère critique, pédagogique ou d'information de l'œuvre à laquelle elles sont incorporées, sous réserve, toutefois, du respect des dispositions des articles L 122-10 à L 122-12 du même Code, relatives à la reproduction par reprographie.

AVANT-PROPOS

Cet ouvrage est avant tout destiné aux jeunes qui découvrent à l'école très tôt les premières notions d'électronique, et qui ensuite, sont de plus en plus souvent, lors de leurs études ou pour leurs loisirs, confrontés à cette passion pour les montages électroniques. Ils y font leurs premières expériences, ne serait-ce qu'à l'aide d'une simple diode électroluminescente connectée à la hâte sur une pile. S'ils n'ont pas toutes les bases mathématiques nécessaires ou indispensables, ils compensent bien largement cette lacune par leur enthousiasme; leur inconscience juvénile les autorise à se lancer dans des réalisations souvent difficiles ou pour le moins pleines d'embûches. Nous avons tous connu cette exaltation fiévreuse et enfin le plaisir de voir fonctionner tant bien que mal la première maquette ! Ce livre devrait donc combler tous nos jeunes lecteurs à l'affût de l'idée originale ou du dernier gadget à la mode, mais sans doute pas sous la forme habituellement pratiquée; il ne s'agit pas en effet d'un recueil de maquettes précises, loin s'en faut, mais plutôt d'une somme de montages de base et d'éléments simples que l'on trouve habituellement dans tous les montages électroniques.

L'association judicieuse de divers modules permettra de mener à bien toutes sortes de réalisations passionnantes. En somme, chacun pourra glaner à sa guise dans ces pages et trouvera sans nul doute la solution à bien des problèmes que l'on aimerait parfois résoudre à l'aide de la technologie électronique. Nous apprendrons ensemble à décomposer le sujet en éléments simples, puis nous choisirons le mode d'alimentation, le type de grandeur physique ou électrique à mesurer ou le mode de commande retenu. Il faudra également définir le type de visualisation choisi : Leds, afficheurs ou haut-parleurs; on pourra aussi commander un moteur ou une charge de puissance sur le secteur. Un simple coup d'œil à la table des matières vous en dira plus long que ces quelques lignes. Nous ne retiendrons que des schémas éprouvés et faisant appel à des composants généralement disponibles et d'un coût modeste. Avec les explications fournies, chacun pourra adapter le montage de base à sa propre convenance en modifiant la valeur de l'un ou l'autre des composants.

Chaque circuit proposé a été réalisé par l'auteur et vous trouverez, outre son schéma théorique et le tracé du cuivre, l'implantation des composants et la liste détaillée de ceux-ci.

À noter que cet ouvrage regroupe l'essentiel des deux volumes publiés précédemment sous le même titre. Toutes les plaquettes cuivrées sont normalisées, c'est-à-dire qu'elles correspondent à la taille européenne de 100 x 105 mm, ou à son multiple 75 x 100 mm.

Les progrès que vous ne manquerez pas de faire au long de ces pages vous inciteront sans doute à aller plus loin encore, mais à cet instant, vos connaissances seront suffisantes pour mener à bien seul vos expérimentations ou créations originales.

Notre but sera alors pleinement atteint.

TABLE DES MATIÈRES

CHAPITRE		PAGE
1	Alimentation	1
	1.1 Alimentation par transformateur	2
	1.2 Alimentation par condensateur	5
	1.3 Alimentation symétrique	7
	1.4 Régulateur de tension et d'intensité	8
	1.5 Alimentation à découpage	13
2	Fonctions logiques	17
	2.1 Principe	18
	2.2 Fonctions logiques de base	20
	2.3 Simulateur logique	21
	2.4 Universalité de la fonction NAND	25
	2.5 Registre à décalage	27
	2.6 Les mémoires électroniques	30
	2.7 Compléments (ROM + EPROM)	33
3	Les bascules	37
	3.1 Bascules astables	38
	3.2 Bascules monostables	46
	3.3 Bascules bistables	55
4	Le temps	69
	4.1 Compteur décimal de 0 à 99	70
	4.2 Compteur multiple codé « feux tricolores »	74
	4.3 Diviseur binaire à 12 étages	77
	4.4 Oscillateur + diviseurs	81
	4.5 Système de codage-décodage	84
5	Le comptage	91
	5.1 Le système décimal	92
	5.2 Le système binaire	93
	5.3 Double compteur BCD	95

	5.4	Compteur-décompteur 4029	97
	5.5	Double décade BCD	100
6		L'affichage	105
	6.1	Afficheur à 7 segments	107
	6.2	Double décade 4511	108
	6.3	Compléments : le système hexadécimal	112
	6.4	Chronomètre à 3 digits	114
	6.5	Afficheur à cristaux liquides	118
7		L'ampli-OP	123
	7.1	Générateur aléatoire	124
	7.2	Adaptateur thermométrique	128
	7.3	Sonomètre simplifié	130
	7.4	Servo-moteur	134
8		Les capteurs	141
	8.1	Capteur de bruit	143
	8.2	Capteur de température	146
	8.3	Détecteur de chocs	148
	8.4	Capteur d'humidité	152
	8.5	Détecteur de lumière	155
	8.6	Détecteur de liquide	157
	8.7	Émetteur à infrarouge	160
	8.8	Récepteur à infrarouge	164
	8.9	Capteur de mouvements	166
	8.10	Capteurs opto-électroniques	169
9		La puissance	171
	9.1	Commandes d'un relais et du sens d'un moteur	172
	9.2	Commande par tout ou rien d'un triac	175
	9.3	Convertisseur pour tube fluorescent	179
	9.4	Gradateur pour moteur à courant continu	182
10		Le son	187
	10.1	Grillon électronique	188
	10.2	Sirène modulée et gong à 3 notes	189
	10.3	Carillon programmable	194
	10.4	Décodeur de fréquence	194
	10.5	Mini-amplificateur BF	197

Brochages des circuits intégrés	201
Liste alphabétique des modules	205

1.1 Alimentation par transformateur	3
1.2 Alimentation par condensateur	5
1.3 Alimentation synchrone	7
1.4 Régulateur de tension à courant limité	9
1.5 Alimentation à découpage	13

2	Fonctions de base	17
3	Les boîtiers	25
4	Le triage	39
5	Le triage	41
6	Le découpage	105
7	Exemple en	123
8	Les logiciels	141
9	La programmation	171
10	Les logiciels	189

1 ALIMENTATION

1.1 Alimentation par transformateur	2
1.2 Alimentation par condensateur	5
1.3 Alimentation symétrique	7
1.4 Régulateur de tension et d'intensité	8
1.5 Alimentation à découpage	13

2	Fonctions logiques	17
3	Les bascules	37
4	Le temps	69
5	Le comptage	91
6	L'affichage	105
7	L'ampli-op	123
8	Les capteurs	141
9	La puissance	171
10	Le son	187

Pour animer un montage électronique, quel qu'il soit, il faut lui fournir l'indispensable énergie électrique dont il a besoin, qu'il va convertir et user selon la nature des composants employés. Une simple association de piles est conseillée dans le cas où une autonomie totale est requise; elles peuvent être avantageusement remplacées par une batterie d'accumulateurs de mêmes caractéristiques, plus économique à la longue. Pourtant, bon nombre de maquettes électroniques s'alimentent à partir du secteur pour une raison de simplicité ou quelquefois à cause de la puissance à fournir. Nous vous proposerons une cinquantaine de schémas particulièrement simples et capables de « nourrir » convenablement toutes les plaquettes proposées dans notre ouvrage. Citons simplement pour mémoire les quelques maquettes qui utilisent des cellules solaires en raison de leur faible puissance, et s'affranchissent ainsi de toute dépendance envers le secteur ou les piles. Cette solution très attrayante reste pourtant marginale en raison notamment du prix des cellules solaires, souvent plus onéreuses que le dispositif à alimenter.

1.1 ALIMENTATION PAR TRANSFORMATEUR

C'est la solution quasi générale adoptée pour toutes les maquettes fonctionnant directement sur le secteur délivré par EDF. Cette basse tension de 220 V, disponible sur chaque prise de courant domestique, doit tout d'abord être réduite à une valeur raisonnable au moyen d'un petit transformateur de type 220 V au primaire, avec un secondaire de 2×6 V ou 1×12 V. Nous signalons tout de suite à nos lecteurs que l'un ou l'autre des modèles sera accepté par le circuit imprimé de la plaquette en question. Nous avons limité pour notre part la puissance de cet élément à une valeur de l'ordre de 2,2 VA, bien suffisante pour la plupart des montages à alimenter. Le schéma proposé sur la figure 1.1 reste toutefois valable pour un transformateur jusqu'à 10 VA environ. À de rares exceptions, les appareils et montages électroniques nécessitent une alimentation continue pour fonctionner correctement. Nous allons donc faire appel à un classique pont de Graetz constitué par 4 diodes de la série 1N 4001. On nous reprochera peut-être de n'avoir pas fait appel à un pont moulé du commerce, mais il nous a semblé plus pédagogique de construire cet élément essentiel de notre section alimentation avec les diodes D_1 à D_4 . Le condensateur chimique C_1 assure un premier et efficace filtrage de la tension redressée en double alternance.

Le circuit intégré 7805, régulateur intégré positif sous boîtier TO 220 (comme les triacs), est chargé de réguler la tension de sortie, avec une limitation de l'intensité à environ 1 A, valeur

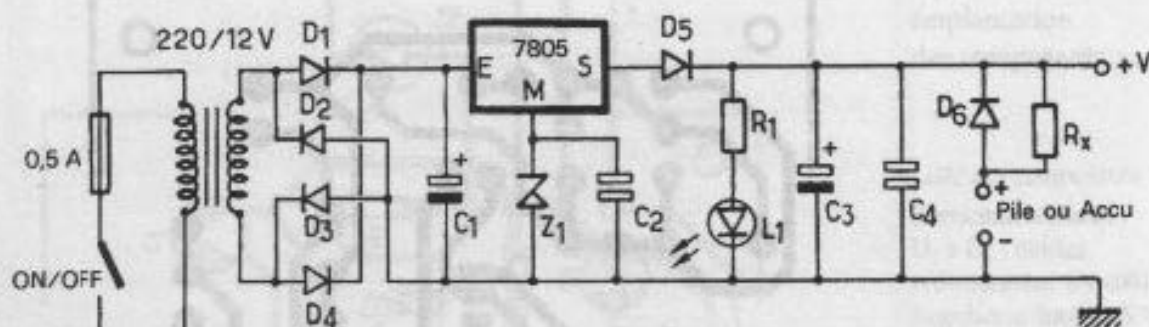


Figure 1.1.
Schéma
de l'alimentation
par transformateur.

confortable par rapport à nos modestes besoins. La diode Zener Z_1 , en série sur sa broche de masse centrale, augmente de sa valeur nominale la tension de 5 V que devait délivrer notre régulateur. Cette astuce permettra à chacun d'obtenir la tension de sortie de son choix, simplement en modifiant la valeur de la diode Zener. Une sortie de 5 V se traduira par un simple strap en lieu et place de Z_1 , ou mieux par une diode ordinaire destinée à compenser par sa chute de tension de 0,6 V celle introduite par la diode D_5 montée en sortie, et assurant une fonction anti-retour.

On trouve également à cet endroit la diode témoin L_1 et sa résistance de limitation R_1 ; son montage reste facultatif. Sachez que pour les diodes Leds rouges et orange une tension de 1,8 V sera souhaitable alors que les vertes et jaunes nécessitent une tension de 2,5 V. Quant à la consommation, une valeur de 20 à 25 mA par Led semble correcte. Pour le reste, on appliquera la loi d'Ohm :

$$R_{\text{limit}} = \frac{U_{\text{alim}} - U_{\text{led}}}{I_{\text{led}}}$$

Mais rassurez-vous, nous ne vous assommerons pas souvent de formules savantes et un minimum de réflexion vous sortira bien souvent de l'embarras.

Revenons au schéma qui nous intéresse; les condensateurs C_3 et C_4 achèvent le filtrage de la tension régulée notée +V.

Si on désire réaliser une alimentation secourue, il va falloir faire appel à une association de piles ou encore à un bloc d'accumulateurs au cadmium-nickel. Veillez à obtenir une tension de secours légèrement inférieure à celle délivrée par le secteur, en tenant compte à chaque fois d'une chute de tension dans la diode D_6 de l'ordre de 0,6 V. Dans le cas d'un bloc rechargeable, dont chaque élément délivre 1,2 V seulement, rappelons-le, il faut assurer la

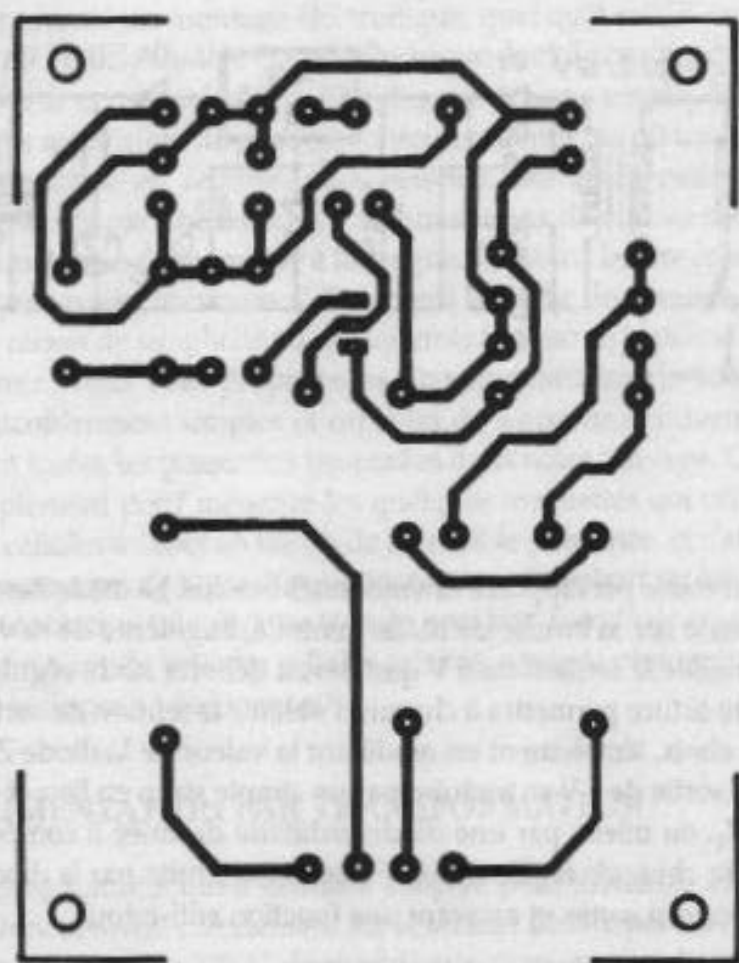


Figure 1.2.
Circuit imprimé
de l'alimentation
par transformateur.

charge permanente à l'aide d'une résistance de limitation notée R_x et qu'il ne faut monter que dans ce cas. Il faudra déterminer l'intensité de charge permanente conseillée pour les accumulateurs choisis. Elle pourra se déduire à l'aide de la loi d'Ohm (encore elle), en mesurant simplement la chute de tension aux bornes R_x . Dans tous les cas, il faut scrupuleusement respecter les polarités de la source de substitution.

Et voilà notre premier module qui pourra donner vie à tous les autres composants de notre ouvrage. Vous trouverez le tracé du cuivre et l'implantation des composants sur les figures 1.2 et 1.3. La réalisation des circuits imprimés est décrite dans bon nombre de revues spécialisées et il vous appartient de mener à bien cette opération importante, soit à l'aide de pastilles spéciales et de bandes, soit plus simplement au moyen d'une quelconque méthode photographique. Les plus courageux pourront même se risquer à reporter le tracé des pistes sur le cuivre à l'aide d'un stylo spécial, du moins lorsque le peu de complexité du dessin le permettra.

L'usage du verre époxy reste conseillé en raison de son excellente rigidité et de sa relative transparence, qualité très précieuse en

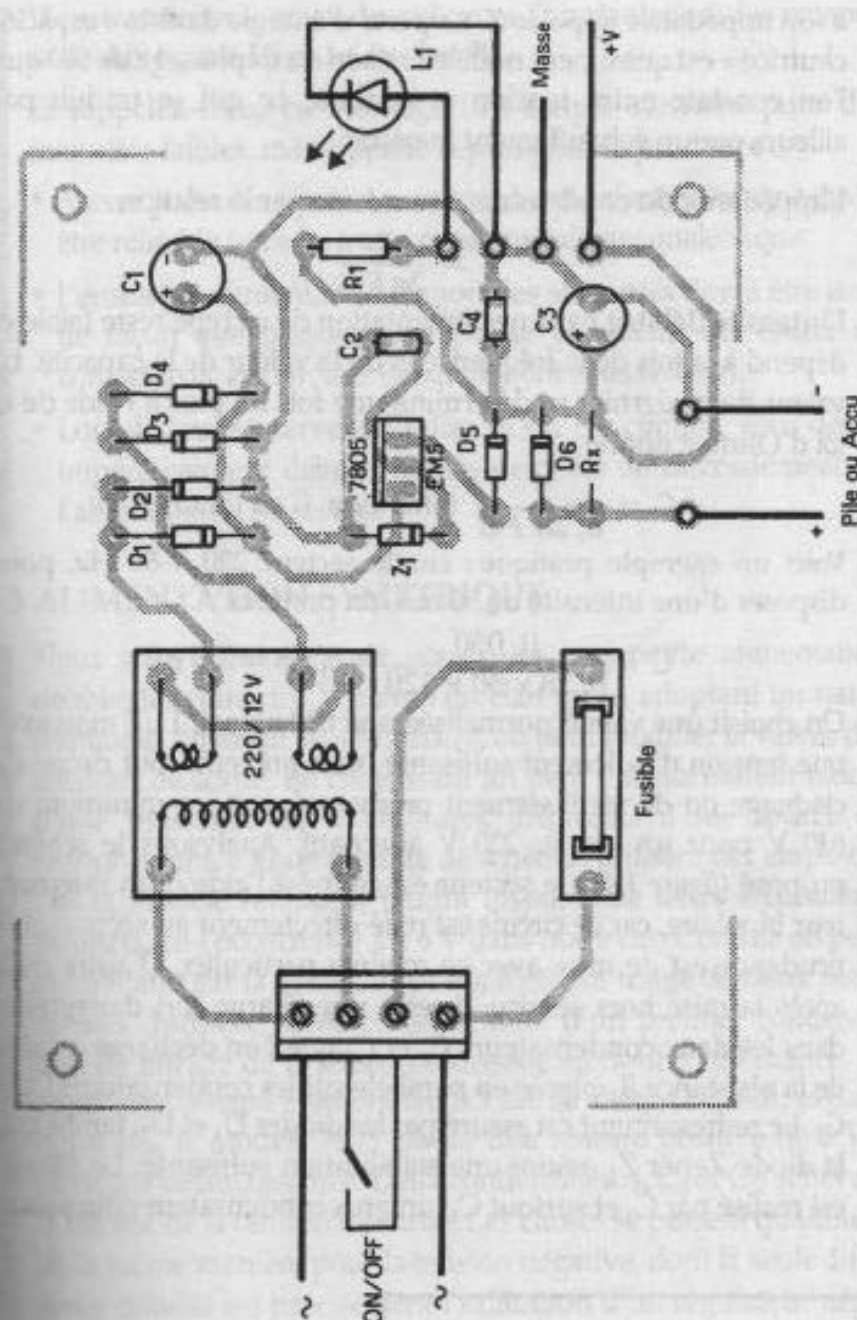


Figure 1.3.
Implantation
des composants.

Liste des composants

Semiconducteurs :

D₁ à D₆ : diodes
redressement 1N 4004
Régulateur intégré 5 V
positif 7805
Z₁ : diode Zener 5,6 V
(voir texte)
L₁ : diode Led rouge
Ø 5 mm

Résistances 1/4 W :

R₁ : 390 Ω
R_x : résistance de charge
selon accu (voir texte)

Condensateurs :

C₁ : chimique vertical
220 µF / 25 V
C₂ : plastique 470 nF
C₃ : chimique vertical
100 µF / 25 V
C₄ : plastique 100 nF

Divers :

Bloc de 4 bornes vissé-
soudé au pas de 5 mm
Transformateur à picots
MONACOP 2,2 VA
- 220 / 2 × 6 ou 1 × 12 V
Support porte-fusible
+ cartouche sous verre
5 × 20 × 0,5 A
Coupleur pression
pour pile 9 V
Inter unipolaire

cas de dépannage éventuel. Les diverses liaisons vers l'extérieur se réaliseront à l'aide de bornes à visser pour les points reliés au secteur et sur des picots à souder pour les autres points.

1.2 ALIMENTATION PAR CONDENSATEUR

Il n'est pas toujours obligatoire de passer par un transformateur pour obtenir une réduction de la tension alternative. Nous écartons la résistance chutrice qui dissipe une chaleur non négligeable et nous tournons simplement vers le condensateur. En alternatif, un élément diélectrique se laisse traverser par un courant, ce qui provoque à ses bornes une chute de tension grâce

à son impédance appelée Z . La perte d'énergie dans la « capacité chutrice » est quasiment nulle en raison du déphasage de 90° que l'on constate entre tension et courant, ce qui se traduit par ailleurs par un échauffement inexistant.

L'impédance du condensateur se calcule par la relation :

$$Z = \frac{1}{2\pi FC}$$

L'intensité débitée par une alimentation de ce type reste faible et dépend à la fois de la fréquence et de la valeur de la capacité. La valeur de ce dernier se détermine une fois de plus à l'aide de la loi d'Ohm et donne :

$$C = \frac{I}{6,28 FU} \quad (\text{attention, } C \text{ en farads})$$

Voici un exemple pratique : sur le secteur 220 V-50 Hz, pour disposer d'une intensité de 50 mA, on prendra :

$$C = \frac{0,050}{6,28 \times 50 \times 220} = 0,723 = 723 \text{ nF}$$

On choisit une valeur normalisée, soit 680 nF, soit 1 μF , mais avec une tension d'isolement suffisante pour prévenir tout risque de claquage ou de vieillissement prématuré, soit un minimum de 630 V pour un réseau 220 V alternatif. Analysons le schéma proposé (figure 1.4) : le secteur est coupé à l'aide d'un interrupteur bipolaire, car ce circuit est relié directement au secteur et la prudence est de mise avec ce schéma particulier. D'autre part, après la mise hors service, il reste une charge fort dangereuse dans les deux condensateurs C_1 et C_2 que l'on décharge à l'aide de la résistance R_1 placée en parallèle sur les condensateurs C_1 et C_2 . Le redressement est assuré par les diodes D_1 et D_2 , tandis que la diode Zener Z_1 assure une stabilisation suffisante. Le filtrage est réalisé par C_3 et surtout C_4 , un gros condensateur chimique.

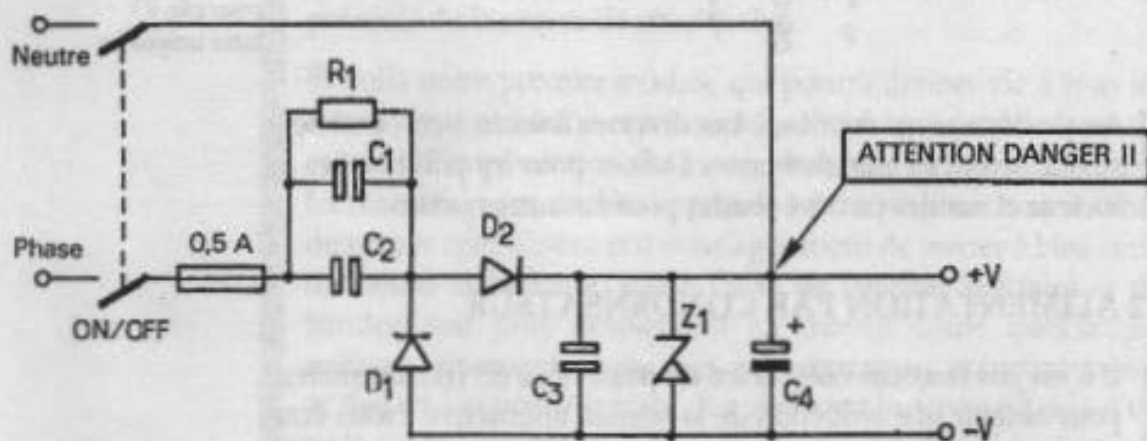


Figure 1.4.
Schéma
de l'alimentation
par condensateur.



Vous trouverez le tracé du cuivre et l'implantation des composants aux figures 1.5 et 1.6 (p. 8 et 9).

Et rappelez-vous, ce montage fort simple convient pour des intensités faibles, mais appelle la plus grande prudence :

- Aucun point des circuits raccordés à cette alimentation ne devra être relié à la terre ou à une masse métallique quelconque.
- L'ensemble alimentation et modules alimentés devra être isolé de façon que personne ne puisse en aucun cas entrer en contact avec ces circuits lorsqu'ils sont sous tension.
- Lors de toute intervention directe sur ces circuits, vous devez impérativement débrancher les deux fils de raccordement de l'alimentation au secteur.

1.3 ALIMENTATION SYMÉTRIQUE

Nous vous proposons de construire une petite alimentation double délivrant ± 5 V, mais il est clair qu'en adoptant un transformateur différent au secondaire, on peut modifier la valeur des tensions de sortie. En choisissant un petit transformateur moulé d'une puissance de 2 VA, nous disposons d'une source de tension adaptée à bon nombre de schémas utilisant des ampli-op. Sur le modèle retenu, il faudra disposer de deux secondaires distincts, en l'occurrence 2×6 V dans notre cas. Comme on peut le constater sur la figure 1.7 (p. 10), il est fait usage de deux ponts moulés distincts, suivis classiquement d'un premier condensateur de filtrage de la tension redressée en double alternance. Le régulateur intégré sous boîtier TO 220 se charge de tout, et dans notre cas, le modèle 7805 assure une tension positive de 5 V à quelques décimales près. Deux condensateurs, C_3 et C_5 , achèvent le filtrage de la tension de sortie. Les choses se passent quasiment de la même manière pour la tension négative, dont la seule différence notable est précisément l'utilisation d'un régulateur négatif, un modèle repéré 7905.

À noter que son brochage est identique, mais cette fois-ci on considère que l'entrée est le pôle négatif du pont de diodes, ce qui après tout est assez logique, non ? Notre alimentation est pour l'instant double seulement; pour devenir symétrique, il nous faut réunir la masse du 7805 avec la tension positive du régulateur négatif. Nous avons prévu sur la plaquette cuivrée deux picots permettant d'effectuer cette liaison importante, représentant le point milieu de la source symétrique. Une tension de 10 V est naturellement disponible entre les bornes extrêmes de ce module. Le tracé du cuivre est donné à la figure 1.8 (p. 10) tandis que la mise en place des composants se fera sans mal à l'aide des indications de la figure 1.9 (p. 11).

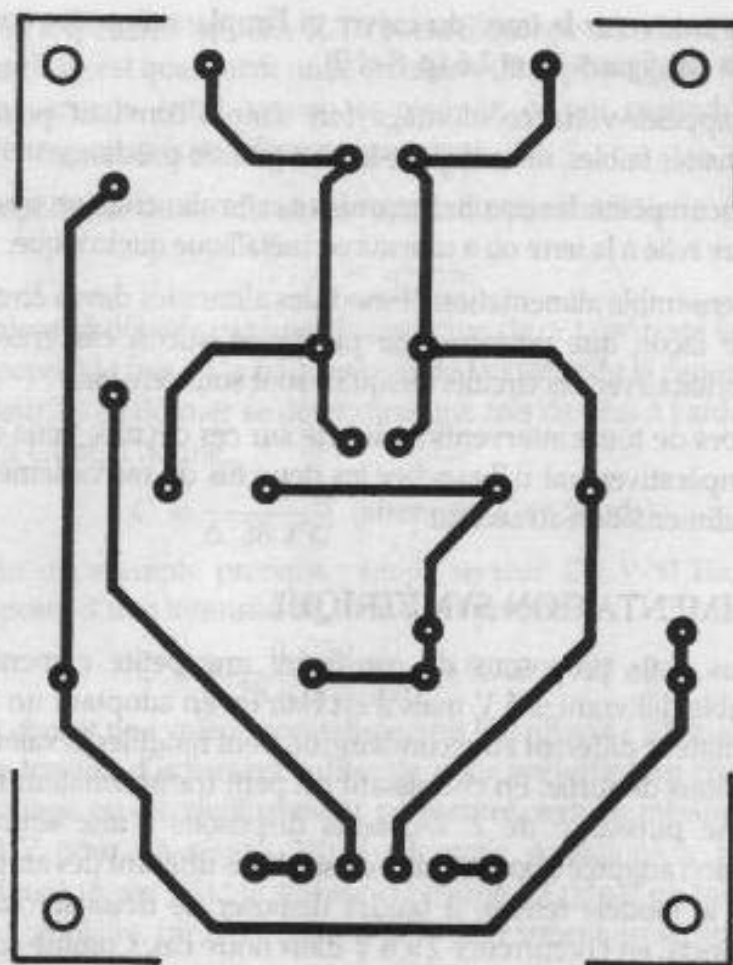


Figure 1.5.
Circuit imprimé
de l'alimentation
par condensateur.

Nous ne donnons pas ici de consignes particulières pour réaliser le circuit imprimé, chacun pouvant agir à sa guise. Il est toutefois évident que la méthode photographique est le gage d'un circuit parfaitement fiable et surtout facilement reproductible. Le verre époxy reste conseillé en raison de son excellente rigidité et pour sa relative transparence, qualité évidemment précieuse en cas de dépannage éventuel. Pour en terminer avec ce module, sachez encore qu'un échauffement normal est perceptible sur la languette métallique des régulateurs intégrés; par ailleurs, si cette température atteint une valeur excessive, la protection interne du circuit agit et coupe le courant de sortie jusqu'à le faire tomber à une valeur négligeable.

1.4 RÉGULATEUR DE TENSION ET D'INTENSITÉ

Pour compléter les divers schémas d'alimentations déjà proposés, et pour obtenir en particulier une limitation du courant débité, il nous a semblé utile de faire appel au fameux régulateur L 200, qui ressemble à un transistor de puissance avec toutefois 5 « pattes », ce qui laisse présager des possibilités supplémentaires.

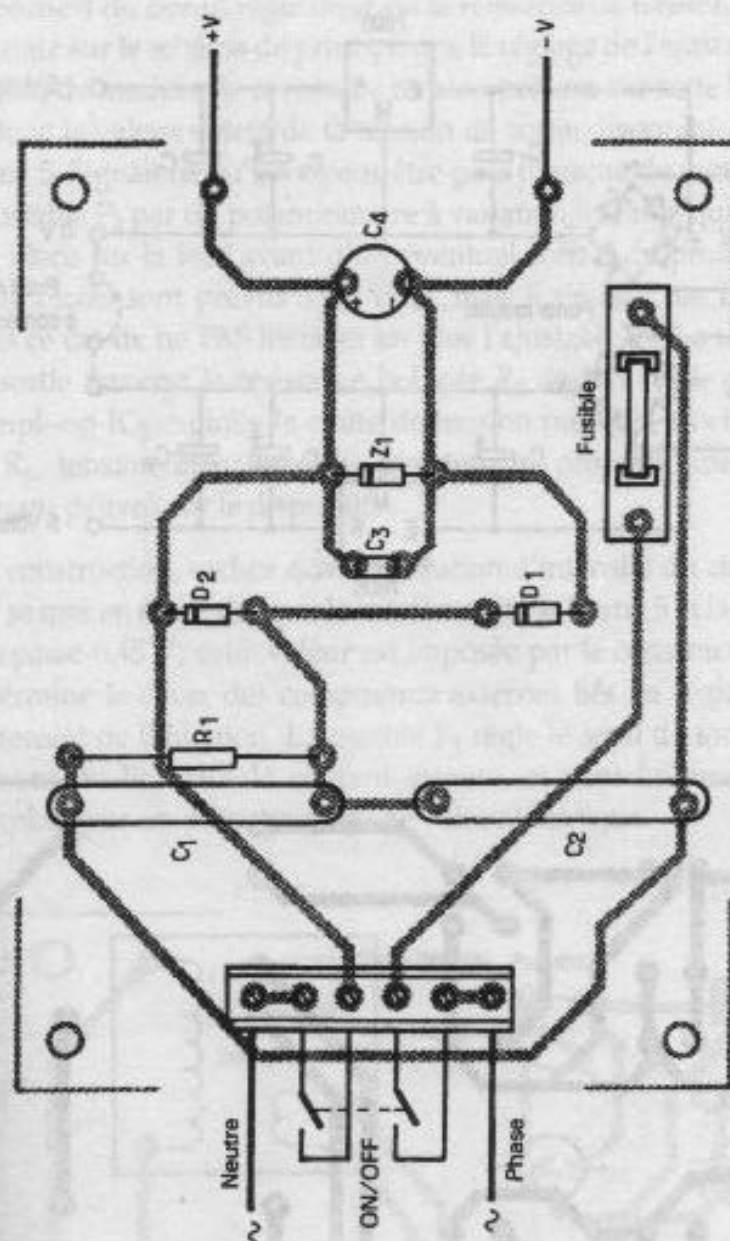


Figure 1.6.
Implantation
des composants.

Liste des composants

Semiconducteurs :

D_1, D_2 : diodes
redressement 1N 4007
 Z_1 : diode Zener 10 V
(voir texte)

Résistance 1/4 W :

R_1 : 1 M Ω

Condensateurs :

C_1, C_2 : condensateurs
non polarisés 0,47
à 1 μ F/630 V impératif
 C_3 : plastique 100 nF
 C_4 : chimique vertical
1 000 à 2 200 μ F/25 V

Divers :

Bloc de 6 bornes vissé-
soudé au pas de 5 mm
Support porte-fusible
+ cartouche sous verre
5 \times 20/0,5 A
Interrupteur à coupure
bipolaire

En effet, ce circuit complexe permettra également de faire varier la valeur de la tension de sortie. Il ne craint donc ni un court-circuit permanent sur sa sortie, ni une surcharge thermique quelconque. Sa réponse à de telles situations est simple : il se met « à genoux » instantanément, supprimant ainsi toute surcharge indésirable.

Notre schéma est donné à la figure 1.10 (p. 12); il est destiné à compléter un bloc d'alimentation délivrant une tension redressée suffisamment élevée. La tension de sortie du L 200 se situe entre 3 et 24 V environ, ce qui est déjà relativement confortable. Quant à l'intensité, on peut espérer atteindre 2 A en dotant le boîtier d'un dissipateur convenable.

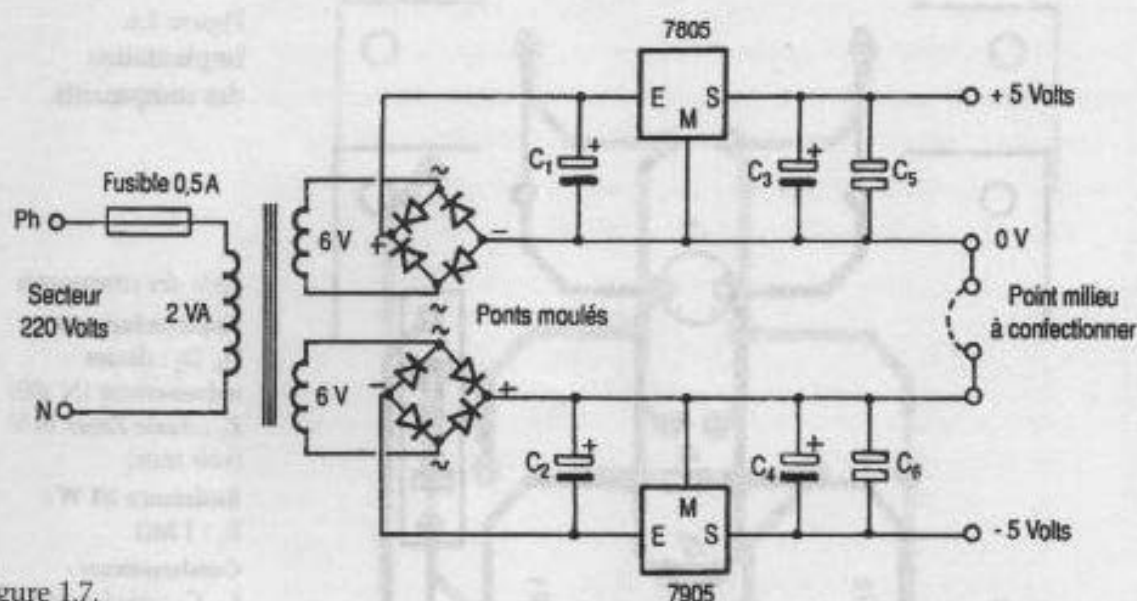


Figure 1.7.
Alimentation
symétrique ± 5 V.

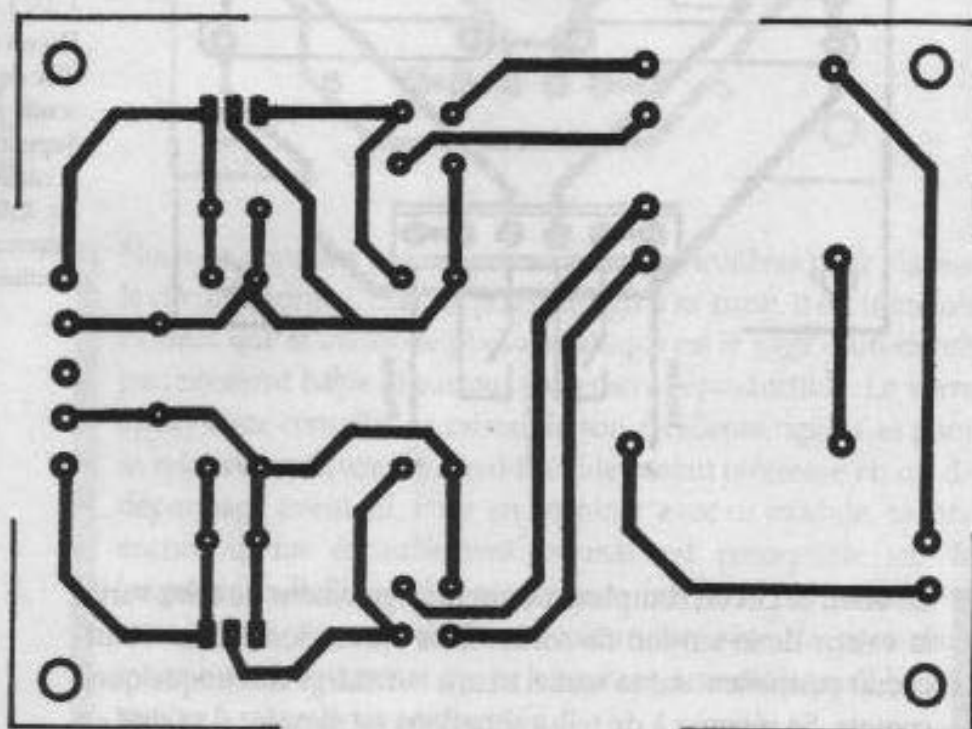


Figure 1.8.
Circuit
imprimé de
l'alimentation
symétrique.

Liste des composants

Semiconducteurs :

2 ponts moulés cylindriques

Régulateur intégré 5 V positif 7805 boîtier TO 220

Régulateur intégré 5 V négatif 7905 boîtier TO 220

Condensateurs :

C_1, C_2 : chimique vertical 470 μ F/25 V

C_3, C_4 : chimique vertical 47 μ F/25 V

C_5, C_6 : plastique 22 nF

Divers :

Transformateur moulé à picots 220/2 \times 6 V

puissance 2 VA

Support porte-fusible à picots cartouche verre

5 \times 20/0,5 A

Bloc de 2 et 5 bornes vissé-soudé pas de 5 mm

Picots à souder

La borne 4 du circuit régulateur est la référence de tension, et on constate sur le schéma de principe que le réglage de l'ajustable P_2 permet de modifier le niveau de tension présent sur cette borne, et donc la valeur exacte de la tension de sortie disponible sur la borne 5. Signalons qu'il est peut-être plus pratique de remplacer l'ajustable P_2 par un potentiomètre à variation linéaire, qui prendra place sur la face avant d'un éventuel coffret de protection. Deux picots sont prévus à cet effet, mais il ne faut pas oublier dans ce cas de ne PAS installer en plus l'ajustable P_2 . La tension de sortie traverse la résistance bobinée R_5 de très faible valeur. L'ampli-op IC_2 exploite la chute de tension mesurée aux bornes de R_5 , tension bien entendu directement proportionnelle au courant délivré par le dispositif.

Par construction, sachez que la limitation d'intensité du circuit L 200 se met en route dès que la tension entre la borne 5 et la borne 2 dépasse 0,45 V; cette valeur est imposée par le constructeur et détermine le choix des composants externes liés au réglage de l'intensité de limitation. L'ajustable P_1 règle le seuil de fonctionnement du limiteur de courant interne, et peut lui aussi être remplacé par un potentiomètre de valeur identique.

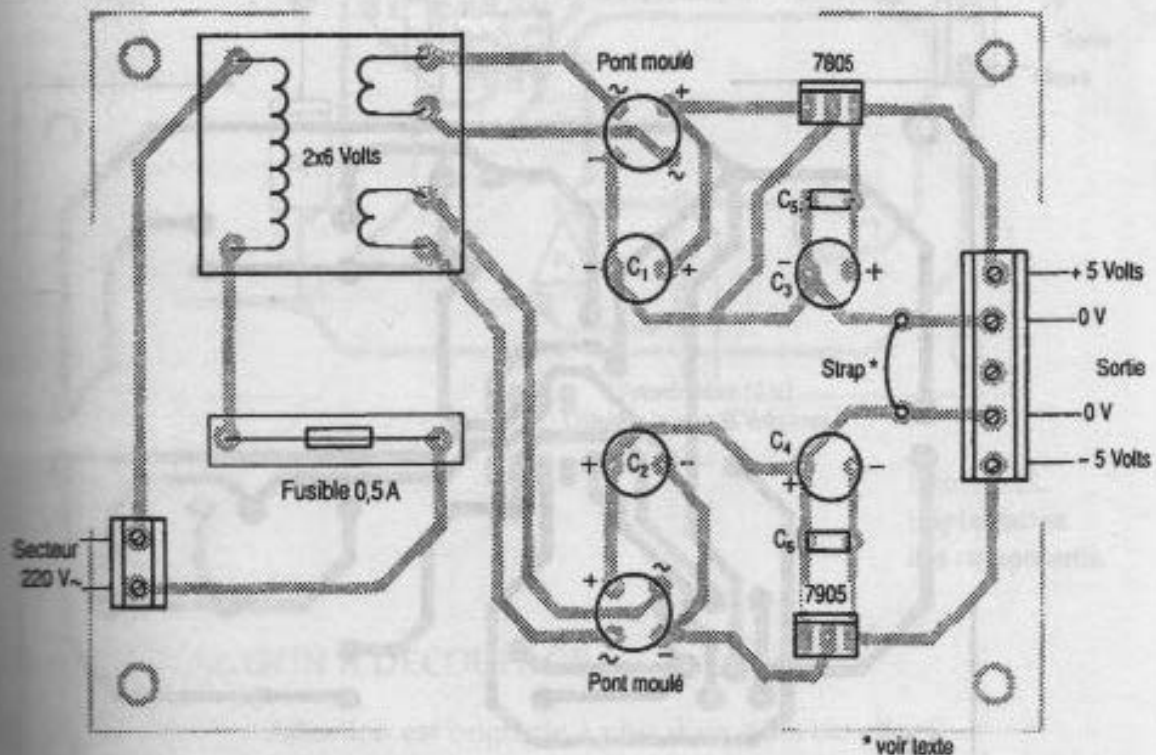


Figure 1.9.
Implantation
des composants.

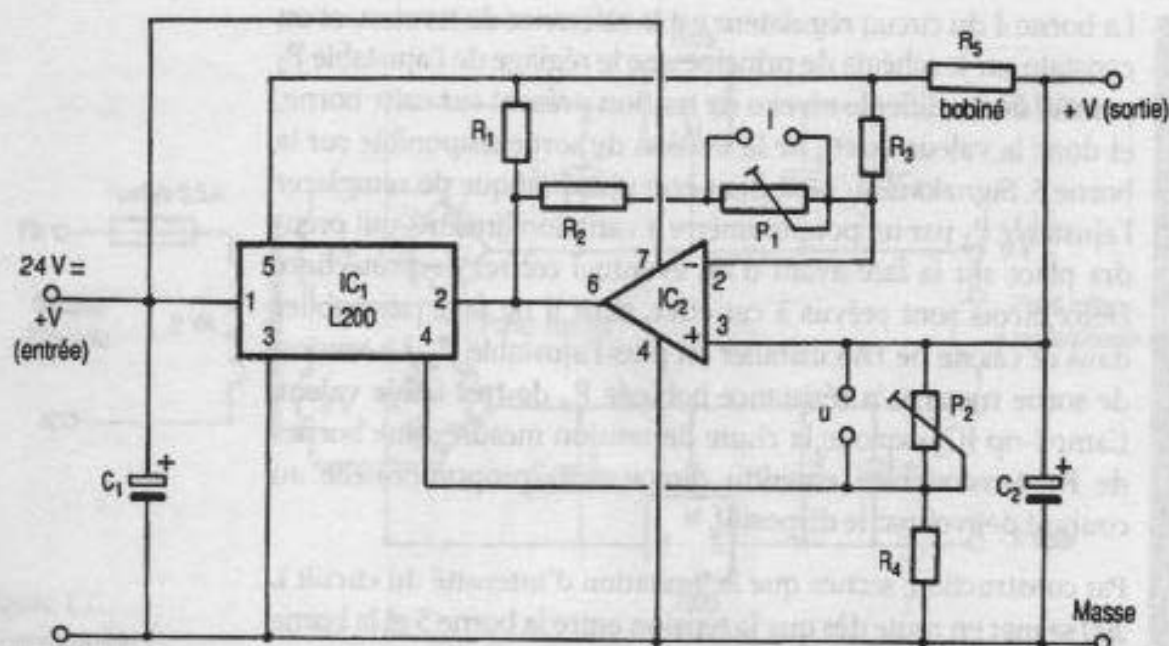


Figure 1.10.
Schéma
du régulateur.

Les figures 1.11 et 1.12 permettront de confectionner sans peine cet ensemble fort utile pour la mise en œuvre d'une alimentation stabilisée réglable digne de ce nom. Vous avez bien noté que ce circuit ne peut que réduire une tension appliquée sur son entrée,

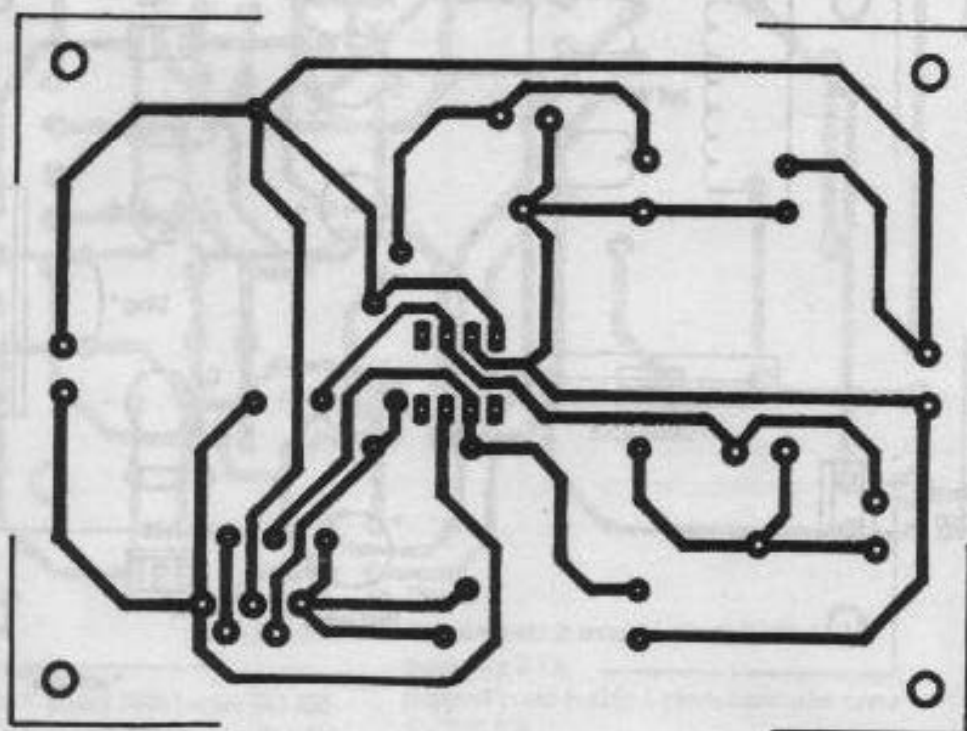


Figure 1.11.
Circuit imprimé
du régulateur.

et ne pourra en aucune manière élever une tension trop faible. Une légère chute de tension est à noter dans le cas où le dispositif de limitation seul est utilisé.

Liste des composants

Semiconducteurs :

IC₁ : régulateur 5 broches L 200

IC₂ : ampli-op 741 boîtier DIL 8

Résistances 1/4 W :

R₁, R₄ : 1 k Ω

R₂ : 390 Ω

R₃ : 470 Ω

R₅ : bobiné 3 W 0,1 Ω

P₁ : ajustable 100 k Ω horizontal

P₂ : ajustable 10 k Ω horizontal ou potentiomètres de même valeur + boutons

Condensateurs :

C₁ : chimique horizontal 470 μ F/25 V

C₂ : chimique vertical 47 μ F/63 V

Divers :

2 blocs de 2 bornes vissé-soudé pas de 5,08 mm

Support à souder 8 broches

Dissipateur clipsable pour L200

Picots à souder

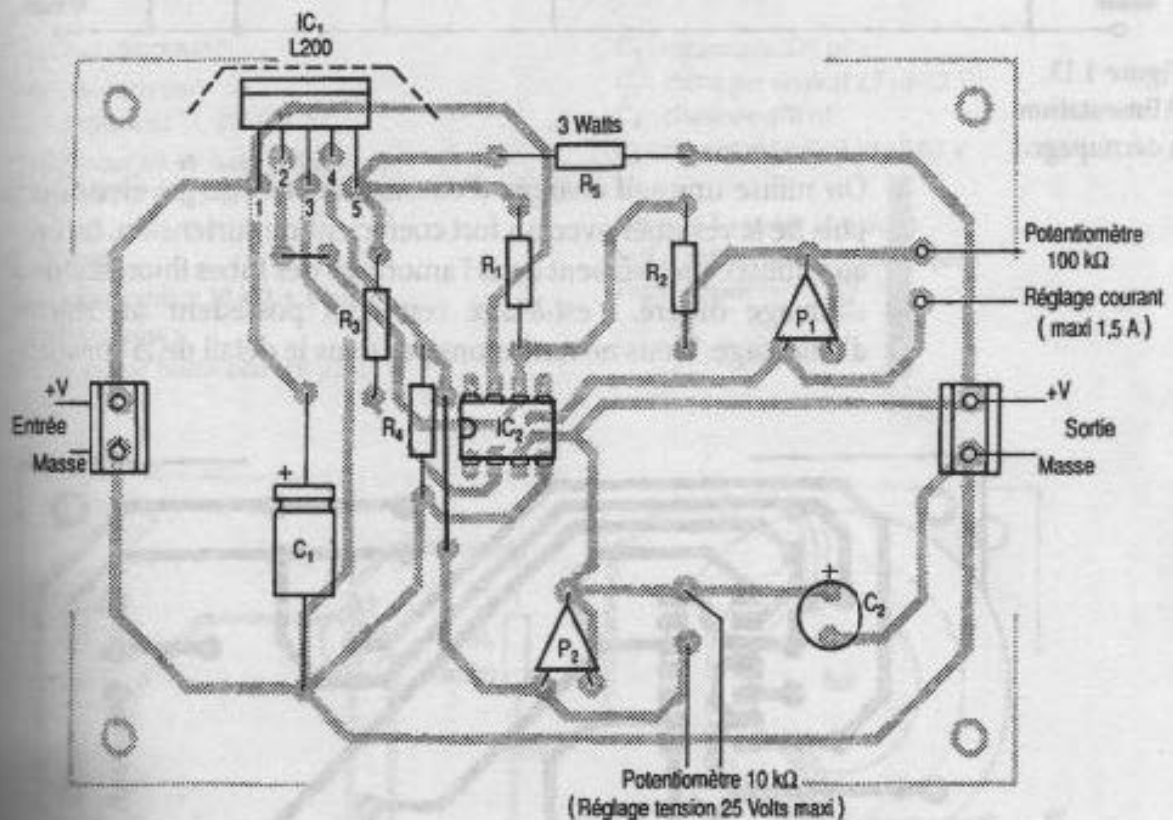


Figure 1.12.
Implantation
des composants.

1.5 ALIMENTATION À DÉCOUPAGE

Cette dernière réalisation est originale à plus d'un titre, car elle assure l'élévation d'une tension continue, avec un rendement supérieur à celui des dispositifs faisant appel à un régulateur shunt ou série. Bon nombre d'appareils électroniques modernes utilisent cette technique du découpage dans leur section alimentation. De quoi s'agit-il en fait ?

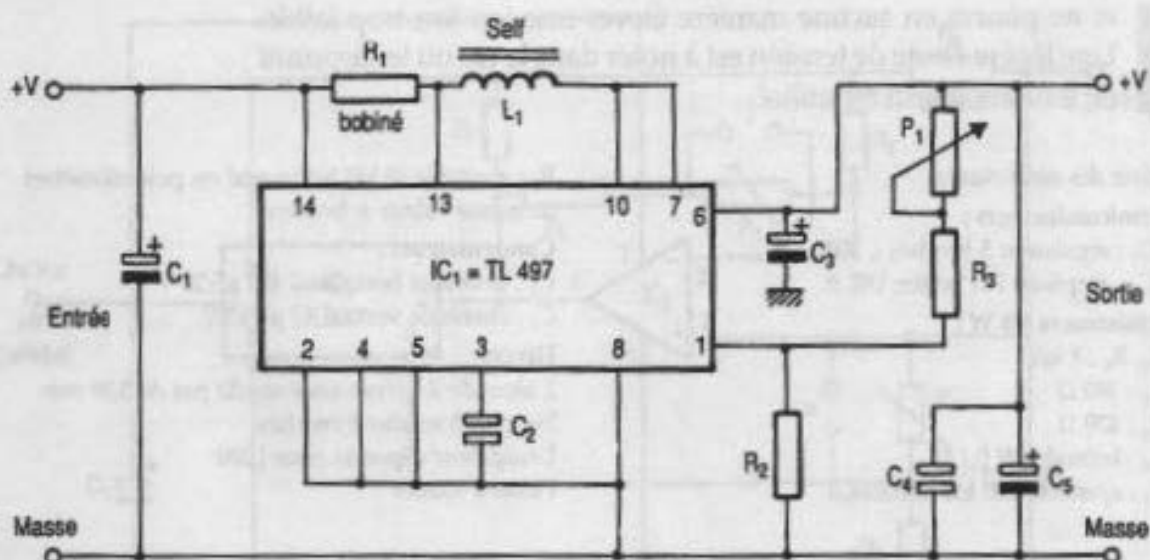


Figure 1.13.
Alimentation
à découpage.

On utilise une self chargée d'emmagasiner l'énergie électrique, puis de la restituer avec un fort coefficient de surtension, technique utilisée précisément dans l'amorçage des tubes fluorescents à allumage différé, c'est-à-dire ceux qui possèdent un starter d'amorçage. Nous ne rentrerons pas dans le détail de la constitu-

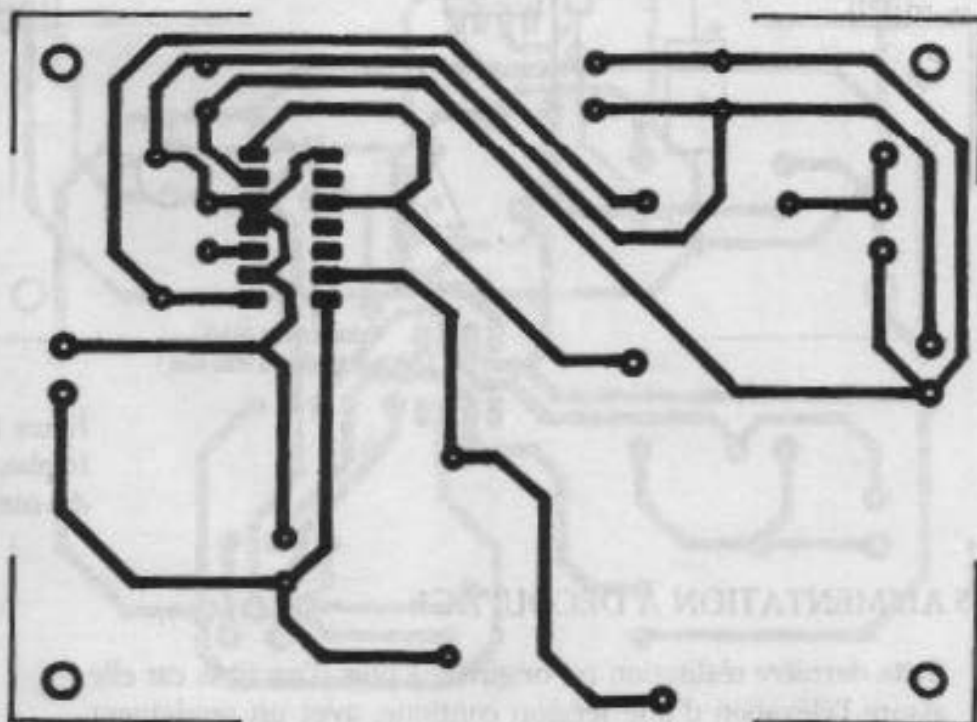


Figure 1.14.
Circuit imprimé
de l'alimentation
de découpage.

tion interne d'un régulateur à découpage, mais il faut savoir tout de même que dans un premier temps, la tension d'alimentation primaire est appliquée par un transistor sur la bobine extérieure; l'intensité maximale dans cette bobine est limitée à une valeur raisonnable par la résistance R_1 de faible valeur (voir figure 1.13).

Dans un second temps, l'énergie accumulée est stockée dans un condensateur à travers une diode de roue libre. En fait, ce cycle est très bref et on parle ici de la fréquence de découpage qui peut atteindre quelques dizaines de kilohertz. Le petit condensateur céramique C_2 fixe la durée totale du cycle charge-décharge. Le point diviseur $P_1 + R_3$ et R_2 permet de fixer la valeur exacte de la

Liste des composants

Semiconducteurs :

IC₁ : régulateur TL 497 DIL 14

Résistances 1/4 W (sauf indication) :

R_1 : bobine 3 W 1,5 Ω

R_2 : 1 k Ω

R_3 : 10 k Ω

P_1 : potentiomètre 10 k Ω + boutons

Condensateurs :

C_1 : chimique horizontal 100 μ F/63 V

C_2 : céramique 220 pF

C_3 : chimique vertical 47 μ F/63 V

C_4 : classique 470 nF

C_5 : chimique vertical 10 μ F/63 V

Divers :

Support à souder 14 broches

Self d'antiparasitage quelconque

Picots à souder

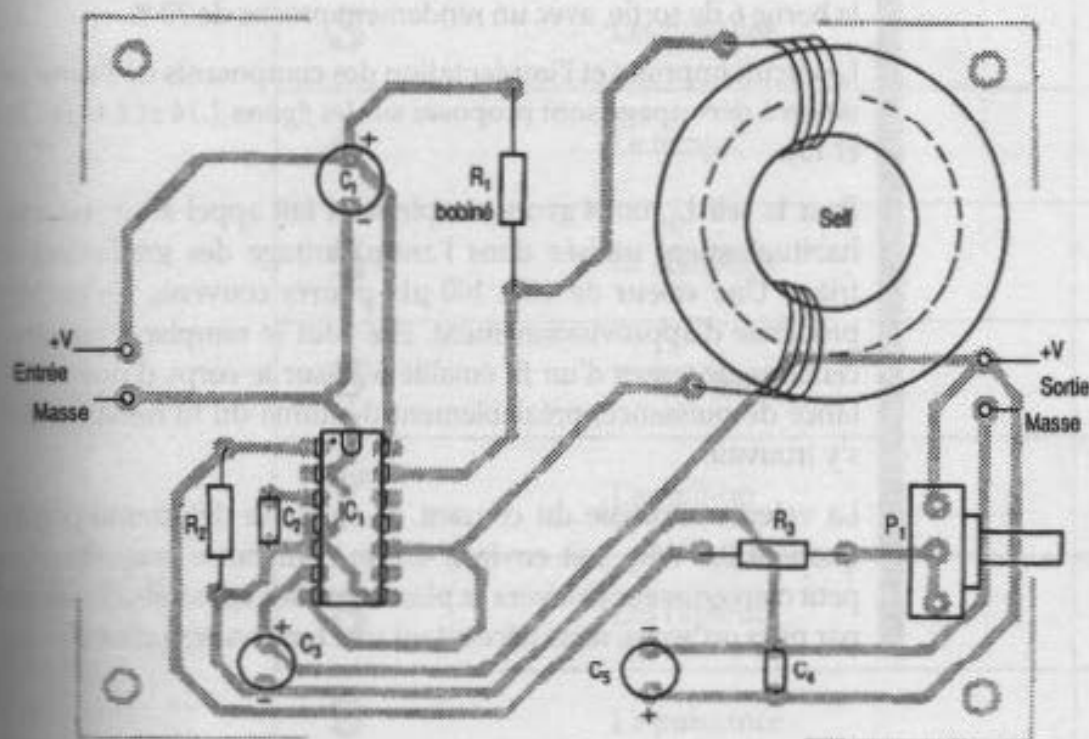
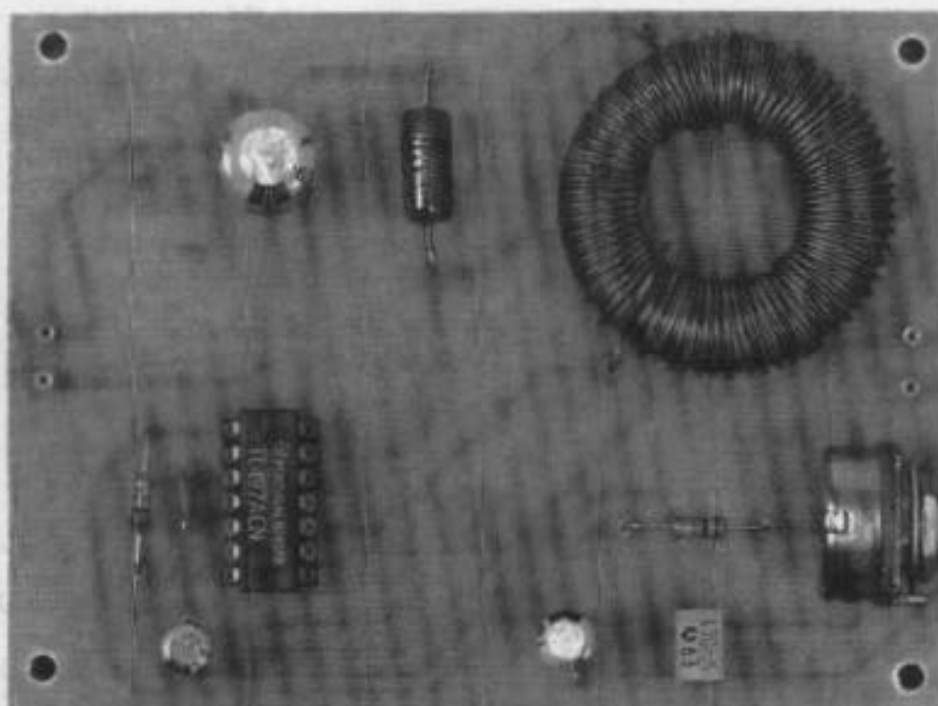


Figure 1.15.
Implantation
des composants.

Vue
de l'alimentation
de découpage.



tension de sortie, au moyen d'un comparateur interne accessible sur la borne 1 du circuit intégré TL 497. La consommation à vide d'un tel montage est très modeste et l'intensité maximale en sortie peut atteindre plusieurs centaines de milliampères. À partir d'une tension de quelques volts seulement, on peut obtenir 18 à 24 V sur la borne 6 de sortie, avec un rendement proche de 70 %.

Le circuit imprimé et l'implantation des composants de l'alimentation à découpage sont proposés sur les figures 1.14 et 1.15 (p. 14 et 15).

Pour la self L_1 , nous avons simplement fait appel à une bobine habituellement utilisée dans l'antiparasitage des gradateurs à triacs. Une valeur de 40 à 100 μH pourra convenir. En cas de problème d'approvisionnement, elle peut se remplacer par une centaine de spires d'un fil émaillé 5/10 sur le corps d'une résistance de puissance, préalablement démunie du fil résistant qui s'y trouvait.

La valeur maximale du courant de sortie se détermine par le quotient $0,6 \text{ V}/R_1$, soit environ 400 mA sur notre maquette. Ce petit convertisseur trouvera sa place dans des appareils alimentés par piles ou accus, mais nécessitant une tension bien plus élevée.

2 FONCTIONS LOGIQUES

2.1 Principe	18
2.2 Fonctions logiques de base	20
2.3 Simulateur logique	21
2.4 Universalité de la fonction NAND	25
2.5 Registre à décalage	27
2.6 Les mémoires électroniques	30
2.7 Compléments	33

3	Les bascules	37
4	Le temps	69
5	Le comptage	91
6	L'affichage	105
7	L'ampli-op	123
8	Les capteurs	141
9	La puissance	171
10	Le son	187

De nos jours, rares sont les appareils électroniques qui ne font pas appel aux circuits intégrés digitaux encore appelés circuits logiques. Il ne vous sera donc pas permis d'ignorer les bases de l'algèbre de Boole, une branche bien particulière des mathématiques. Rassurez-vous, nous n'allons pas vous faire un cours sur la théorie des ensembles, bien que cette discipline soit une autre manière de formuler les principes fondamentaux de cette science dite logique et si universellement utilisée aujourd'hui. Citons l'informatique, les multiples robots de l'industrie, les automates programmables et plus modestement les nombreux petits montages électroniques que publient les revues de vulgarisation ou encore tous ceux que vous allez découvrir avec nous dans les pages de cet ouvrage. George Boole, un génial mathématicien anglais, énonça, il y a plus d'un siècle déjà, les principes essentiels de ce mode de réflexion si particulier, où une proposition doit être vraie ou fausse sans aucune ambiguïté.

2.1 PRINCIPE

Dans l'algèbre de Boole que l'on appelle parfois notation binaire, une variable ne peut avoir que deux états et deux seulement, qui s'excluent mutuellement et sont de ce fait complémentaires :

Une porte est ouverte ou fermée.

ou encore

Une Led est allumée ou éteinte.

Nous dirons habituellement qu'une variable peut prendre soit l'état 1, soit l'état 0. Plus précisément, une situation vraie sera notée 1 et son contraire 0. Pour nous, dans les divers montages électroniques, la présence d'un niveau de tension proche du plus de l'alimentation (+ V) sera assimilée à l'état 1 ou niveau logique haut. L'absence de tension, donc un niveau proche de 0 V ou du potentiel de masse, sera notre niveau 0 ou état logique bas. Selon la technologie choisie, TTL ou C/MOS, les seuils haut et bas sont clairement définis en pourcentage par rapport à la tension d'alimentation. Entre les deux zones existe une plage non définie ou indéterminée, qu'il convient d'éviter pour n'avoir à prendre en compte que deux états bien distincts sans risque de confusion.

Une fonction ou porte logique est un ensemble de composants électroniques quelquefois relativement complexe et présenté sous la forme caractéristique d'un banal circuit intégré. Comment fonctionne une porte logique ? Selon les niveaux logiques appliqués sur ses entrées, elle délivre un niveau logique sur sa sortie, en fonction de règles immuables et... logiques, que nous allons tenter de découvrir ensemble. On ne sera pas étonné d'apprendre qu'une fonction logique possède un symbole normalisé,

toutefois différent en France et aux États-Unis. Elle se distingue aussi des autres fonctions logiques par sa propre table de vérité qui regroupe dans un petit tableau les différentes combinaisons des entrées et de la sortie. Nous présentons dans le *tableau 2.1* un récapitulatif des principales portes logiques et de leurs caractéristiques principales, un aide-mémoire très précieux en somme.

Symboles		Equations	Table de vérité	Graphique des états	Schéma électrique équivalent															
USA	France																			
AND	ET	$S = A \cdot B$	<table><tr><th>A</th><th>B</th><th>S</th></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr></table>	A	B	S	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1		
A	B	S																		
0	0	0																		
0	1	0																		
1	0	0																		
1	1	1																		
NAND	NON — ET	$S = \overline{A \cdot B}$ $S = \overline{A} + \overline{B}$	<table><tr><th>A</th><th>B</th><th>S</th></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr></table>	A	B	S	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0		
A	B	S																		
0	0	1																		
0	1	1																		
1	0	1																		
1	1	0																		
OR	OU	$S = A + B$	<table><tr><th>A</th><th>B</th><th>S</th></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr></table>	A	B	S	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1		
A	B	S																		
0	0	0																		
0	1	1																		
1	0	1																		
1	1	1																		
NOR	NON — OU	$S = \overline{A + B}$ $S = \overline{A} \cdot \overline{B}$	<table><tr><th>A</th><th>B</th><th>S</th></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr></table>	A	B	S	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0		
A	B	S																		
0	0	1																		
0	1	0																		
1	0	0																		
1	1	0																		
EXOR	OU EXCLUSIF	$S = A \oplus B$ $S = A \cdot \overline{B} + \overline{A} \cdot B$	<table><tr><th>A</th><th>B</th><th>S</th></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr></table>	A	B	S	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0		
A	B	S																		
0	0	0																		
0	1	1																		
1	0	1																		
1	1	0																		
EXNOR	NON — OU EXCLUSIF	$S = \overline{A \oplus B}$ $S = (\overline{A} + B) \cdot (A + \overline{B})$	<table><tr><th>A</th><th>B</th><th>S</th></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr></table>	A	B	S	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	1		
A	B	S																		
0	0	1																		
0	1	0																		
1	0	0																		
1	1	1																		

Tableau 2.1.
Récapitulatif
des principales
portes logiques.

Encore une convention :

Si une entrée est à 1, on note que son contraire est à 0,

ce qui s'écrit : $A = 1$ $\bar{A} = 0$

et se lit : $A = 1$ $A \text{ barre} = 0$

On peut encore dire que le complément de 1 est 0, et inversement bien sûr.

2.2 FONCTIONS LOGIQUES DE BASE

Nous allons décrire complètement les diverses fonctions logiques et nous nous sommes volontairement tournés vers des portes (ou fonctions) à 2 entrées, mais le lecteur se doit de savoir qu'il existe des fonctions à 3, 4, 5 entrées ou davantage. En outre, pour des raisons pratiques, nous n'utiliserons que des circuits intégrés de technologie C/MOS, car ils n'exigent pas une tension d'alimentation très stricte et se révèlent en outre peu gourmands à l'usage.

Fonction ET (en anglais AND)

On écrit :

sortie S = entrée A et B ou encore $S = A \cdot B$

La sortie S ne prend l'état 1 que si TOUTES les entrées sont à l'état 1 simultanément.

Fonction OU (en anglais OR)

On écrit :

$S = A$ ou B ou encore $S = A + B$

La sortie S prend l'état 1 si au moins une entrée est au niveau 1.

Fonction NON-ET (en anglais NAND)

Sa sortie se trouve inversée par rapport à la fonction ET et se situe donc au niveau bas lorsque toutes les entrées sont au niveau 1.

On écrit :

$S = \overline{A \cdot B}$, qui peut s'énoncer aussi : $S = \bar{A} + \bar{B}$

d'après le théorème de De Morgan.

Fonction NON-OU (en anglais NOR)

C'est bien entendu l'inverse de la fonction OU, on écrit :

$S = \overline{A + B}$ ou encore $S = \bar{A} \cdot \bar{B}$

Fonction OU-EXCLUSIF (en anglais EXOR)

Cette porte un peu spéciale se différencie de la fonction OU précédente par le fait qu'une seule entrée exclusivement se doit d'être à 1 pour que sa sortie se trouve à 1. On écrit :

$$S = A \cdot \bar{B} + \bar{A} \cdot B$$

Elle se représente par le classique montage d'éclairage « va et vient ».

Fonction NON-OU-EXCLUSIF (en anglais EXNOR)

C'est la négation de la précédente; sa sortie est à 1 seulement si toutes ses entrées présentent le même niveau logique. On écrit :

$$S = (A \cdot \bar{B}) + (\bar{A} \cdot B) \text{ ou } S = (A + \bar{B}) \cdot (\bar{A} + B)$$

Après cette première partie toute théorique et sans doute peu difficile s'il s'agit de votre premier contact avec la logique booléenne, nous vous proposons de construire une petite plaquette grâce à laquelle il vous sera facile de tester vos récentes et fragiles connaissances dans ce domaine passionnant.

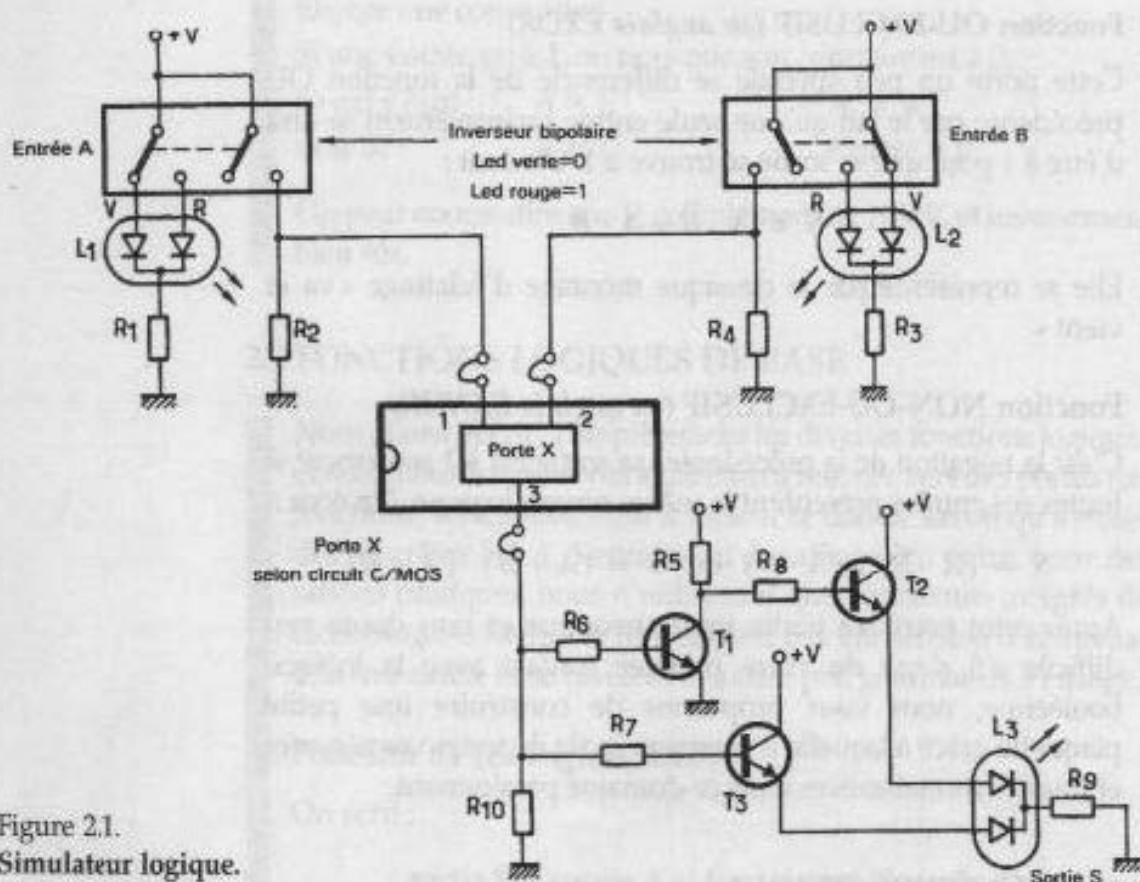
2.3 SIMULATEUR LOGIQUE

Ce petit module, dont le schéma de principe est donné à la figure 2.1, vous permettra de manipuler diverses fonctions logiques, et la révision des connaissances théoriques précédemment abordées sera plus aisée. L'idée est fort simple; il s'agit en résumé de faire appel à quelques circuits intégrés C/MOS, regroupant chacun sous un même boîtier DIL 14 quatre portes logiques identiques, bien entendu avec une totale interchangeabilité quant aux entrées et sorties.

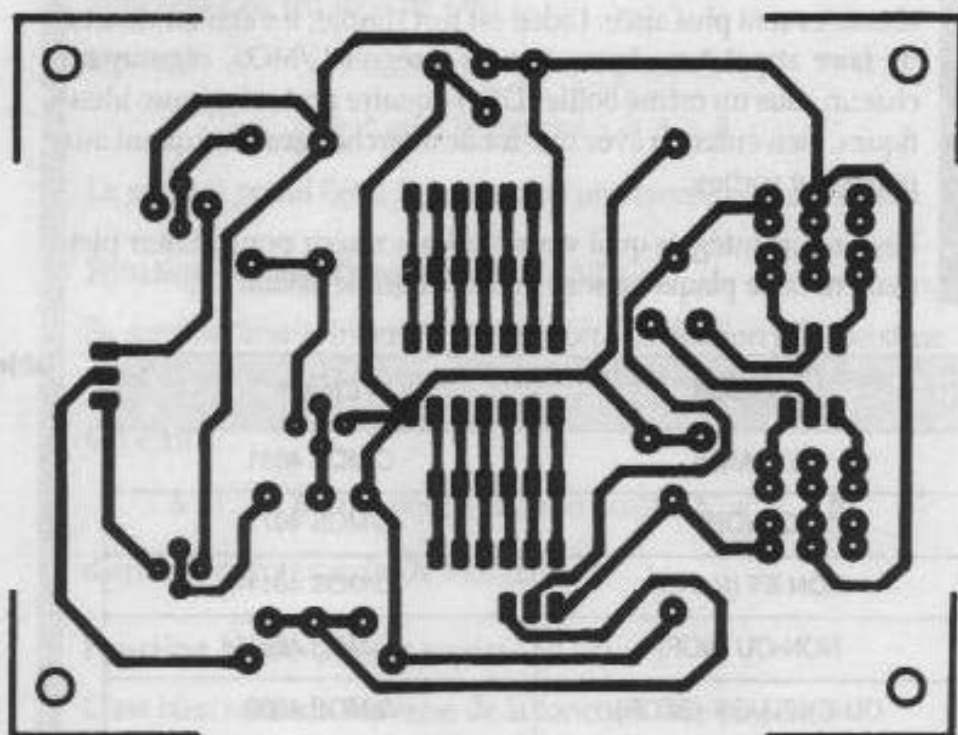
Les circuits intégrés qu'il vous faudra acquérir pour utiliser pleinement cette plaquette sont précisés dans le tableau 2.2.

Fonction	Circuit
ET (AND)	C/MOS 4081
OU (OR)	C/MOS 4071
NON-ET (NAND)	C/MOS 4011
NON-OU (NOR)	C/MOS 4001
OU-EXCLUSIF (EXOR)	C/MOS 4030
NON-OU-EXCLUSIF (EXNOR)	C/MOS 4077

Tableau 2.2.



Les figures 2.2 et 2.3 présentent le circuit imprimé et le plan de câblage de ce simulateur.



Un seul circuit intégré peut être monté à la fois, puisqu'il n'existe qu'un seul support. Nous avons, pour commencer, utilisé seulement la première porte dont les entrées correspondent aux broches 1 et 2, la sortie se trouvant à la broche 3.

Trois petits straps assurent le raccordement de cette porte logique au dispositif destiné à générer des niveaux logiques et à les visualiser avec des diodes électroluminescentes bicolores. Il s'agit de L_1 , L_2 et L_3 . Ce type de diode rassemble sous le même boîtier une Led verte et une Led rouge, avec une sortie cathode commune centrale. Pour chaque entrée, une résistance de limitation (R_1 et R_3)

Liste des composants

Semiconducteurs :

Circuits intégrés pour manipulation (portes 1, 2, 3) (prévoir un exemplaire à chaque fois) :

- quadruple AND CMOS 4081
- quadruple OR " 4071
- quadruple NAND " 4011
- quadruple NOR " 4001
- quadruple EXOR " 4030
- quadruple EXNOR " 4077

T_1 , T_2 , T_3 : transistor NPN BC 337 ou équivalent

L_1 , L_2 , L_3 : diode Led bicolore ronde \varnothing 5 mm

Résistances 1/4 W :

R_1 , R_3 , R_4 : 390 Ω

R_2 , R_4 : 10 k Ω

R_5 : 4,7 k Ω

R_6 , R_7 , R_8 : 1,8 k Ω

R_{10} : 15 k Ω

Condensateur :

C_1 : plastique 10 à 47 nF

Divers :

2 inters à glissière bipolaires inverseurs subminiatures

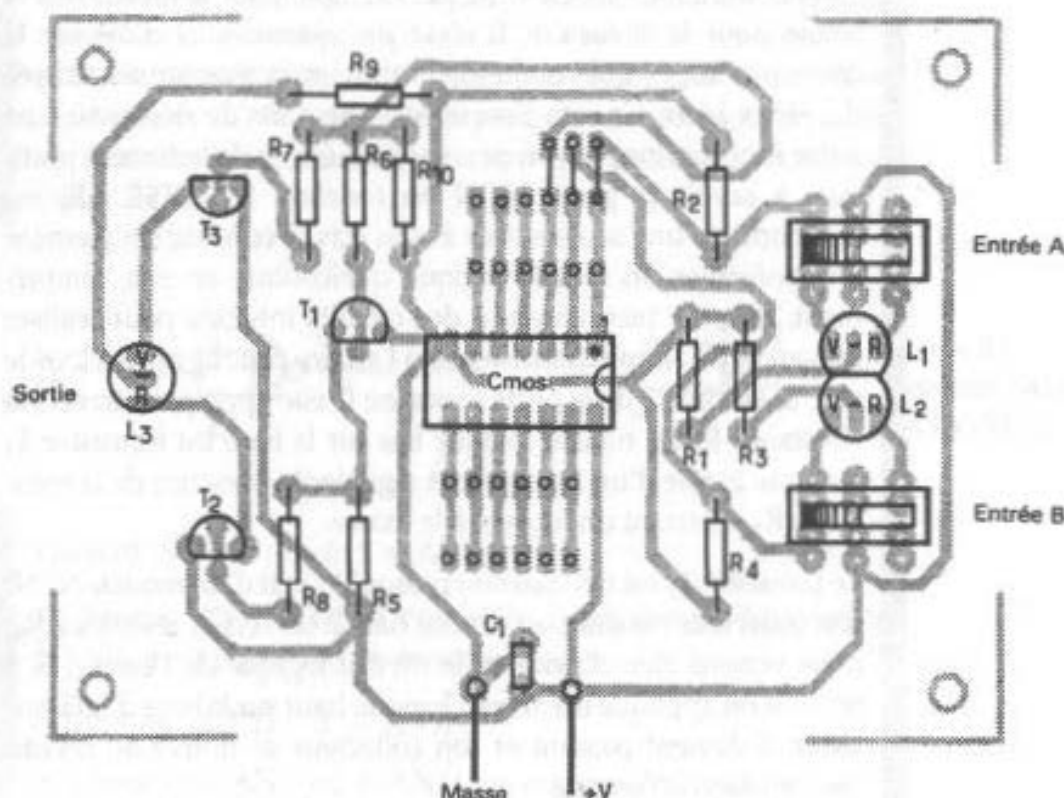
Support à souder « tulipe » 14 broches

Quelques barrettes de supports tulipe

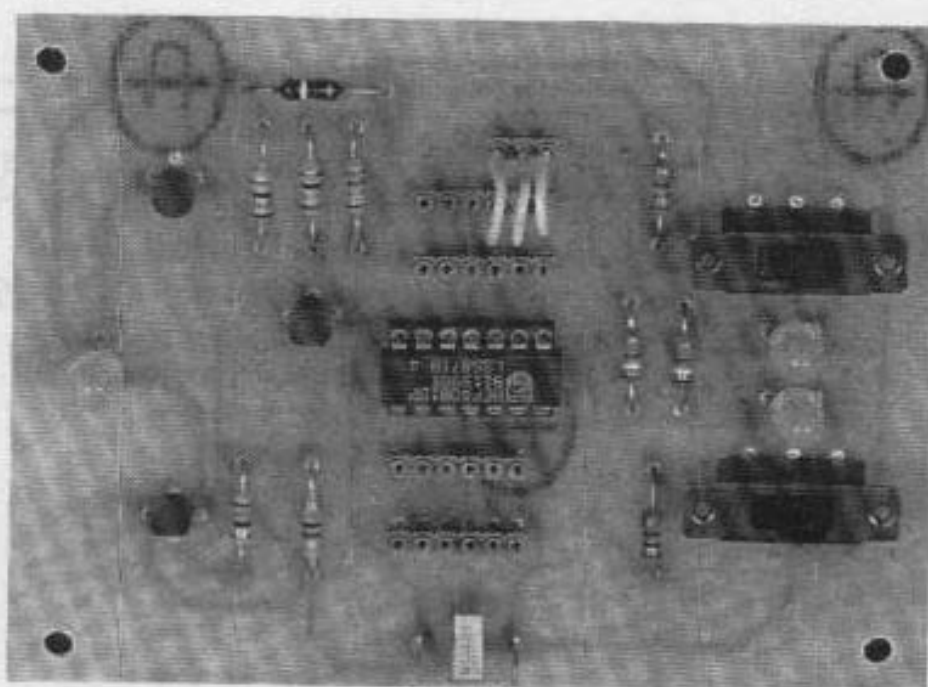
Picots à souder, fil souple, fil rigide

pour strap

Figure 2.3.
Implantation
des composants.



Le simulateur
logique terminé.



doit être prévue en série avec la Led. À l'aide d'un inverseur bipolaire subminiature, il est aisé de produire et visualiser un niveau logique haut ou bas à volonté.

En utilisant les deux inverseurs d'entrée, on pourra tester toutes les combinaisons logiques pour chaque porte : 2 variables d'entrée permettent 4 combinaisons binaires différentes (voir *tableau de vérité 2.1*). Le circuit de sortie est un tantinet plus élaboré. Il faut en effet illuminer la Led verte par exemple pour le niveau 0 et la rouge pour le niveau 1. Il n'est pas question ici d'obtenir la couleur orangée qui résulte de la mise sous tension simultanée des deux Leds. Ce sera l'occasion pour nous de découvrir une autre fonction logique un peu particulière, mais tellement pratique, à savoir la porte NON ou fonction INVERSE. Elle ne comporte qu'une seule entrée et son travail consiste simplement à transformer un niveau logique quelconque en son complément. Il existe bien entendu des circuits intégrés pour réaliser cela, mais un simple transistor fera l'affaire comme nous allons le voir. Si la sortie 3 de la porte testée est 0, elle applique à travers la résistance R_6 un niveau logique bas sur la base du transistor T_1 qui joue le rôle d'un inverseur. À signaler la présence de la résistance R_{10} assurant un forçage à la masse.

Le transistor T_1 est non passant puisqu'il s'agit d'un modèle NPN; son collecteur est donc au niveau haut à travers la résistance R_5 ; nous venons bien d'inverser le niveau logique de l'entrée. Si à présent on applique un niveau logique haut sur la base d'un transistor, il devient passant et son collecteur se trouve au niveau bas : mission accomplie.

Les transistors T_2 et T_3 reçoivent donc des signaux logiques opposés pour commander la Led bicolore L_3 visualisant l'état de la sortie.

À l'aide de ce petit module alimenté à partir de la plaquette du module « alimentation par transformateur », il vous sera facile de ne pas perdre la « Boole » en révisant vos fonctions logiques. Veillez à choisir un support à 14 broches de type « tulipe » permettant un montage et un démontage aisés des divers circuits intégrés qu'il convient naturellement de positionner à chaque fois correctement. La présence des nombreux picots se justifiera ultérieurement; pour l'instant, il suffit de monter les straps 1, 2 et 3. Ne commettez pas l'erreur de monter l'une des Leds bicolores à l'envers. Pour tester cela, le circuit le plus simple est le C/MOS 4081, fonction AND, qui voit sa sortie à 1 seulement si les deux entrées sont simultanément à 1.

2.4 UNIVERSALITÉ DE LA FONCTION NAND

S'il est un circuit intégré très utilisé, c'est bien celui qui comporte des portes NAND, dont nous allons tenter de démontrer et de tester la quasi-universalité. En effet, il est possible d'obtenir le fonctionnement de toutes les autres portes logiques à l'aide d'une ou plus souvent plusieurs portes de ce type.

Outre la fonction NAND elle-même, particulièrement pratique pour certaines bascules que nous allons décrire au chapitre suivant, il est possible en analysant de près le tableau de vérité de construire une fonction NON ou INVERSE. Si les entrées A et B prennent simultanément le même état logique, la sortie prend l'état inverse. Cette propriété importante sera souvent exploitée au détriment du transistor inverseur que nous venons de voir (figure 2.4).

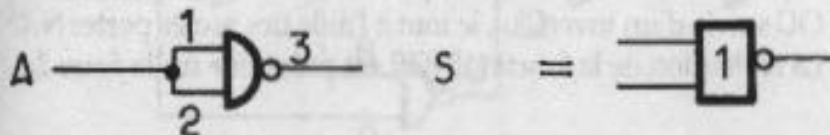


Figure 2.4.
Fonction NON
ou INVERSE.

On écrit $S = \bar{A}$; on lit $S = A$ barre.

La fonction AND : si l'on considère l'équation de la fonction NAND, il est possible d'en énoncer l'inverse :

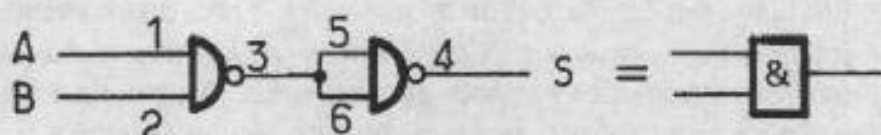
- fonction NAND : $S = \overline{A \cdot B}$;
- inverse de NAND ou $\overline{\text{NAND}}$ ou encore AND : $S = \overline{\overline{A \cdot B}}$.

La double barre ou double négation s'annule (inverse de l'inverse), d'où :

$$S = A \cdot B$$

On retrouve bien le produit booléen ou fonction ET bien connue; la réalisation de la porte AND est présentée sur la figure 2.5.

Figure 2.5.
Fonction ET.



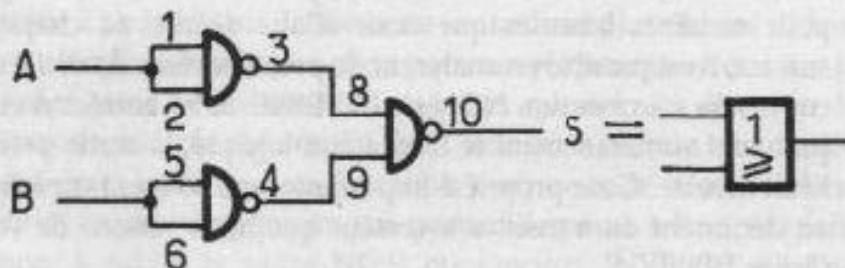
La fonction OR : en algèbre logique, il est très fréquent d'avoir à faire appel au théorème de De Morgan qui permet une simplification considérable des équations : ainsi l'expression $A \cdot B$ s'écrit $\overline{\overline{A} + \overline{B}}$. Les deux expressions sont parfaitement équivalentes. Le signe + représente ici la somme logique ou représentation de la fonction OU.

Pour obtenir une fonction OU à l'aide de portes NON-ET, il suffit d'obtenir :

$$S = \overline{\overline{A} + \overline{B}} \text{ soit } A + B$$

La réalisation de cette fonction OR est présentée sur la figure 2.6.

Figure 2.6.
Fonction OU.



La fonction NOR : c'est tout simplement l'association d'une fonction OU suivie d'un inverseur, le tout à l'aide des seules portes NAND. La réalisation de la fonction NOR est présentée sur la figure 2.7.

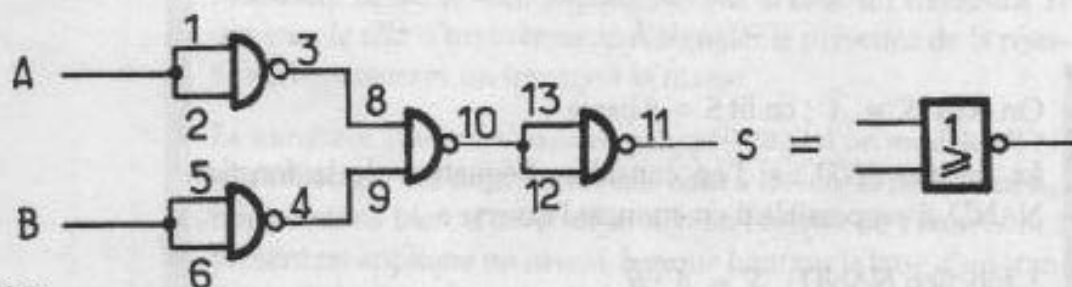


Figure 2.7.
Fonction NON-OU.

La fonction EXOR : rappelons une fois de plus que la sortie de cette porte sera haute seulement si l'une ou l'autre de ses entrées est haute. Voici son équation :

$$S = (A \cdot \bar{B}) + (\bar{A} \cdot B)$$

La réalisation de la fonction EXOR est présentée sur la figure 2.8.

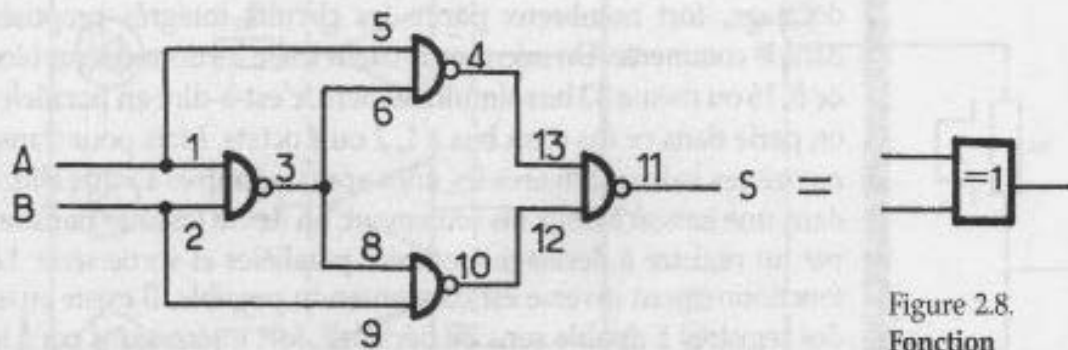


Figure 2.8.
Fonction
OU-EXCLUSIE.

La fonction EXNOR : c'est bien évidemment la fonction inverse de la précédente; elle est souvent utilisée pour comparer des valeurs binaires entre elles, par exemple dans le cas de la comparaison d'une heure et de l'alarme sur un réveil électronique; voici son équation :

$$S = (\bar{A} + B) \cdot (A + \bar{B})$$

La réalisation de la fonction EXNOR est présentée sur la figure 2.9.

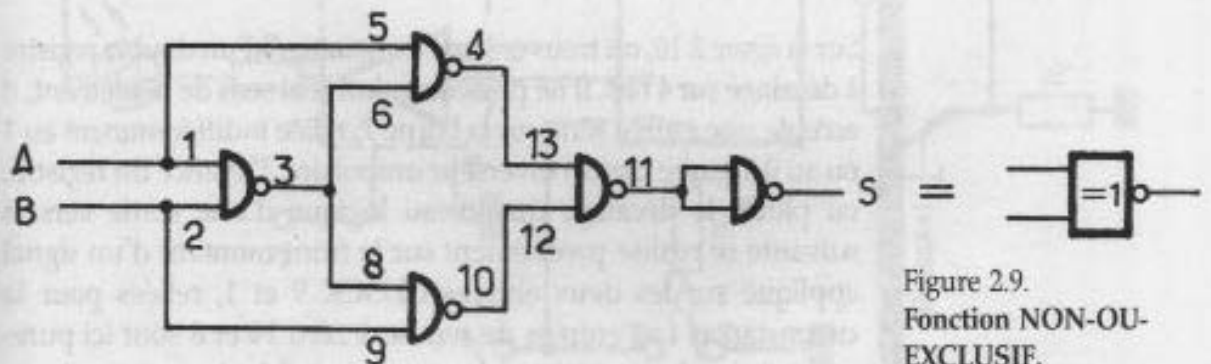


Figure 2.9.
Fonction NON-OU-
EXCLUSIF.

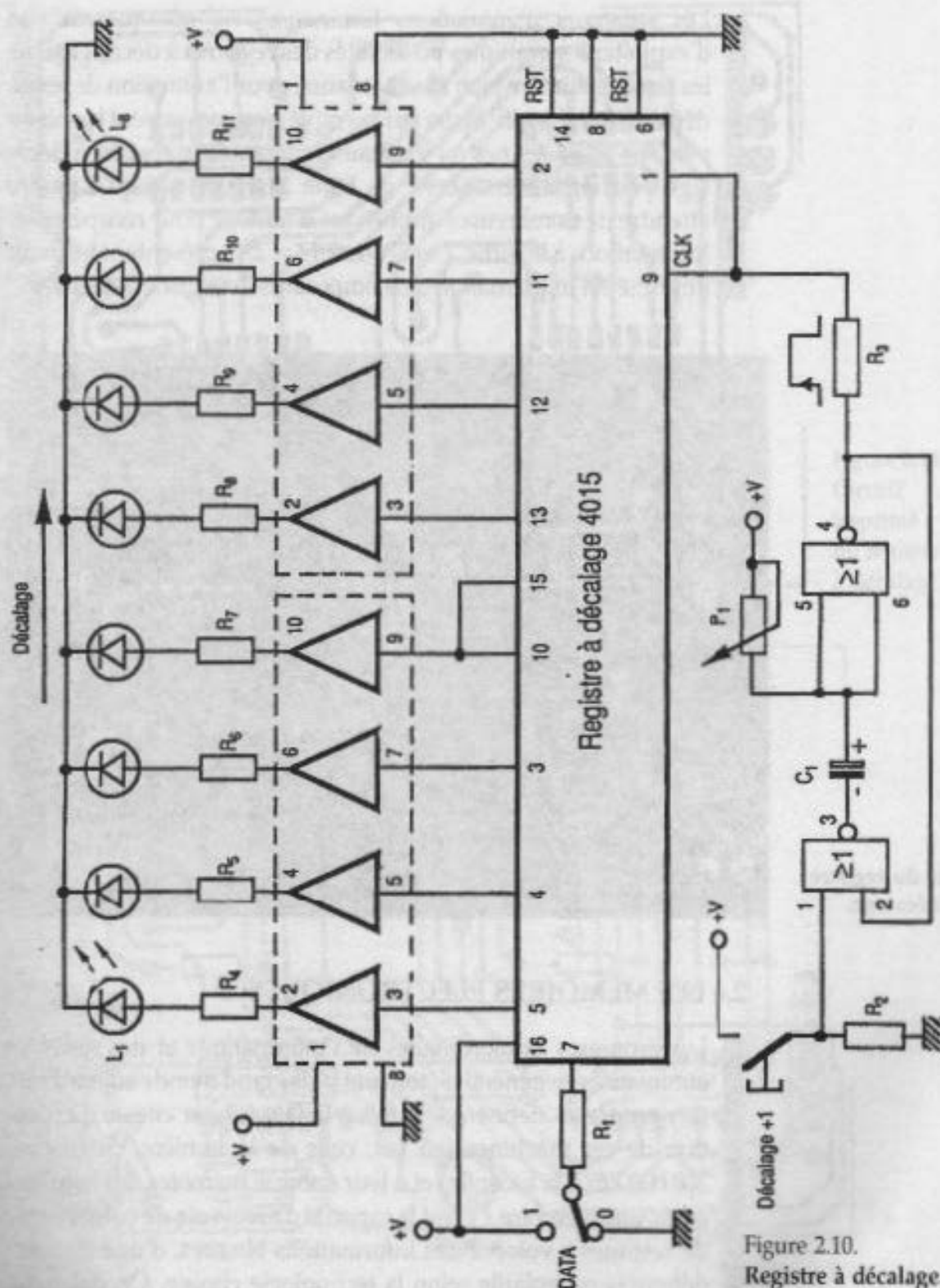
2.5 REGISTRE À DÉCALAGE

À l'aide de plusieurs bascules JK consécutives, c'est-à-dire dont les sorties Q et \bar{Q} sont reliées respectivement aux entrées J et K de la bascule suivante, et à condition de commander simultanément toutes les entrées horloge par un signal adéquat (commande synchrone), on peut « enfiler » des valeurs binaires en série, et les

recupérer en parallèle sur les diverses sorties Q du registre. On constatera que les valeurs logiques se décalent et se bousculent littéralement vers la sortie, c'est-à-dire en fait celle de la dernière bascule. Cette explication trop théorique sans doute sera plus aisément perçue avec quelques manipulations sur notre module, qui réalise un registre à décalage économique sur 8 bits. On peut encore se demander à quoi peuvent bien servir les registres à décalage, fort nombreux parmi les circuits intégrés proposés dans le commerce. Un micro-ordinateur traite les données par bloc de 8, 16 ou même 32 bits simultanément, c'est-à-dire en parallèle; on parle dans ce cas d'un bus à 1, 2 ou 4 octets. Mais pour transmettre ces valeurs binaires les unes après les autres à toute allure dans une liaison à deux fils seulement, on devra les faire transiter par un registre à décalage à entrées parallèles et sortie série. Le fonctionnement inverse est bien entendu possible. Il existe aussi des registres à double sens de décalage, fort intéressants pour le traitement arithmétique des données.

Écrivez l'équivalent binaire du nombre décimal 8 sur une feuille de papier; on trouve bien entendu 1 000. En déplaçant le 1 vers la droite, on écrit 0100, soit 100 en binaire ou 4 en décimal. Nous venons d'opérer une division par 2 par un simple glissement à droite. De même, en effectuant un glissement vers la gauche, on récupère la valeur 10 000, soit 16 en décimal, qui représente bien une multiplication par 2 cette fois-ci. En résumé, un décalage d'un rang opère une division ou une multiplication par le facteur 2, selon qu'il s'effectue vers la droite ou vers la gauche. N'importe quel microprocesseur normalement constitué pourra vous confirmer cette affirmation.

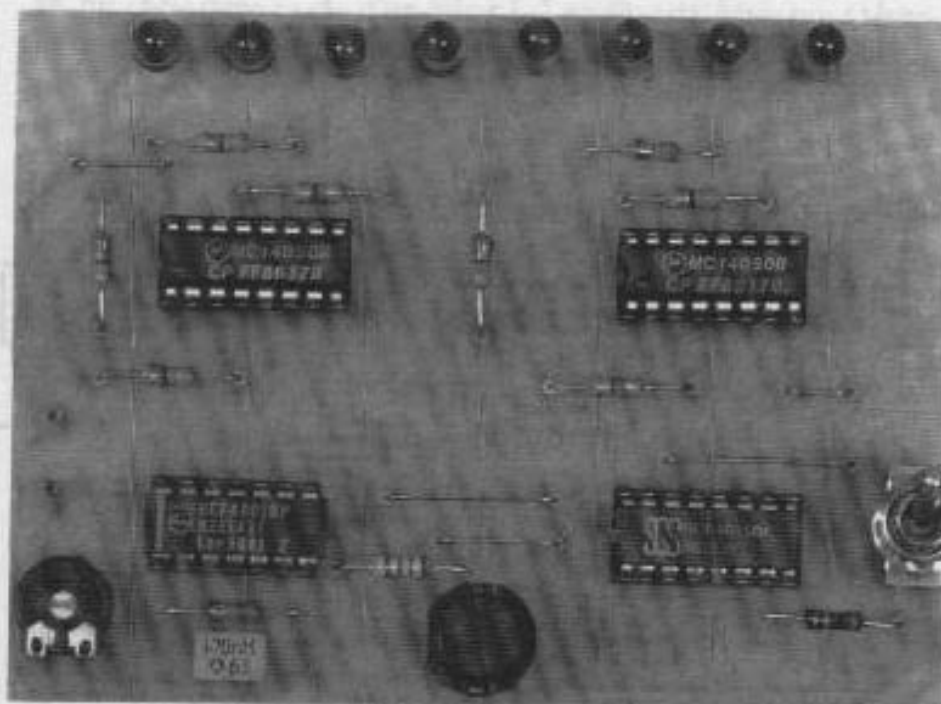
Sur la figure 2.10, on trouvera une exploitation d'un double registre à décalage sur 4 bits. Il ne possède qu'un seul sens de défilement; il accepte une entrée série sur la borne 7, reliée indifféremment au 1 ou au 0 logique par un inverseur unipolaire. L'avance du registre, ou plutôt le décalage du niveau logique d'une sortie vers la suivante se réalise précisément sur le front montant d'un signal appliqué sur les deux entrées CLOCK 9 et 1, reliées pour la circonstance. Les entrées de remise à zéro 14 et 6 sont ici purement et simplement mises à la masse, mais il faut savoir que toute impulsion positive sur ces entrées aura pour résultat de mettre à zéro toutes les huit sorties. Ces entrées pourront également être utilisées pour bloquer totalement le registre sur un contenu vide, le laissant ainsi parfaitement insensible aux diverses impulsions d'horloge. Nous avons construit une bascule monostable à l'aide de 2 portes NOR. Car il faut impérativement disposer d'une impulsion de commande unique pour faire avancer le registre d'un seul pas à la fois. Pour associer les deux registres à 4 bits, il



aura suffi de relier la sortie 10 du premier registre à l'entrée DATA du second (borne 15). Le circuit C/MOS 4015 utilisé ici ne peut malheureusement débiter en sortie que quelques milliampères sous une tension de 10 V. Il convenait donc de monter un étage buffer avant chaque Led de visualisation. Le circuit C/MOS 4050, sextuple buffer non inverseur, fut retenu.

Les amateurs d'animations lumineuses ne manqueront pas d'exploiter les multiples possibilités des registres à décalage dans les jeux de lumière bien sûr, mais aussi pour l'animation de textes défilants sur des afficheurs par exemple, comme on peut le voir en ville sur les enseignes ou journaux lumineux. Le registre à décalage peut également servir de ligne à retard, puisqu'il faudra attendre de nombreuses impulsions d'horloge pour récupérer les informations à la sortie. Les figures 2.11 et 2.12 présentent le circuit imprimé et l'implantation des composants du registre à décalage.

Vue du registre à décalage.



2.6 LES MÉMOIRES ÉLECTRONIQUES

Les prouesses extraordinaires de l'informatique et des systèmes automatisés en général n'étonnent plus grand monde aujourd'hui. Ces prouesses tiennent à la fois à la fantastique vitesse d'exécution de ces machines (en fait, celle de la lumière, c'est-à-dire 300 000 km à la seconde) et à leur énorme mémoire. Mais qu'est-ce qu'une mémoire ? C'est la capacité de recevoir, de conserver et de restituer à volonté des informations binaires, d'une manière définitive ou volatile selon la technologie choisie. On distingue principalement deux types de mémoires :

- les mémoires vives ou RAM (*Random Access Memory*) sur lesquelles les opérations de lecture et d'écriture sont toujours possibles;
- les mémoires mortes ou ROM (*Read Only Memory*) qui une fois programmées n'autorisent plus que la lecture des données inscrites.

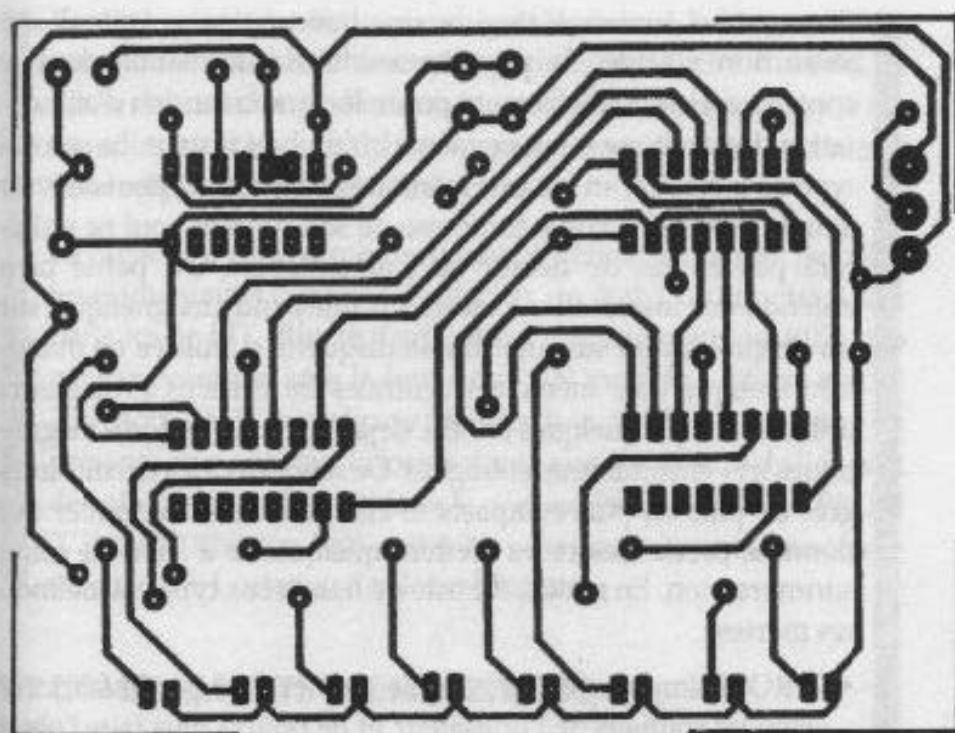


Figure 2.11.
Circuit
imprimé
du registre
à décalage.

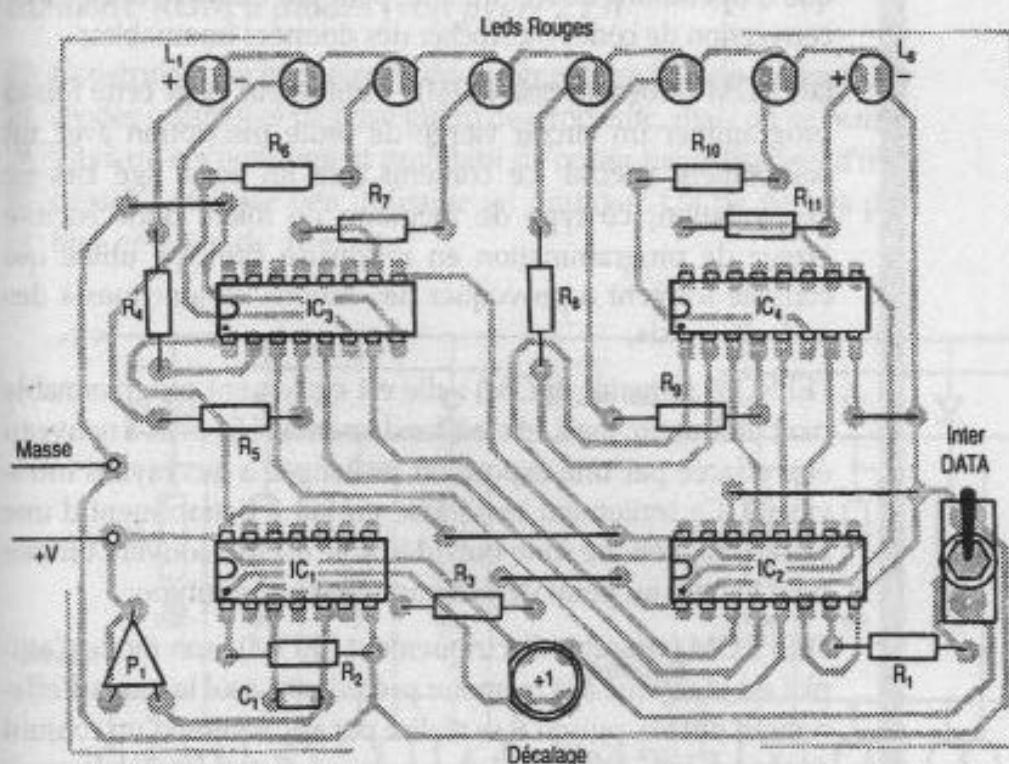


Figure 2.12.
Implantation
des composants.

Liste des composants

Semiconducteurs :

IC₁ : quadruple NOR C/MOS 4001

IC₂ : double registre à décalage
4 bits C/MOS 4015

IC₃, IC₄ : buffer C/MOS 4050

L₁ à L₈ : diodes Leds
rouges 5 mm

Résistances 1/4 W :

R₁ : 100 Ω

R₂ : 33 kΩ

R₃ : 220 Ω

R₄ à R₁₁ : 470 Ω

P₁ : ajustable horizontal 10 kΩ

Condensateurs :

C₁ : plastique 220 à 470 nF

Divers :

3 supports à souder 16 broches

1 support à souder 14 broches

Poussoir pour CI

Inter miniature inverseur

Picots à souder

Il nous faut encore distinguer une information volatile d'une autre non volatile : la première est une information dont le contenu est irrémédiablement perdu lorsque la tension d'alimentation disparaît, ne serait-ce même qu'un bref instant. Le second type de mémoire, en fait une mémoire permanente, peut délivrer à tout instant une copie conforme de son contenu, qui ne s'altérera pas en cas de défaut de l'alimentation. On pense bien entendu aux informations saisies sur une bande magnétique, sur un disque dur ou sur une simple disquette si utilisée en micro-informatique. Les mémoires centrales de certains ordinateurs utilisaient, il y a quelques années déjà il est vrai, les tores magnétiques très encombrants et fragiles. De nos jours, des circuits intégrés de plus en plus compacts se chargent de sauvegarder des données précieuses et les mettent quelquefois à l'abri de toute surimpression. En réalité, il existe de nombreux types de mémoires mortes :

- la ROM simple : elle est remplie de 1 et de 0 par le fabricant selon les souhaits de l'utilisateur, et ne pourra plus faire l'objet que d'opérations de lecture. Elle peut par exemple opérer une conversion de codes ou stocker des données immuables;
- la PROM (*Programmable ROM*) : l'utilisateur peut cette fois-ci programmer un circuit vierge de toute inscription avec un équipement spécial. Le contenu sera lui aussi figé lors de l'exploitation; ce type de mémoire ne tolère donc aucune erreur de programmation en raison du principe utilisé qui consiste souvent à provoquer des fusions de jonctions à des endroits précis;
- l'EPROM (*Erasable PROM*) : elle est également programmable par l'utilisateur, mais, et c'est fondamental, elle peut à nouveau être effacée par une exposition prolongée à des rayons ultraviolets. Ce traitement ressemble en fait à l'effacement d'une bande magnétique sono ou vidéo. Elle est très souvent utilisée pour la mise au point de programmes sur prototype;
- l'EEPROM (effaçable électriquement PROM) : son mode d'emploi est identique à la mémoire précédente, seul le mode d'effacement diffère, puisqu'il se réalise par application d'un courant électrique aux caractéristiques précises. Cette dernière technique est infiniment plus rapide que la longue exposition aux UV.

Dans la mémoire RAM, donc volatile, on distingue encore les RAM-S ou statiques, dans lesquelles les éléments binaires sont mis en mémoire par une simple bascule bistable : ils seront bien conservés aussi longtemps que l'on appliquera une alimentation suffisante. Dans les RAM dynamiques ou RAM-D, on exploite les propriétés du condensateur comme réservoir d'une tension.

Comme cette information tend à se dégrader à la longue, il faut procéder à un rafraîchissement périodique; à titre indicatif, la durée de maintien de l'information à l'état 1 est d'environ 10 ms avant un nouveau rafraîchissement, qui consiste à lire le contenu de la cellule mémoire et à le réécrire.

La capacité d'une mémoire consiste à définir le nombre de cellules élémentaires capables de stocker un état 1 ou un état 0. On parle ici de BIT (*Binary digiT*). Ainsi une mémoire de 4 096 bits peut se présenter sous la forme de 1 024 mots de 4 bits ou encore 256 mots de 16 bits. L'organisation interne d'une mémoire se présente souvent sous la forme d'une matrice formée de lignes et de colonnes. On trouve dans le commerce la mémoire EPROM 2732 de 32 Kbits en 4 Ko, soit 4 096 adresses pouvant donc contenir chacune 1 octet ou 8 valeurs binaires.

2.7 COMPLÉMENTS (ROM + EPROM)

Mémoire ROM à diodes (voir figure 2.13)

Construire une mémoire ROM rudimentaire à l'aide de quelques diodes ordinaires ne pose guère de problème, mais on se heurte vite à un encombrement prohibitif si l'on souhaite disposer d'une capacité quelque peu utilisable en pratique. On ne parlera pas bien entendu de mégabits !

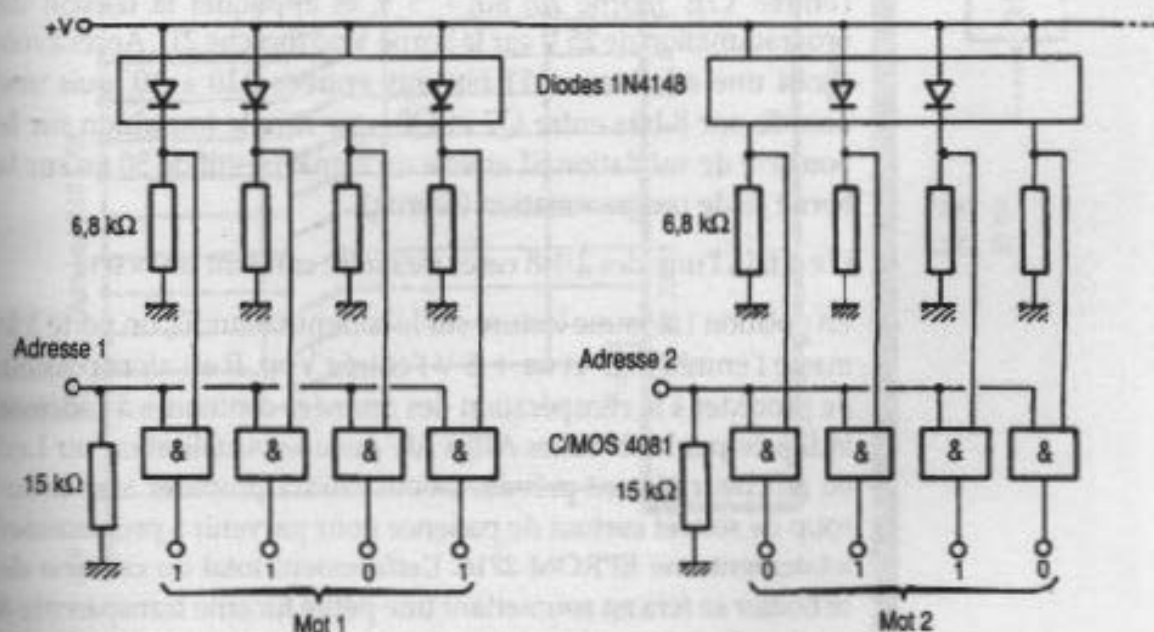


Figure 2.13.
Mémoire ROM
à diodes.

Le schéma proposé permettra tout de même de stocker des niveaux 1 ou 0 par bloc de 4 à la même adresse. La résistance associée permet de simuler un état bas en l'absence de diode de blocage. L'utilisation d'une porte AND permet de bloquer totalement les sorties de l'une ou l'autre des adresses ou de les débloquent en appliquant un état haut. Le mot binaire sera sauvegardé malgré une coupure de l'alimentation.

Mémoires EPROM 2716 (voir figure 2.14)

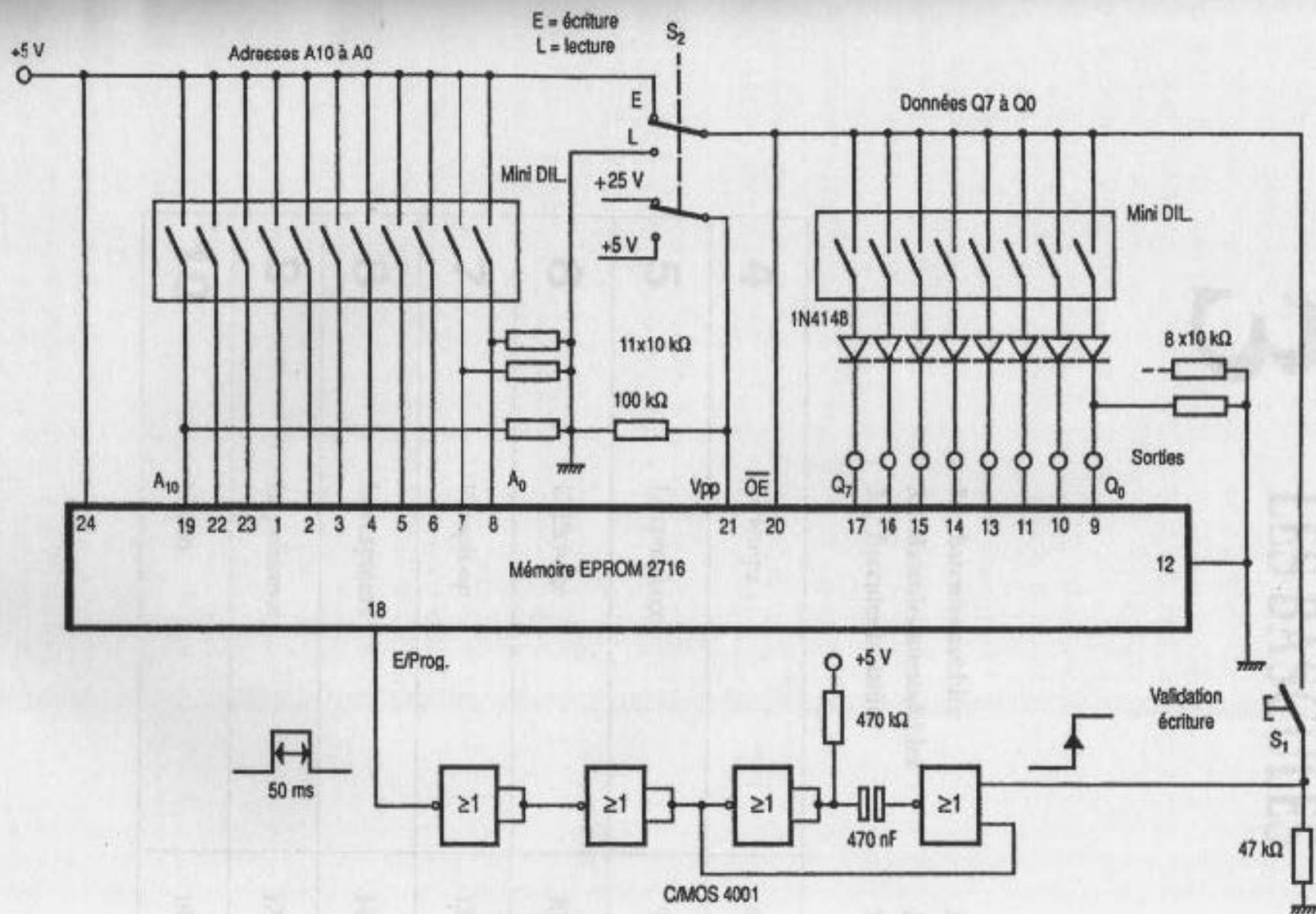
Cette mémoire possède l'avantage de conserver indéfiniment son contenu sans nécessiter une alimentation de sauvegarde et tout en restant effaçable. Il n'est pourtant pas dans nos intentions de vous présenter ici un véritable programmeur de mémoire, mais le lecteur intéressé aura tôt fait de construire un tel ensemble à partir de notre schéma simplifié. La mémoire EPROM 2716 a une capacité de 16 Kbits; elle dispose de 11 entrées binaires d'adressage, soit 2 048 adresses différentes. Elle travaille sur un contenu de 8 bits, soit 256 valeurs binaires. Une EPROM neuve ou vierge après effacement se caractérise par un niveau haut sur chaque bit. Ce circuit de 24 broches *Dual In Line* est aisé à programmer. Il faudra disposer d'une tension de 5 V pour l'alimentation permanente et d'une autre de 25 V, qu'il vous sera facile d'obtenir à l'aide du module à découpage, la masse ou 0 V étant commune. Soyez attentifs au commutateur inverseur double S2, dont le rôle est primordial. Pour écrire dans une case mémoire de 8 bits, il faut positionner S2 sur E, c'est-à-dire relier l'entrée \overline{OE} (borne 20) au + 5 V, et appliquer la tension de programmation de 25 V sur la borne Vpp (broche 21). Après avoir choisi une adresse sur 11 bits aux entrées A10 à A0, puis une donnée sur 8 bits entre Q7 et Q0, une simple impulsion sur le poussoir de validation S1 envoie un signal positif de 50 ms sur la borne 18 de programmation (E/prog).

C'est fait, l'une des 2 048 cases mémoire contient un octet !

En position L comme lecture sur le commutateur S2, on porte à la masse l'entrée \overline{OE} et au + 5 V l'entrée Vpp. Il est alors possible de procéder à la récupération des données contenues à l'adresse indiquée par les broches A10 à A0. Aucune visualisation sur Led ou afficheur n'étant prévue, il vous faudra procéder avec beaucoup de soin et surtout de patience pour parvenir à programmer totalement une EPROM 2716. L'effacement total du contenu de ce boîtier se fera en soumettant une petite lucarne transparente à un flot de rayons ultraviolets pendant une durée de l'ordre de 15 minutes environ. Pourquoi ne pas utiliser la lampe du châssis d'isolation de vos plaquettes cuivrées présensibilisées, qui en outre comporte souvent une minuterie ?

© ENEC - La photocopie non autorisée est un délit.

Figure 2.14.
Programmeur
EPROM 2716.



3

LES BASCULES

3.1	Bascules astables	38
3.2	Bascules monostables	46
3.3	Bascules bistables	55

4	Le temps	69
5	Le comptage	91
6	L'affichage	105
7	L'ampli-op	123
8	Les capteurs	141
9	La puissance	171
10	Le son	187

L'association de portes logiques entre elles constitue un schéma de type combinatoire, c'est-à-dire que la tension de sortie dépend seulement des tensions présentes sur les entrées et sans aucune ambiguïté (on parle dans ce cas d'aléa de fonctionnement). L'étude des bascules nous amène à introduire la notion de schéma de type séquentiel. Le niveau logique de la sortie ne dépend plus seulement des niveaux logiques présents aux entrées, mais également du niveau précédemment appliqué. On peut noter que la notion de temps intervient en plus. On peut classer les bascules en trois catégories bien distinctes :

- *la bascule astable ou multivibrateur*. Elle produit d'une manière régulière et automatique un signal périodique dont on peut faire varier la fréquence en modifiant la valeur de quelques composants, ou mieux en prévoyant un élément destiné au réglage. C'est un oscillateur libre, il pourra constituer une base de temps, faire clignoter une Led ou produire un son audible.
- *la bascule monostable*. Ce circuit est destiné à produire une impulsion ou un signal plus ou moins long à partir d'une unique impulsion d'entrée. En d'autres termes, sous l'action d'un signal extérieur de déclenchement, cette bascule passe d'un état de repos stable à un état opposé, pendant un temps défini par une constante RC (association d'une résistance et d'un condensateur). Après quoi, elle retrouve son état initial d'attente. C'est une véritable temporisation, utilisée dans de nombreux schémas électroniques en association avec d'autres bascules.
- *la bascule bistable*. Elle possède deux états parfaitement stables qu'elle peut conserver pendant une période illimitée... si l'alimentation ne lui fait pas défaut. Elle change d'état à volonté sous l'action d'un signal extérieur et garde fidèlement cette information. Il s'agit en fait d'une mémoire que l'on retrouve souvent en électronique digitale. Elle sera utilisée pour la réalisation de compteurs et registres à décalage.

3.1 BASCULES ASTABLES

C'est donc un générateur de signal carré que nous allons utiliser pour définir quelques termes importants (figure 3.1).

La fréquence du signal est le nombre de périodes par seconde, c'est-à-dire le nombre de fois où l'on retrouve le signal de base en entier par seconde. L'amplitude est la valeur en volts que l'on pourrait mesurer à l'aide d'un voltmètre continu ou d'un oscilloscope en comptant simplement la « hauteur du tracé ». En

outre, lorsque le signal passe d'un niveau bas à un niveau haut, on parle de front montant ou front positif. Le passage du signal d'un niveau haut à un niveau bas s'appelle front descendant ou front négatif.

Cette notion importante sera exploitée par certains compteurs sensibles à l'une ou l'autre des configurations décrites.

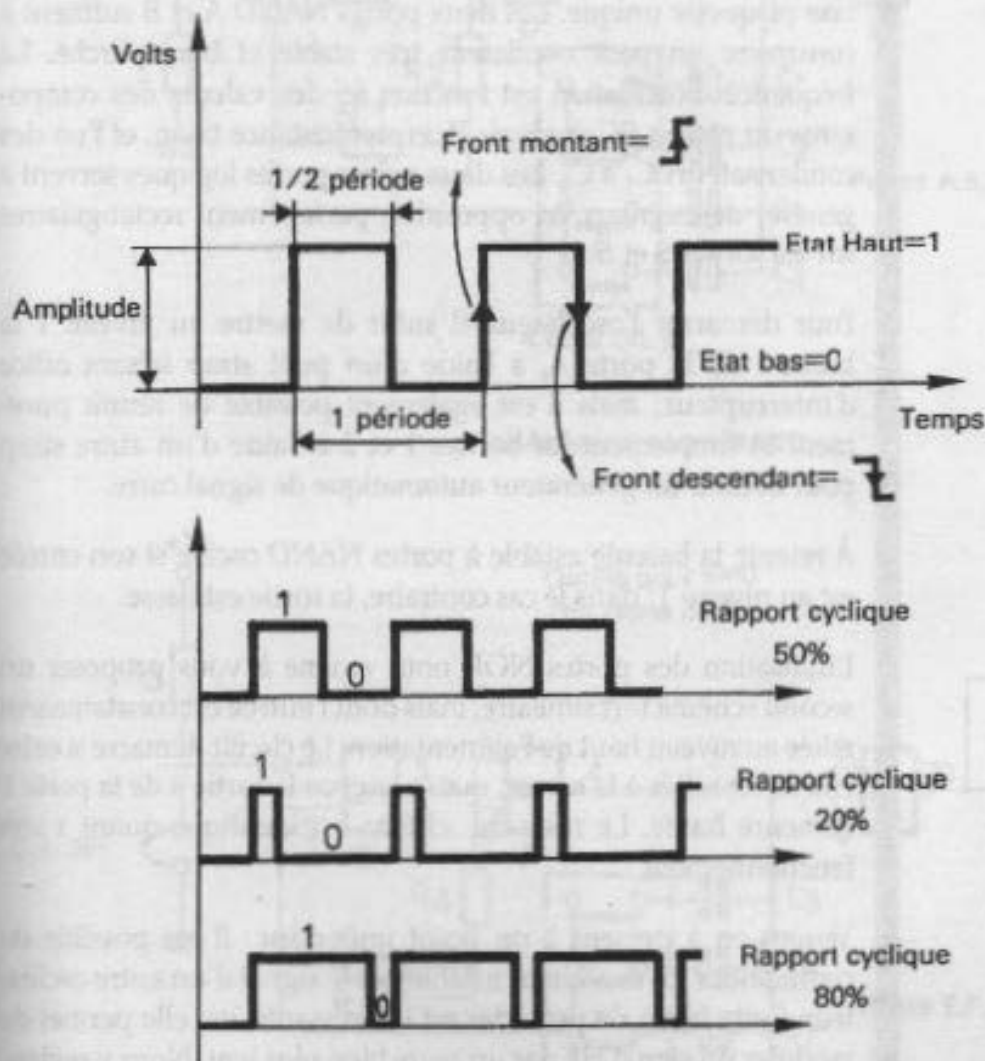


Figure 3.1.
Signal carré.

En résumé, plus une fréquence sera basse, plus la durée d'une période de ce signal sera longue. Les oscillateurs utilisés en électronique délivrent des signaux dont la fréquence peut varier de quelques dixièmes de hertz à plusieurs millions de hertz (mégahertz).

Il nous reste à parler du rapport cyclique d'un signal, qui consiste à comparer la durée du niveau haut par rapport à celui du niveau

bas. Un signal carré parfaitement symétrique aura donc un rapport cyclique de 50 % (figure 3.1).

Oscillateur à circuits logiques

Nous allons pouvoir utiliser indifféremment les portes NOR ou les portes NAND, avec toutefois quelques petites différences à la mise en œuvre. Les deux schémas (figure 3.2) sont regroupés sur une plaquette unique. Les deux portes NAND A et B suffisent à construire un petit oscillateur très stable et bon marché. La fréquence d'oscillation est fonction ici des valeurs des composants du réseau RC, à savoir P_1 et sa résistance talon, et l'un des condensateurs C_1 à C_4 . Les deux autres portes logiques servent à générer des signaux en opposition parfaitement rectangulaires sur les sorties S et \bar{S} .

Pour démarrer l'oscillateur, il suffit de mettre au niveau 1 la borne 1 de la porte A, à l'aide d'un petit strap faisant office d'interrupteur; mais il est également possible de réunir purement et simplement les bornes 1 et 2 à l'aide d'un autre strap pour obtenir un générateur automatique de signal carré.

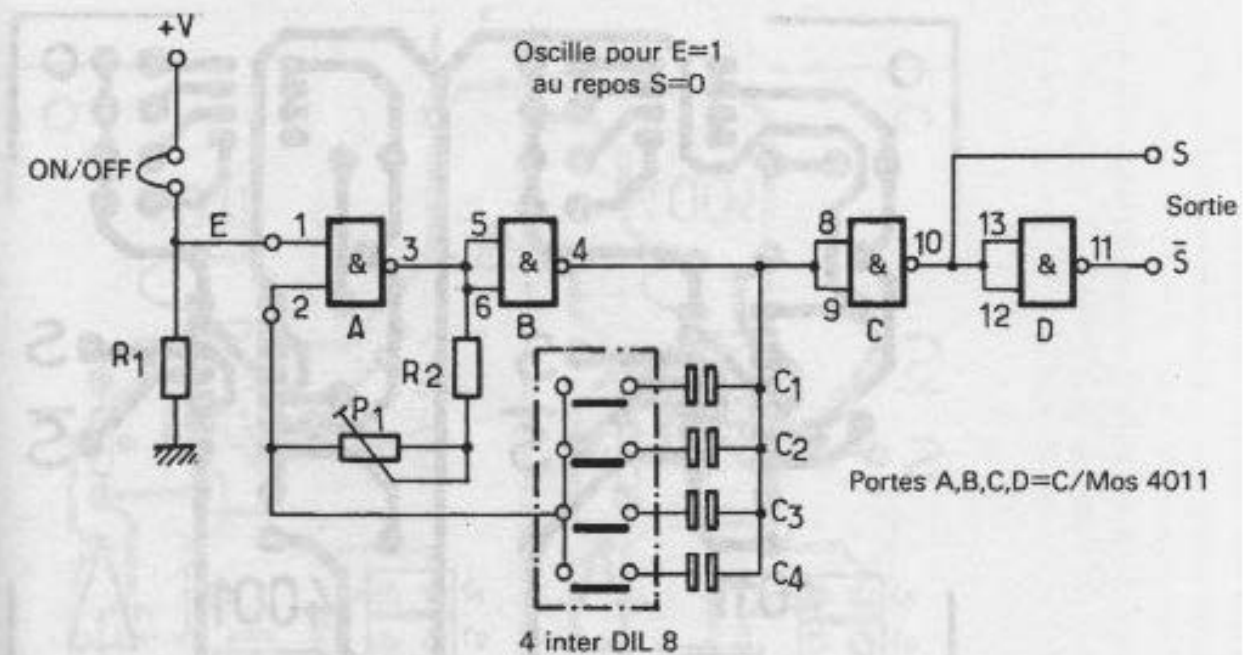
À retenir, la bascule astable à portes NAND oscille si son entrée est au niveau 1; dans le cas contraire, la sortie est basse.

L'utilisation des portes NOR nous amène à vous proposer un second schéma fort similaire, mais dont l'entrée est constamment reliée au niveau haut de l'alimentation. Le circuit démarre si cette entrée est reliée à la masse, mais au repos la sortie 4 de la porte F demeure haute. Le reste du schéma est identique quant à son fonctionnement.

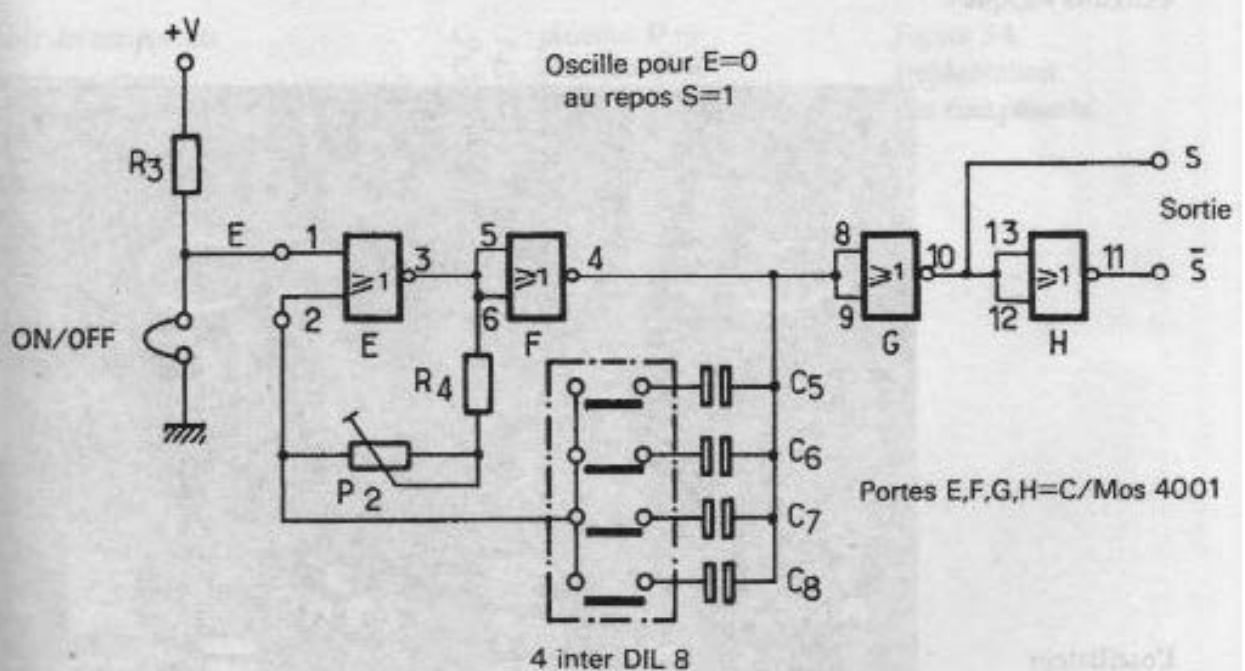
Venons-en à présent à un point important : il est possible de commander un oscillateur astable par le signal d'un autre oscillateur. Cette façon de procéder est intéressante, car elle permet de moduler un signal HF par un autre bien plus lent. Nous y reviendrons en détail dans le chapitre qui traite du « bruit ». Pour l'instant, il est possible de relier les oscillateurs entre eux, et de visualiser le signal composite à l'aide d'une diode Led en série avec une résistance, à moins que vous ne disposiez d'un oscilloscope.

Utilisez les picots prévus sur les bornes d'entrée et de sortie des deux circuits. Bien entendu, seul un signal relativement lent (25 Hz environ) sera distingué nettement par l'œil humain.

Les figures 3.3 et 3.4 (p. 42 et 43) présentent le circuit imprimé et l'implantation des composants de l'oscillateur à circuits logiques.



a) Astable à portes NAND



b) Astable à portes NOR

Figure 3.2.
Schémas des oscillateurs à circuits logiques.

$$F = \frac{1}{0,6RC} \quad (F \text{ en Hz, } R \text{ en } \Omega \text{ et } C \text{ en F}).$$

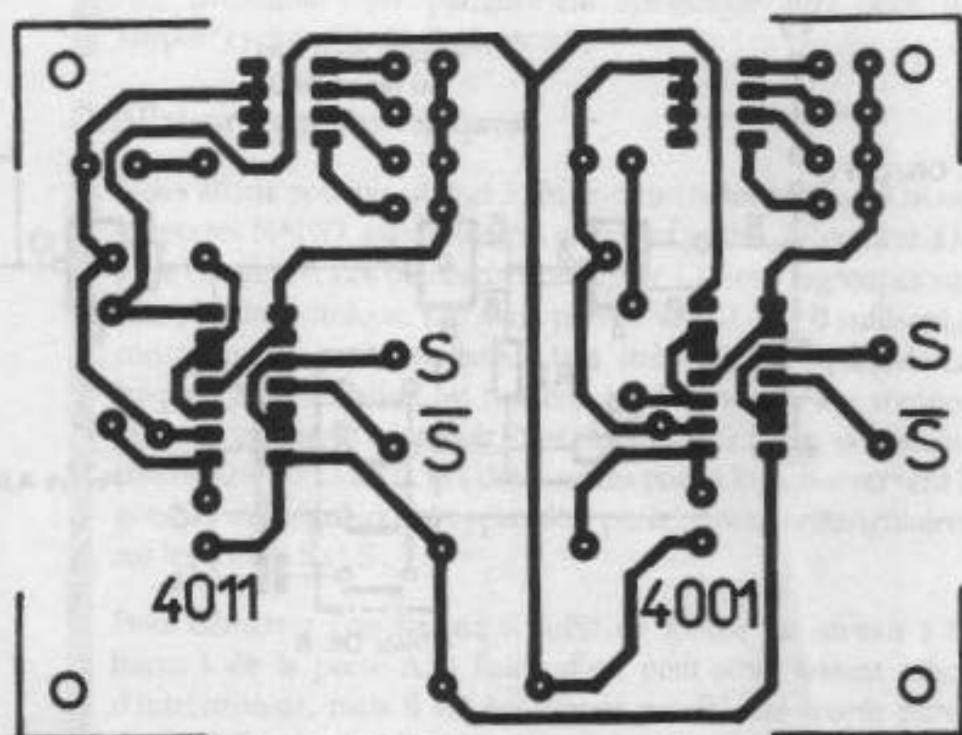
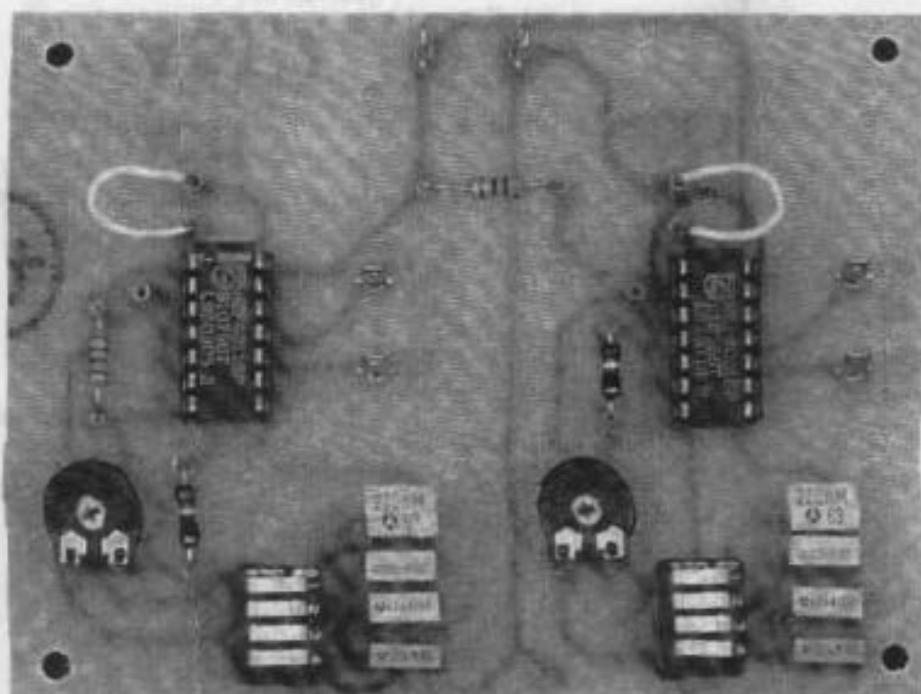


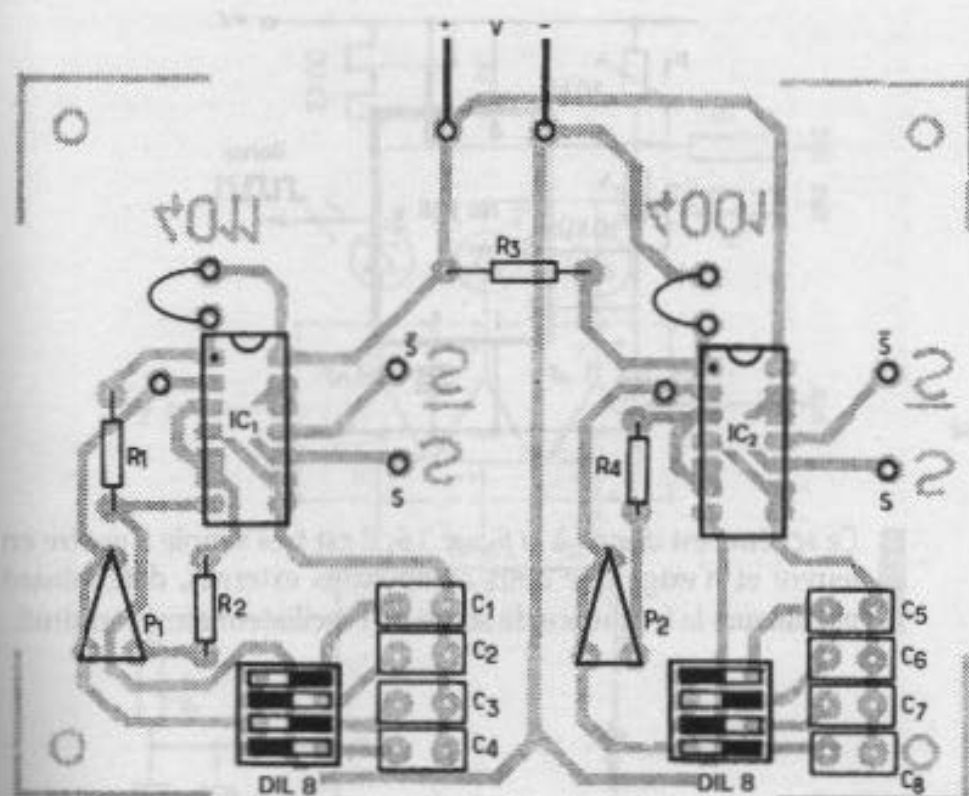
Figure 3.3.
Circuit imprimé
de l'oscillateur
à circuits logiques.



L'oscillateur
à circuits logiques
terminé.

Oscillateurs réalisés avec les circuits NE 555 et C/MOS 4093

Il existe de nombreuses autres solutions pour générer un signal carré; nous vous proposons encore un montage hyperclassique, faisant appel au célèbre circuit à 8 broches, le NE 555, que nous retrouverons également pour d'autres usages. Le schéma



Liste des composants

Semiconducteurs :

IC₁ : quadruple NAND C/MOS 4011

IC₂ : quadruple NOR C/MOS 4001

Résistances 1/4 W :

R₁, R₃ : 47 kΩ

R₂, R₄ : 1,5 kΩ

P₁, P₂ : ajustable horizontal 470 kΩ

Condensateurs :

C₂, C₅ : plastique 22 nF

C₃, C₆ : plastique 47 nF

C₃, C₇ : plastique 100 nF

C₄, C₈ : plastique 220 nF

Divers :

2 supports à souder 14 broches

2 inters mini-DIL 8

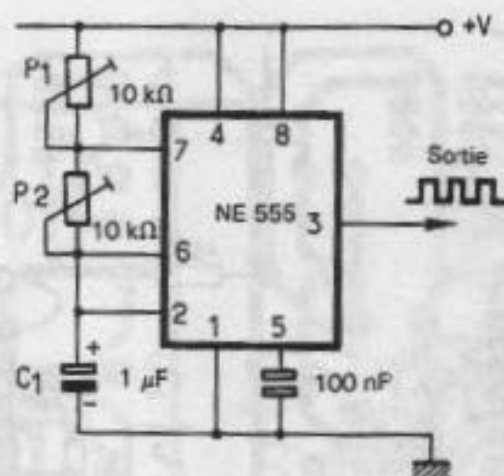
Quelques contacts tulipe unipolaires
(vendus en barrette), picots à souder...

Figure 3.4.
**Implantation
des composants.**

d'application type est donné à la figure 3.5 (p. 44). Sachez que ce circuit intégré existe chez pratiquement tous les fabricants, et sous différentes dénominations. La « puce » d'un 555 représente l'équivalent d'environ 20 transistors, 2 diodes et 15 résistances ! Un minimum de composants extérieurs permet une utilisation aisée et fiable, avec un haut niveau de précision et de stabilité, agrémenté d'une vaste tolérance pour la tension d'alimentation. Les ajustables P₁ et P₂ permettent de régler parfaitement la fréquence et le rapport cyclique disponible sur la broche 3 du circuit intégré. La fréquence dépend en grande partie également de la valeur du condensateur C₁.

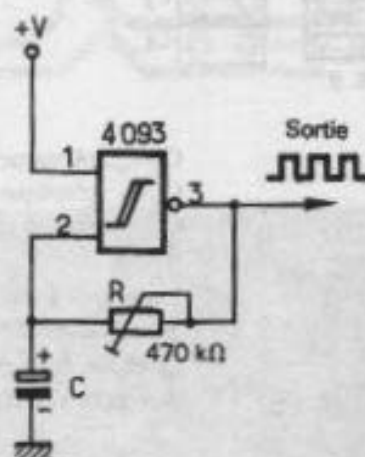
Une autre solution fort économique consiste à exploiter une seule porte NAND trigger, dont on trouve quatre exemplaires dans le circuit C/MOS 4093.

Figure 3.5.
Oscillateur réalisé
avec un NE 555.



Ce schéma est donné à la figure 3.6; il est très simple à mettre en œuvre et n'exige que deux composants externes, déterminant par ailleurs la fréquence de sortie de l'oscillateur ainsi constitué.

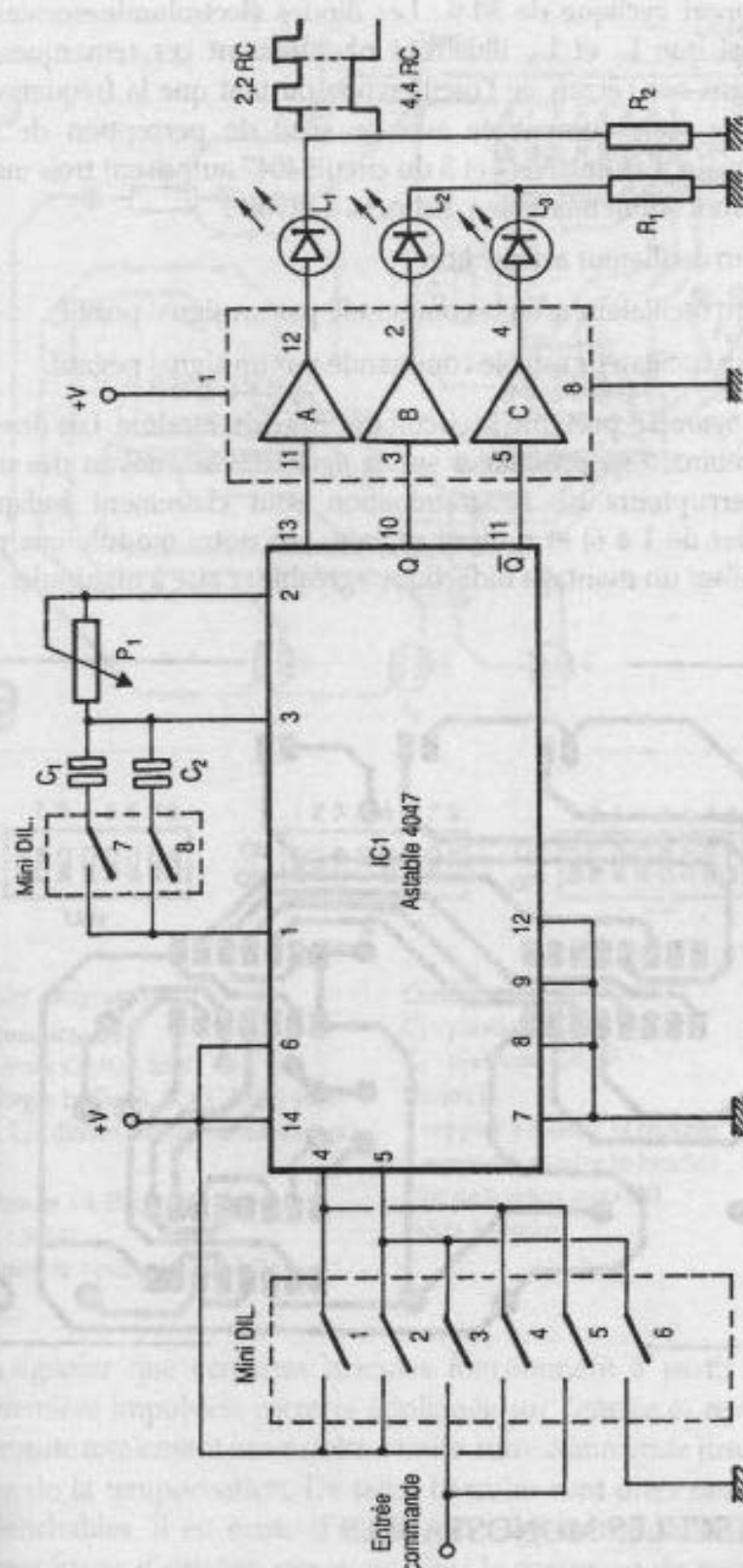
Figure 3.6.
Oscillateur réalisé
avec un 4093.



Basculés astables à 4047

L'utilisation du circuit intégré C/MOS portant la référence 4047 permet diverses applications intéressantes, d'ailleurs aussi bien en astable qu'en monostable. Sur la figure 3.7, on trouvera un schéma unique regroupant trois variantes possibles pour ce circuit complexe, quoique fort courant. Le diagramme fonctionnel du circuit comporte de nombreux modules élémentaires, mais nous ne nous attarderons ici que sur l'affectation des diverses bornes disponibles.

Tout d'abord, il convient de noter que les composants R et C se connectent toujours aux bornes 1, 2 et 3, même pour la bascule monostable. Nous avons choisi de remplacer R par l'ajustable P₁, afin de permettre un réglage aisé de la fréquence de sortie. De même, à l'aide des inters mini DIL 7 et 8, il sera possible de choisir des gammes bien distinctes avec les capacités C₁ et C₂.


 Figure 3.7.
 Oscillateur astable.

Trois sorties sont disponibles : en plus des sorties complémentaires Q et \bar{Q} sur les broches 10 et 11 et délivrant bien sûr des signaux égaux en fréquence, mais toujours opposés et strictement symétriques, on trouve encore la sortie 13 délivrant une fréquence double des précédentes, mais sans garantie d'un

rapport cyclique de 50 %. Les diodes électroluminescentes L_1 , ainsi que L_2 et L_3 , illustrent parfaitement ces remarques, du moins sur l'écran de l'oscilloscope ou tant que la fréquence de sortie reste compatible avec le seuil de perception de l'œil humain. Les entrées 4 et 5 du circuit 4047 autorisent trois modes de fonctionnement bien distincts, à savoir :

- un oscillateur astable libre;
- un oscillateur astable commandé par un signal positif;
- un oscillateur astable commandé par un signal négatif.

La figure 3.8 présente le circuit imprimé du module. Les diverses combinaisons présentées sur la figure 3.9 au moyen des mini-interrupteurs de programmation sont clairement indiquées (inter de 1 à 6) et ne sont utilisées sur notre module que pour réaliser un montage didactique agréable et aisé à manipuler.

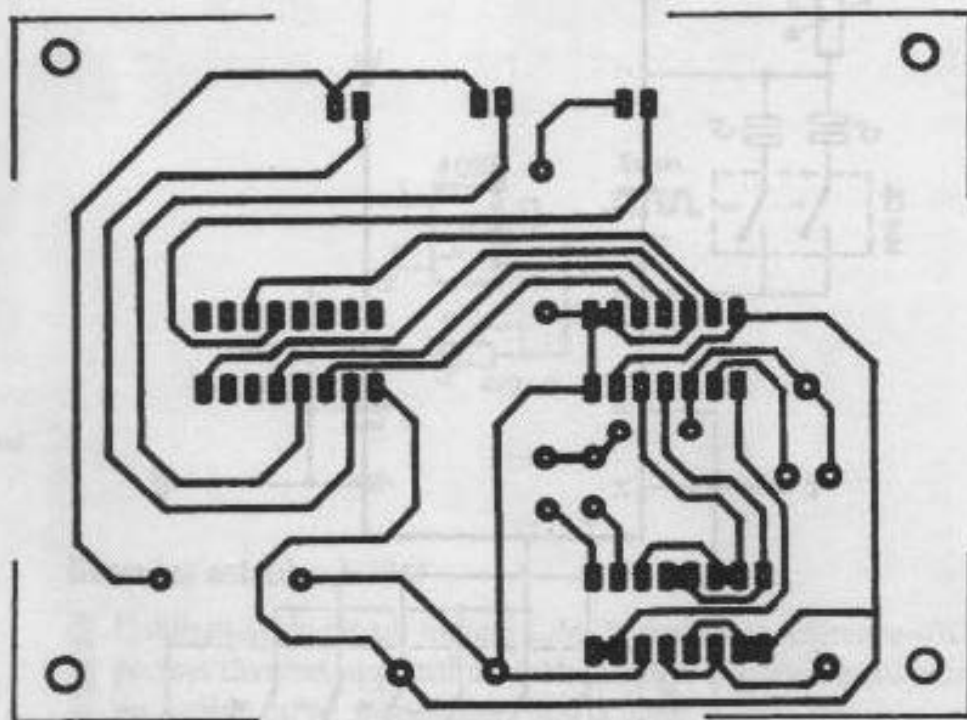
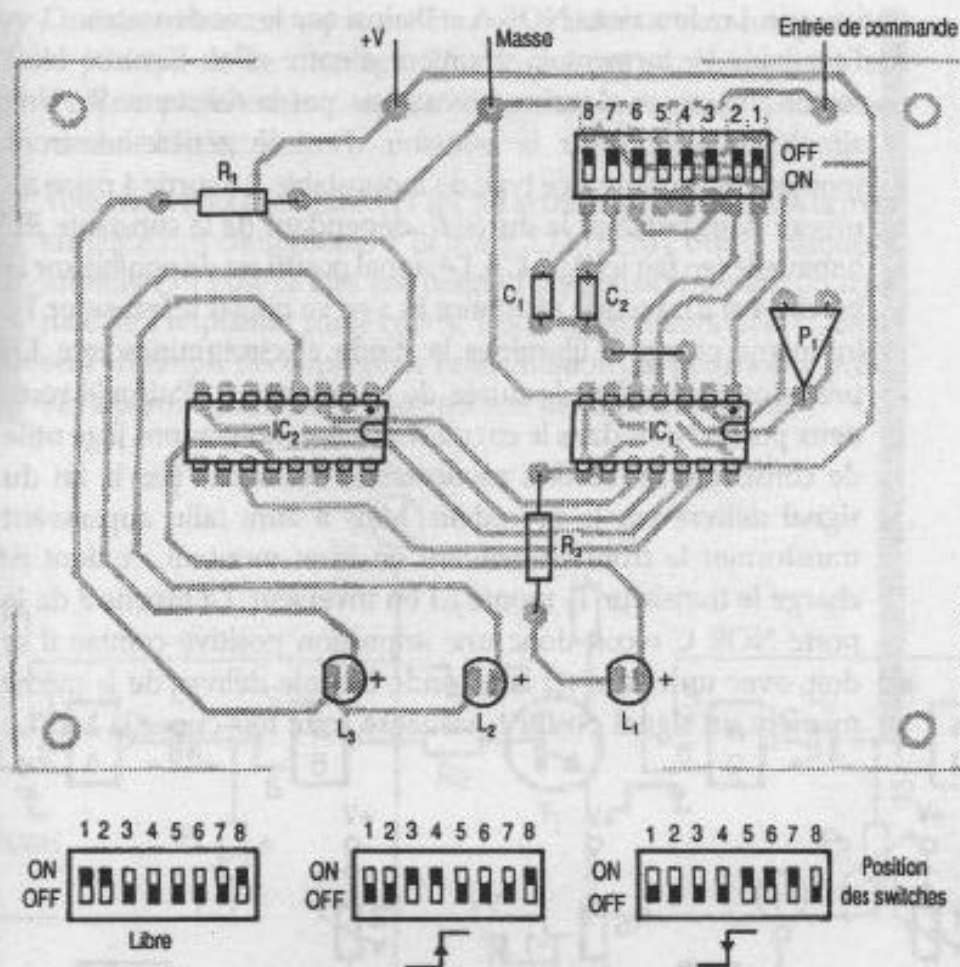


Figure 3.8.
Circuit imprimé
de l'astable.

3.2 BASCULES MONOSTABLES

Ce sont en fait des circuits temporisateurs chargés de produire des impulsions positives ou négatives à partir d'une impulsion unique d'entrée. La durée du signal peut s'étendre de quelques millisecondes pour un dispositif anti-rebonds à quelques minutes pour d'autres applications. Là encore, les solutions ne manquent pas et nous allons vous présenter quelques schémas très pratiques.



Liste des composants

Semiconducteurs :

IC₁ : circuit C/MOS 4047

IC₂ : étages buffer A, B, CC/MOS 4050

L₁, L₂, L₃ : diodes électroluminescentes 5 mm

Résistances 1/4 W :

R₁, R₂ : 390 Ω

P₁ : ajustable horizontal 220 kΩ

Condensateurs :

C₁ : plastique 4,7 nF

C₂ : plastique 470 nF

Divers :

1 support à souder 14 broches

1 support à souder 16 broches

Bloc de 6 inters mini-DIL

Picots à souder

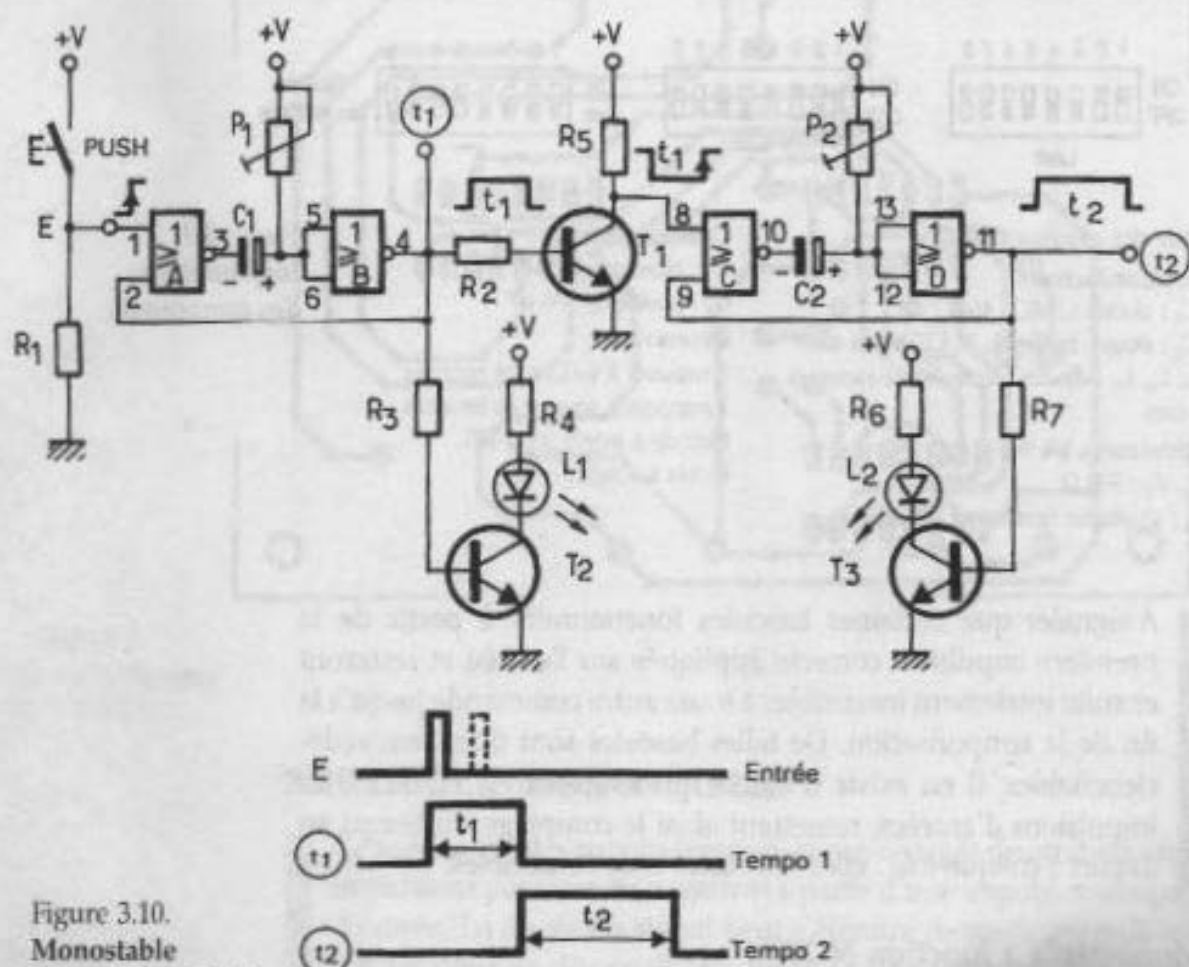
Figure 3.9.
Implantation
des composants.

À signaler que certaines bascules fonctionnent à partir de la première impulsion correcte appliquée sur l'entrée et resteront ensuite totalement insensibles à toute autre commande jusqu'à la fin de la temporisation. De telles bascules sont dites non redéclenchables. Il en existe d'autres qui réagissent à TOUTES les impulsions d'entrées, remettant ainsi le comptage du temps au départ à chaque fois : elles sont dites redéclenchables.

Monostable à fonction NOR

Il apparaît clairement sur la figure 3.10 que les portes logiques sont associées à d'autres composants pour former la fameuse

bascule. Les fonctions NOR A et B ainsi que le condensateur C_1 et l'ajustable P_1 forment la première d'entre elles. L'entrée 1 est forcée à la masse, donc au niveau bas, par la résistance R_1 . Une simple impulsion sur le poussoir d'entrée génère un front montant, nécessaire à ce type de monostable. La sortie 4 passe au niveau haut pendant la durée t_1 , dépendant de la constante RC habituelle (en fait ici P_1 et C_1). Le signal positif est disponible sur la broche 4 et à travers la résistance R_3 s'en va piloter le transistor T_2 , lui-même chargé d'illuminer la diode électroluminescente L_1 , précisément pendant la durée de ce créneau t_1 . Puisqu'il reste deux portes NOR dans le circuit IC_1 utilisé, nous avons jugé utile de construire un second monostable, déclenché par la fin du signal délivré par le précédent. Mais il aura fallu auparavant transformer le front descendant en front montant, ce dont se charge le transistor T_1 monté ici en inverseur. La broche 8 de la porte NOR C reçoit donc une impulsion positive comme il se doit, avec un retard t_1 ; la seconde bascule délivre de la même manière un signal positif t_2 visualisé cette fois-ci par la Led L_2 .



Le diagramme associé au schéma vous aidera à bien comprendre le principe de ce montage. Une impulsion supplémentaire est inutile et parfaitement inopérante pendant la durée de fonctionnement de la bascule.

Vous trouverez à la figure 3.11 (p. 50) le tracé du cuivre, puis la mise en place des composants à la figure 3.12 (p. 51). Sur la plaquette imprimée, il pourra être fait usage d'un poussoir séparé ou d'un modèle à implanter sur le cuivre. Les condensateurs C_3 et C_4 assurent un simple découplage de l'alimentation qui pourra être prélevée à partir du module « alimentation par transformateur ».

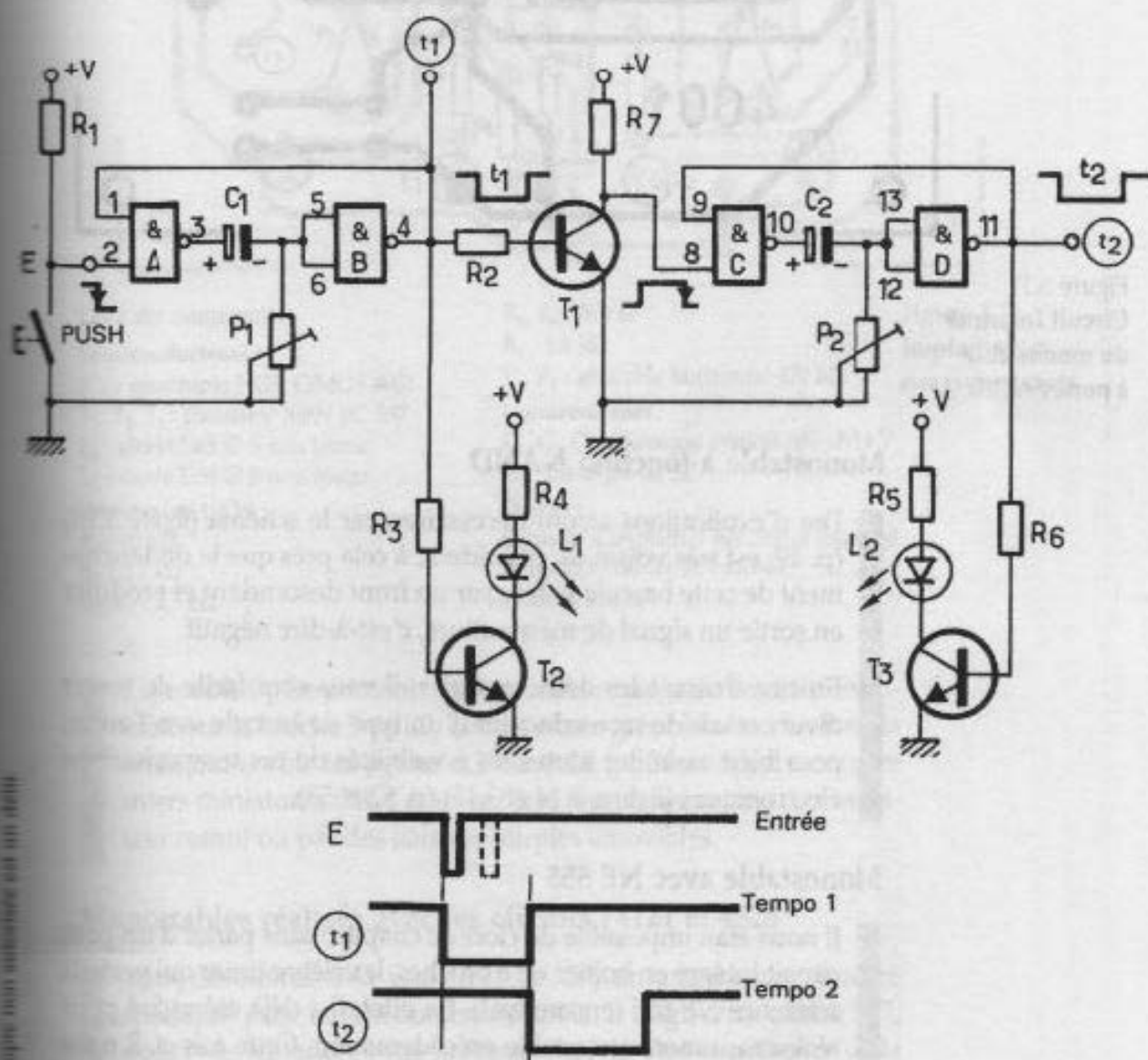


Figure 3.13.
Monostable
non redéclenchable
à portes NAND
(durée $\approx 0,6 RC$).

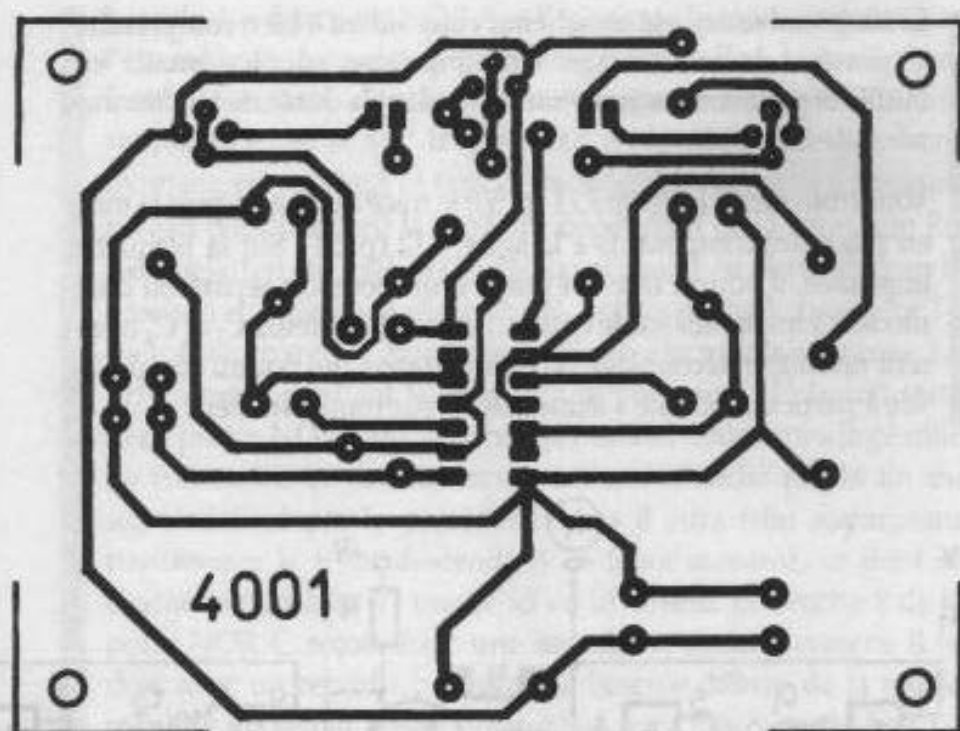


Figure 3.11.
Circuit imprimé
du monostable
à portes NOR.

Monostable à fonction NAND

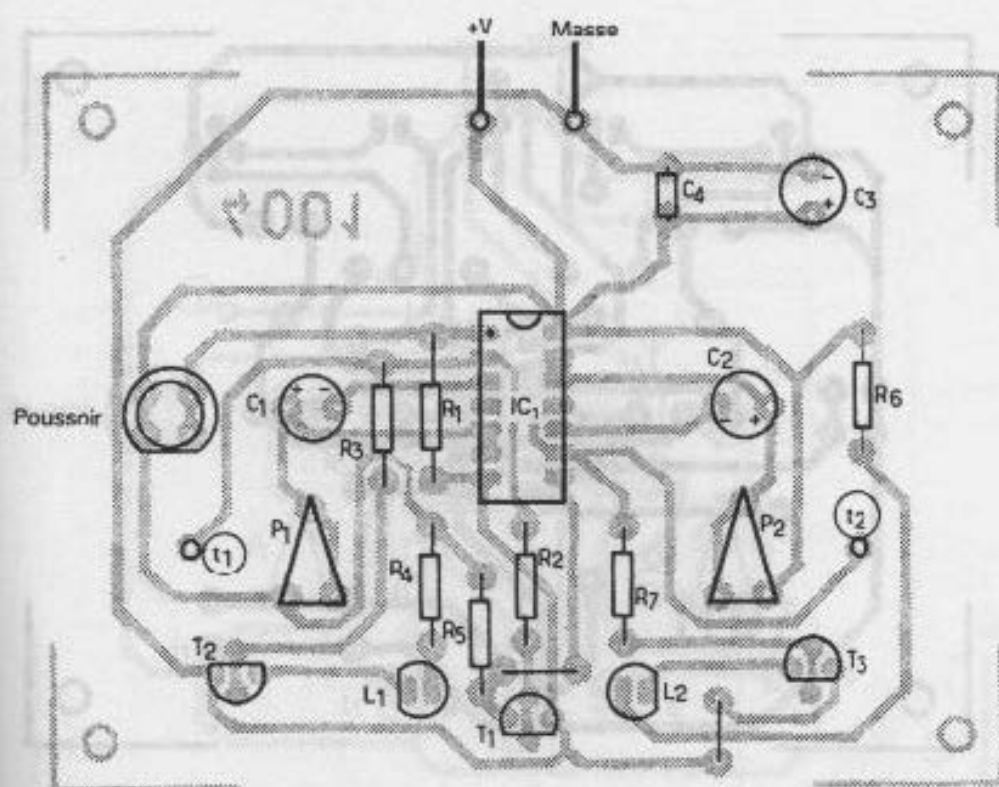
Peu d'explications seront nécessaires, car le schéma (figure 3.13) (p. 49) est très voisin du précédent, à cela près que le déclenchement de cette bascule se fera sur un front descendant et produira en sortie un signal de même allure, c'est-à-dire négatif.

En construisant les deux modules, il vous sera facile de tenter divers essais de raccordement d'un type de bascule vers l'autre, pour bien assimiler toutes les possibilités de ces temporisations électroniques (figures 3.14 et 3.15) (p. 52 et 53).

Monostable avec NE 555

Il nous était impossible de clore ce chapitre sans parler d'un petit circuit intégré en boîtier de 8 broches, le célèbre timer qui porte la référence NE 555 (encore lui !). En effet, il a déjà été utilisé pour réaliser un montage astable précédemment. Cette fois-ci, il nous permet de construire une bascule monostable, redéclenchable ou non, selon la position d'un petit strap situé soit entre les broches 4 et 8, soit entre 4 et 2. Vous trouverez le schéma à la figure 3.16 (p. 54).

Les condensateurs C_1 à C_4 permettent d'obtenir une vaste gamme de fréquences dont le réglage fin peut s'opérer avec



Liste des composants

Semiconducteurs :

IC₁ : quadruple NOR C/MOS 4001

T₁, T₂, T₃ : transistor NPN BC 337

L₁ : diode Led Ø 5 mm jaune

L₂ : diode Led Ø 5 mm rouge

Résistances 1/4 W :

R₁ : 47 kΩ

R₂ : 2,7 kΩ

R₃, R₇ : 1,5 kΩ

R₄, R₆ : 390 Ω

R₅ : 5,6 kΩ

P₁, P₂ : ajustable horizontal 470 kΩ

Condensateurs :

C₁, C₂, C₃ : chimique vertical 100 µF/16 V

C₄ : plastique 22 nF

Divers :

Poussoir à implanter sur circuit imprimé

Support à souder 14 broches

Picots à souder

Figure 3.12.

Implantation
des composants.

l'ajustable P₁. Le poussoir génère un front négatif; la sortie disponible sur la broche 3 de IC₁ est visualisée grâce à la Led L₁. Pour la réalisation, voir les figures 3.17 et 3.18 (p. 54 et 55). Les quatre inters miniatures DIL 8 peuvent être remplacés par un commutateur rotatif ou par des liaisons souples amovibles.

Monostables réalisés avec les circuits 74121 et 4528

Vous découvrirez à la figure 3.19 (p. 56) un autre circuit intégré spécialisé pour la fonction monostable. Il s'agit d'un circuit TTL dont l'alimentation exige précisément 5 V, d'où la présence de la diode Zener Z₁. Cette petite contrainte est vite oubliée en raison de l'extrême précision de ce circuit fort simple à mettre en œuvre. Il délivre deux signaux opposés sur les broches 1 et 6. Les composants R et C déterminent eux seuls la période du signal rectangulaire de sortie, non redéclenchable rappelons-le.

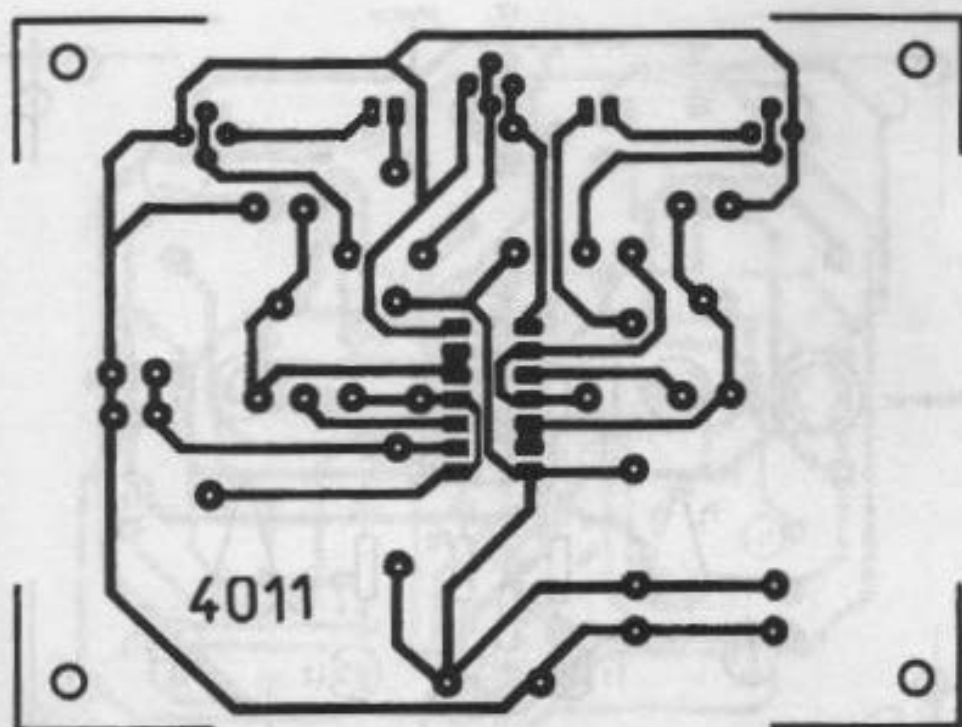


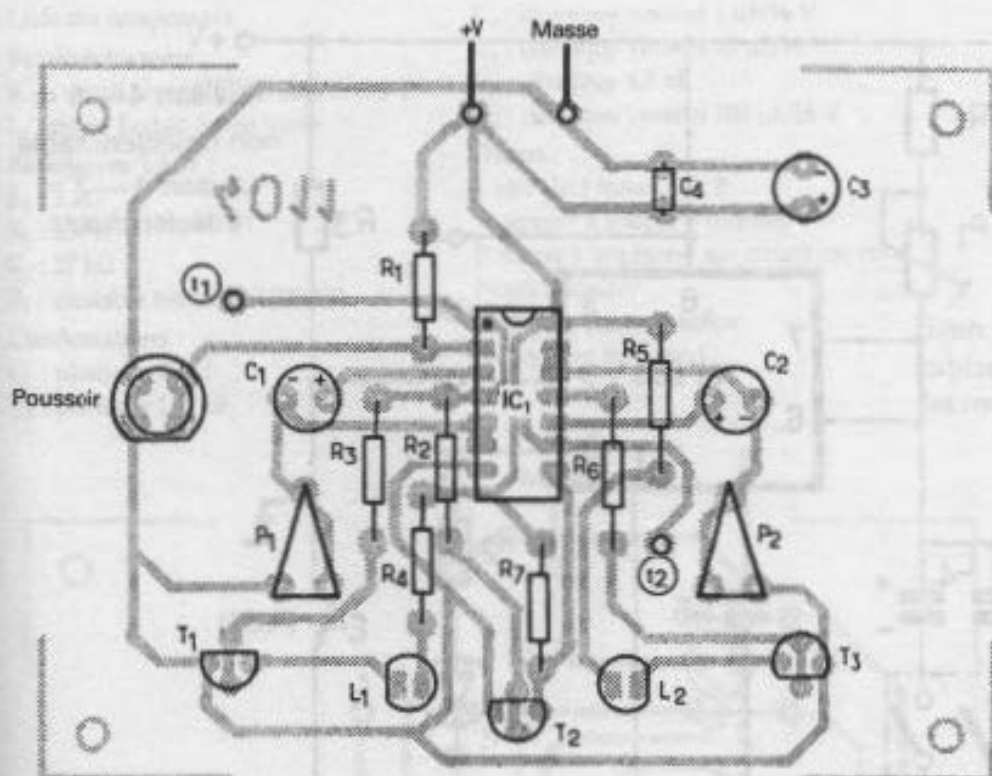
Figure 3.14.
Circuit imprimé
du monostable
à portes NAND.

Une autre solution très séduisante se trouve à la figure 3.20 (p. 56); il s'agit d'un circuit comportant deux bascules monostables totalement indépendantes, aux multiples possibilités de commande.

Il s'agit d'un circuit C/MOS portant la référence 4528 qui accepte au choix en entrée un front positif ou négatif. Une entrée de remise à zéro est prévue aux bornes 3 et 13, qui ont été réunies sur notre schéma pour une RAZ unique à tout moment de la temporisation.

Bascules monostables à 4047

Une fois encore nous faisons appel au circuit 4047, puisqu'il permet de construire diverses bascules monostables intéressantes (voir figure 3.21) (p. 57). Sur les sorties 10 et 11, on dispose de signaux opposés, mais guère capables de délivrer un courant supérieur à quelques milliampères, ce qui explique la présence des étages buffer A et B. Les composants C_1 et P_1 , indispensables, sont toujours connectés au même endroit. Selon la position des divers petits switches, on pourra construire une bascule monostable commandée par une impulsion positive, une impulsion négative ou encore une bascule « retriggerable », c'est-à-dire redéclenchable à chaque nouvelle impulsion à l'entrée. Ce dernier mode de fonctionnement prolonge la période du signal



Liste des composants

Semiconducteurs :

IC₁ : quadruple NAND C/MOS 4011

T₁, T₂, T₃ : transistor NPN BC 337

L₁ : diode Led Ø 5 mm jaune

L₂ : diode Led Ø 5 mm rouge

Résistances 1/4 W :

R₁ : 47 kΩ

R₂ : 2,7 kΩ

R₃, R₆ : 1,5 kΩ

R₄, R₅ : 390 Ω

R₇ : 5,6 kΩ

P₁, P₂ : ajustable horizontal 470 kΩ

Condensateurs :

C₁, C₂, C₃ : chimique vertical 100 µF/16 V

C₄ : plastique 22 nF

Divers :

Poussoir à implanter sur circuit imprimé

Support à souder 14 broches

Picots à souder

Figure 3.15.
Implantation
des composants.

de sortie qui n'a plus besoin de se terminer pour autoriser une nouvelle impulsion. Les petits interrupteurs peuvent avantageusement être remplacés par de simples straps sur un support « tulipe » 16 DIL (2 rangées de 8). Le poussoir prévu sur la plaquette génère un front négatif s'il est actionné et un front positif s'il est relâché. La réalisation du module est aisée en suivant les indications des figures 3.22 et 3.23 (p. 58 et 59).

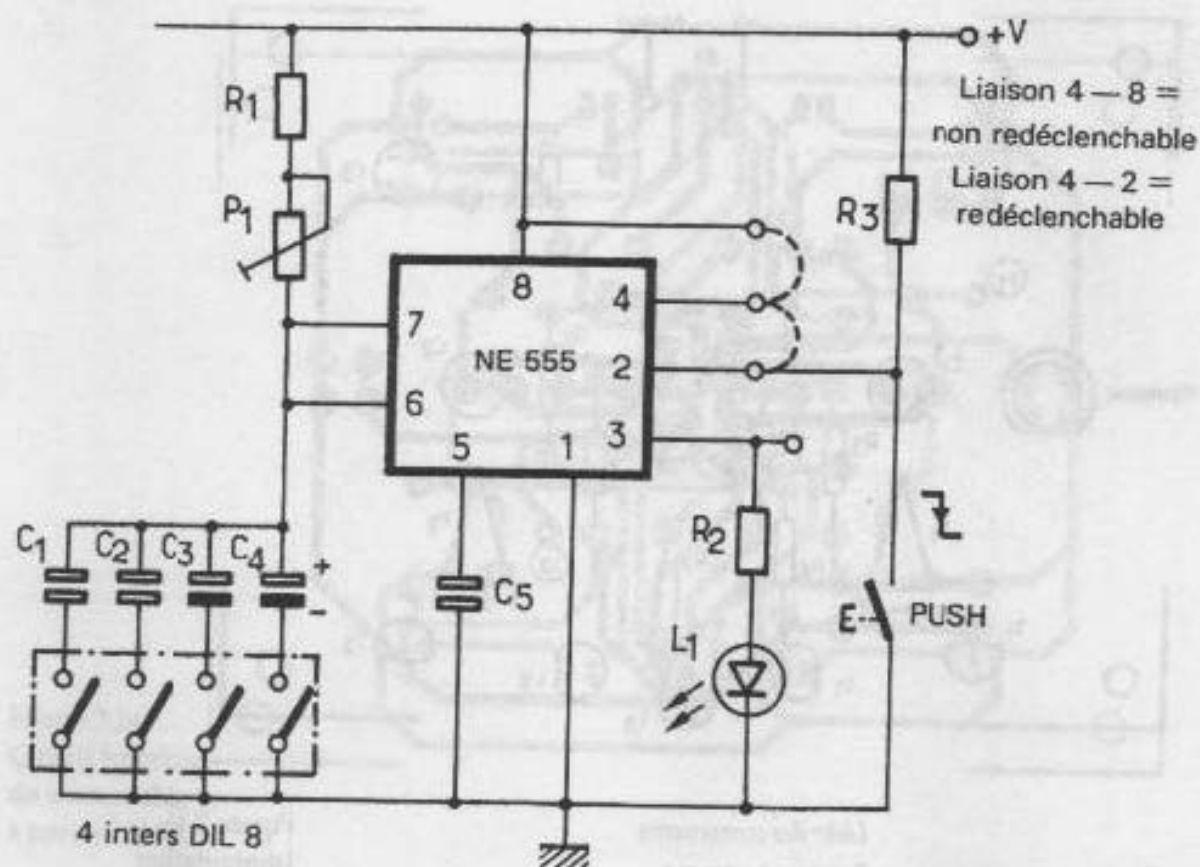


Figure 3.16.
Schéma d'un
monostable réalisé
avec un NE 555.

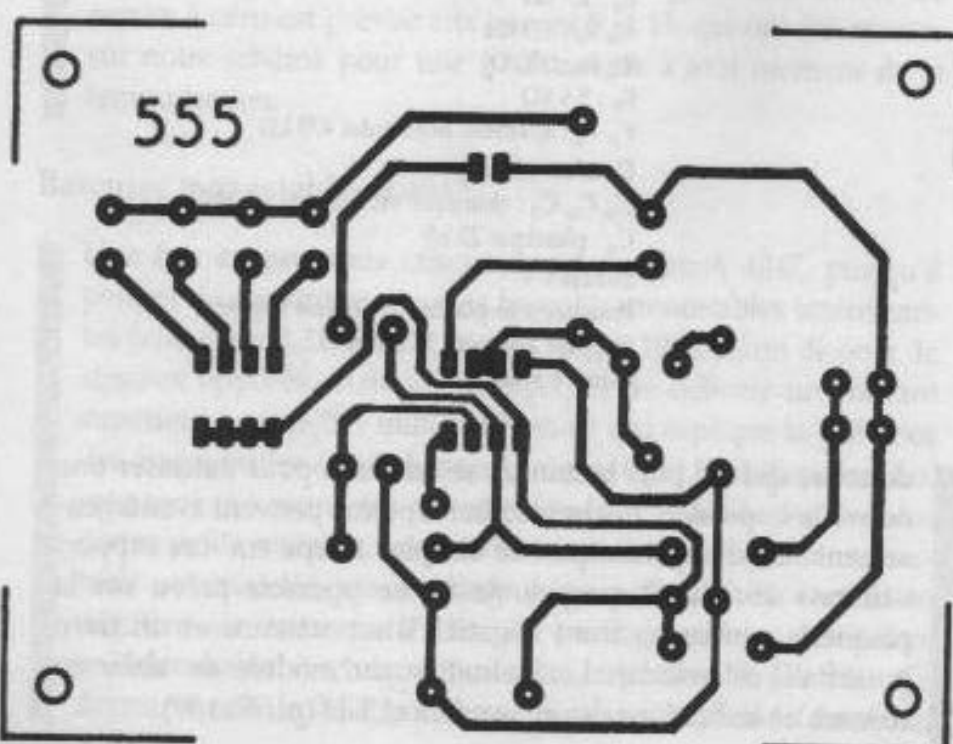


Figure 3.17.
Circuit imprimé
du monostable
avec un NE 555.

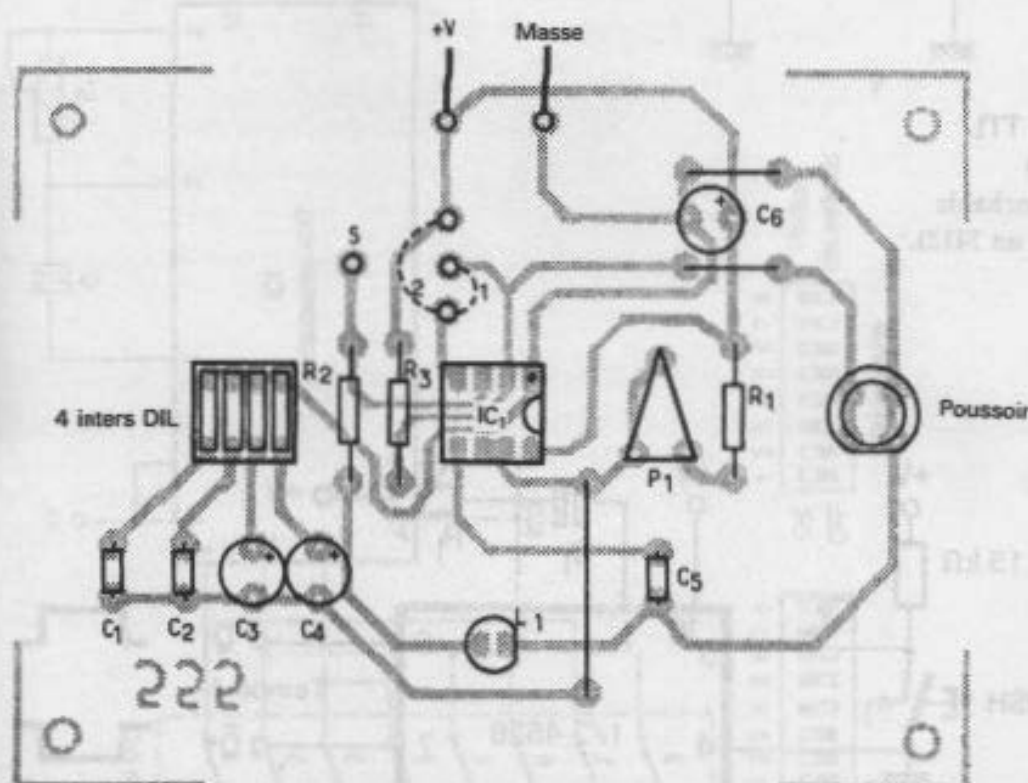
*Liste des composants***Semiconducteurs :**IC₁ : circuit timer NE 555 dual in line 8L₁ : diode Led Ø 5 mm verte**Résistances 1/4 W :**R₁ : 1 kΩR₂ : 330 ΩR₃ : 27 kΩP₁ : ajustable horizontal 220 kΩ**Condensateurs :**C₁ : plastique 10 nFC₂ : plastique 100 nFC₃ : chimique vertical 1 µF/16 VC₄ : chimique vertical 10 µF/16 VC₅ : plastique 4,7 nFC₆ : chimique vertical 100 µF/16 V**Divers :**

1 bloc de 4 inters DIL 8

1 support à souder 8 broches

Poussoir à implanter sur circuit imprimé

Picots à souder

Quelques contacts tulipe
(vendus en barrettes)Figure 3.18.
Implantation
des composants.

3.3 BASCULES BISTABLES

On peut considérer d'une manière générale que les bascules bistables sont en fait des mémoires, qui, rappelons-le, possèdent deux états différents, parfaitement stables et complémentaires. Le positionnement dans un état précis est assuré aussi longtemps que se manifeste la tension d'alimentation et aussi longtemps qu'aucun ordre contraire n'est donné. Deux signaux différents sont souvent nécessaires; l'un est prévu pour la mise en marche, l'autre pour la mise à zéro (ou RESET). Ces résultats s'appliquent toujours à la sortie Q. Quelquefois pourtant, un dispositif à impulsion unique servira pour les deux ordres consécutifs (voir bascule JK p. 62, figure 3.28).

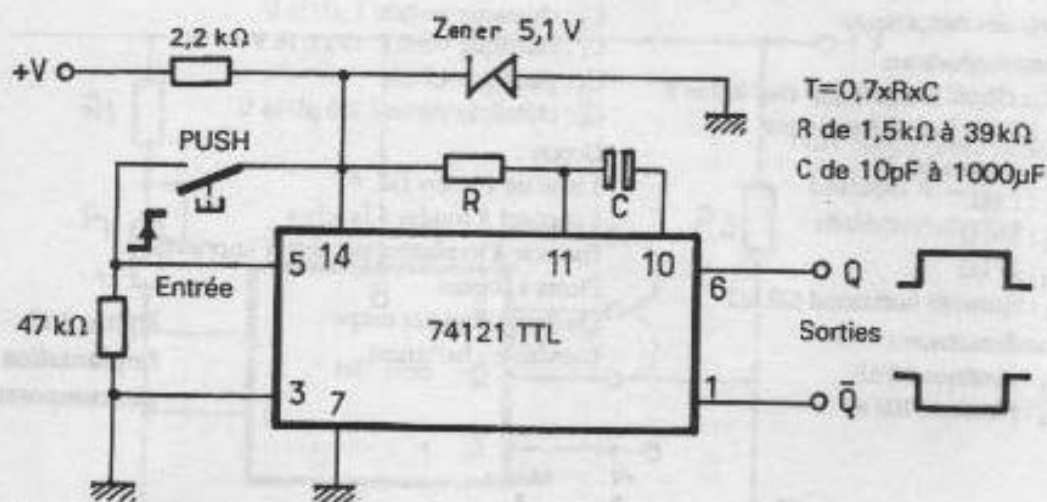


Figure 3.19.
Monostable TTL
de précision
non redéclenchable
réalisé avec un 74121.

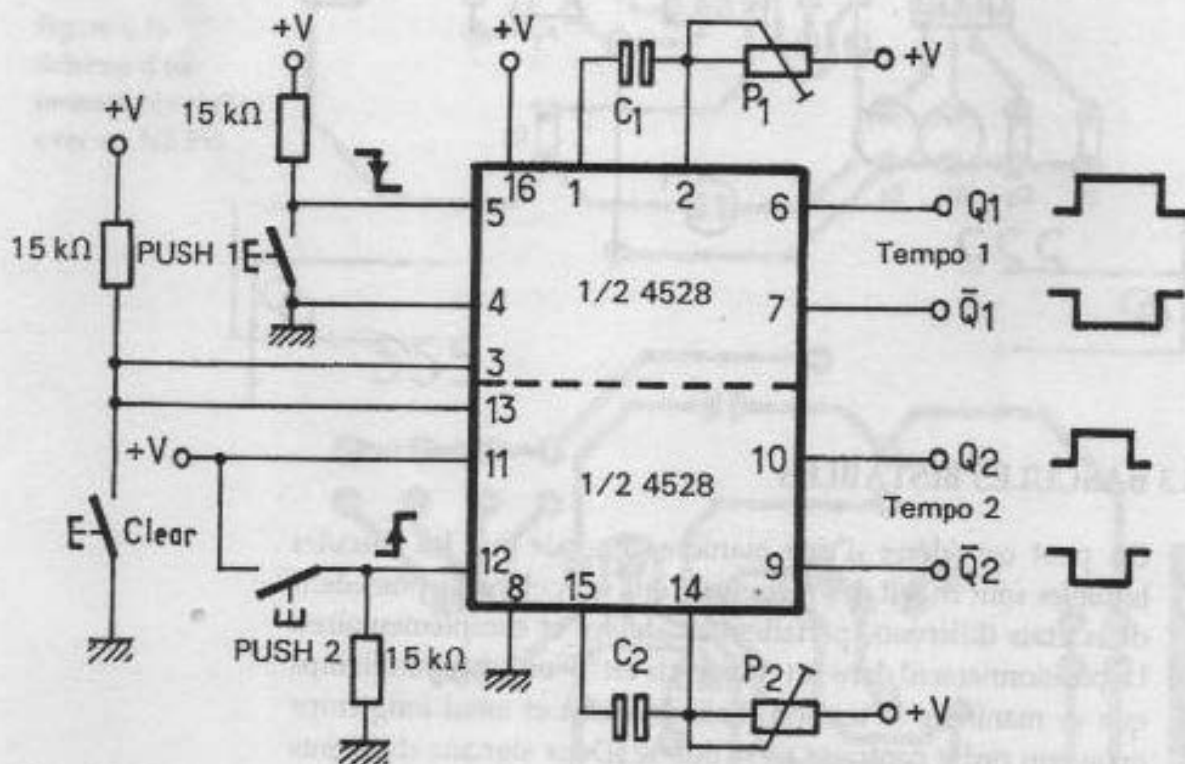


Figure 3.20.
Double monostable
réalisé avec
un C/MOS 4528.

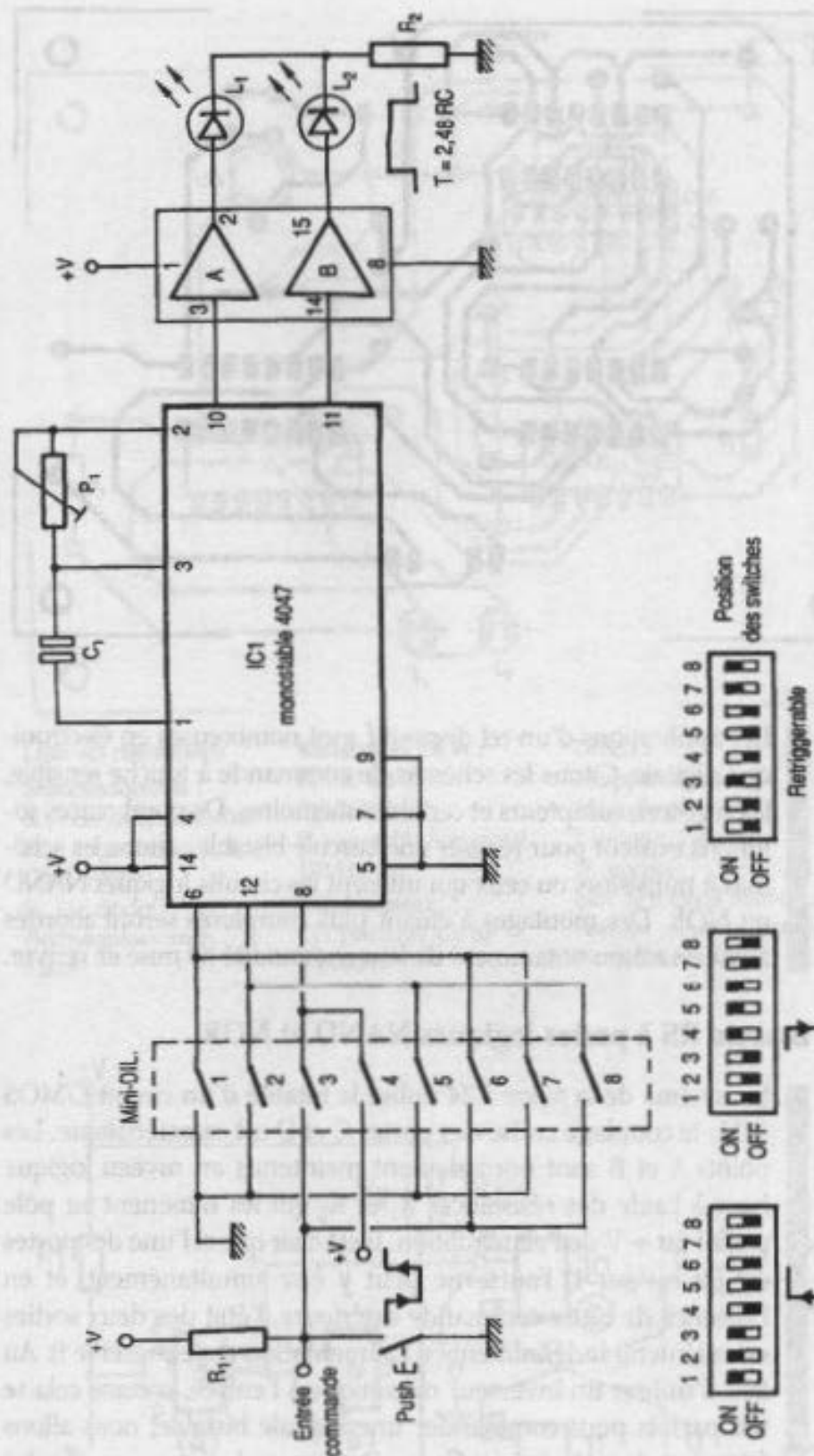


Figure 3.21.
Schéma
du monostable
universel.

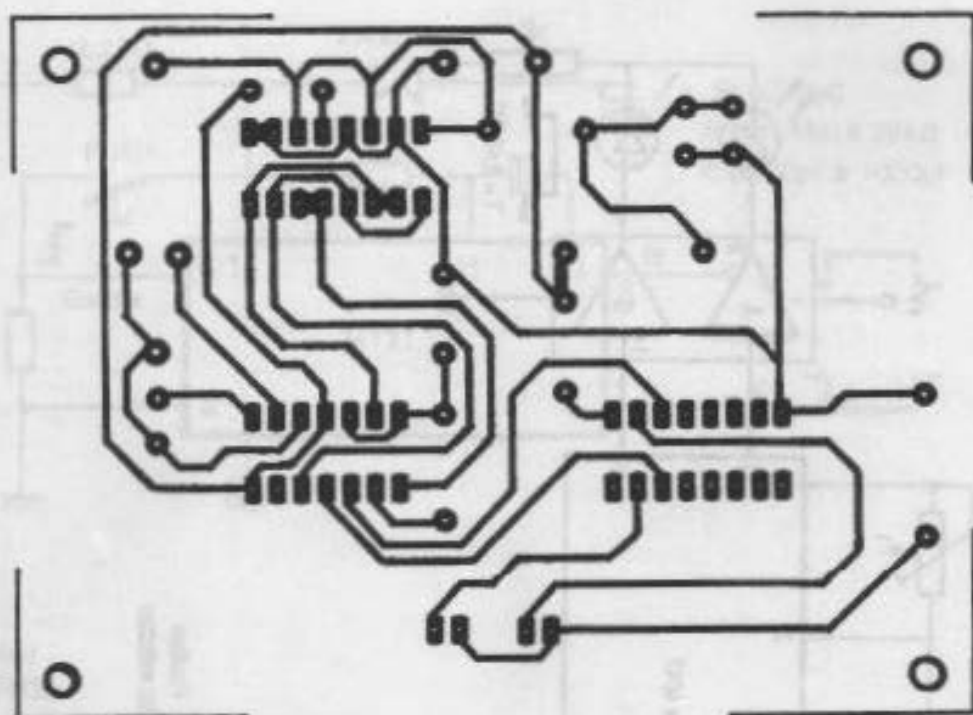


Figure 3.22.
Circuit
imprimé
du monostable
4047.

Les applications d'un tel dispositif sont nombreuses en électronique digitale. Citons les schémas de commande à touche sensible, les registres, compteurs et certaines mémoires. De nombreuses solutions existent pour réaliser une bascule bistable : citons les schémas à transistors ou ceux qui utilisent les circuits logiques NAND ou NOR. Des montages à circuit plus complexes seront abordés aussi, en raison notamment de leur commodité de mise en œuvre.

Bascule RS à portes logiques NAND et NOR

Le schéma de la figure 3.24 utilise la totalité d'un circuit C/MOS 4011; le couplage croisé des portes C et D est caractéristique. Les points A et B sont normalement maintenus au niveau logique haut à l'aide des résistances R_1 et R_2 qui les ramènent au pôle positif ou $+V$ de l'alimentation. Il est clair que si l'une des portes est au niveau 1, l'autre ne peut y être simultanément, et en l'absence de toute commande extérieure, l'état des deux sorties est maintenu indéfiniment (si l'alimentation reste présente !). Au lieu d'utiliser un inverseur mécanique à l'entrée, comme cela se fait parfois pour commander une bascule bistable, nous allons faire appel aux propriétés des inverseurs logiques, en fait les portes NAND A et B câblées comme telles. Les bornes 1 et 2 sont forcées au niveau haut par l'intermédiaire de la résistance R_1 . La sortie 3 de cette porte est donc basse; le point A est à 0, tandis que le point B est à 1. Logique, non ?... L'une des sorties, Q ou \bar{Q} , est haute, ce qui a pour effet de commander la diode électrolumines-

cente correspondante à l'aide de l'un des transistors NPN, T_1 ou T_2 . Pour changer l'état des sorties, il suffit de fermer l'inter d'entrée et de le maintenir fermé. Attention, une impulsion seule ne suffira pas; il faut donc que le contact soit maintenu à 1 ou à 0 selon l'état souhaité pour les sorties. Nous vous proposons une autre expérience à l'aide du même montage, mais il faut au préalable mettre hors circuit les portes NAND A et B. Pour cela, vous devrez plier les pattes 1 à 6 du circuit intégré, mais surtout garder la patte 7 qui doit relier le circuit intégré à la masse. Après cette opération, il suffit de toucher brièvement l'un des points A ou B avec un brin de fil souple relié à la masse. Les sorties s'inversent aussitôt et se maintiennent fidèlement jusqu'à l'impulsion suivante. Ce mode de commande est souvent utilisé dans les montages électroniques; il sera exploité avec les impulsions RESET et SET, d'où le nom du montage.

Vous trouverez à la figure 3.25 un schéma très proche utilisant cette fois-ci les portes NOR d'un circuit C/MOS 4001. La polarité de l'ordre de commande est inversée, ainsi que le branchement des résistances R_2 et R_3 .

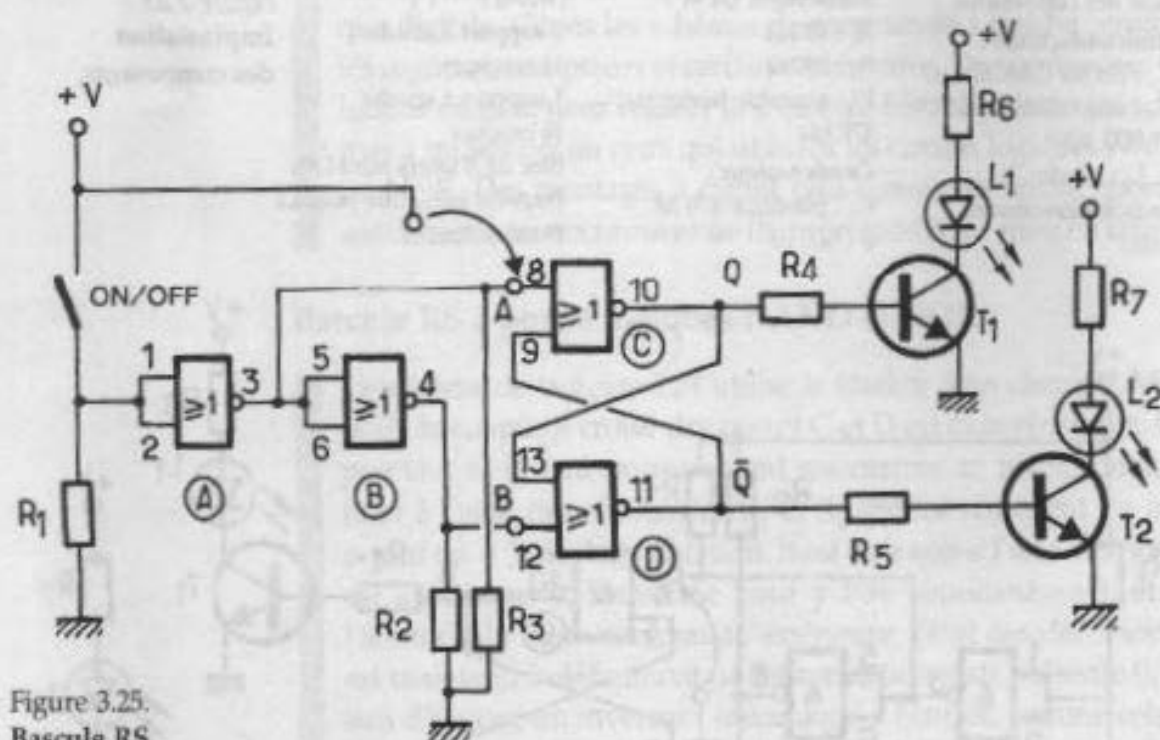


Figure 3.25.
Bascule RS
à portes NOR.

Le fonctionnement est similaire à celui du montage précédent. Ces deux schémas sont regroupés sur une seule et même plaquette (voir figure 3.26). À la mise en place des composants (figure 3.27), veillez à ne pas intervertir les circuits IC_1 et IC_2 , et à les monter dans le bon sens.

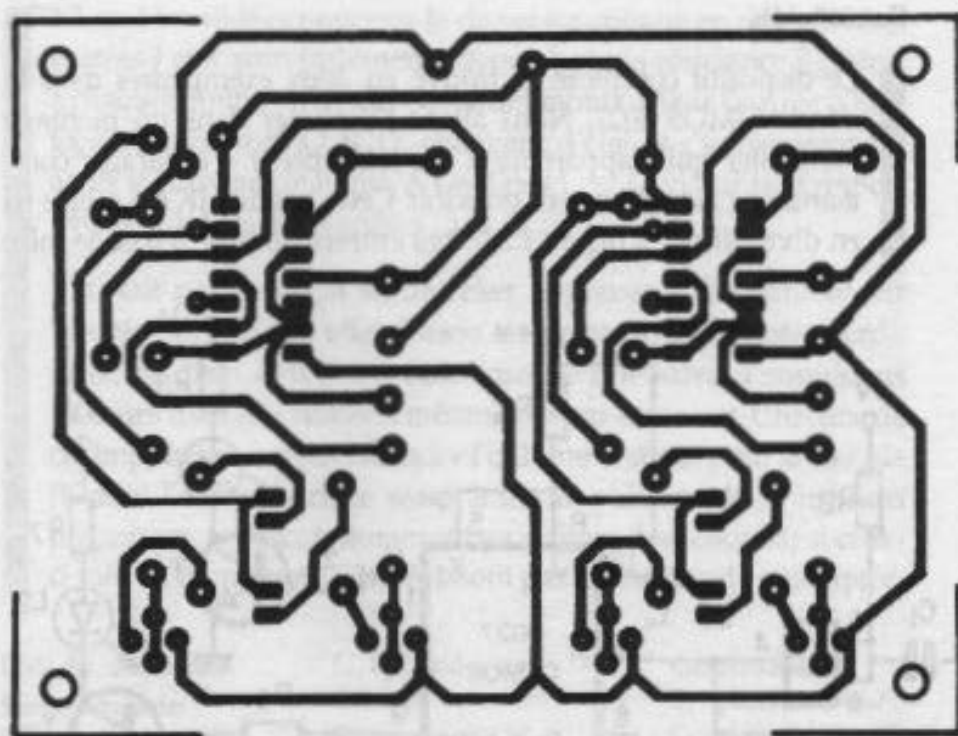
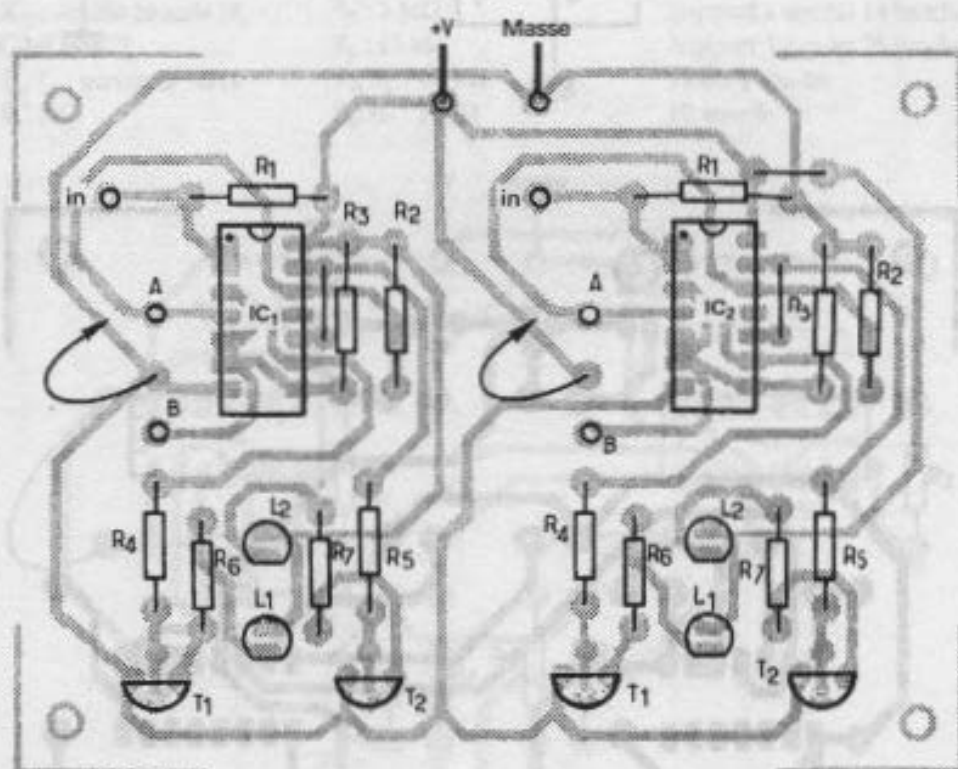


Figure 3.26.
Circuit
imprimé
de la bascule
RS à portes
logiques.



Liste des composants

Semiconducteurs :

IC₁ : quadruple NAND
CMOS 4011

IC₂ : quadruple NOR
CMOS 4001

T₁, T₂ : transistor NPN
BC 337

L₁, L₂ : diodes Led
Ø 5 mm

Résistances 1/4 W :

R₁ : 15 kΩ

R₂, R₃ : 27 kΩ

R₄, R₅ : 2,7 kΩ

R₆, R₇ : 330 Ω

Divers :

2 supports à souder

14 broches

Picots à souder

Fil souple

Figure 3.27.

Implantation
des composants.

Bascule JK

Ce dispositif complexe se trouve en deux exemplaires dans le circuit C/MOS 4027. Nous allons l'exploiter dans un montage particulier qui s'apparente à un télérupteur d'éclairage, commandé à l'aide d'un seul poussoir. Cette bascule JK est câblée ici en diviseur par 2 (figure 3.28). Les entrées de mise à 0 et de mise

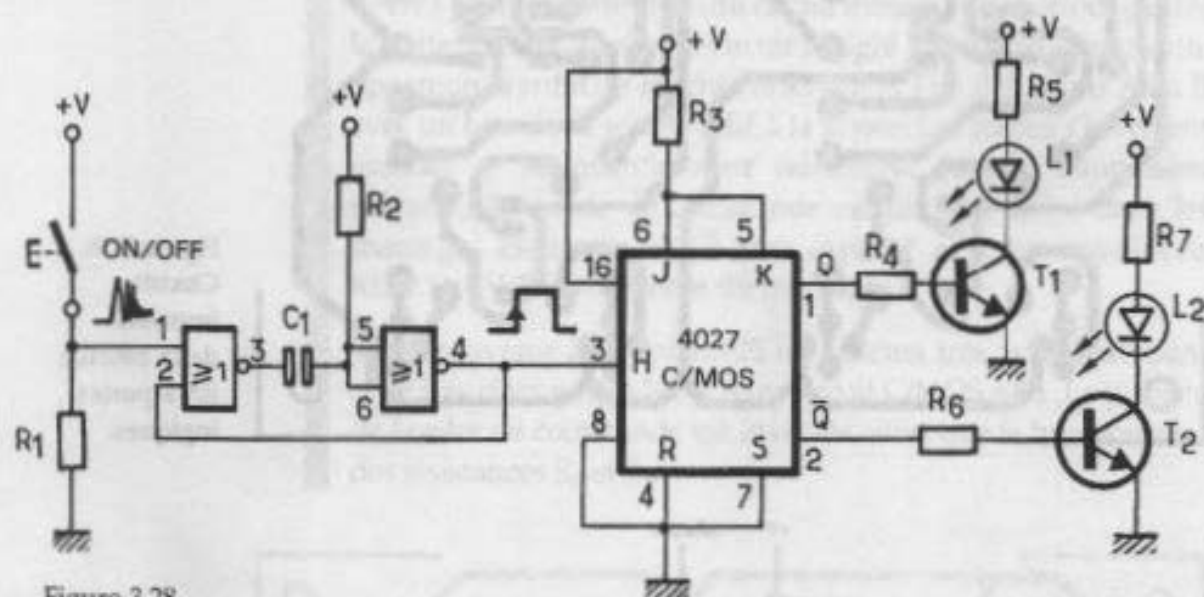


Figure 3.28.
Bascule JK.

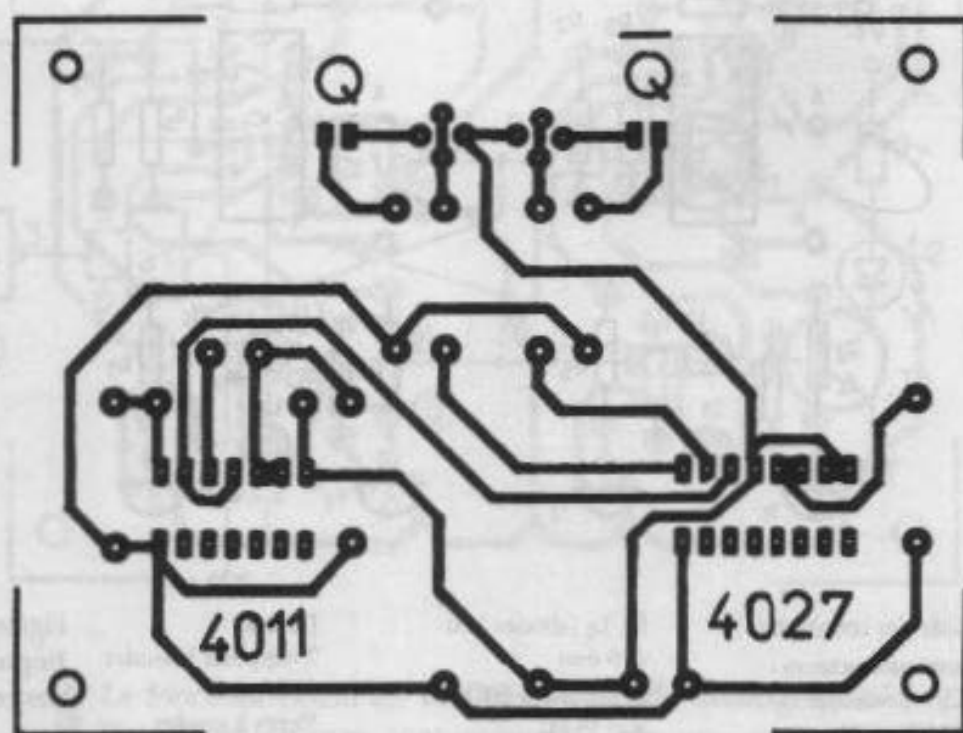


Figure 3.29.
Circuit imprimé
de la bascule JK.

à 1 sont invalidées pour que le circuit fonctionne en mode JK. Les entrées J et K sont justement mises à 1 par la résistance R_3 . Ainsi à chaque impulsion positive (= front montant) sur l'entrée d'horloge H, les sorties Q et \bar{Q} changent d'état et s'y maintiennent après la commande fugitive. Les Leds L_1 et L_2 visualisent respectivement les états des sorties Q et \bar{Q} .

Il n'était pas question ici de relier le poussoir directement sur l'entrée horloge : en effet, lorsqu'on ferme un interrupteur ordinaire, on peut détecter à l'oscilloscope une salve d'impulsions parasites dues aux rebonds mécaniques sur le contact. Chacune de ces impulsions indétectables à « l'œil » ne l'est pas pour la bascule JK dont l'entrée horloge réagit à des impulsions de 50 ns. Sans précaution, la bascule commute au rythme des rebonds; si ceux-ci sont en nombre pair, on n'obtient pas la commande escomptée.

Liste des composants

Semiconducteurs :

IC₁ : quadruple NOR

C/MOS 4001

IC₂ : double bascule JK

C/MOS 4027

T₁, T₂ : transistor NPN

BC 337

L₁, L₂ : diodes Led
Ø 5 mm

Résistances 1/4 W :

R₁ : 47 kΩ

R₂ : 1 MΩ

R₃ : 15 kΩ

R₄, R₅ : 4,7 kΩ

R₆, R₇ : 330 Ω

Condensateurs :

C₁ : plastique 470 nF

C₂ : plastique 22 à 47 nF

Divers :

Support à souder 14 broches

Support à souder 16 broches

Picots à souder

Fil souple

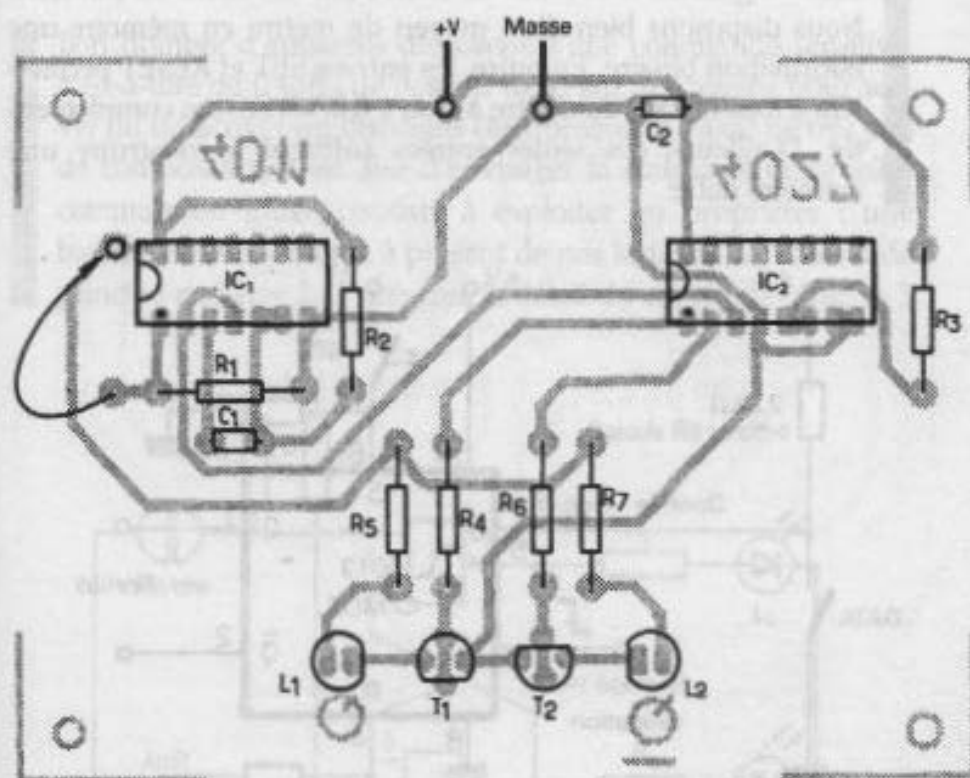


Figure 3.30.
Implantation
des composants.

Il existe des touches spéciales à effet Hall fort onéreuses, mais d'autres solutions simples existent; par exemple, le passage par une bascule RS, ou encore l'utilisation d'un circuit monostable non-redéclenchable, dont la première impulsion seule est prise en compte. Sur le schéma, nous avons repris la solution à deux portes NOR. Notez que le signal n'est pas réglable, et dépend à la fois de C_2 et de R_2 . Une période de l'ordre de la seconde semble suffisante ici; seul le front montant du signal est utile.

Les figures 3.29 et 3.30 (p. 62 et 63) présentent le circuit imprimé et l'implantation des composants de la bascule JK.

Bascule D et bistable à transistors

Le premier schéma proposé (figure 3.31) utilise un demi-circuit C/MOS 4013, qui contient deux bascules D. Ce circuit particulier est fort aisé à mettre en œuvre et de plusieurs manières. L'entrée D (comme Données ou DATA) peut prendre un niveau 1 ou un niveau 0 grâce à l'interrupteur. L'état de cette entrée est transféré sur la sortie Q lorsque le signal d'horloge appliqué à l'entrée 3 passe d'un niveau bas à un niveau haut (front montant). Bien entendu, la sortie \bar{Q} passe à l'état inverse. Même si l'entrée DATA vient à changer, la sortie Q garde son état antérieur si aucun signal de validation ne vient donner l'ordre de transfert. Nous disposons bien d'un moyen de mettre en mémoire une information binaire. En outre, les entrées SET et RESET permettent à tout instant de mettre à 1 ou à 0 la sortie non complémentée. D'ailleurs, ces seules entrées suffisent à construire une mémoire fiable.

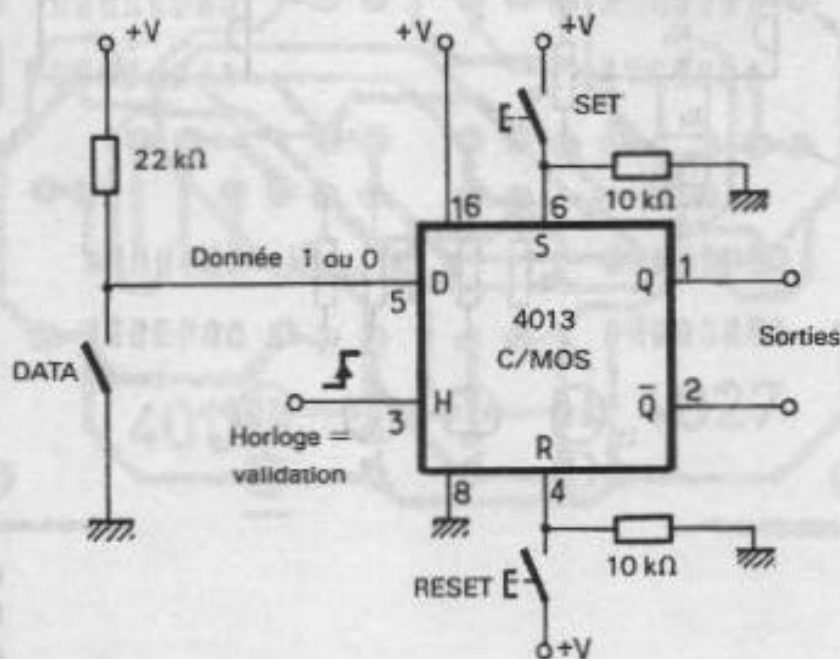


Figure 3.31.
Bascule D.

Pour clore ce très long chapitre sur les bascules, nous ne voudrions pas oublier le montage bistable à transistors (figure 3.32), à couplage croisé bien connu, et ses deux poussoirs de commande. Un étage de sortie est indispensable pour ne pas troubler l'équilibre fragile de cette bascule fort simple et très économique.

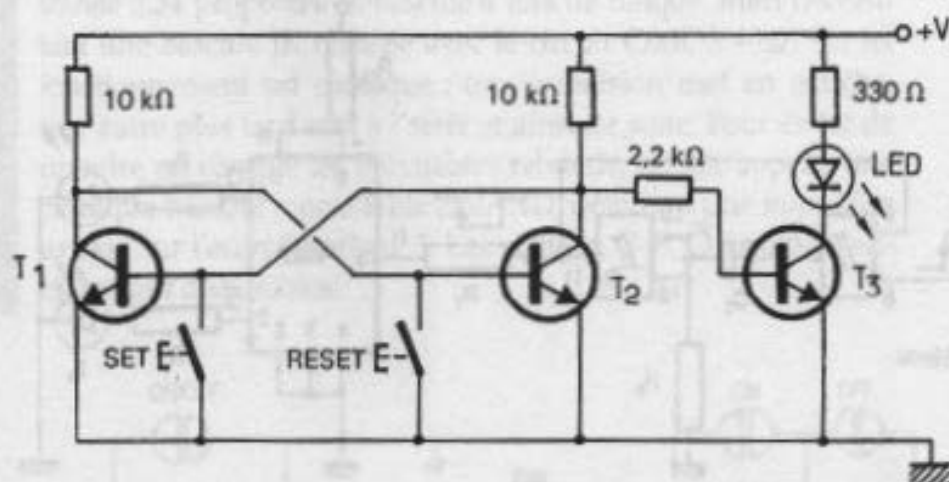


Figure 3.32.
Bistable à transistors.

Touches sensibles

Bon nombre d'appareils disposent d'une commande sensitive, c'est-à-dire qu'il suffit de poser le doigt sur une touche pour activer ou désactiver un dispositif électronique. À l'aide de très peu de composants, il est aisé d'envisager la construction de telles commandes. L'idée consiste à exploiter les propriétés d'une bascule RS bien connue à présent de nos lecteurs. Le schéma de principe en figure 3.33 présente le détail du circuit : les entrées 1

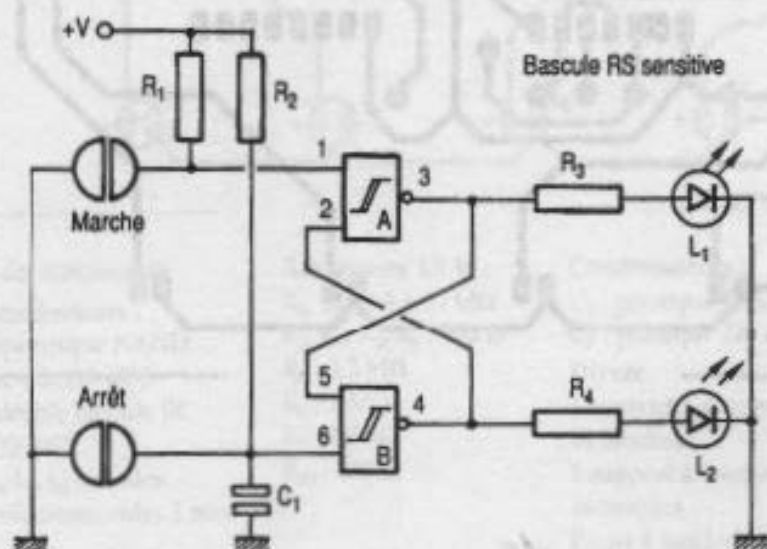


Figure 3.33.
Bascule RS sensitive.

et 6 sont forcées à l'état haut à travers les résistances R_1 et R_2 de très forte valeur; le couplage croisé caractéristique des broches restantes assure une commande unique et sans aucun rebond.

Les diodes Leds L_1 et L_2 visualisent toujours des états logiques complémentaires.

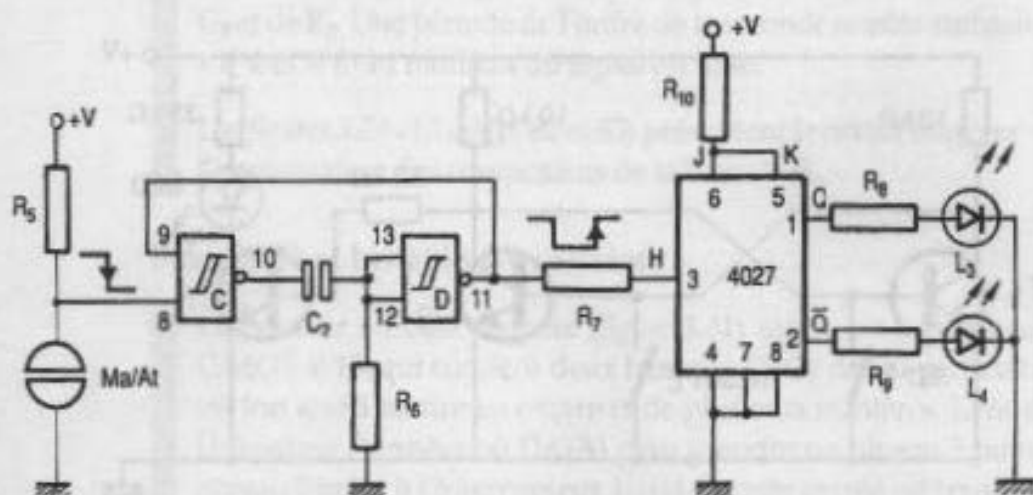


Figure 3.34.
Bascule JK sensitive.

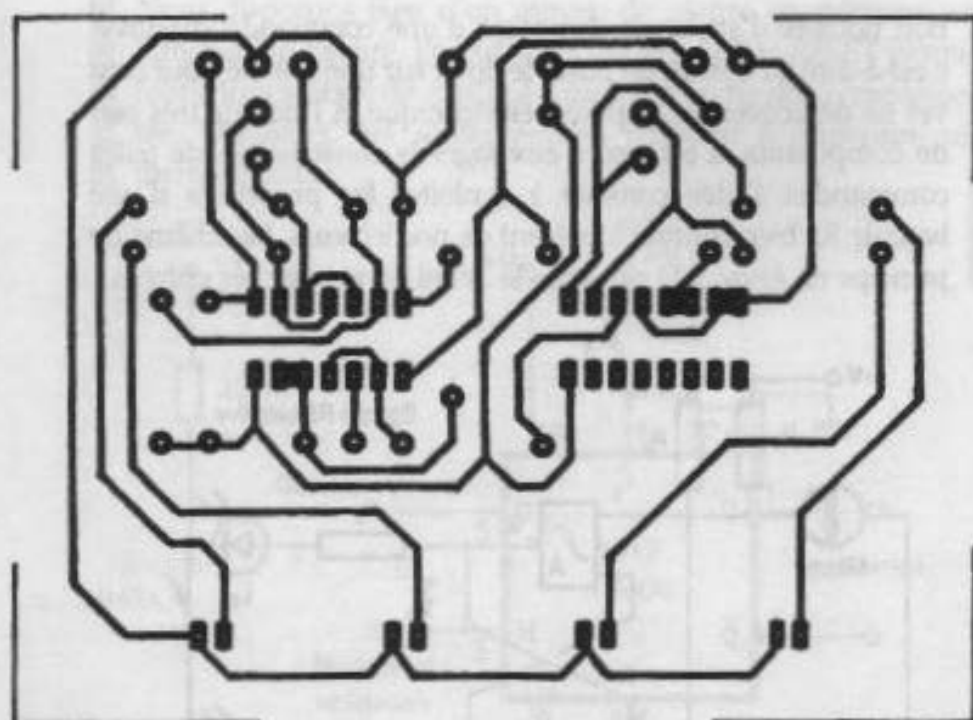
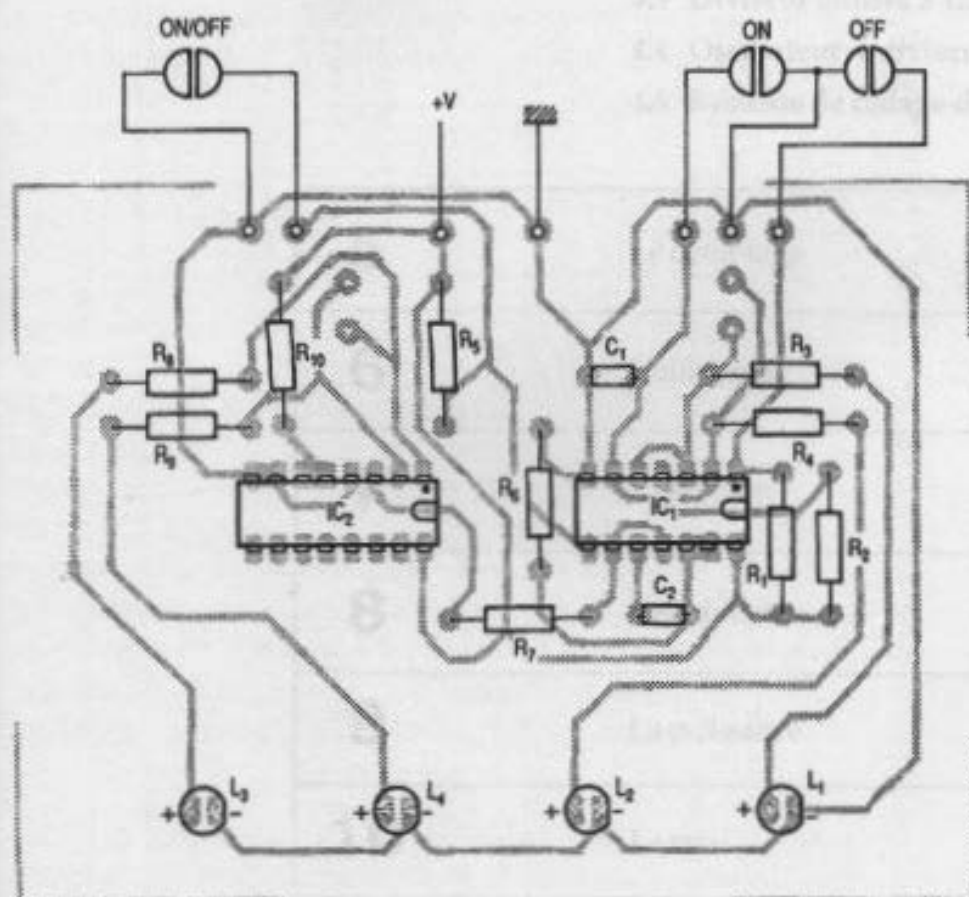


Figure 3.35.
Circuit imprimé
des touches
sensitives.

Une action sur la touche MARCHÉ porte à l'état bas la broche 1, en raison de la conductivité relativement bonne de notre épiderme. Inversement, une action sur l'autre touche sensible ramène la bascule à sa position de repos. Le condensateur C_1 assure lui une mise à zéro automatique à chaque mise sous tension initiale. Toujours sur la même plaquette de cuivre, le schéma 3.34 propose une bascule à touche unique, mais nécessitant une bascule JK réalisée avec le circuit CMOS 4027. Un tel fonctionnement est classique : une impulsion met en marche, une autre plus tard met à l'arrêt et ainsi de suite. Pour éviter de prendre en compte les inévitables rebonds, on fait appel à une classique bascule monostable à NAND, délivrant une impulsion unique sur l'entrée horloge 3. Les signaux Q et \bar{Q} complémentaires sont disponibles.



Liste des composants

Semiconducteurs :

IC₁ : quadruple NAND trigger CMOS 4093

IC₂ : double bascule JK CMOS 4027

L₁, L₂, L₃, L₄ : diodes électroluminescentes 5 mm

Résistances 1/4 W :

R₁, R₂ : 6,8 à 10 MΩ

R₃, R₄, R₆, R₉ : 390 Ω

R₅ : 2,2 MΩ

R₆ : 1 MΩ

R₇ : 1,5 kΩ

R₁₀ : 330 Ω

Condensateurs :

C₁ : plastique 22 nF

C₂ : plastique 220 nF

Divers :

1 support à souder

14 broches

1 support à souder

16 broches

Picots à souder

Figure 3.36.
Implantation
des composants.

Pratiquement, il importe de veiller à l'absence d'oxydation sur les touches sensibles, par exemple en optant pour des surfaces chromées. Sur notre module, un simple contact sur les picots à souder judicieusement espacés sera suffisant en guise de commande.

Les figures 3.35 et 3.36 (p. 66 et 67) présentent le circuit imprimé et l'implantation des composants des touches sensibles.



Figure 3.34
Schéma électrique

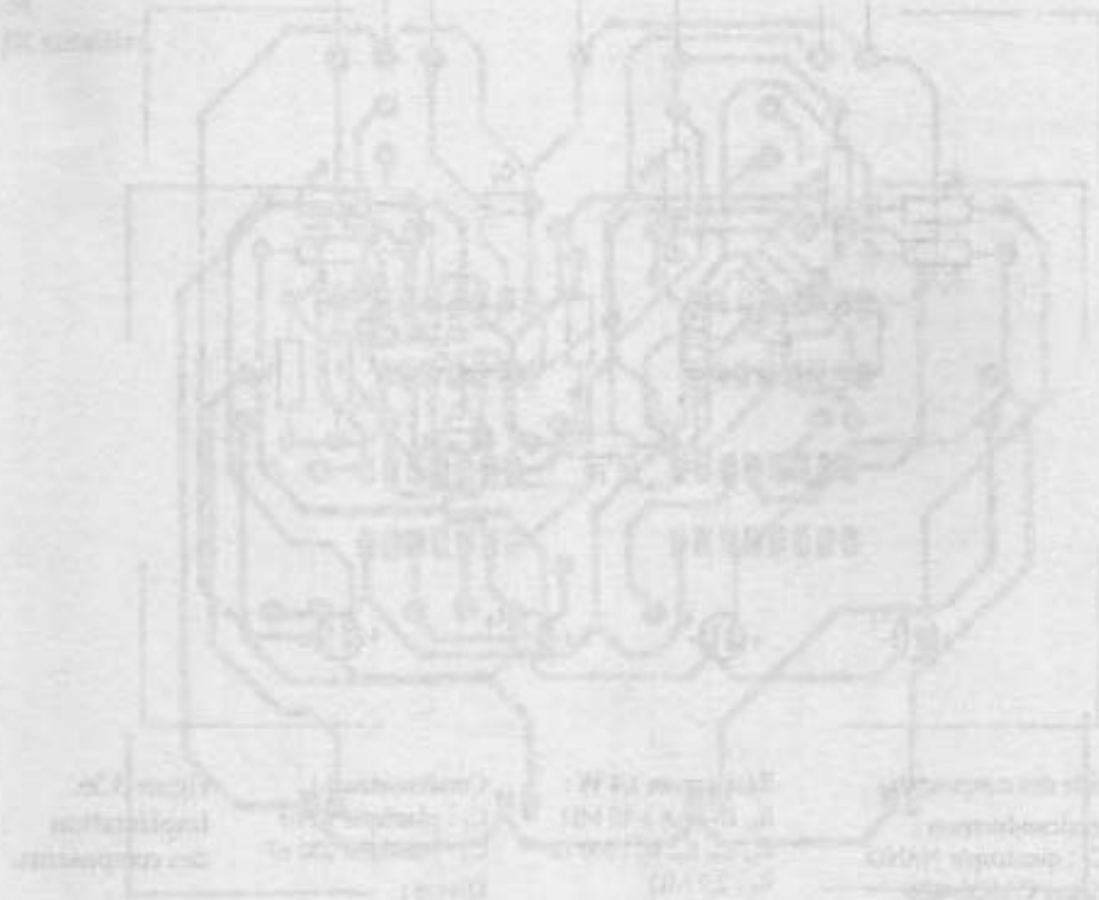


Figure 3.35
Circuit imprimé

4 LE TEMPS

4.1	Compteur décimal de 0 à 99	70
4.2	Compteur multiple décodé feux tricolores »	74
4.3	Diviseur binaire à 12 étages	77
4.4	Oscillateur + diviseurs	81
4.5	Système de codage-décodage	84

5	Le comptage	91
6	L'affichage	105
7	L'ampli-op	123
8	Les capteurs	141
9	La puissance	171
10	Le son	187

Bien qu'il soit possible à l'aide de quelques bascules diverses d'obtenir des signaux relativement complexes, il apparaît inévitable de devoir faire appel à une autre méthode pour produire des durées très longues, de l'ordre de quelques heures notamment. La durée du signal de sortie d'une bascule monostable dépend surtout de la valeur du produit RC , et si une résistance de forte valeur est aisée à obtenir, rappelons ici que les condensateurs chimiques ont le fâcheux défaut de n'être pas très précis d'une part, et de permettre certaines « fuites » d'autre part. Il n'y a guère que les composants au tantale qui méritent notre attention pour la construction d'une base de temps suffisamment stable. Heureusement, quelques circuits intégrés particuliers vont nous permettre d'opérer d'une manière totalement différente.

Il suffit de garder à l'esprit qu'un signal de fréquence élevée F peut être divisé par 2 à l'aide d'une simple bascule D ou encore avec une bascule JK. En associant de nombreuses bascules en série, il serait possible d'obtenir un facteur de division multiple de 2, mais quelconque.

4.1 COMPTEUR DÉCIMAL DE 0 À 99

On utilisera le célèbre circuit intégré C/MOS 4017.

Il s'agit en réalité d'un compteur Johnson à 5 étages, doté de 10 sorties indépendantes. Ce compteur avance au rythme des fronts ascendants des créniaux appliqués sur son entrée horloge (borne 14). À chaque impulsion, l'état haut se déplace de proche en proche d'une sortie vers l'autre, à condition qu'aucune remise à zéro ne soit décidée avant la fin du cycle complet. Ce circuit possède en outre une entrée de validation (borne 13) qui devra être maintenue au niveau bas pour autoriser le comptage. Le passage de la dixième sortie à la première se fait automatiquement avec, au passage sur la borne 12, une impulsion de retenue, fort utile en l'occurrence dans notre premier montage d'application dont le schéma est donné à la figure 4.1.

Nous vous proposons d'exploiter toutes les possibilités du circuit 4017, fort intéressant pour de nombreuses applications de comptage entre 2 et 10 et même au-delà, comme nous le verrons ultérieurement. Il s'agit de réaliser un compteur d'impulsions dont la capacité maximale sera de 99.

Tout d'abord, il s'agit de comprendre qu'un signal carré produit à l'aide de quelques portes NAND et réglable à l'aide de P_1 sera appliqué à travers la résistance R_2 sur l'entrée horloge du circuit IC₁, notre premier compteur, dont la première sortie (borne 3) est à l'état 1 dès la mise sous tension déjà, grâce à l'ini-

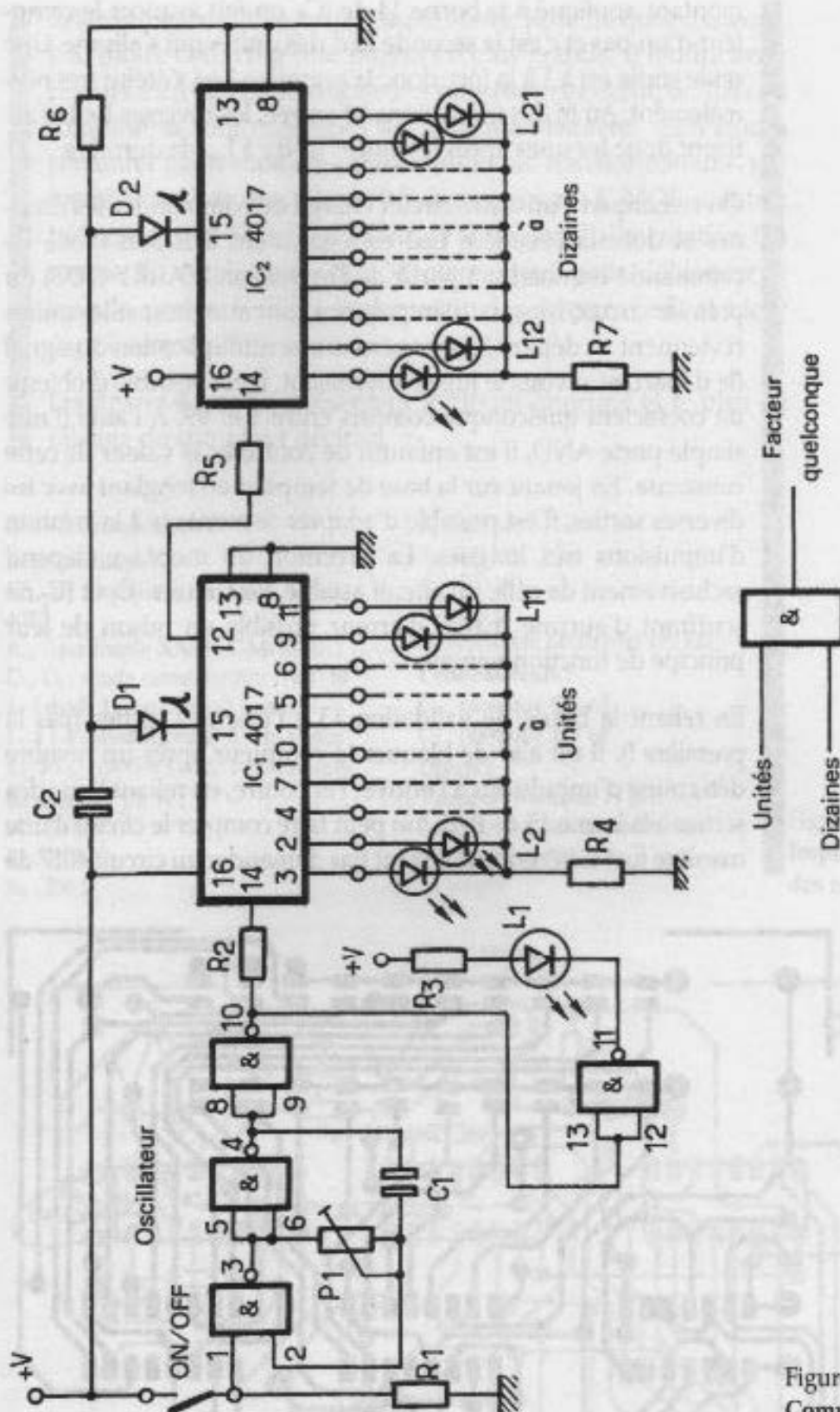


Figure 4.1.
Compteur décimal.

montant appliqué à la borne 14 de IC_1 , on fait avancer le compteur d'un pas et c'est la seconde Led des unités qui s'allume. Une seule sortie est à 1 à la fois, donc la première Led s'éteint très normalement. Au fil des impulsions à l'entrée, les diverses Leds s'activent donc les unes après les autres jusqu'à L_{11} , la dernière.

On remarquera un autre circuit chargé de commander les dizaines et dont la première Led est également à 1. Son mode de commande est obtenu à partir de l'impulsion (CARRY OUT) du premier circuit, lorsque 10 impulsions sont atteintes; et les unités reviennent au départ. Nous opérons une multiplication du signal de départ, et si vous le jugez intéressant, il est possible d'obtenir un coefficient quelconque compris entre 1 et 99. À l'aide d'une simple porte AND, il est enfantin de contrôler la valeur de cette constante. En jouant sur la base de temps et en jonglant avec les diverses sorties, il est possible d'adapter ce montage à la création d'impulsions très longues. La précision du montage dépend exclusivement de celle du circuit astable, les circuits IC_1 et IC_2 ne souffrant d'aucune marge d'erreur possible en raison de leur principe de fonctionnement.

En reliant la borne de validation 13 à l'une des sorties (pas la première !), il est aisé de bloquer le compteur après un nombre déterminé d'impulsions à l'entrée. Par contre, en reliant l'une des sorties à la borne 15 de RAZ, on peut faire compter le circuit d'une manière fort différente. Il ne faut pas demander au circuit 4017 de

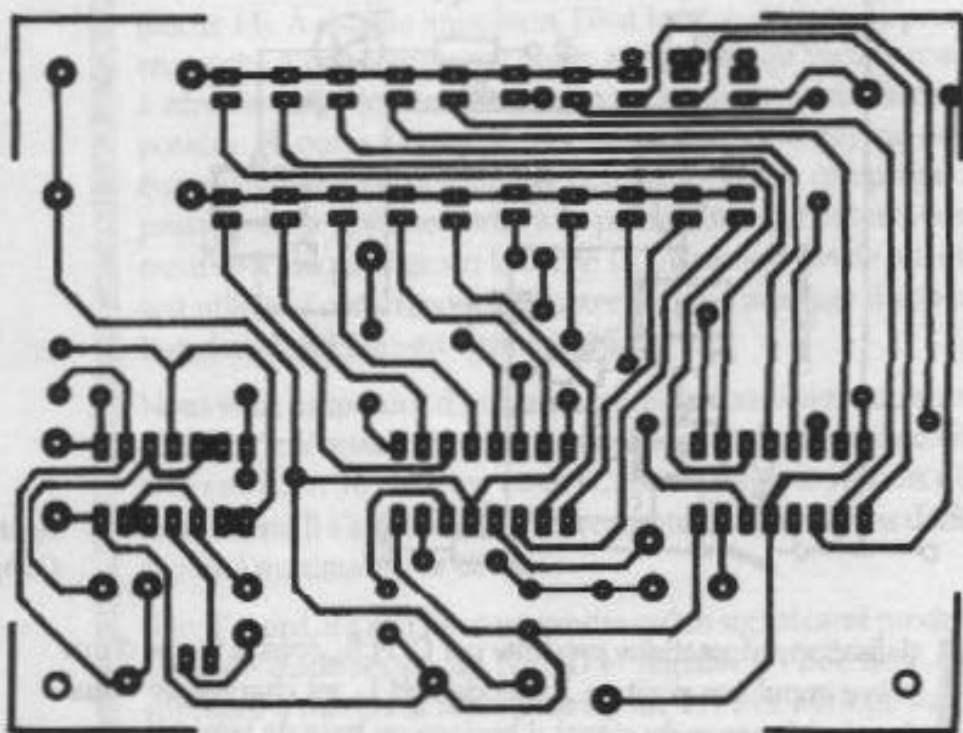


Figure 4.2.
Circuit imprimé
du compteur décimal.

délivrer plus de 20 mA sur chaque sortie, juste de quoi contenter une diode Led. Pour une puissance plus grande, il faudra avoir recours à un étage amplificateur à transistor par exemple. Tous les composants sont regroupés sur la même plaquette, qu'il faudra alimenter par le module « alimentation par transformateur », par exemple, ou par une pile de 9 V, car les circuits C/MOS sont très tolérants quant à la valeur exacte de la tension d'alimentation. Un simple fil souple fera office d'interrupteur pour débloquer la bascule astable. Veillez à l'orientation des diverses Leds et à leur parfait alignement.

Les figures 4.2 et 4.3 présentent le circuit imprimé et le plan de câblage du compteur décimal.

Liste des composants

Semiconducteurs :

IC₁, IC₂ : compteur décimal C/MOS 4017

IC₃ : quadruple NAND C/MOS 4011

D₁, D₂ : diode commutation 1N 4148

L₁ : diode Led orange Ø 5 mm

L₂ à L₁₁ : diodes Led Ø 3 mm vertes

L₁₂ à L₂₁ : diodes Led Ø 5 mm rouges

Résistances 1/4 W :

R₁ : 56 kΩ

R₂ : 1 kΩ

R₃ : 390 Ω

R₄ : 220 Ω

R₅ : 1,8 kΩ

R₆ : 100 kΩ

R₇ : 220 Ω

P₁ : ajustable horizontal 470 kΩ

Condensateurs :

C₁ : plastique 470 nF

C₂ : plastique 120 nF

Divers :

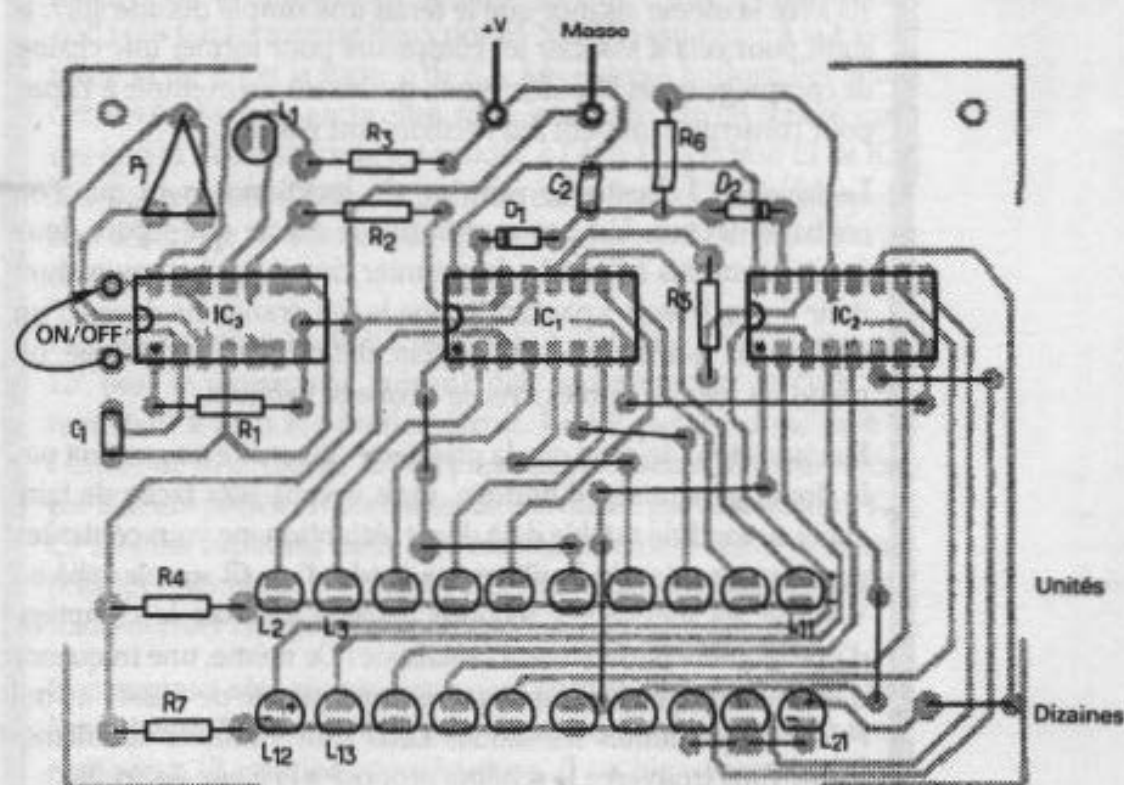
1 support à souder 14 broches

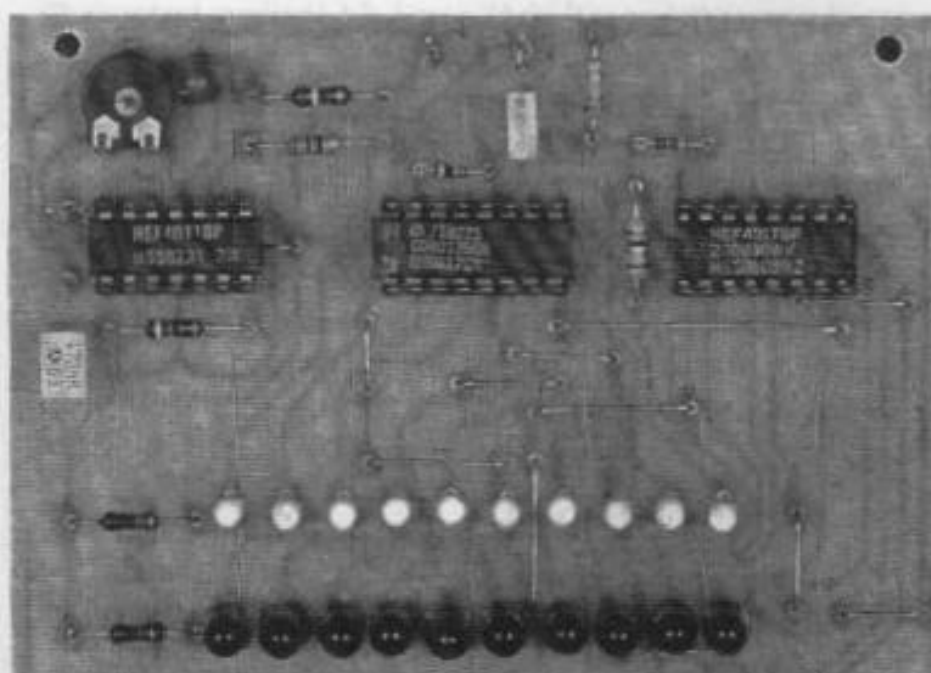
2 supports à souder 16 broches

Picots à souder

Fil souple

Figure 4.3.
Implantation
des composants.





Le compteur
décimal
terminé.

4.2 COMPTEUR MULTIPLE CODÉ « FEUX TRICOLORES »

En utilisant toujours le même circuit 4017, il nous vient à l'esprit de vous faire découvrir une autre possibilité intéressante. Un comptage de 10 pas est parfois trop long et il est simple de le réduire en reliant l'entrée de RAZ 15 à la sortie suivant celle que l'on choisit pour dernière (pas trop compliqué, non ?).

Mais il arrive également que l'on souhaite compter plus loin que 10, avec la même aisance que le ferait une simple décade 4017. Il suffit pour cela d'associer les compteurs pour former une chaîne de comptage quasi illimitée. Nous choisirons un exemple à 12 pas pour construire un petit feu tricolore fort réaliste.

Le tableau 4.1 illustre le principe de fonctionnement que l'on souhaite obtenir. Un pas sera la durée exacte qui sépare deux fronts montants à l'entrée du premier circuit. Le feu rouge dure donc 6 pas, le vert 5 pas tandis que le feu orange ne dure qu'un seul pas et ceci sur une voie de circulation. Sur l'autre voie, on prend les mêmes durées avec le décalage habituel.

Précisons tout de suite que la plaquette construite ne contient pas le circuit générateur d'horloge, mais il vous sera facile de faire appel au module astable déjà décrit. Attention, ne vous contentez pas d'un simple « bidouillage » à l'aide d'un fil souple relié au + V, car les inévitables rebonds feraient avancer le comptage d'une manière parfaitement fantaisiste ! De même, une fréquence d'entrée trop grande aurait pour conséquence de laisser à l'œil l'illusion que toutes les diodes Leds sont allumées simultanément. Vous trouverez le schéma proposé à la figure 4.4 (p. 76).

PAS	VOIE 1	VOIE 2
1	ROUGE	VERT
2	ROUGE	VERT
3	ROUGE	VERT
4	ROUGE	VERT
5	ROUGE	VERT
6	ROUGE	ORANGE
7	VERT	ROUGE
8	VERT	ROUGE
9	VERT	ROUGE
10	VERT	ROUGE
11	VERT	ROUGE
12	ORANGE	ROUGE
13	et ainsi de suite...	
La durée d'un pas dépend de la fréquence de l'astable d'entrée.		

Tableau 4.1.
Feux tricolores.

Les neuf premières sorties du circuit IC_1 sont utilisées normalement; seule la dernière est obtenue à l'aide d'une pseudo-porte AND (en fait formée de deux portes NAND) qui reçoit à la fois la sortie 11 de IC_1 et la sortie 3 de IC_2 . Les entrées horloge des deux circuits sont reliées entre elles, mais le premier circuit sera bloqué dès que sa dixième sortie est validée à l'état 1 : la borne 13 de IC_1 sera haute et immobilise le premier compteur en l'état. L'impulsion d'horloge ne commande plus que le second circuit, selon le câblage souhaité.

Lorsque la borne 12 de IC_2 est haute à son tour, on se trouve au 12^e pas, le dernier; le suivant doit recommencer le cycle en remettant à zéro le premier circuit. Le 13^e pas est donc relié à l'entrée de RAZ (borne 15) du premier compteur. Cette borne est par ailleurs portée en permanence à la masse par la résistance R_2 . Ce schéma explicatif peut être étendu à volonté selon le même principe. Attention, bien relier à la masse la borne de validation 13 du dernier circuit de la chaîne.

Une remise à zéro automatique peut éventuellement être ajoutée à ce schéma. Voyons à présent comment utiliser ce commutateur cyclique à 12 positions consécutives. Il va bien entendu falloir

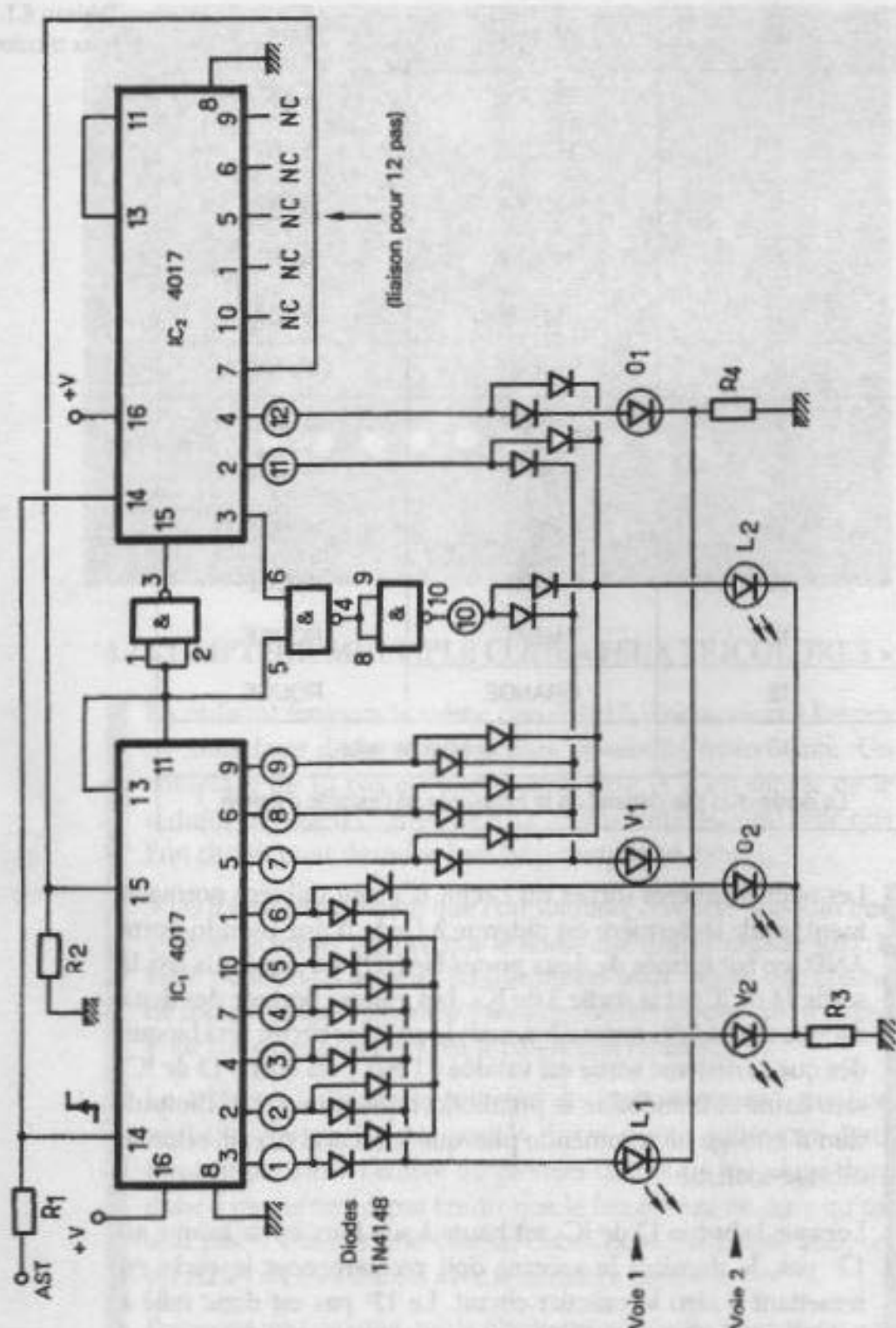
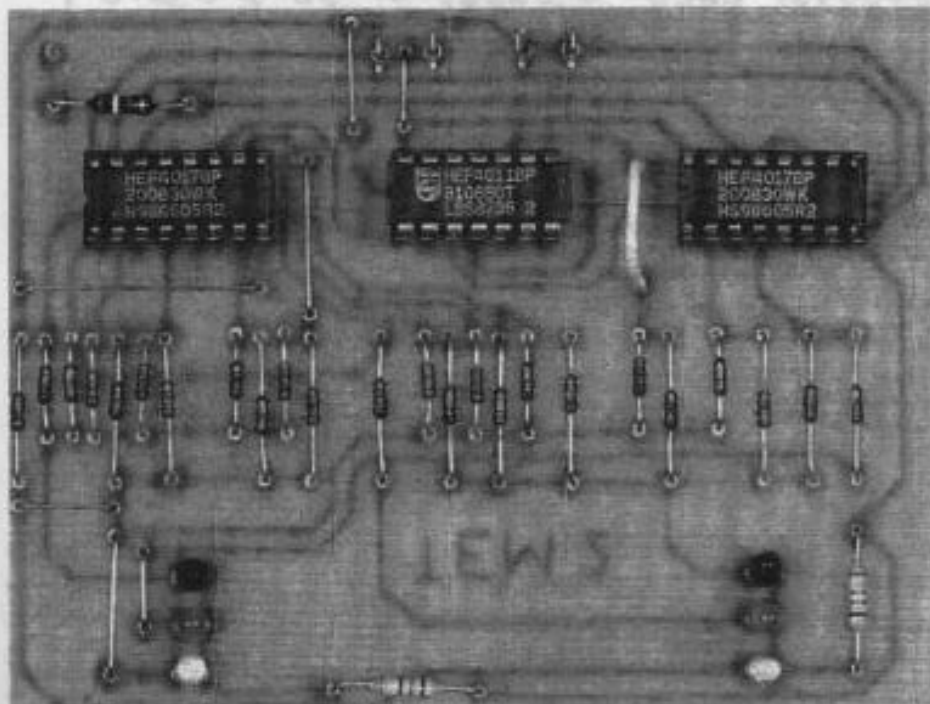


Figure 4.4.
Compteur
multiple codé
« Feux tricolores ».

faire appel à des diodes de blocage pour éviter les retours malencontreux. Les 5 premiers pas de IC₁ commandent la Led verte de la voie 2. En fait, à l'aide du tableau 4.1 vous retrouverez sans

peine le rôle de chaque diode de codage. Un étage de puissance n'a pas été jugé utile ici; cette petite réalisation peut parfaitement convenir à des amateurs de modélisme, mais elle doit surtout vous familiariser avec le circuit intégré 4017, composant ô combien célèbre et souvent utilisé dans bon nombre de schémas électroniques.

Vous trouverez aux figures 4.5 et 4.6 (p. 78 et 79) les renseignements nécessaires à la confection de ce petit module.



Le compteur multiple codé « Feux tricolores » terminé.

4.3 DIVISEUR BINAIRE À 12 ÉTAGES

Pour des facteurs de division très élevés, il ne serait pas raisonnable de procéder à des divisions décimales exclusivement, en raison du trop grand nombre de circuits nécessaires. Il existe fort heureusement des circuits constitués de nombreux étages diviseurs par 2 montés en série. Nous pensons tout d'abord au modèle C/MOS 4020 qui comporte 14 étages diviseurs, mais ne dispose pas des sorties Q_1 et Q_2 (entendez par là que la division par 2 et par 4 n'est pas disponible en sortie).

Nous allons utiliser un autre modèle, à savoir le circuit C/MOS 4040 qui lui ne dispose que des 12 premières divisions binaires. L'idée est la suivante : un signal de base d'une fréquence relativement élevée peut être divisé par 2, puis par 4 ou par un autre multiple comme 4096 si l'on opte pour l'étage final (voir tableau 4.2). Le schéma proposé se trouve à la figure 4.7 (p. 80).

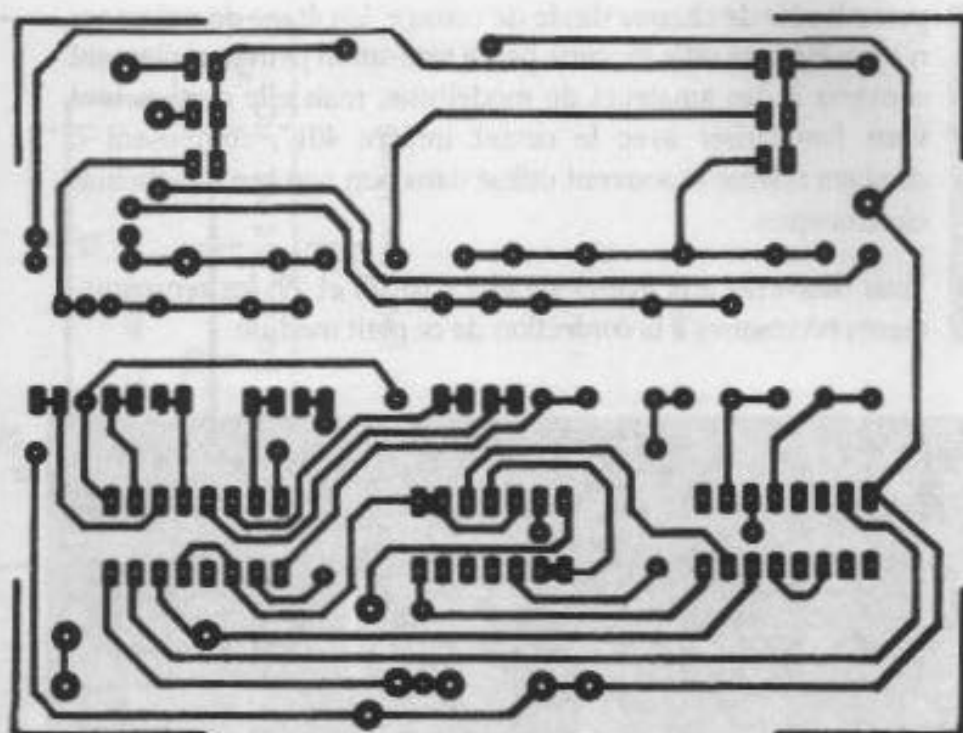
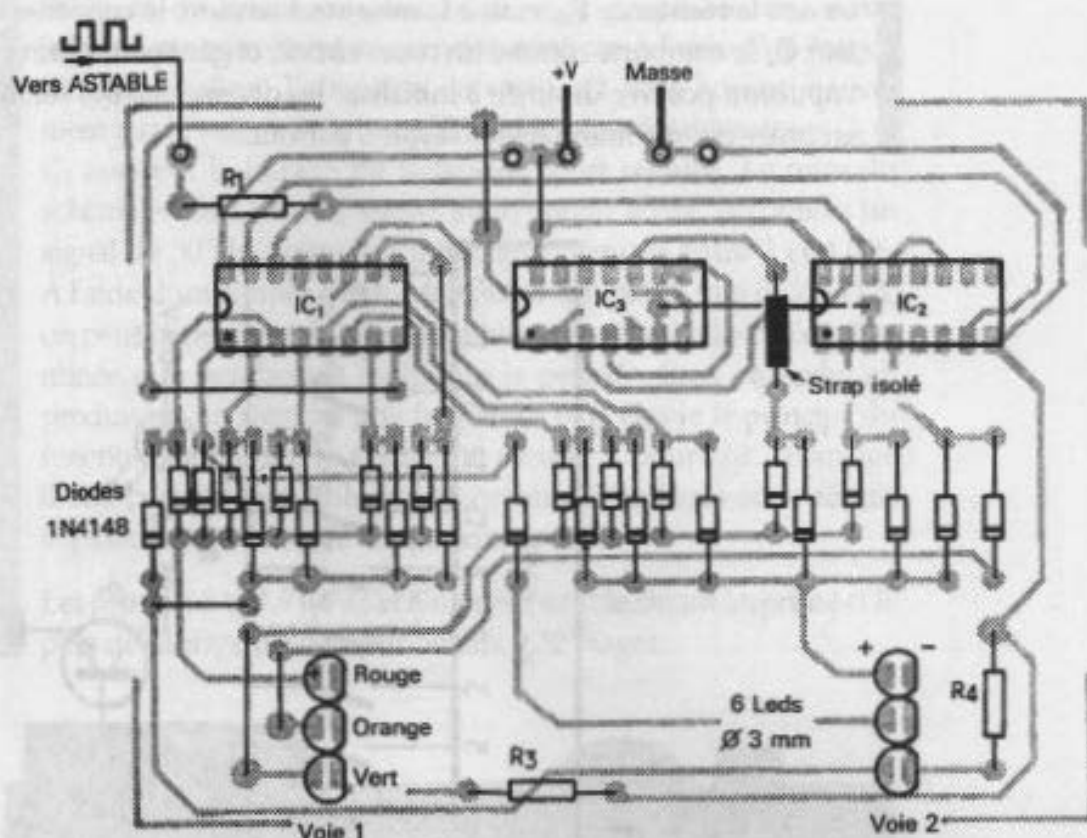


Figure 4.5.
Circuit imprimé
du compteur
multiple codé
« Feux tricolores ».

Tableau 4.2.

Puissance	Facteur de division	Puissance	Facteur de division
2^0	1	2^8	256
2^1	2	2^9	512
2^2	4	2^{10}	1 024
2^3	8	2^{11}	2 048
2^4	16	2^{12}	4 096
2^5	32	2^{13}	8 192
2^6	64	2^{14}	16 384
2^7	128		

Produire un signal carré ne pose aucun problème sérieux; toutefois il est possible d'utiliser la fréquence du secteur à 50 Hz comme base de temps. Chacun sait que le secteur délivré par EDF est de nature sinusoïdale et cette forme d'onde n'est pas bien adaptée à la commande de circuits logiques qui exigent des fronts nets et bien verticaux. Nous allons devoir transformer chaque alternance en un signal parfaitement carré à l'aide d'un dispositif particulier appelé « trigger de Schmitt ». Ce montage spécial accepte de passer à 1 en sortie pour un seuil très précis appliqué à l'entrée, mais si ce signal vient à diminuer même un peu, un niveau 0 sera produit à une autre valeur.



Liste des composants

Semiconducteurs :

IC₁, IC₂ : compteur décimal

C/MOS 4017

IC₃ : quadruple NAND C/MOS 4011

24 diodes commutation 1N 4148

L₁, L₂ : diodes Led rouges

V₁, V₂ : diodes Led vertes

O₁, O₂ : diodes Led orange

Résistances 1/4 W :

R₁ : 390 Ω

R₂ : 47 kΩ

R₃, R₄ : 150 Ω

Divers :

1 support à souder 14 broches

2 supports à souder 16 broches

Picots à souder

Fil souple

Figure 4.6.

Implantation
des composants.

On appelle ce phénomène l'hystérésis du montage trigger; il correspond pratiquement à l'écart entre les deux seuils d'enclenchement et de déclenchement.

En résumé, un signal mou et hésitant à l'entrée sera transformé radicalement en un créneau parfaitement régulier comportant un niveau 1 et un niveau 0 bien distincts. Le signal redressé à partir du secondaire d'un transformateur est acheminé à travers la résistance R₂ vers le dispositif trigger, formé simplement par deux portes NAND et une résistance rétroaction R₃ de forte valeur. Un dernier étage inverseur change le sens des impulsions produites, qui seront appliquées à l'entrée du circuit IC₂, notre diviseur multiple. L'entrée de RAZ 11 est maintenue à la masse à

travers la résistance R_6 , mais à la mise sous tension, le condensateur C_4 se comporte comme un court-circuit, et génère une brève impulsion positive destinée à initialiser les diverses sorties selon un ordre binaire immuable, à savoir 0 partout...

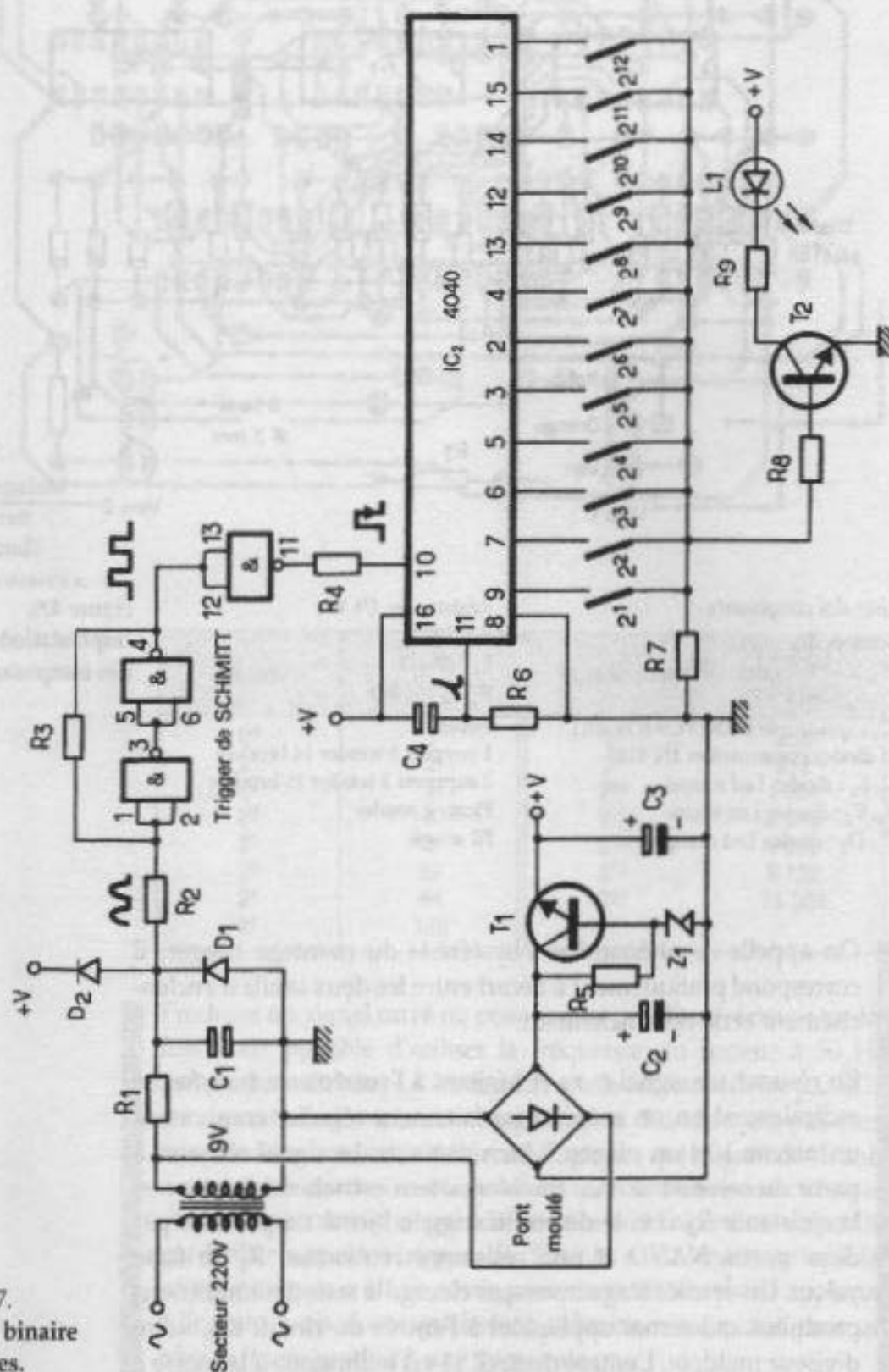
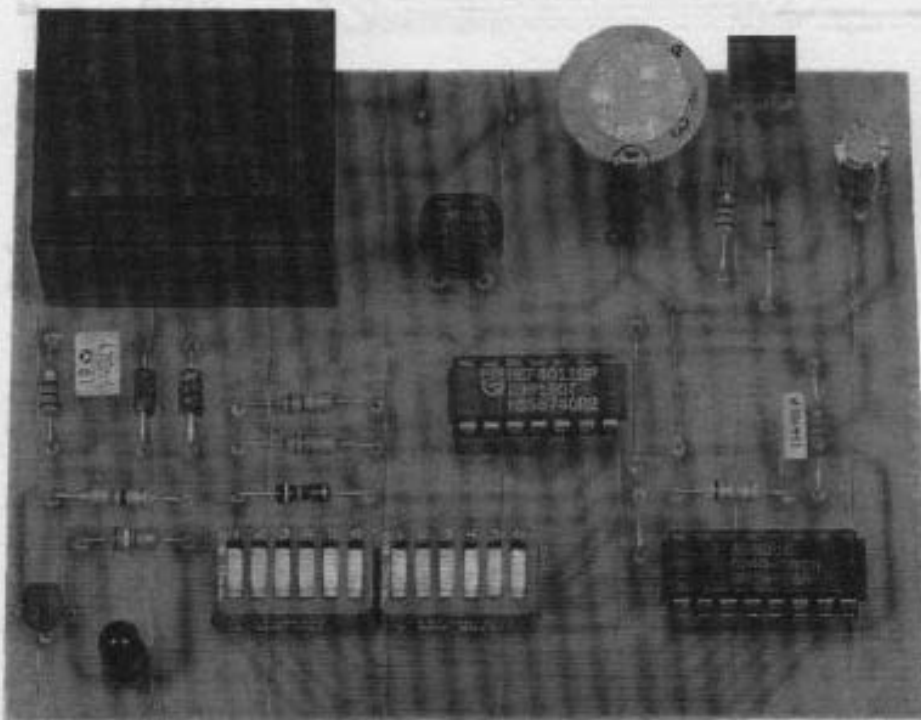


Figure 4.7.
Diviseur binaire
à 12 étages.

Profitant du transformateur, nous vous proposons une autre solution pour produire une tension continue à l'aide d'un étage à transistor ballast. La tension de sortie est fixée approximativement par la valeur de la zone Z_1 , ici 10 V. Les condensateurs C_2 et C_3 assurent le filtrage de la tension ainsi régulée. Le reste du schéma est fort simple; selon l'interrupteur fermé, on obtient un signal de 50 Hz divisé par un facteur compris entre 2 et 4 096. À l'aide d'un simple étage à transistor qui pilote une diode Led, on peut juger du résultat en n'oubliant pas que celle-ci n'est illuminée que pendant la moitié de la période. Bien entendu, en produisant un signal d'une fréquence plus élevée le principe du fonctionnement est le même. Le secteur a pourtant l'avantage d'une parfaite régularité et bon nombre d'horloges et de réveils exploitent cette base de temps économique.

Les figures 4.8 et 4.9 (p. 82 et 83) présentent le circuit imprimé et le plan de câblage du diviseur binaire à 12 étages.



Le diviseur
binaire
à 12 étages
terminé.

4.4 OSCILLATEUR + DIVISEURS

Nous ne pouvions pas manquer de conclure ce chapitre en vous présentant un circuit encore plus performant, car il contient non seulement des étages diviseurs, mais encore l'essentiel d'un oscillateur très stable.

Il s'agit du circuit C/MOS 4060 qui ne comporte malgré tout que 16 broches. Le schéma retenu se trouve à la figure 4.10 (p. 84).

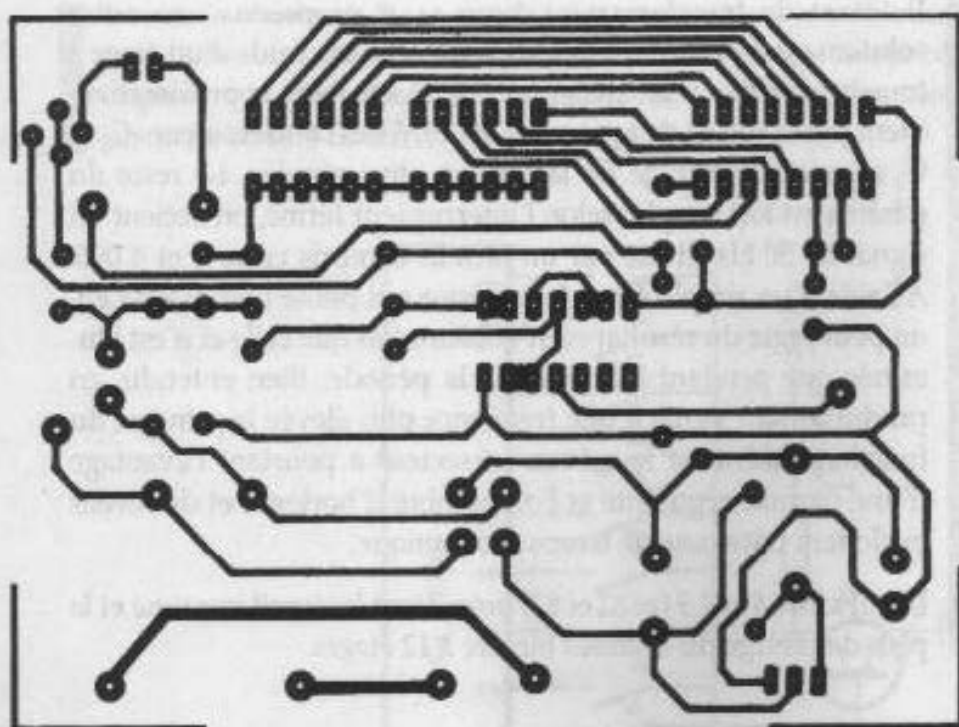


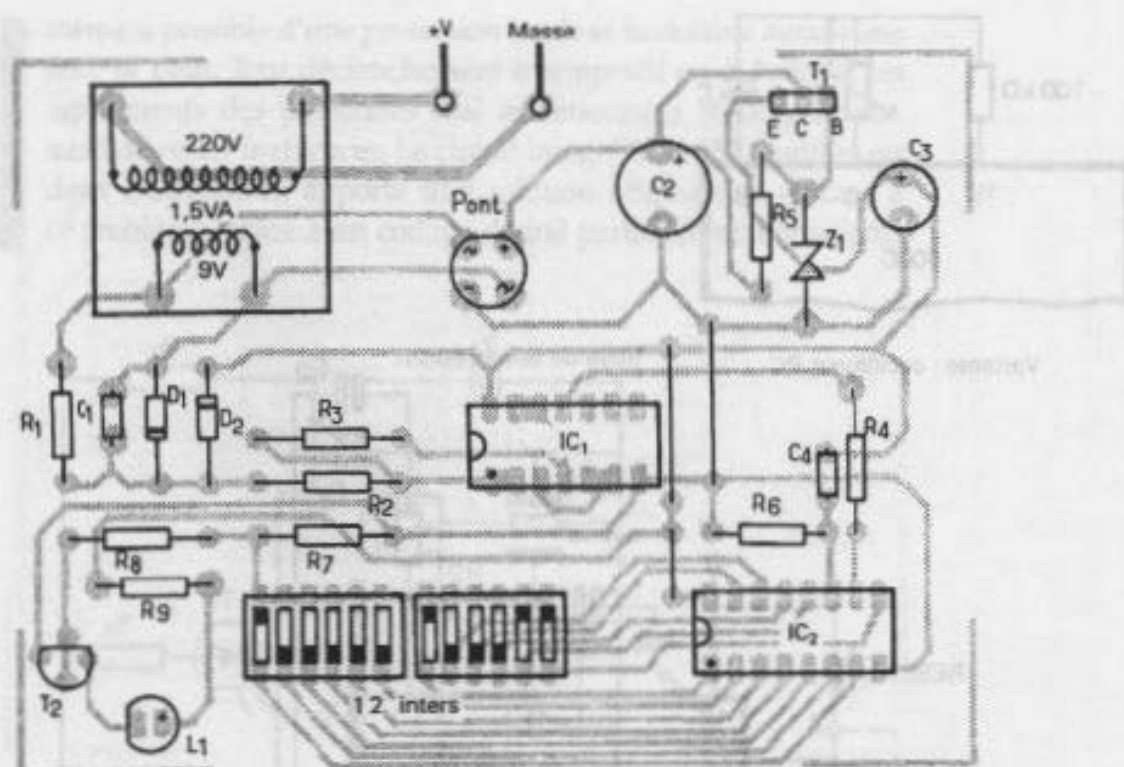
Figure 4.8.
Circuit imprimé
du diviseur binaire
à 12 étages.

Pour varier un peu et vous faire découvrir d'autres solutions, nous n'avons pas hésité à choisir une base de temps ultra-stable à quartz cette fois-ci.

Ce composant est réputé pour sa parfaite précision que seule la température peut faire évoluer très légèrement, mais bien moins que dans le cas d'un oscillateur faisant appel aux propriétés d'un simple condensateur chimique. Ce composant est donc une garantie de régularité et sera utilisé à chaque fois qu'une très grande précision doit être atteinte. Nous savons déjà que les étages diviseurs n'altèrent en rien le signal dont la précision dépend exclusivement de la base de temps.

Les figures 4.11 et 4.12 (p. 86 et 87) présentent le circuit imprimé et le plan de câblage de l'oscillateur + diviseurs.

Les broches 10 et 11 permettent de raccorder les quelques composants extérieurs de l'oscillateur. À noter le condensateur C_3 ajustable de faible valeur, destiné à faire « glisser » le quartz vers une fréquence exacte, mais uniquement pour ceux qui peuvent disposer d'un fréquencemètre. L'entrée 12 doit normalement se maintenir à l'état bas, mais une impulsion sur le poussoir RESET initialise tous les étages diviseurs à zéro en bloquant d'autre part l'oscillateur durant le moment où ce poussoir est pressé. Nous



Liste des composants

Semiconducteurs :

IC₁ : quadruple NAND C/MOS 4011

IC₂ : diviseur binaire à 12 étages

C/MOS 4040

D₁, D₂ : diode redressement 1N 4004

Pont moulé

T₁ : transistor de puissance NPN

BD 135

T₂ : transistor NPN BC 337

Z₁ : diode Zener 10 V

L₂ : diode Led Ø 5 mm rouge

Résistances 1/4 W :

R₁ : 10 Ω

R₂ : 100 k Ω

R₃ : 1 M Ω

R₄ : 470 Ω

R₅ : 1,5 k Ω

R₆ : 150 k Ω

R₇ : 56 k Ω

R₈ : 4,7 k Ω

R₉ : 390 Ω

Condensateurs :

C₁ : plastique 470 nF

C₂ : chimique vertical 470 μ F/35 V

C₃ : chimique vertical 100 μ F/25 V

C₄ : plastique 100 nF

Divers :

Transformateur MONACOR à picots

220/9 V - 1,5 VA

2 blocs de 6 inters miniatures

Supports à souder 14 et 16 broches

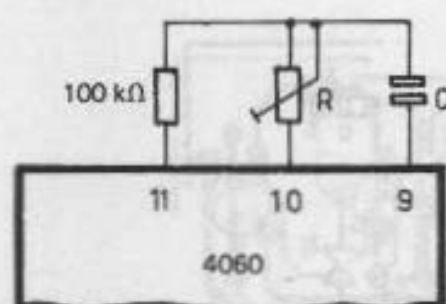
Picots à souder

Figure 4.9.

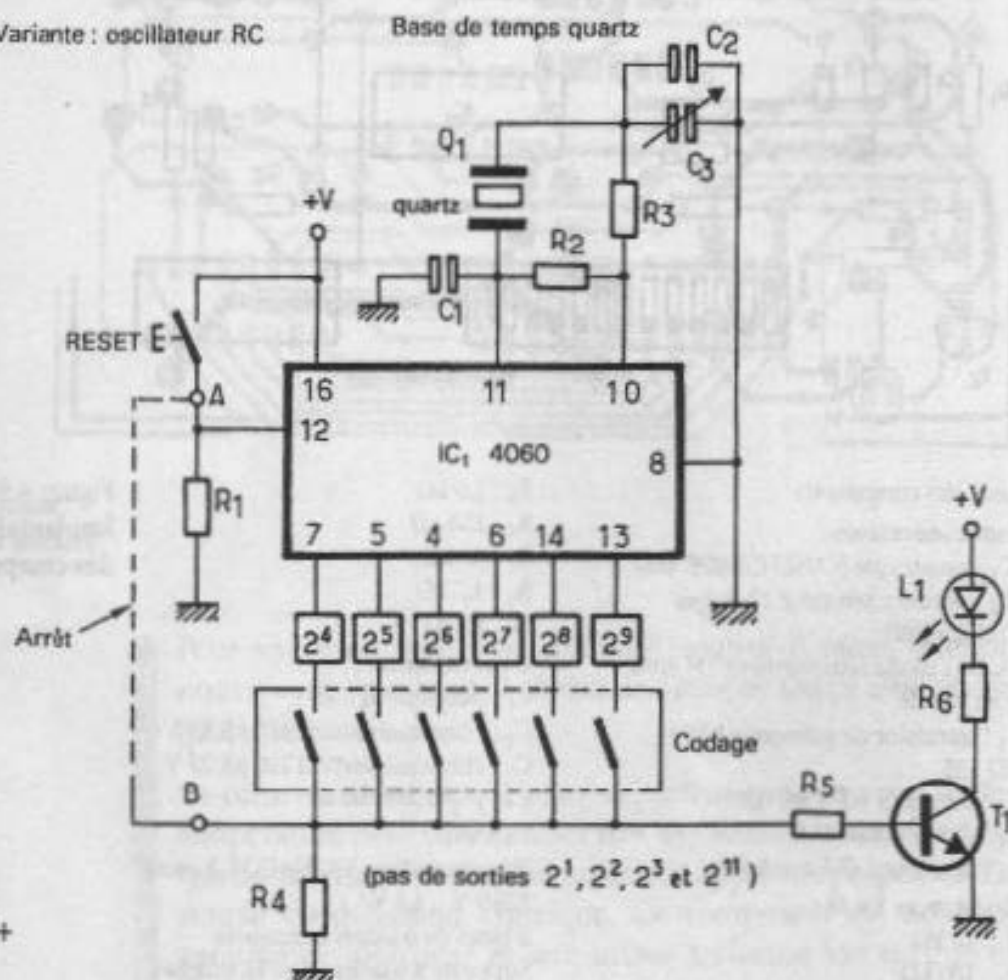
Implantation
des composants.

avons seulement « sorti » 6 des sorties du circuit 4060 qui comporte en tout 14 étages, mais pas Q₁, Q₂, Q₃ et Q₁₁ en raison des seules 16 broches disponibles pour ce modèle de circuit intégré. La diode Led L₁ vous permet de suivre l'évolution du signal de l'oscillateur après division par le nombre choisi.

Nous vous proposons en annexe sur le même schéma le branchement d'un oscillateur RC utilisant cette fois-ci la borne 9; l'élément de réglage R est relié à la borne 10. À signaler enfin la liaison possible entre les bornes A et B permettant par exemple de bloquer le montage après le délai programmé.



Variante : oscillateur RC


Figure 4.10.
Oscillateur +
diviseurs.

Ce chapitre important et spectaculaire peut faire l'objet de nombreuses variantes qu'il vous appartient d'expérimenter calmement, à l'aide des schémas proposés ou en modifiant à votre gré les montages de base. Citons par exemple un dispositif bistable destiné à mettre en marche un oscillateur astable après ou pendant un délai très long.

Les applications ne manqueront pas de se présenter au fur et à mesure de vos manipulations.

4.5 SYSTÈME DE CODAGE-DÉCODAGE

Dans le domaine des télécommandes ou même des commandes directes, on souhaite souvent disposer d'une fiabilité accrue et

même si possible d'une protection totale et inviolable autant que faire se peut. Tout déclenchement intempestif est à éviter et les agissements des personnes mal intentionnées se doivent eux aussi de rester inefficaces. Le circuit intégré MM 53200, utilisé en deux exemplaires, apporte une solution originale et efficace à ce problème, grâce à un codage digital particulièrement soigné.

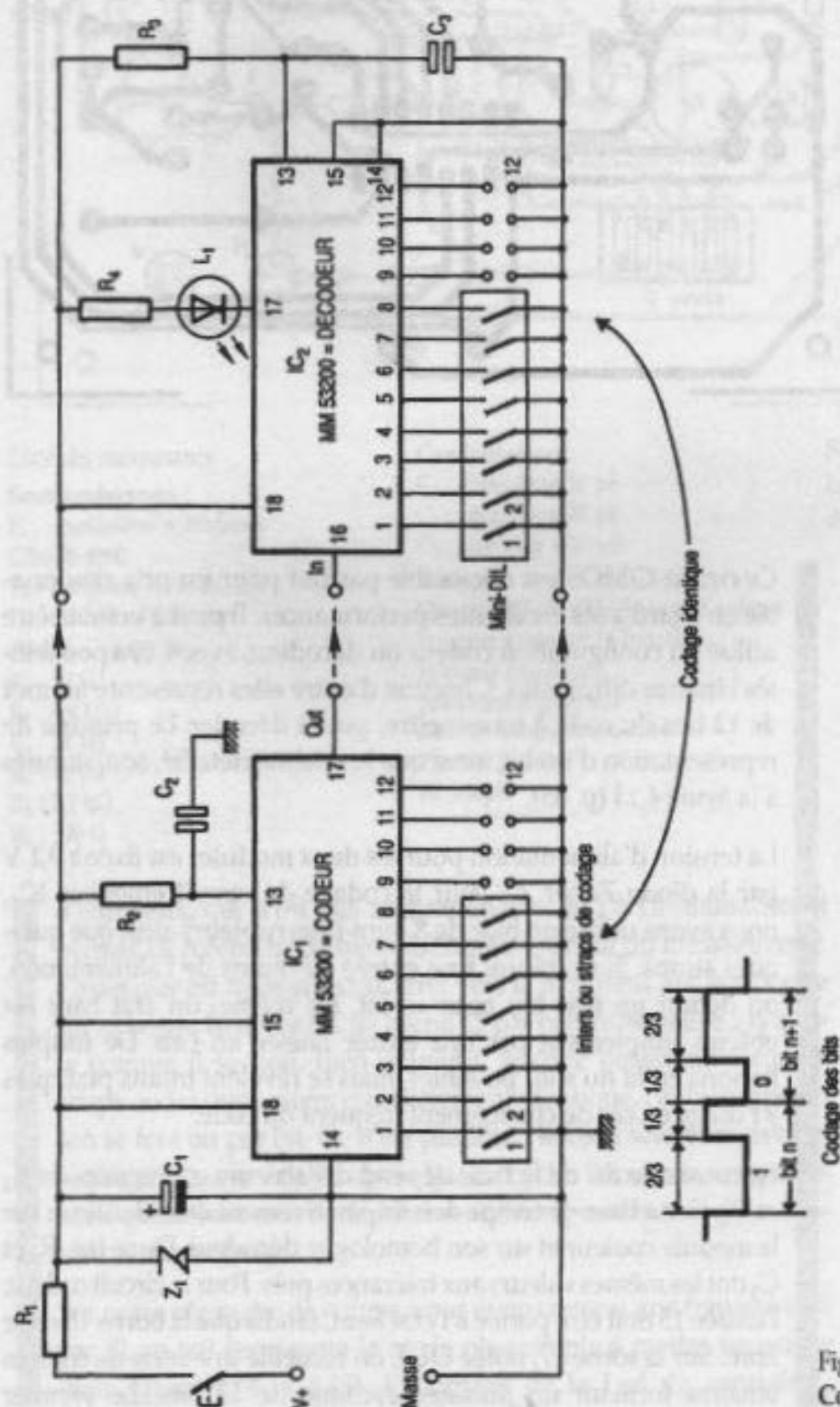


Figure 4.13.
Codeur-décodeur.

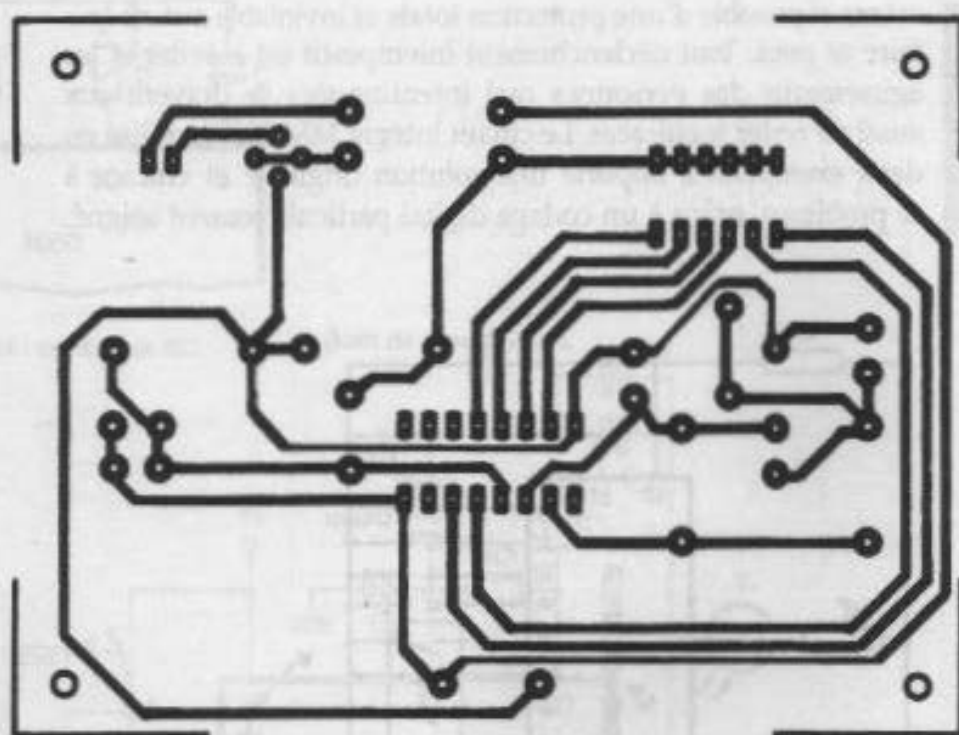
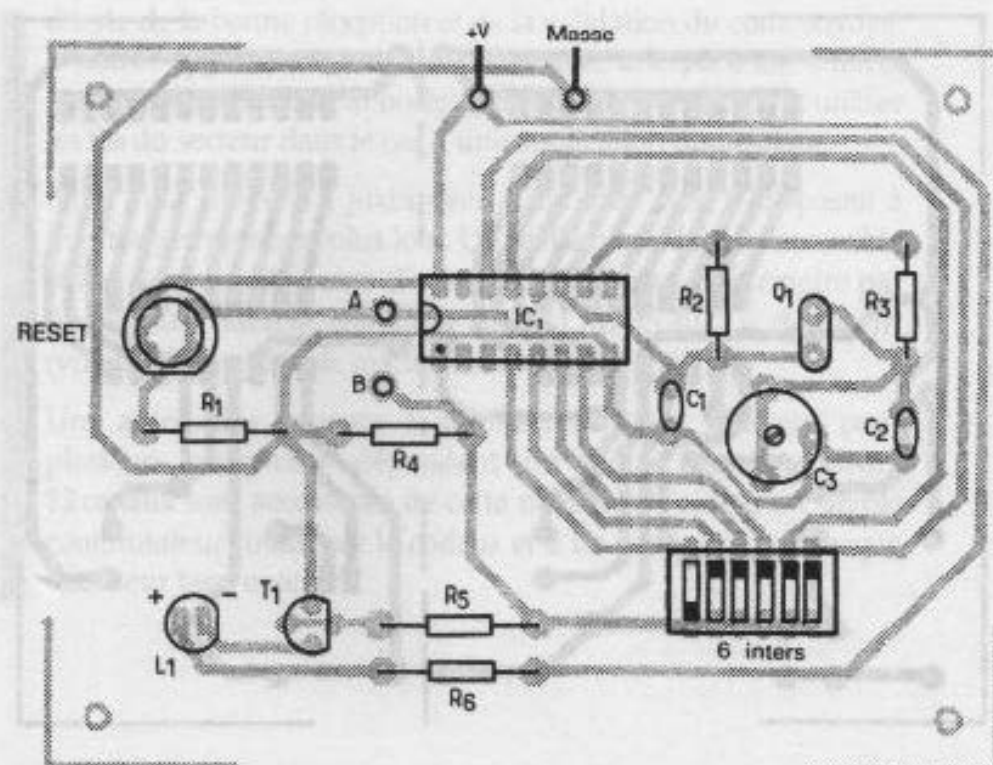


Figure 4.11.
Circuit imprimé
de l'oscillateur
+ diviseurs.

Ce circuit C/MOS est disponible partout pour un prix raisonnable en égard à ses excellentes performances. Il peut à volonté être utilisé en configuration codeur ou décodeur, avec 4 096 possibilités binaires différentes. Chacune d'entre elles représente un mot de 12 bits du code à transmettre, puis à décoder. Le principe de représentation d'un bit, ainsi que le schéma détaillé, sont donnés à la figure 4.13 (p. 85).

La tension d'alimentation pour les deux modules est fixée à 9,1 V par la diode Zener Z_1 . Pour le codage du circuit émetteur IC_1 , nous avons utilisé un bloc de 8 mini-interrupteurs ainsi que quelques straps. Si on réunit une entrée au moins de l'alimentation, on définit un état bas pour ce bit. De même, un état haut est obtenu simplement par une entrée laissée en l'air. De simples liaisons en fil nu sont possibles, mais se révèlent moins pratiques à l'usage en cas de changement fréquent du code.

La constante RC de la base dépend des valeurs conjuguées de R_2 et C_2 . Cette base de temps doit impérativement être identique sur le module couleur et sur son homologue décodeur. De ce fait, R_3 et C_3 ont les mêmes valeurs aux tolérances près. Pour le circuit codeur, l'entrée 15 doit être portée à l'état haut, tandis que la borne 16 reste libre. Sur la sortie 17, notée OUT, on recueille une série de chiffres binaires formant un message cyclique de 13 bits. Le premier



Liste des composants

Semiconducteurs :

IC₁ : oscillateur + diviseur

C/MOS 4060

T₁ : transistor NPN BC 337

L₁ : diode Led Ø 5 mm

Résistances 1/4 W :

R₁ : 27 kΩ

R₂ : 6,8 MΩ

R₃ : 22 kΩ

R₄ : 47 kΩ

R₅ : 2,7 kΩ

R₆ : 390 Ω

Condensateurs :

C₁ : céramique 10 pF

C₂ : céramique 27 pF

C₃ : ajustable 4/20 pF

Divers :

Quartz 3,27 68 MHz (ou autre valeur)

Support à souder 16 broches

Poussoir miniature

pour circuit imprimé

Bloc de 6 inters miniatures

Picots à souder

Fil souple

Figure 4.12.

Implantation
des composants.

d'entre eux, qui n'est pas programmable, sert à l'initialisation et permet au récepteur de bien distinguer le début du message codé. Ce dernier est transmis sans arrêt vers le récepteur qui le recueille sur sa borne 16 notée IN. Sa borne 15 par contre est reliée à la masse comme il se doit. Bien entendu, le code programmé sur les straps ou les mini-inters est strictement identique, car la comparaison se fera bit par bit. Ce n'est pas tout : le code sera enregistré et reconnu comme valable après quatre cycles successifs, ce qui élimine quasiment tout déclenchement intempestif et accroît la sécurité de transmission.

Sur notre plaquette de cuivre, nous avons retenu une transmission par fil, ce qui représente le cas le plus simple à mettre en œuvre (voir figures 4.14 et 4.15). L'allumage de la Led de contrôle L₁

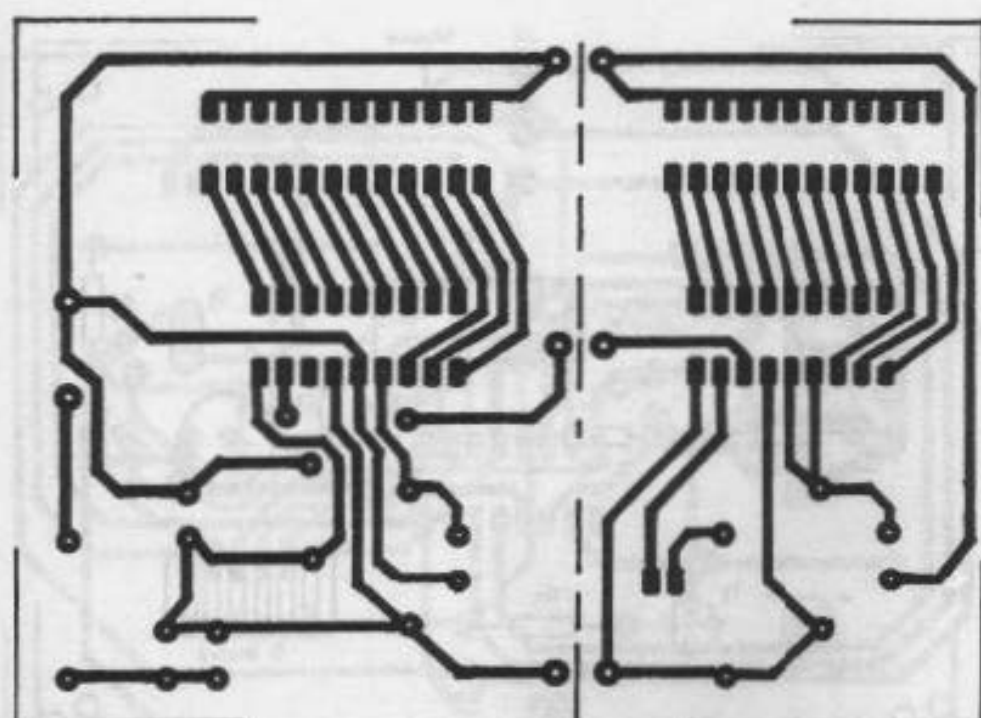


Figure 4.14.
Circuit
imprimé
du codeur-
décodeur.

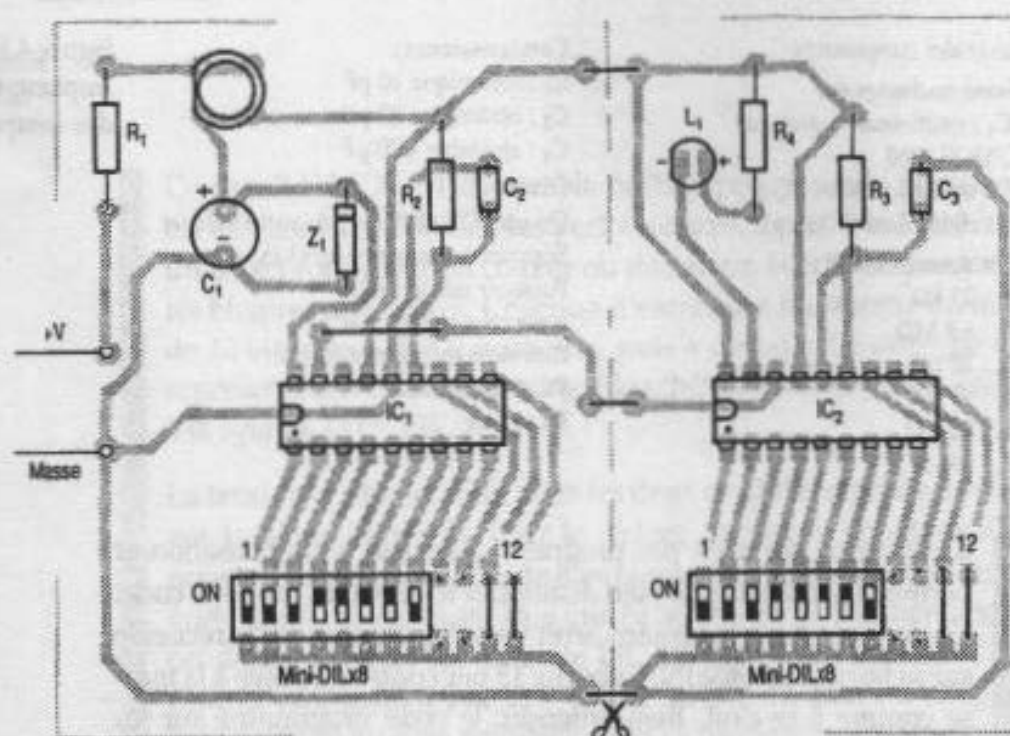


Figure 4.15.
Implantation
des composants.

Liste des composants

Semiconducteurs :
IC₁, IC₂ : codeur-décodeur MM 53200
Z₁ : diode Zener 9,1 V
L₁ : diode Led rouge 5 mm
Résistances 1/4 W :
R₁ : 390 Ω
R₂, R₃ : 100 kΩ
R₄ : 330 Ω

Condensateurs :

C₁ : céramique vertical 470 μF/25 V
C₂, C₃ : plastique 1 nF

Divers :

2 supports à souder 18 broches
Poussoir miniature pour CI
2 blocs de 8 mini-DIL
Picots à souder

atteste de la bonne réception et de la validation du code envoyé. D'autres applications sont possibles, avec une porteuse à infrarouge, à ultrasons ou par ondes radio. On peut également utiliser les fils du secteur dans le cas d'une application domestique.

Nous vous invitons à juxtaposer ce module avec le dispositif à infrarouges présenté plus loin. Un meilleur confort est accessible si l'on se donne la peine d'y associer une mise en mémoire par une bascule bistable, comme le circuit C/MOS 4027 = double JK (voir module « bascule maître-esclave JK »).

Une autre idée consiste à autoriser un code différent pour plusieurs récepteurs dépendant du même circuit codeur : 12 canaux sont accessibles de cette manière à l'aide d'un simple commutateur rotatif sur le codeur et d'un seul strap sur chaque décodeur bien entendu.

5.3 Double compteur BCD

5.4 Compteur-décodeur 4029

5.5 Double JK de 4012

6	Colonne	10
7	Colonne	11
8	Colonne	12
9	Colonne	13
10	Colonne	14

5 LE COMPTAGE

5.1 Le système décimal	92
5.2 Le système binaire	93
5.3 Double compteur BCD	95
5.4 Compteur-décompteur 4029	97
5.5 Double décade BCD	100

6	L'affichage	105
7	L'ampli-op	123
8	Les capteurs	141
9	La puissance	171
10	Le son	187

L'avènement des systèmes informatisés et la vogue sans cesse croissante des ordinateurs personnels ont fait découvrir au grand public, et surtout à ceux qui pratiquent l'électronique de loisir, un système de comptage original, à savoir le système binaire. Il s'agit bien des mêmes circuits qui utilisent les fonctions logiques déjà étudiées. On trouve ce mode de comptage dans tous les montages qui visualisent sous forme digitale, c'est-à-dire sous forme de chiffres. Citons les multimètres, réveils et autres montres-bracelets, thermomètres ou compteurs en tout genre. Dans ce chapitre, nous nous bornerons donc à étudier le dispositif de comptage seul, avec ses principes et ses variantes. Nous nous occuperons de l'affichage à proprement parler au prochain chapitre.

5.1 LE SYSTÈME DÉCIMAL

Il porte ce nom sans doute parce que l'homme possède 10 doigts et les utilise très facilement. Ce système est encore appelé système de comptage à base 10. Les seuls chiffres utilisés vont donc de 0 à 9. Pour parvenir à traduire un nombre plus grand que 9, nous serons amenés à n'utiliser que les 10 chiffres précédents; mais pour éviter toute confusion, il est important de signaler que la PLACE ou le RANG des chiffres est au moins aussi important que le chiffre lui-même. Les mathématiciens parlent du « poids » d'un chiffre ou d'une puissance. Il sera fait usage de dizaines, de centaines, de milliers, etc. après les unités. Voici un petit exemple :

Le nombre 7 353 s'écrit :

sept mille trois cent cinquante-trois

ou encore :

7 milliers
3 centaines
5 dizaines
3 unités

ou encore :

$$7\,353 = 7 \times 1\,000 + 3 \times 100 + 5 \times 10 + 3 \times 1$$

On retrouve bien les chiffres utilisés dans le système décimal, multipliés par un nombre d'autant plus grand que le rang est élevé. Ce coefficient est toujours un multiple de 10, la base, c'est-à-dire 10 puissance 2, 10 puissance 3, etc. Il est donc aisé de décomposer n'importe quel nombre entier décimal en une suite de puissance de 10.

À retenir : le coefficient est simplement la base à la puissance du rang, sans oublier le rang 0 qui est toujours égal à 1 quelle que soit la base. Exercez-vous sur quelques nombres.

5.2 LE SYSTÈME BINAIRE

En électronique, de nombreux circuits utilisent la représentation binaire, en raison de la possibilité évidente de représentation électrique d'un état 1 (présence de tension) ou d'un état 0 (absence de tension).

Rappelons que le système binaire, créé vers 1857 déjà par le mathématicien anglais George Boole, est basé sur le fait qu'une proposition doit être vraie ou fausse. Il ne doit en outre subsister aucune ambiguïté sur ces deux états complémentaires mais opposés.

La numération binaire utilise donc la base 2, et une fois de plus, pour en saisir toute l'importance aujourd'hui, il suffit de penser à l'omniprésence de l'informatique et à toute l'électronique digitale. Cette utilisation quasi généralisée paraît irréversible car il ne semble pas qu'au niveau des machines, robots et autres calculateurs, il soit possible de trouver un système plus simple et surtout plus facile à mettre en œuvre au cœur même des circuits électroniques. La règle est la suivante : une proposition vraie sera notée 1 ; à l'inverse, une proposition fausse est notée 0. Mais dans le cadre des réalisations électroniques, nous utilisons plus couramment les termes d'état haut (ou niveau positif de l'alimentation) et d'état bas (ou potentiel de la masse). En contrepartie, les chiffres utilisés sont très peu nombreux : 0 et 1 exclusivement.

Vous trouverez dans le *tableau 5.1* les 16 premières valeurs binaires et leur équivalent décimal. Pour traduire un nombre décimal quelconque en son équivalent binaire, il existe deux méthodes.

Binaire	Décimal	Binaire	Décimal
0000	0	1000	8
0001	1	1001	9
0010	2	1010	10
0011	3	1011	11
0100	4	1100	12
0101	5	1101	13
0110	6	1110	14
0111	7	1111	15

Tableau 5.1.
Équivalent
binaire-décimal.

Méthode des puissances de 2

Tout nombre décimal entier peut se décomposer en une suite de puissances de 2, dont vous trouverez les premières valeurs dans le *tableau 5.2*.

Tableau 5.2.
Puissances de 2.

Puissance de 2	Valeur	Puissance de 2	Valeur
2^0	1	2^8	256
2^1	2	2^9	512
2^2	4	2^{10}	1 024
2^3	8	2^{11}	2 048
2^4	16	2^{12}	4 096
2^5	32	2^{13}	8 192
2^6	64	2^{14}	16 384
2^7	128

Il s'agit surtout de celles déjà utilisées au chapitre précédent à propos des circuits diviseurs. Ainsi le nombre 214 peut s'écrire en consultant le tableau des puissances :

$$\begin{aligned}
 214 &= 128 + 86 \\
 &= 128 + 64 + 22 \\
 &= 128 + 64 + 16 + 6 \\
 &= 128 + 64 + 16 + 4 + 2
 \end{aligned}$$

À présent, l'équivalent binaire du nombre décimal 214 est aisé à retrouver; il suffit de noter 1 les puissances de 2 retrouvées dans la décomposition et de noter 0 pour toutes celles non présentes.

$$214 = 1 \times 128 + 1 \times 64 + 0 \times 32 + 1 \times 16 + 0 \times 8 + 1 \times 4 + 1 \times 2 + 0 \times 1$$

d'où 1 1 0 1 0 1 1 0

finalement : 214 base 10 11010110 base 2

Cette méthode un peu longue est somme toute fort voisine de la décomposition d'un nombre décimal en puissance de 10.

Méthode des divisions par 2

En opérant successivement des divisions par 2 et en relevant les restes, on arrive bien plus rapidement au même résultat. Prenons encore une fois le nombre 214 :

$$\begin{aligned}
 214 / 2 &= 107 \text{ reste } 0 \\
 107 / 2 &= 53 \text{ reste } 1 \\
 53 / 2 &= 26 \text{ reste } 1 \\
 26 / 2 &= 13 \text{ reste } 0 \\
 13 / 2 &= 6 \text{ reste } 1 \\
 6 / 2 &= 3 \text{ reste } 0 \\
 3 / 2 &= 1 \text{ reste } 1 \\
 1 / 2 &= 0 \text{ reste } 1 \text{ (ne pas oublier cette ligne)}
 \end{aligned}$$

Le résultat se lit dans l'ordre inverse et on obtient 11010110. Le passage du binaire au décimal est tout aussi aisé, puisqu'il suffit d'additionner l'équivalent des puissances de 2 présentes dans le nombre choisi. Il va sans dire que le système binaire « pur » que

nous venons de décrire est relativement compliqué à mettre en œuvre, surtout pour les nombres très grands; en raison du peu de chiffres utilisés, le risque d'erreur n'est pas négligeable, sans parler du facteur temps.

Dans la pratique, on utilise très souvent le code BCD (de *Binary Coded Decimal*). Il conserve la présentation décimale d'un nombre, mais reproduit les valeurs en binaire. Puisque chaque rang décimal (encore appelé décade) peut contenir un chiffre de 0 à 9, il faudra que chaque rang soit obligatoirement représenté par 4 chiffres binaires ou 4 bits. On trouve donc les valeurs binaires comprises entre 0000 et 1001. Par exemple, le nombre décimal 512 se représente ainsi :

5	1	2
0101	0001	0010

Ce dernier codage sera justement celui que nous allons trouver dans les maquettes d'application que nous vous invitons à découvrir maintenant.

5.3 DOUBLE COMPTEUR BCD

À partir d'une simple impulsion issue d'une bascule monostable, à cause des rebonds indésirables, on peut attaquer un compteur BCD sur 4 bits. Le schéma proposé se trouve à la figure 5.1 et se résume pratiquement à un seul circuit intégré C/MOS, qui, signalons-le, comporte en réalité deux compteurs parfaitement distincts dans le même boîtier. Le brochage des deux jumeaux est symétrique par rapport au centre du boîtier, comme en témoigne le schéma. Chaque compteur comporte donc 4 sorties binaires notées A, B, C et D dans l'ordre croissant de rang. En fait, deux circuits très voisins seront utilisés sur le même support : le circuit 4518, vrai compteur BCD de 0 à 9 et le modèle 4520, compatible broche à broche, mais dont les sorties évoluent en binaire pur, donc compteur de 0 à 15. Nous avons choisi de faire avancer les compteurs au rythme d'un front montant en portant les entrées de validation 2 et 10 (*Clock Enable*) au niveau positif de l'alimentation. Les bornes 7 et 15 seront forcées à la masse en permanence à travers une résistance et seront reliées une à une au niveau haut pour assurer la remise à zéro des quatre sorties du compteur choisi.

Pour faire avancer l'un ou l'autre des deux compteurs, il suffira de faire appel à l'un des montages monostables déjà étudié, car il ne saurait être question d'éviter le passage par un dispositif de

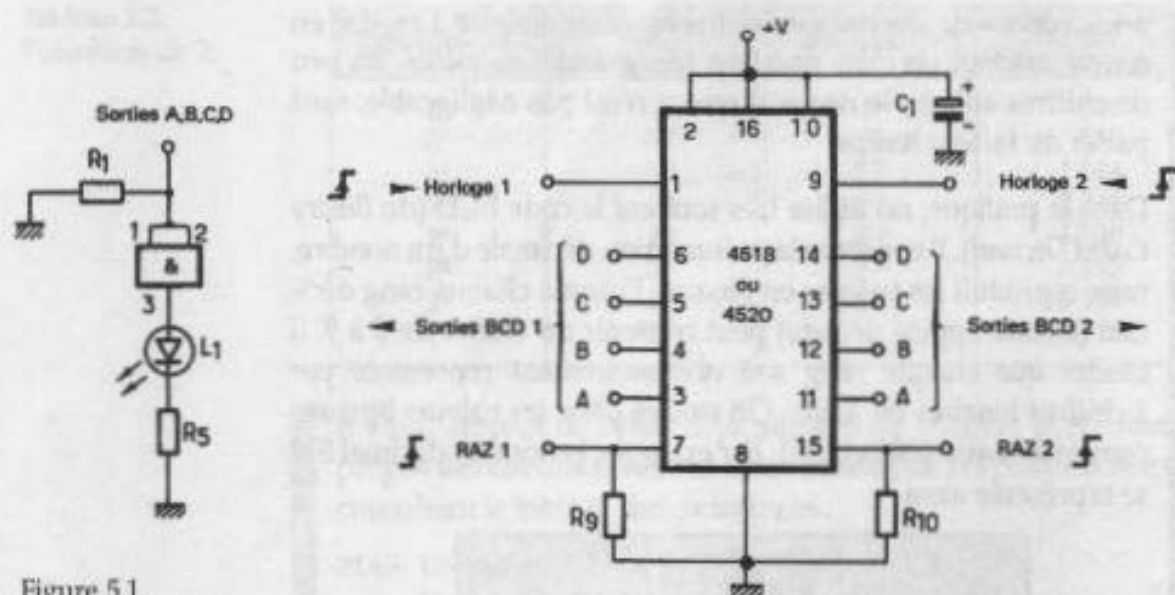


Figure 5.1.
Double compteur
BCD.

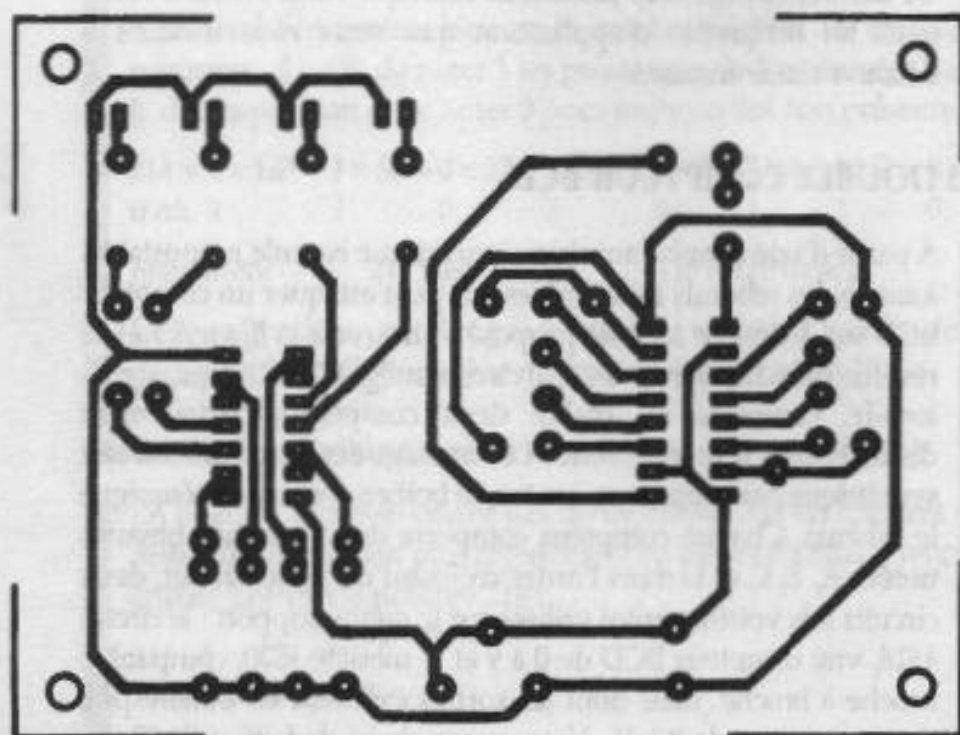


Figure 5.2.
Circuit imprimé
du double compteur
BCD.

mise en forme en raison de la fréquence de comptage maximale de l'ordre de 6 MHz sur ce genre de circuit ! On ne peut que déplorer par contre la très faible intensité autorisée par une sortie, soit 2 à 3 mA, c'est-à-dire bien trop peu pour espérer illuminer une simple Led de visualisation ; c'est pourquoi nous ferons appel à une cellule logique OUI (ou buffer) constituée par

une porte AND aux entrées réunies. Le schéma d'une seule d'entre elles est présenté, mais les quatre figurent sur la plaquette cuivrée correspondante pour vous permettre de suivre l'évolution de vos compteurs (figures 5.2 et 5.3). Il vous faudra relier encore les sorties du circuit compteur aux entrées du montage de visualisation au moyen de quelques fils sur les picots prévus à cet effet. Ne vous trompez pas dans l'ordre des diverses valeurs binaires sous peine d'un affichage erroné.

Liste des composants

Semiconducteurs :

IC₁ : double compteur BCD ou binaire

CMOS 4518 et 4520

IC₂ : quadruple porte AND C/MOS 4081

L₁ à L₄ : diodes électroluminescentes

Résistances 1/4 W :

R₁ à R₄ : 27 kΩ

R₅ à R₈ : 180 Ω

R₉, R₁₀ : 33 kΩ

Condensateur :

C₁ : chimique vertical 470 μF/25 V

Divers :

Supports à souder 14 broches

et 16 broches

Picots à souder

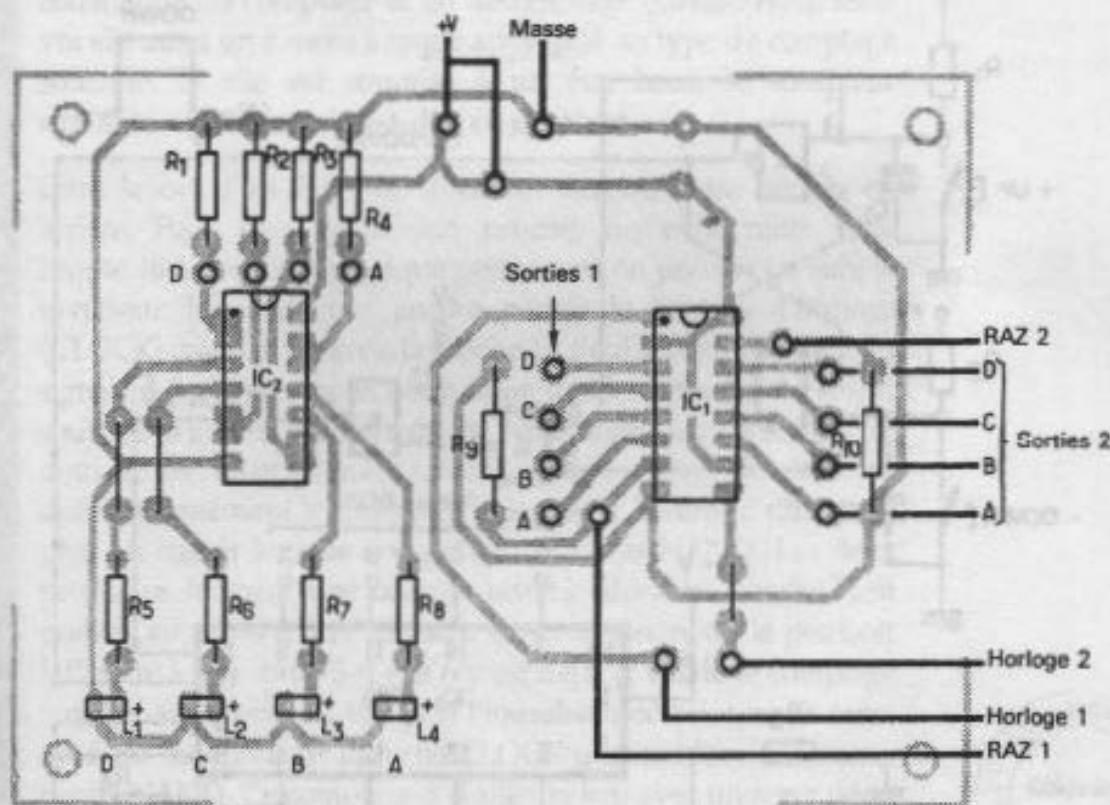


Figure 5.3.
Implantation
des composants.

5.4 COMPTEUR-DÉCOMPTEUR 4029

Voici un composant intéressant à exploiter. Il s'agit toujours d'un compteur à 4 sorties, sachant compter ou décompter aussi bien en mode binaire de 0 à 15 qu'en mode BCD de 0 à 9. En outre, il

est prépositionnable sur n'importe quelle position et à tout moment du cycle de comptage. S'agissant également d'un circuit C/MOS, il possède également les mêmes caractéristiques que les précédents : tension d'alimentation de 3 à 18 V, courant de sortie réduit et boîtier *dual in line* 16 broches. Ces nombreuses possibilités exigent de donner quelques explications complémentaires pour parvenir à une exploitation optimale d'un tel circuit. Il appartient à l'utilisateur de faire un choix avant la mise en œuvre. On sélectionne le type de comptage selon le niveau logique présent sur la borne 9 (figure 5.4) :

- niveau 0 = comptage BCD;
- niveau 1 = comptage binaire.

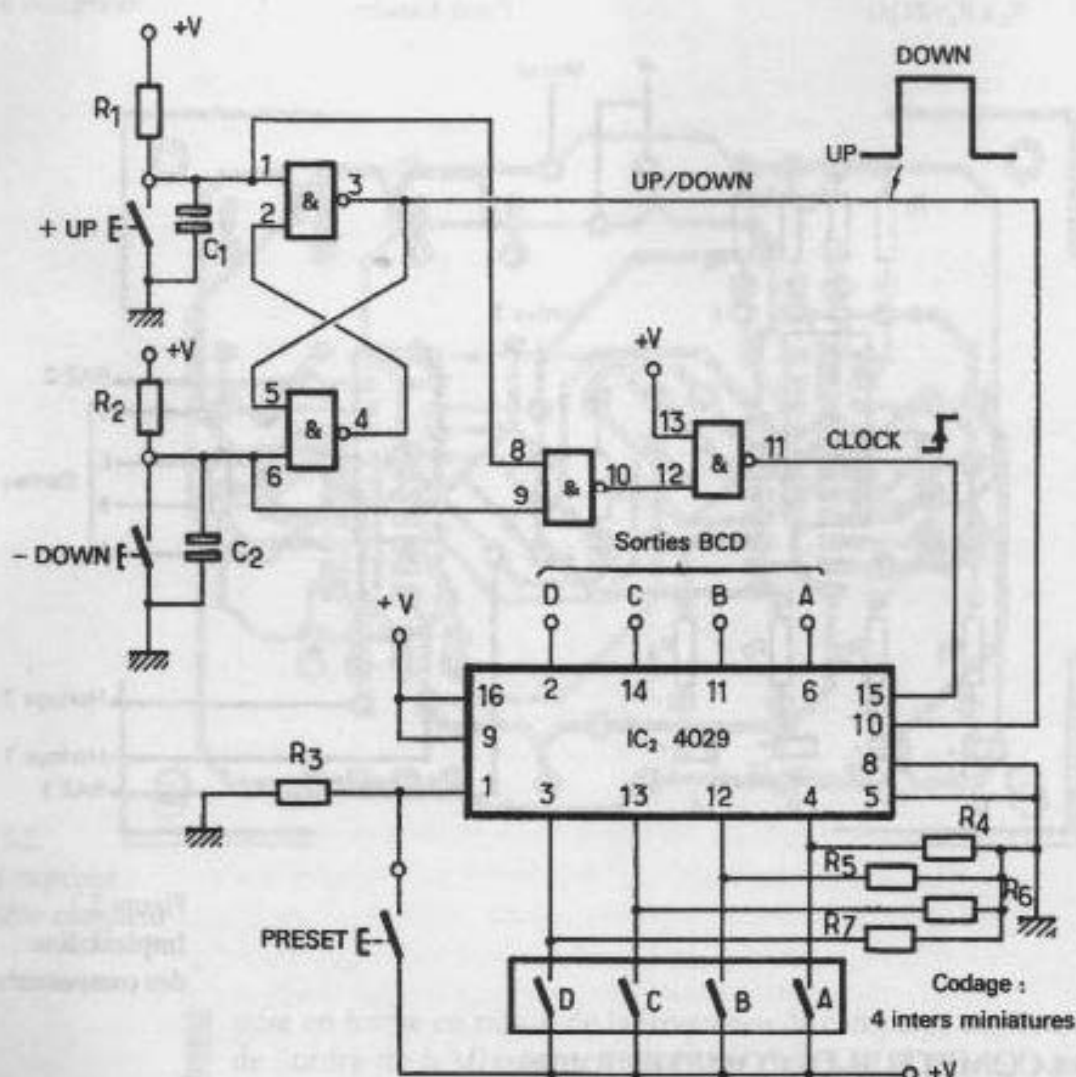


Figure 5.4.
Compteur-
décompteur
à présélection.

Nous avons choisi ce dernier mode pour cette application destinée à bien mettre en valeur les multiples possibilités de ce composant (broche 9 reliée au plus de l'alimentation). Les entrées en prépositionnement, bien entendu au nombre de 4 comme les sorties, sont reliées à 4 interrupteurs et reçoivent individuellement soit un niveau 1 (inter fermé), soit un niveau 0 (à travers la résistance). Après avoir formé le nombre binaire sur 4 bits, une impulsion sur le poussoir PRESET « charge » cette valeur binaire qui se retrouve tout de suite sur les sorties correspondantes. Si l'on applique un niveau bas sur les 4 entrées, on peut bien entendu utiliser ce poussoir comme une RAZ. On peut modifier à volonté la position des interrupteurs de programmation, ce qui ne perturbe en rien le bon fonctionnement du compteur; il n'y a que l'action sur le poussoir PRESET qui soit déterminante. Au repos, cette borne se doit de rester au niveau bas, sous peine de bloquer totalement le compteur. La broche 10, ou entrée de commande du comptage et du décomptage (UP/DOWN), recevra elle aussi un niveau logique approprié au type de comptage souhaité. Si elle est soumise à un état haut, le compteur « compte » en avant, c'est-à-dire en montant.

Dans le cas d'un état bas, le circuit décompte ou revient en arrière. Pour une application précise, on peut relier cette broche 10 à un niveau logique permanent ou prévoir un simple inverseur. Nous devons encore parler de l'entrée d'horloge (CLOCK) que l'on trouve à la broche 15. Seul le front montant du signal est pris en compte, à condition que les bornes 5 à 1 soient soumises à un état bas permanent. Nous allons faire d'une pierre deux coups : en effet, notre schéma aura l'avantage de commander simultanément le comptage et son sens. Il suffit d'utiliser en plus un circuit logique comportant 4 portes NAND. Les deux premières forment une bascule bistable dont les entrées sont portées au repos à un état haut. Une impulsion sur le poussoir UP porte à 1 la sortie 3 si elle n'y est déjà, et valide le comptage vers le haut du circuit 4029, car l'impulsion occasionne en outre un front montant sur la sortie CLOCK utilisant les deux autres portes NAND. Ce comptage a d'ailleurs lieu avec un léger décalage sur la commande UP/DOWN, ce qui permet un fonctionnement irréprochable.

Ce schéma très simple est particulièrement pratique à utiliser, ce que vous ne manquerez pas de faire en reliant les 4 sorties BCD du circuit 4029 au dispositif de visualisation précédent ou à tout autre dispositif logique apte à commander une diode Led. Vous trouverez aux figures 5.5 et 5.6 tous les renseignements utiles à la construction de ce compteur expérimental qui sera souvent utilisé dans nos maquettes.

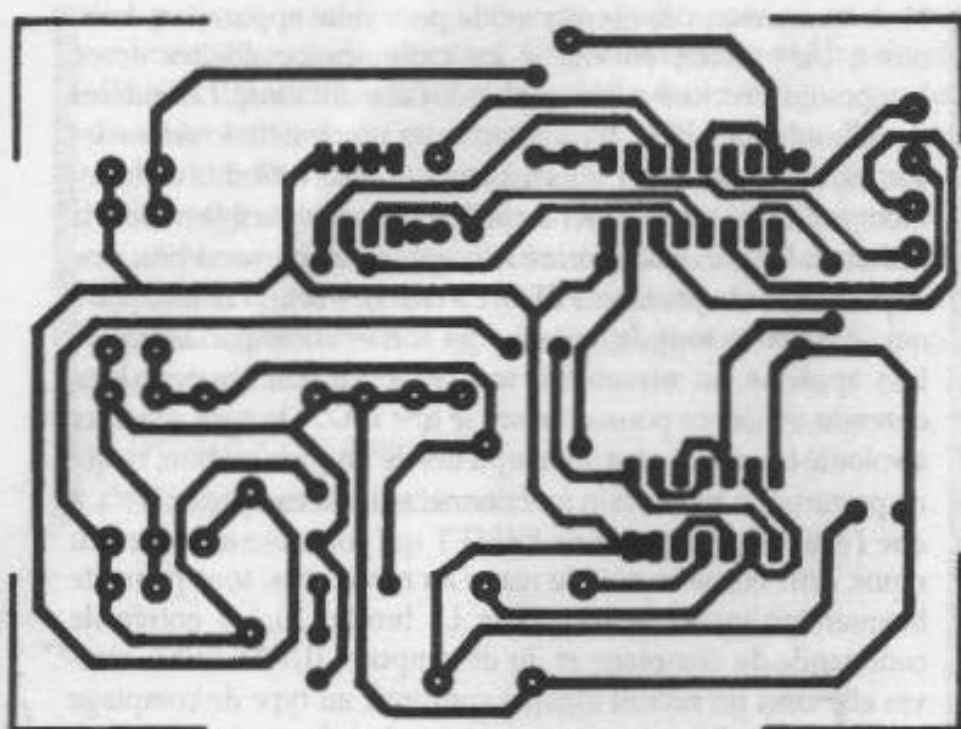
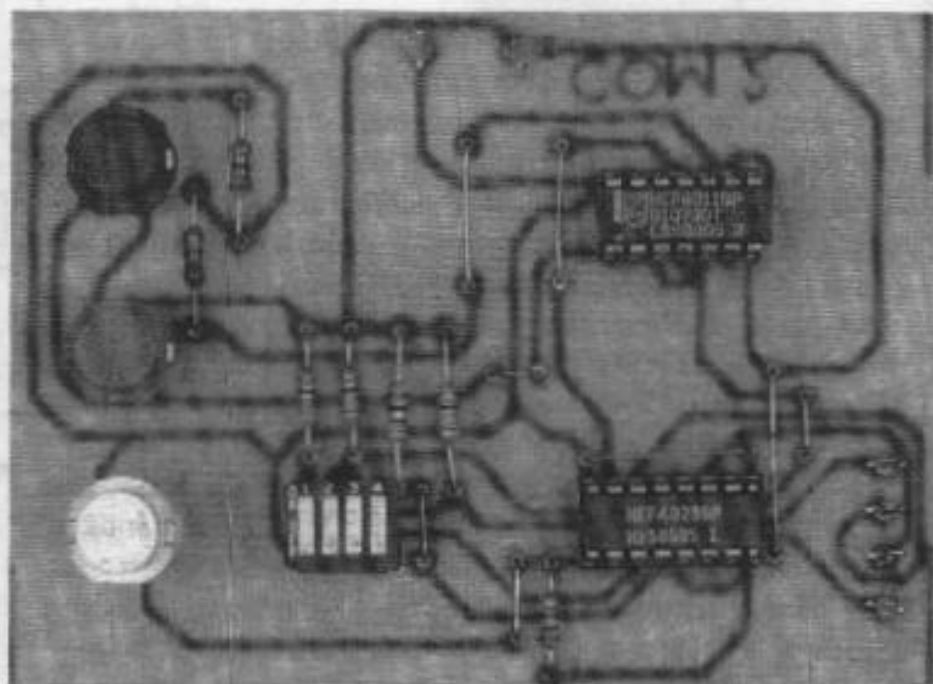


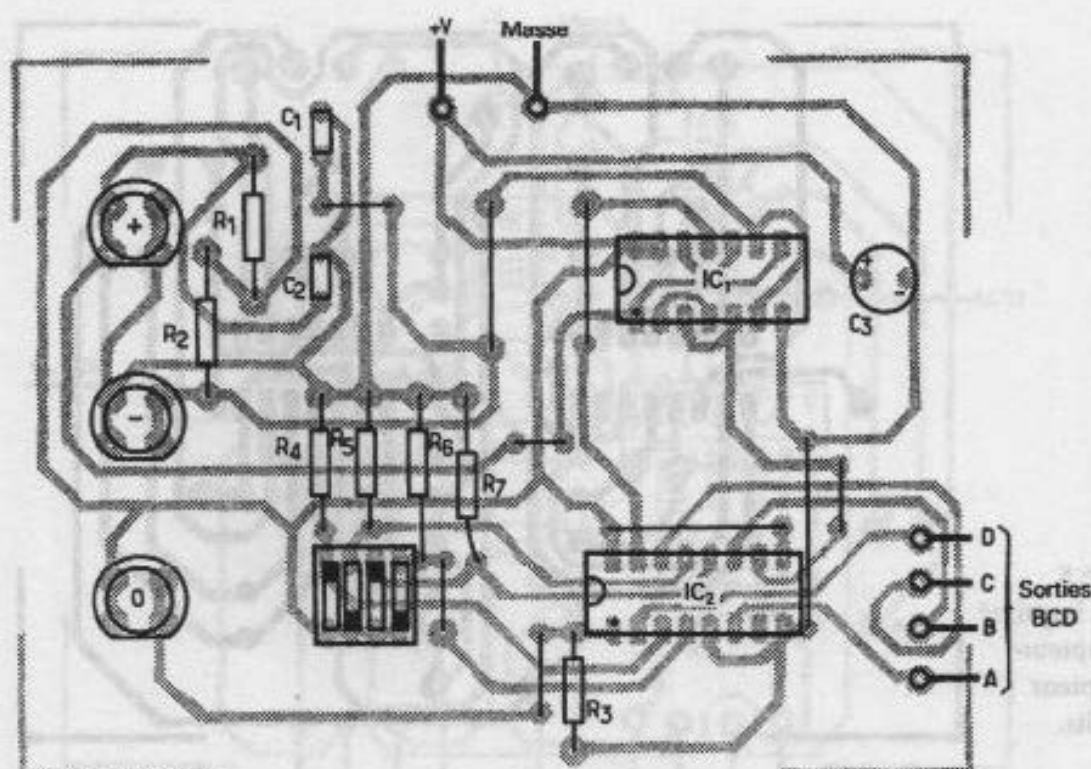
Figure 5.5.
Circuit imprimé
du compteur-
décompteur
à présélection.



Le compteur-
décompteur
à présélection
terminé.

5.5 DOUBLE DÉCADE BCD

En combinant deux circuits 4029 (figure 5.7, p. 102), il est possible de réaliser un compteur de 0 à 99 en décimal; en outre, nous allons doter ce montage de véritables roues codeuses BCD, qui vous dispenseront d'avoir à faire sans cesse la conversion décimal-binaire au gré de la programmation. Par contre, il vous appartient de le compléter par un dispositif correct sur l'entrée



Liste des composants

Semiconducteurs :

IC₁ : quadruple NAND

C/MOS 4011

IC₂ : compteur-décompteur

C/MOS 4029

Résistances 1/4 W :

R₁, R₂ : 27 kΩ

R₃ : 10 kΩ

R₄ à R₇ : 68 kΩ

Condensateurs :

C₁, C₂ : plastique 47 nF

C₃ : chimique vertical 470 μF/25 V

Divers :

1 support à souder 8 broches

1 support à souder 14 broches

1 support à souder 16 broches

3 poussoirs à fermeture

pour circuit imprimé

Bloc de 4 inters mini-DIL

Picots à souder

Figure 5.6.

**Implantation
des composants.**

CLOCK (voir bascules), sans oublier une visualisation sur les sorties codées. À noter que la sortie 7 (CARRY OUT) des unités est reliée à l'entrée 5 (CARRY IN) des dizaines. Les broches U/D et clock sont simplement reliées en parallèle. La notation 1, 2, 4 et 8 des roues codeuses représente le poids des sorties et équivaut ici à A, B, C et D déjà utilisé. Enfin, vous aurez noté que la broche 9 des deux compteurs est bien reliée à la masse, donc au niveau bas, puisque nous sommes en présence d'un comptage BCD à 2 chiffres. Si le prédispositionnement n'est pas souhaité, les résistances s'y appliquant sont simplement omises, mais les bornes 1 devront rester soumises à un état bas. Les figures 5.8 et 5.9 donnent les détails de la réalisation de ce module.

Le prochain chapitre nous apprendra à mieux encore exploiter les compteurs en décodant véritablement le système BCD et en le traduisant par un chiffre décimal bien précis.

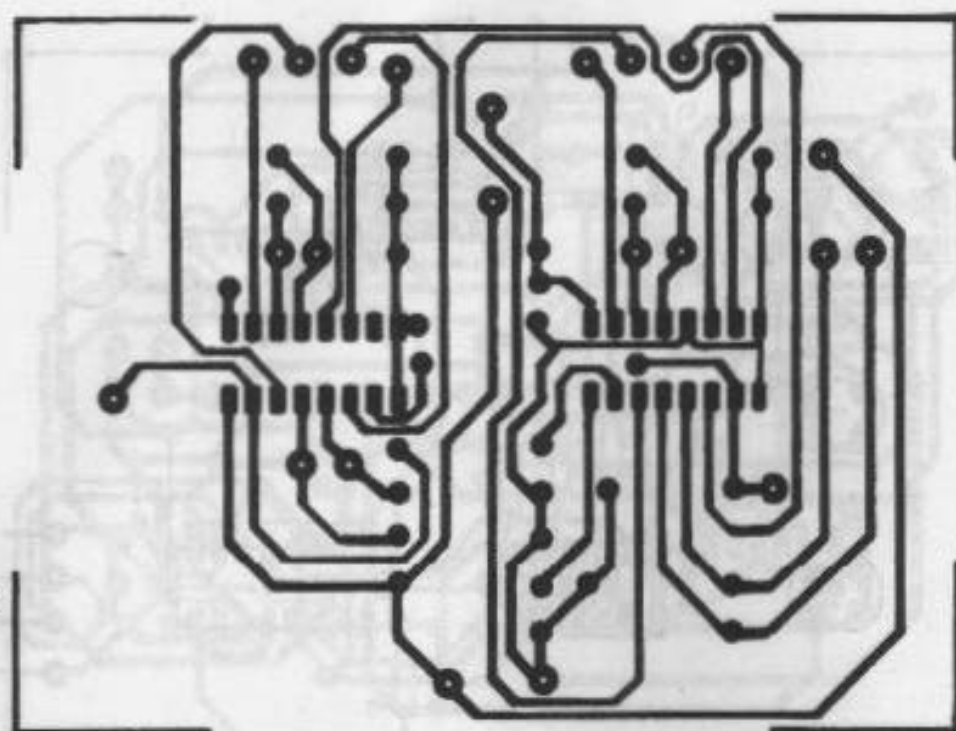
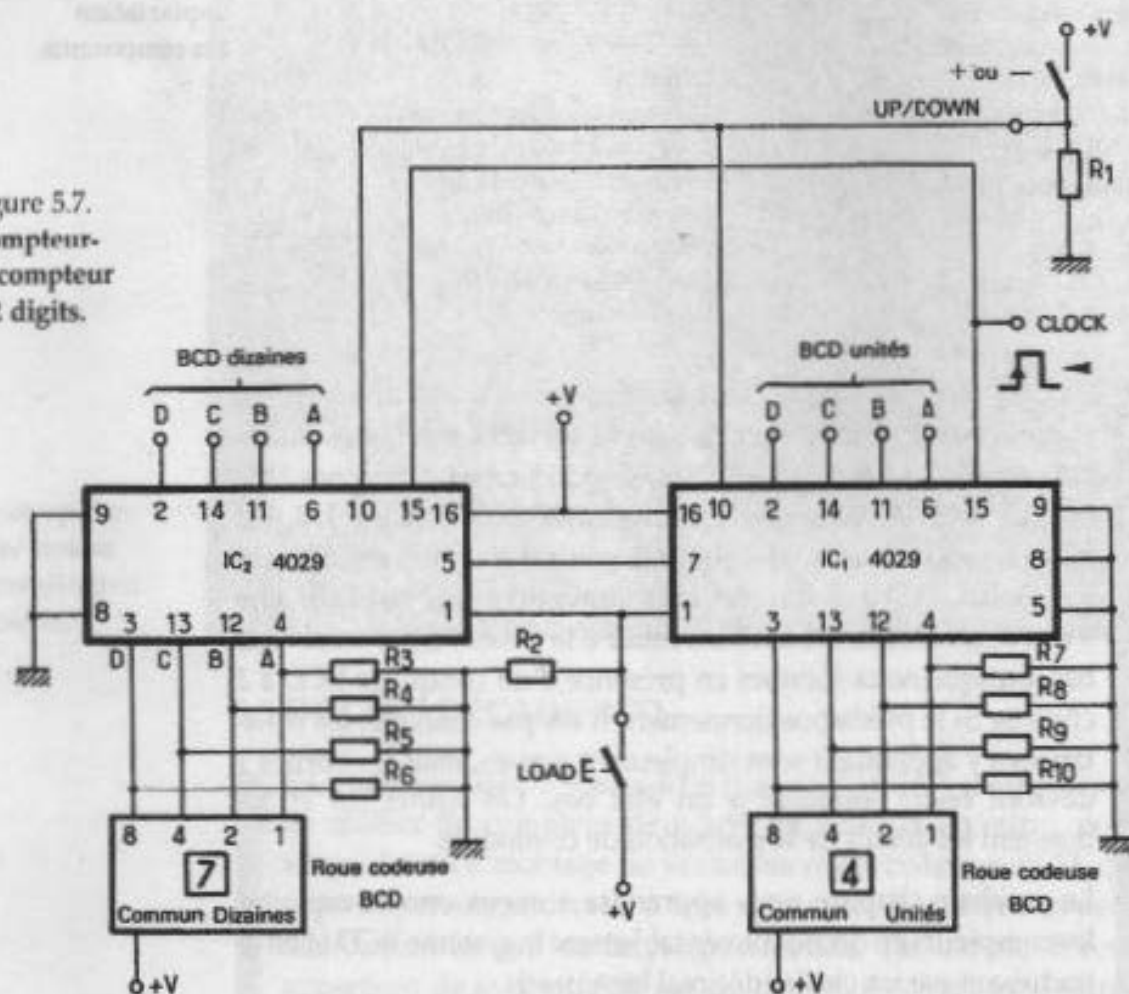
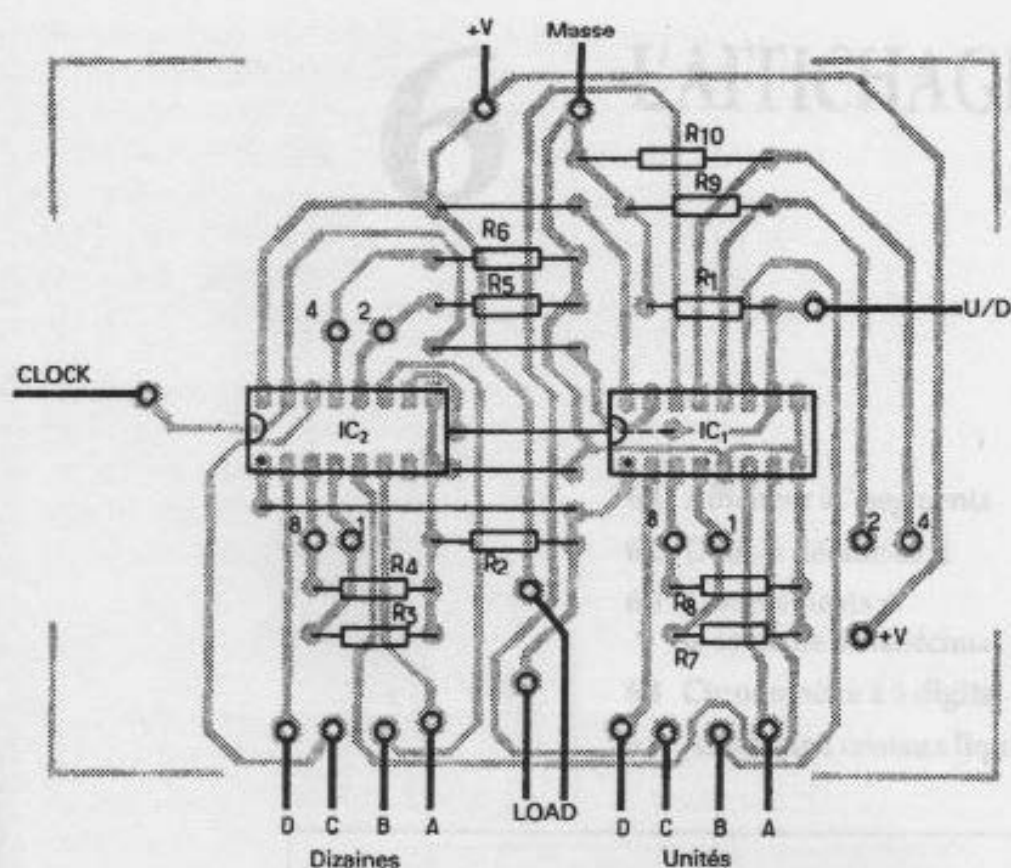


Figure 5.8.
Circuit imprimé
du compteur-
décompteur
à 2 digits.

Figure 5.7.
Compteur-
décompteur
à 2 digits.





Liste des composants

Semicconducteurs :

IC₁, IC₂ : compteur-décompteur
C/MOS 4029

Résistances 1/4 W :

R₁ : 33 kΩ

R₂ : 27 kΩ

R₃ à R₁₁ : 47 kΩ

Divers :

2 supports à souder 16 broches

2 roues codeuses BCD + flasques

Picots à souder

Fil souple

Figure 5.9.

**Implantation
des composants.**

6 L'AFFICHAGE



6.1 Afficheur à 7 segments	107
6.2 Double décade 4511	108
6.3 Compléments : le système hexadécimal	112
6.4 Chronomètre à 3 digits	114
6.5 Afficheur à cristaux liquides	118

7	L'ampli-op	123
8	Les capteurs	141
9	La puissance	171
10	Le son	187

Il n'est plus besoin de présenter de nos jours l'affichage numérique ou digital qui a envahi tous les secteurs de notre société, que ce soit pour remplacer le cadran à aiguilles de nos appareils de mesure ou de nos montres bracelets, sur la façade de nos pompes à essence, distributeurs de billets de banque et autres calculatrices et micro-ordinateurs. Bref, l'affichage en clair est quasi universel à présent et avouez que c'est beaucoup plus pratique tout de même que la visualisation binaire à l'aide de quelques diodes Leds allumées ou éteintes !

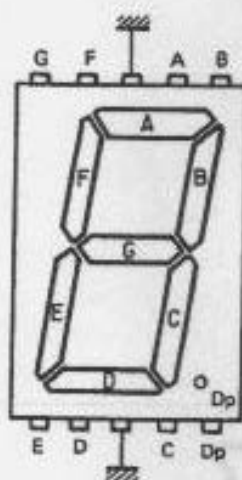


Figure 6.1.
Brochage
de l'afficheur
à 7 segments.

La présentation de l'afficheur à 7 segments n'est peut-être pas inutile à ce niveau; chaque segment ou « bâtonnet » d'un chiffre peut s'allumer ou non, et former ainsi les chiffres décimaux qui nous sont si familiers. Ils sont certes un peu simplifiés et même rudimentaires, mais suffisamment lisibles et c'est bien là l'essentiel. Chaque segment porte une lettre de A à G et cette disposition est universellement admise. Nous vous invitons à consulter la figure 6.1 qui donne, en outre, le brochage d'un afficheur à 7 segments. Il faut encore savoir que chaque segment est en fait une simple diode Led, avec un dispositif pour « élargir » la lumière émise sur toute la largeur du segment. On trouve des afficheurs rouges, jaunes, orange ou verts selon les Leds utilisées. Il est évident que chaque segment doit pouvoir s'illuminer sélectivement, mais pour limiter le nombre des connexions on réunit un point de chaque Led à une borne commune : selon que l'on réunit les anodes ou les cathodes des Leds, on aura affaire à des afficheurs à... anodes communes ou cathodes communes. Logique, non ? C'est cette dernière présentation qui sera retenue tout au long de ce chapitre. L'utilisation d'un afficheur est strictement équivalente à celle de 7 Leds de la même couleur, à savoir tension correcte (de 1,8 à 2,5 V) et limitation de l'intensité à 20 mA par segment. Une autre remarque s'impose : les afficheurs à Leds

sont des composants fort gourmands; songez un instant à la consommation du chiffre 8 ! Heureusement, il existe la technologie des cristaux liquides, dont la principale qualité est justement une consommation dérisoire et une grande facilité à obtenir des symboles complexes. Pour la petite histoire, retenez que d'autres solutions furent utilisées auparavant : tout d'abord les tubes NIXIES, basés sur une décharge lumineuse et dont les électrodes avaient la forme des chiffres. La fluorescence et l'incandescence furent également exploitées : tube minitron par exemple. Mais, de nos jours, LCD et Led se retrouvent seuls sur le marché. Enfin, pour conclure cette présentation générale, n'oublions pas de citer les matrices de points, qui, par combinaisons, autorisent tous les graphismes. C'est d'ailleurs de cette manière que sont générés les caractères sur les écrans de nos ordinateurs.

6.1 AFFICHEUR À 7 SEGMENTS

En introduction, nous allons vous proposer de construire un afficheur géant selon la même présentation qu'un afficheur intégré du commerce. Nous irons donc jusqu'à disposer ses broches selon un modèle normalisé. Chaque segment sera formé de 3 Leds plates montées en série, ce qui donne tout de suite une idée de la taille inhabituelle d'un tel composant. Les modèles du commerce font 20 mm de hauteur de chiffre pour les plus grands; au-delà, ils sont rares ou inabornables, à moins de procéder comme nous allons le faire pour atteindre une dimension de 40 mm !

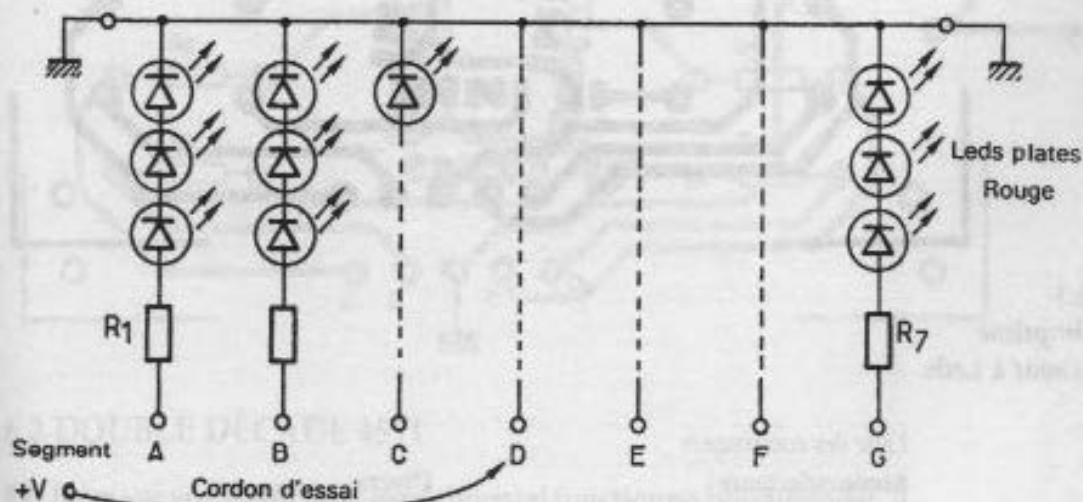


Figure 6.2.
Afficheur à Leds
(cathodes
communes).

Notre choix s'est porté sur le montage de cathodes communes (figure 6.2), qui sont donc toutes reliées. Une résistance de limitation a été prévue, pour permettre un essai du module : toutefois, aucun afficheur du commerce ne comportera une telle limitation de l'intensité. Il suffira donc de relier un ou plusieurs segments au pôle positif de l'alimentation pour voir se former les divers chiffres décimaux, et même d'autres symboles inutilisés et peut-être quelques lettres de l'alphabet. Essayez de faire apparaître les six premières de A à F, car nous en aurons besoin en fin de chapitre. Le tracé du cuivre se trouve à la figure 6.3; pour la mise en place des éléments (figure 6.4), veillez à bien orienter les diverses Leds et surtout à les aligner parfaitement pour une présentation irréprochable.

Nous avons prévu en outre, et on la trouve sur chaque afficheur, une petite Led ronde de 3 mm figurant le point décimal noté Dp.

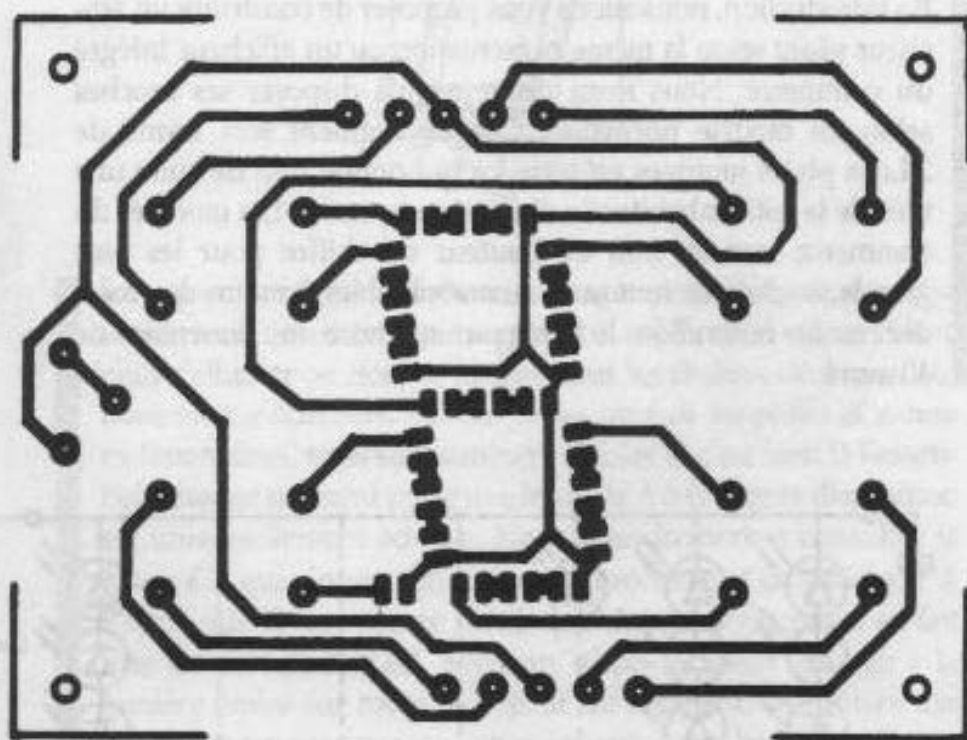


Figure 6.3.
Circuit imprimé
de l'afficheur à Leds.

Liste des composants

Semiconducteurs :

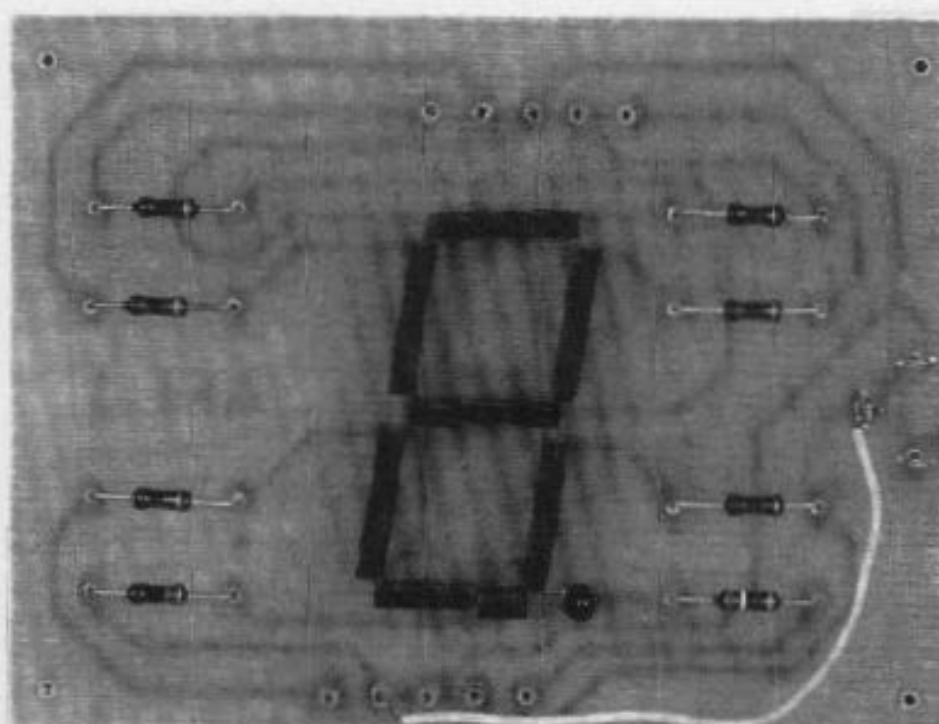
- 21 Leds plates rouges
- 1 Led ronde Ø 3 mm rouge

Résistances 1/4 W :

- R_1 à R_7 : 220 Ω
- R_8 : 390 Ω

Divers :

- Picots à souder
- Fil souple multicolore



Aspect
de l'afficheur
à Leds
terminé.

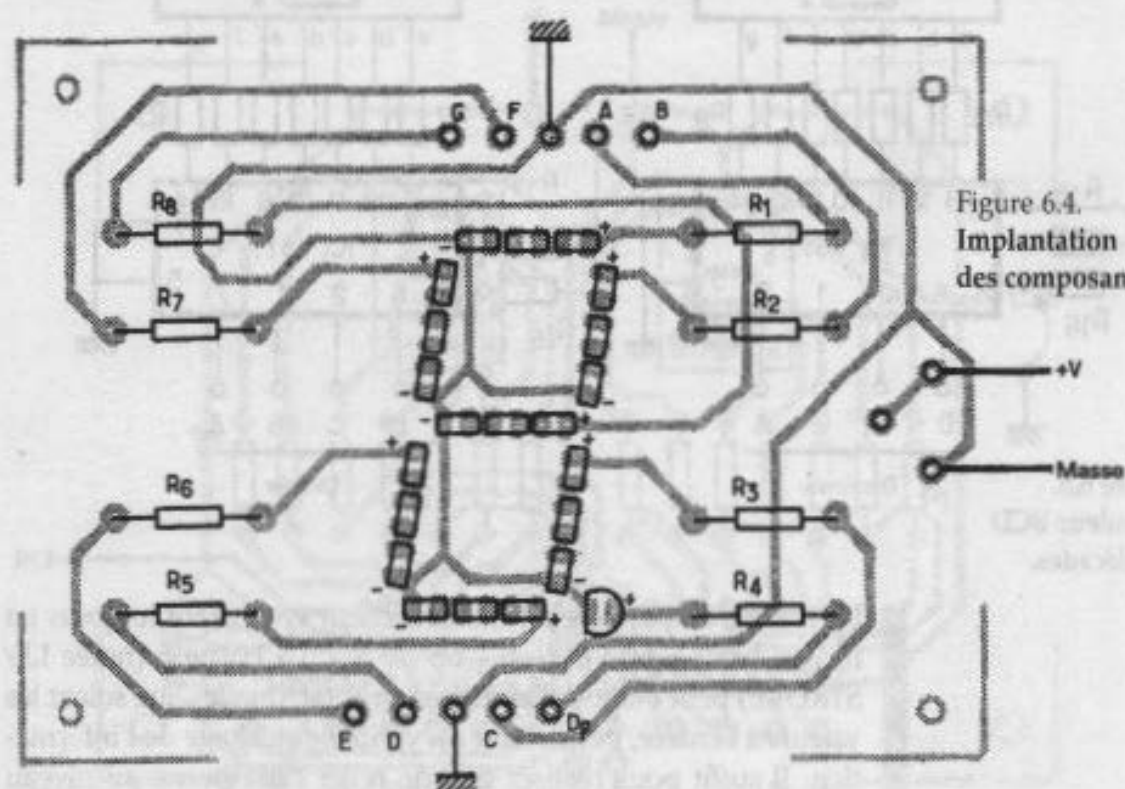


Figure 6.4.
Implantation
des composants.

6.2 DOUBLE DÉCADE 4511

Même si votre afficheur expérimental fonctionne parfaitement, il ne vous sera pas possible de le raccorder directement sur les modules de comptage du chapitre précédent. En effet, le code BCD est loin d'être accepté tel quel par les 7 segments. Il va falloir utiliser les services d'un circuit décodeur spécialement conçu

pour réussir ce mariage 4 fils vers 7 fils. Nous avons à notre disposition le circuit C/MOS 4511, qui est capable de réunir un module de comptage BCD à un afficheur CC.

Le schéma proposé se trouve à la figure 6.5 et comporte deux chiffres formant donc deux décades. Les niveaux logiques BCD sont appliqués aux entrées notées DCBA suivant le principe du comptage binaire. Les sept sorties rejoignent l'afficheur à travers une résistance de limitation par segment. Les circuits décodeurs comportent quelques particularités intéressantes : il est facile de tester tous les segments en les allumant ; pour ce faire, il suffit de relier à la masse la broche 3, par ailleurs normalement forcée au plus à travers les résistances R_{15} et R_{17} .

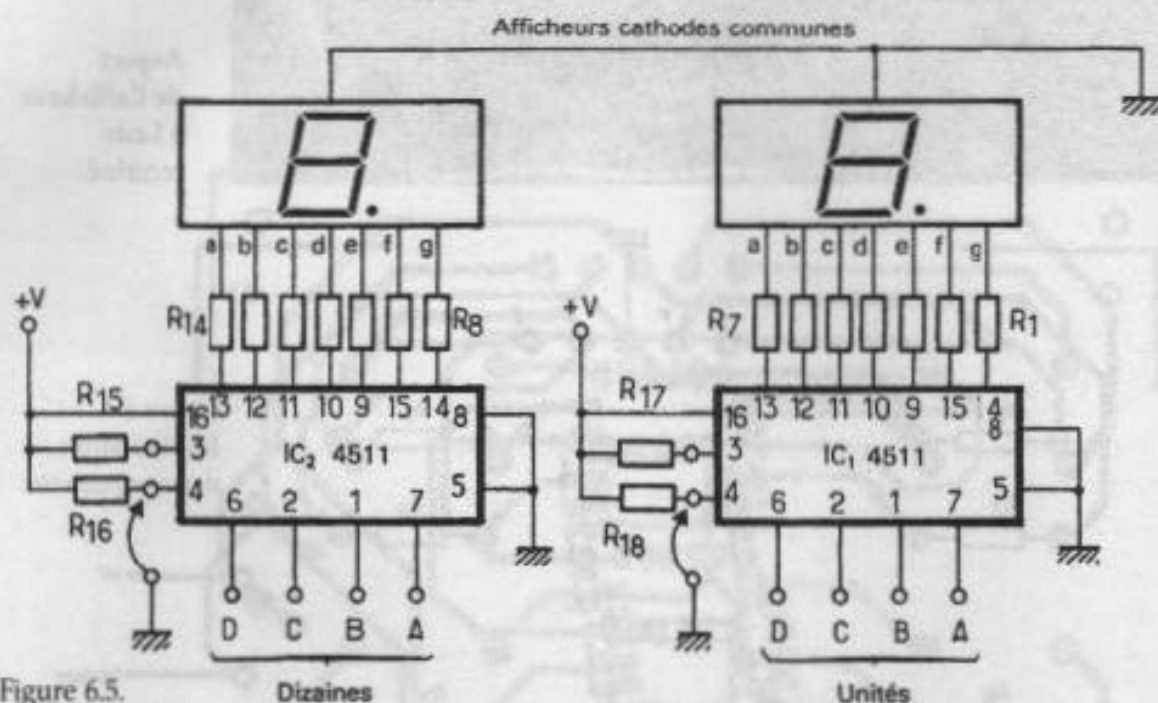


Figure 6.5.
Décodeur BCD
à 2 décades.

De même, on peut éteindre un afficheur en portant toujours au niveau bas l'entrée 4 de IC_1 ou de IC_2 . La borne 5 (notée LE/STROBE) peut bloquer l'affichage en l'état, quelles que soient les valeurs à l'entrée, permettant un véritable stockage de l'information. Il suffit pour réaliser cela de relier cette borne au niveau haut. Cette propriété est souvent utilisée dans de nombreux dispositifs d'affichage où le fonctionnement nécessite un comptage permanent. Le blocage de l'affichage et sa mise à jour périodique permettent d'obtenir une lecture aisée sans alignement désagréable. Après avoir construit ce petit module (figures 6.6 et 6.7), nous vous invitons à le raccorder aux dispositifs de comptage précédents, en veillant toujours à bien respecter l'ordre DCBA sous peine d'un affichage incohérent.

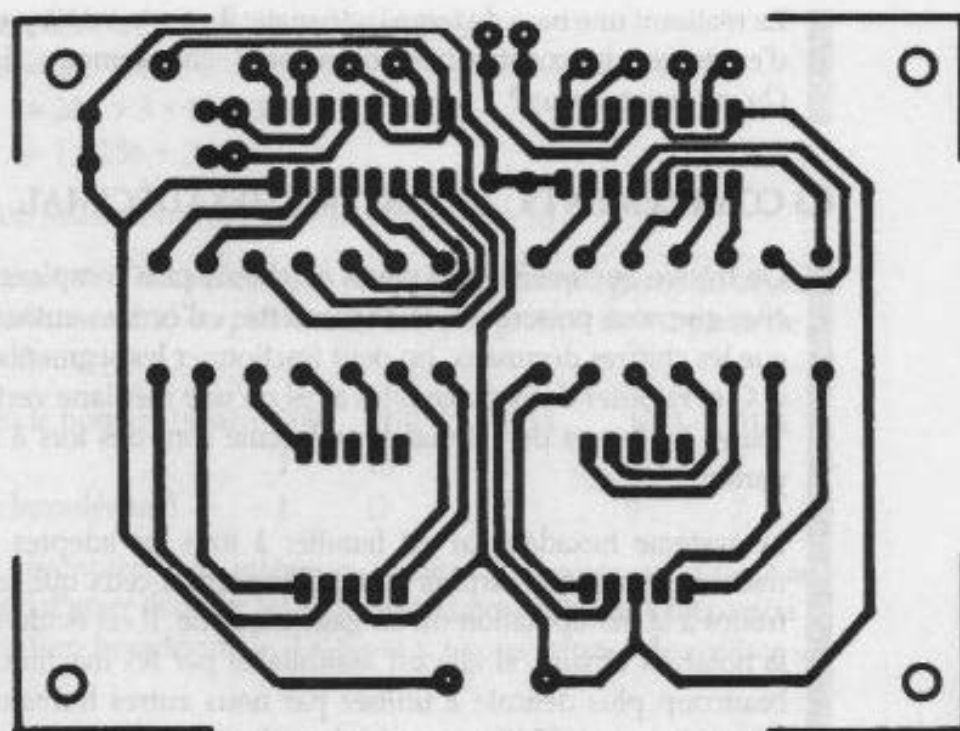


Figure 6.6.
Circuit
imprimé
du décodeur
BCD
à 2 décades.

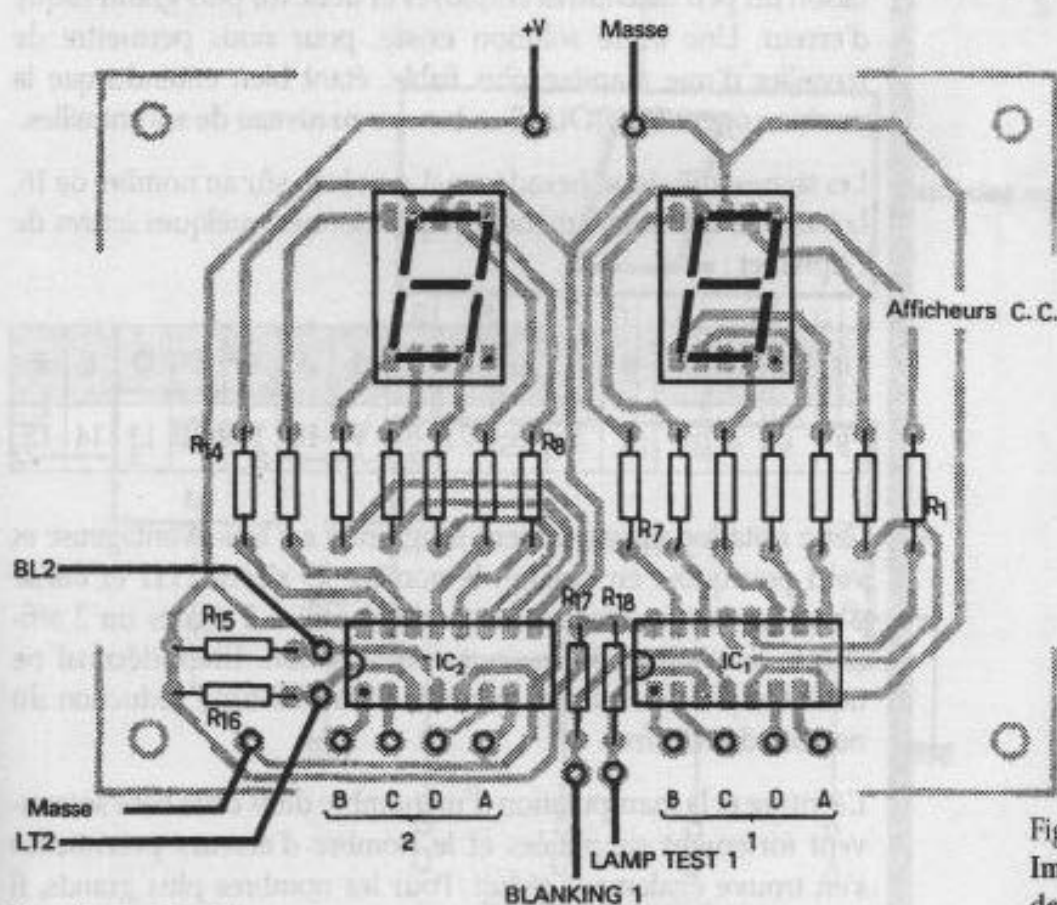


Figure 6.7.
Implantation
des
composants.

Liste des composants

Semiconducteurs :
IC₁, IC₂ : décodeur BCD /
7 segments C/MOS 4511
2 afficheurs rouges, chiffre
12,7 mm, cathodes communes

Résistances 1/4 W :
R₁ à R₁₄ : 390 Ω
R₁₅ à R₁₈ : 10 kΩ

Divers :
2 supports à souder 16 broches
Picots à souder
Fil souple

En réalisant une base de temps adéquate, il vous est déjà possible d'envisager la construction d'un petit chronomètre digital. Qu'en pensez-vous ?

6.3 COMPLÉMENTS : LE SYSTÈME HEXADÉCIMAL

On trouve quelquefois des pavés afficheurs plus complexes que ceux que nous présentons. Pour permettre « d'écrire » autre chose que les chiffres décimaux, on peut fractionner les segments A, D et G et rajouter deux diagonales ainsi qu'une médiane verticale. Toutes les lettres de l'alphabet majuscule sont dès lors à notre portée.

Le système hexadécimal est familier à tous les adeptes de la micro-informatique et plus particulièrement à ceux qui se sont frottés à la manipulation du langage machine. Il est évident que la notation binaire, si elle est assimilable par les machines, est beaucoup plus délicate à utiliser par nous autres humains, en raison du peu de chiffres employés et donc du plus grand risque d'erreur. Une autre solution existe, pour nous permettre de travailler d'une manière plus fiable, étant bien entendu que la machine opère TOUJOURS en binaire au niveau de ses entrailles.

Les signes utilisés en hexadécimal sont bien sûr au nombre de 16, la base, ce qui nous amène à réquisitionner quelques lettres de l'alphabet :

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

Cette notation apparemment saugrenue est très avantageuse et voici pourquoi : en binaire, le nombre 15 s'écrit 1111 et utilise 4 bits ou valeurs binaires; le décimal utilise 2 signes ou 2 afficheurs si on doit réaliser cette visualisation. L'hexadécimal ne nécessite plus qu'un seul symbole d'où une forte réduction du nombre des chiffres.

L'écriture et la manipulation d'un nombre dans cette base se trouvent fortement simplifiées et le nombre d'erreurs potentielles s'en trouve également réduit. Pour les nombres plus grands, il faut procéder comme pour les bases 10 et 2, c'est-à-dire employer les puissances de 16 !

en décimal :	1	10	100	1000	...
en binaire :	1	2	4	8	...
en hexa :	1	16	256	4096	...

Par exemple, le nombre 317 peut s'écrire :

$$\begin{aligned} 317 &= 256 + 61 \\ &= 256 + 3 \times 16 + 13 \\ &= 1 \times 256 + 3 \times 16 + D \end{aligned}$$

d'où finalement : 317 base 10 = 13D base 16

Attention : l'hexadécimal se retrouve aisément à partir du binaire, et inversement, en prenant les bits par groupe de 4 à partir de la droite.

Soit le nombre binaire	0001	1101	1011	1001	0111
	1	13	11	9	7
en hexadécimal	1	D	B	9	7

Si l'aventure vous intéresse, sachez qu'il existe un composant spécial pour décoder les 16 positions possibles sur 4 bits, selon la notation hexadécimale. La figure 6.8 vous permet de réaliser un

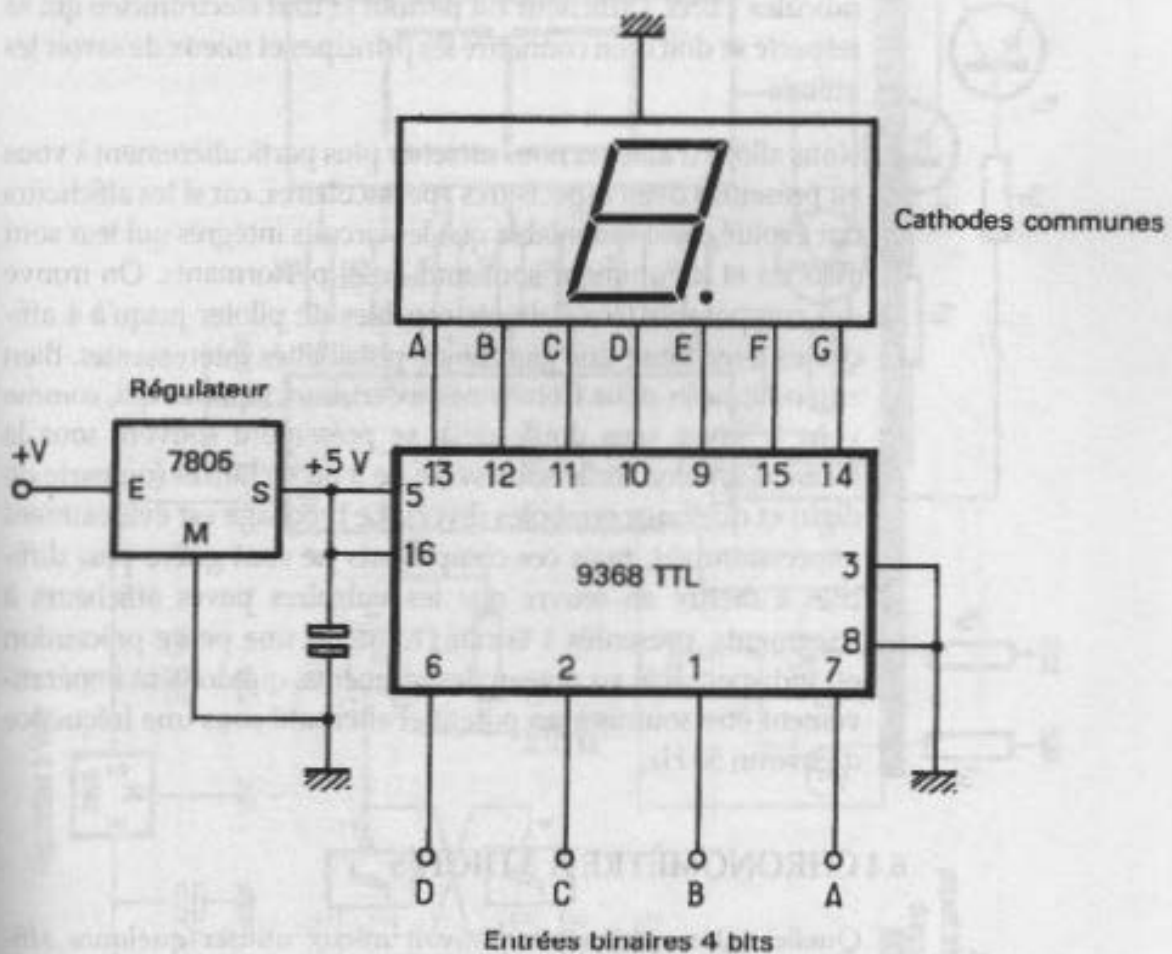


Figure 6.8.
Schéma
d'un décodeur
alphanumérique
4 bits.

montage expérimental. Attention, ce composant exige une tension de 5 V, d'où la présence du régulateur intégré. L'afficheur CC est relié directement au circuit intégré qui reçoit et décode les 4 bits.

À ce stade, vous êtes déjà capable de construire quelques maquettes électroniques intéressantes, dont l'affichage sera en quelque sorte l'aboutissement : pourquoi pas une minuterie digitale ou un compteur à présélection ? Nous venons d'ouvrir les portes de quelques domaines passionnants. Il ne vous reste plus qu'à vous y engouffrer plus avant et à vous laisser emporter par votre passion.

On trouve enfin les cristaux liquides, mystérieux, peu gourmands et de plus en plus sophistiqués. Il n'y a qu'à jeter un coup d'œil sur toutes les fabrications horlogères, les mini-jeux électroniques, les appareils de mesure et même les calculatrices et autres ordinateurs à écran plat. Qui n'a entendu parlé des téléviseurs portables à écran LCD (*Liquid Cristal Display*) aux dimensions ridicules ? Bref, l'afficheur est partout et tout électronicien qui se respecte se doit d'en connaître les principes et mieux de savoir les utiliser.

Nous allons d'ailleurs nous attacher plus particulièrement à vous en présenter deux aspects très spectaculaires, car si les afficheurs ont évolué, il est indéniable que les circuits intégrés qui leur sont associés et les animent sont tout aussi performants. On trouve des composants très élaborés capables de piloter jusqu'à 4 afficheurs avec toute une gamme de possibilités intéressantes. Bien entendu, nous nous frotterons aux cristaux liquides qui, comme vous le savez sans doute déjà, se présentent souvent sous la forme d'un bloc scellé sous verre de 3 ou 4 chiffres (on parle de digit) et quelques symboles divers. Le brochage est évidemment impressionnant, mais ces composants ne sont guère plus difficiles à mettre en œuvre que les vulgaires pavés afficheurs à 7 segments, présentés à l'unité ; toutefois une petite précaution est indispensable au niveau des segments, qui doivent impérativement être soumis à un potentiel alternatif sous une fréquence d'environ 50 Hz.

6.4 CHRONOMÈTRE À 3 DIGITS

Quelle autre application pouvait mieux utiliser quelques afficheurs à 7 segments, et mettre en évidence la fantastique simplification apportée par un seul circuit intégré spécialisé portant la référence 74 C 928 ? L'intégration très poussée est évidente si l'on songe que ce composant n'a que 18 broches, et est pourtant capable d'alimenter jusqu'à 4 afficheurs à cathodes communes. Seul le

Nous avons choisi de compter des secondes jusqu'à 99 avec l'affichage du 1/10. Il est donc normal de trouver le point décimal de l'afficheur des unités relié au plus de l'alimentation à travers la résistance R_6 . Les segments identiques de tous les afficheurs (nous n'en utilisons ici que 3) sont reliés ensemble et la cathode commune de chacun d'entre eux sera validée périodiquement par le circuit compteur. Chaque « display » sera sollicité toutes les millisecondes, mais en fait pendant 1/4 du temps seulement en raison de la succession régulière des 4 pavés. L'œil, grâce à la persistance rétinienne, s'en accommode fort bien et ne peut s'apercevoir de cette supercherie qui, outre la grande simplification des connexions, apporte ici une économie très importante au niveau de la consommation de l'ensemble.

On se contente en gros de 40 mA lorsque tous les segments sont allumés. C'est dérisoire et intéressant pour une alimentation autonome sur piles ou accumulateurs. Les transistors T_1 , T_2 et T_3 sont chargés de piloter successivement les divers afficheurs à cathodes communes comme il convient. Le comptage s'effectue au gré des fronts négatifs qui se présentent sur l'entrée H (borne 12).

L'entrée 13 de remise à zéro est normalement forcée à la masse par R_5 et toute impulsion positive sur cette entrée réalise le

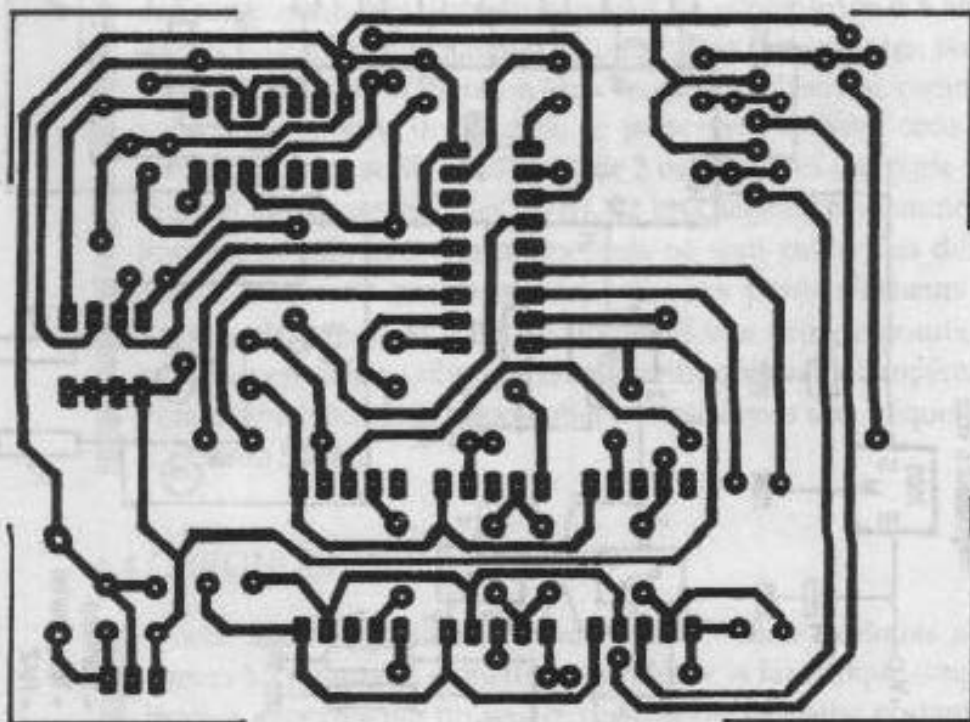


Figure 6.10.
Circuit imprimé
du chronomètre.

passage à zéro immédiat de tous les compteurs; ce rôle est attribué au mini-DIL 4 qu'il ne faudra pas oublier de ramener à sa position de départ sous peine de bloquer le fonctionnement du circuit. Une autre entrée est prévue sur la maquette, il s'agit de la borne 5 (L/E pour LATCH ENABLE). Si cette entrée est soumise brièvement à un état bas, les mémoires sont remises à jour, en fonction des positions atteintes par les divers compteurs. C'est le mini-DIL 3 qui sera chargé de cette fonction. Un état bas sur cette borne autorise un fonctionnement normal des compteurs. Comme dans tout chronomètre qui se respecte, il nous faut une base de temps précise de 1/10 de seconde, et cette fréquence est produite par la porte NAND trigger C associée à R_3 et C_3 . Si vous souhaitez obtenir une grande précision, il va sans dire qu'il

Liste des composants

Semiconducteurs :

IC₁ : quadruple NAND trigger C/MOS 4093

IC₂ : compteur avec démultiplexeur 4 digits de 7 segments TTL 74 C 928

Régulateur intégré 5 V positif 7805

T₁, T₂, T₃ : transistor NPN

BC 337

3 afficheurs cathodes commune 12,7 mm rouge

Résistances 1/4 W :

R₁, R₂ : 33 k Ω

R₃ : 330 k Ω ou ajustable 470 k Ω

R₄, R₅ : 27 k Ω

R₆, R₇, R₈ : 620 Ω

R₉ à R₁₅ : 47 Ω

R₁₆ : 56 Ω

Condensateurs :

C₁ : plastique 150 nF

C₂ : plastique 220 nF

C₃ : plastique 1 μ F non polarisé

Divers :

Support 14 broches à souder

Support 18 broches à souder

Bloc de 4 inters mini-DIL

Picots à souder

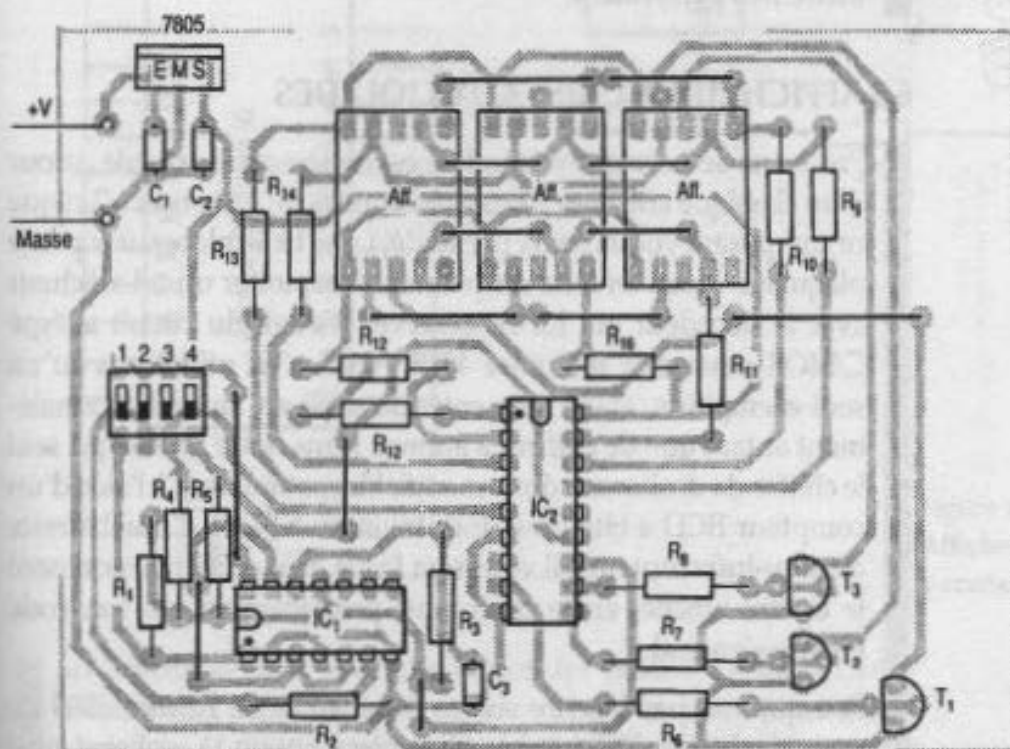


Figure 6.11.
Implantation
des composants.

faudra remplacer R_3 par un élément réglable et même si possible par un modèle multitours. Cet oscillateur astable génère des signaux parfaitement rectangulaires, à condition que son entrée de commande 13 soit haute; dans le cas contraire, sa sortie reste uniformément haute.

Pour assurer les ordres de START et STOP de la base de temps, on utilise les services d'une bascule RS, mémoire bistable bien connue. Les portes NAND trigger A et B obéissent aux mini-DIL 1 et 2 pour délivrer à volonté un état 1 ou un état 0 sans aucune ambiguïté.

Cette maquette, forcément didactique, devrait bien mettre en évidence déjà les possibilités extraordinaires des circuits spécialisés comme le 74 C 928. La fréquence maximale de comptage se situe autour de 2 MHz, ce qui permet d'envisager la construction d'un mini-fréquencemètre ou autre compte-tours si le cœur vous en dit...

Vous trouverez sur les figures 6.10 et 6.11 (p. 116 et 117) tous les éléments pour mener à bien la réalisation de ce premier module. Veillez à ne pas oublier les 4 straps situés sous les afficheurs. On pourra avantageusement remplacer le bloc des 4 inters par des poussoirs distincts, et pour peu qu'ils soient disposés d'une manière astucieuse ou ergonomique, on aura réalisé un chronomètre très performant.

6.5 AFFICHEUR À CRISTAUX LIQUIDES

Précisons de suite que ce module est entièrement articulé autour d'un classique afficheur à cristaux liquides de 3 digits et 1/2 et que ce composant volumineux prend déjà une belle place sur la petite plaquette. Nous tenions simplement à exploiter un tel afficheur avec le décodeur qui lui est réservé; il s'agit du circuit intégré CMOS portant la référence 4543. Nous n'en utiliserons qu'un seul exemplaire, étant bien entendu qu'il en faudrait normalement autant que de chiffres à animer. Dans notre prototype, seul le chiffre de droite sera donc modifiable, notamment à l'aide d'un compteur BCD 4 bits. Toutefois, toujours à l'aide d'une barrette de mini-interrupteurs, il vous sera facile de modifier directement le chiffre affiché, en le traduisant préalablement en son code binaire s'entend.

Pourquoi ne pas inscrire sur ce pavé de verre l'année 1999 (le premier chiffre affiché étant obligatoirement un 1), réalisant ainsi un calendrier annuel original, quoique incomplet. La figure 6.12 sera consultée utilement à ce stade. Le circuit intégré décodeur utilisé sur ce montage est capable d'alimenter un seul chiffre sur

la dernière valeur occupée, ceci n'empêchant pas les mémoires de stocker les valeurs à afficher dès que l'entrée sera à nouveau haute. La borne 6 notée CP est particulièrement importante : cette broche doit recevoir un signal carré d'une fréquence comprise entre 30 et 60 Hz, et le commun 1 de l'afficheur est relié au même endroit.

Le générateur astable nécessaire est construit simplement autour des portes NAND A, B et C. Les segments du digit 9 n'ont besoin d'aucune résistance de limitation, car la consommation des cristaux liquides est infime. Pour afficher en permanence les trois autres chiffres de l'année, soit 199, il suffit de valider tous les segments concernés, mais avec une tension opposée à celle de la borne commune, d'où la justification de la porte NAND D, qui utilise le même signal que l'astable précédent... et l'inverse à chaque fois. Ce circuit spectaculaire mérite d'être testé et apprécié à sa juste valeur.

Les figures 6.13 et 6.14 présentent le circuit imprimé et le plan de câblage de l'afficheur.

Inutile de préciser que le pavé de verre de l'afficheur est relativement fragile aux chocs mécaniques et thermiques, et de plus qu'il n'est pas conseillé d'exercer une pression trop forte sur sa face avant. Il sera monté obligatoirement sur un support adapté ou sur des picots « tulipes » vendus en bandes. Veillez encore à sa bonne orientation : le « trou » de scellement se trouve sur la

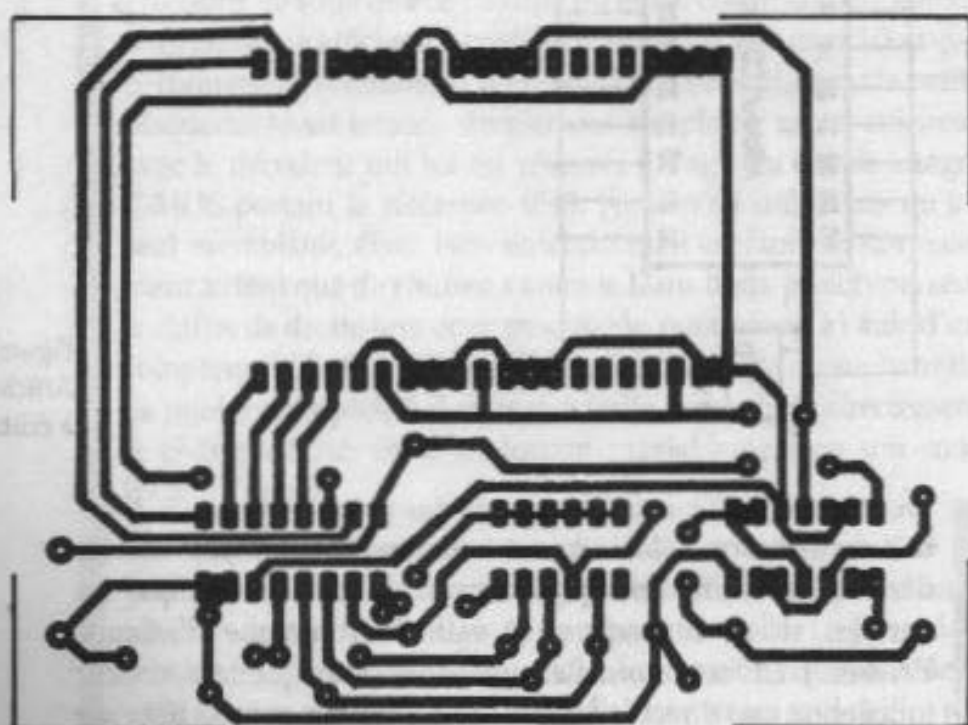
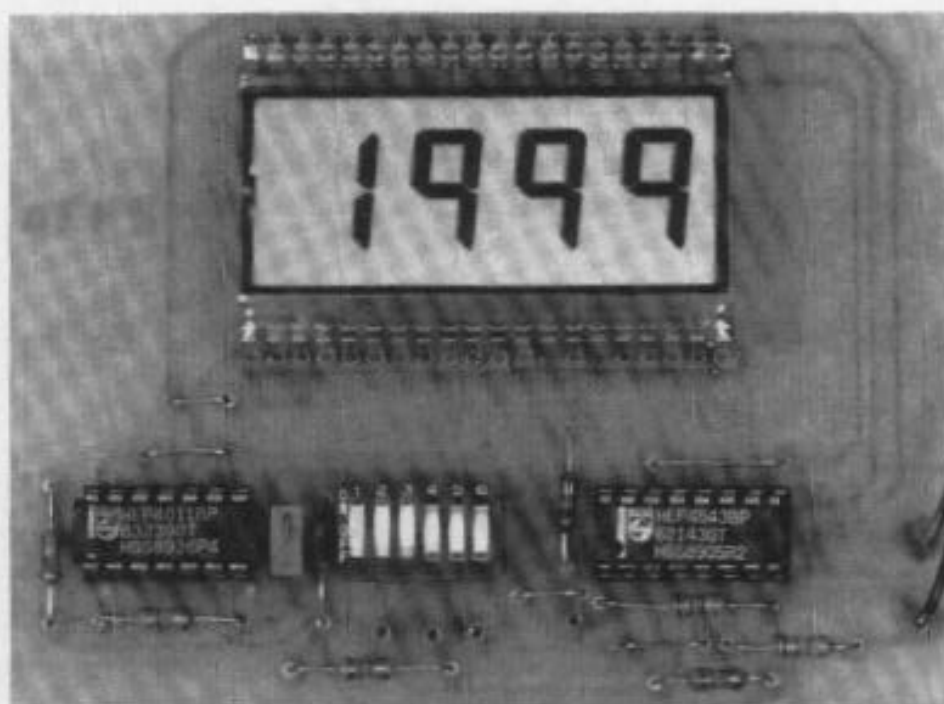


Figure 6.13.
Circuit
imprimé
de l'afficheur.



Vue
de l'afficheur
à cristaux
liquides.

Liste des composants

Semiconducteurs :

IC₁ : décodeur BCD/7 segments
pour cristaux liquides C/MOS 4543

IC₂ : quadruple NAND

C/MOS 4011

Afficheur à cristaux liquides 3 digits
1/2 réf. LC 513031

Résistances 1/4 W :

R₁ : 47 kΩ

R₂ : 470 kΩ

R₃ : 1,5 kΩ

R₄ à R₆ : 33 kΩ

Condensateur :

C₁ : plastique 220 nF

Divers :

Barrettes de picots tulipe
pour support afficheur

Support 14 broches à souder

Support 16 broches à souder

Bloc de 6 inters mini-DIL

Coupleur pression pour pile 9 V

Picots à souder

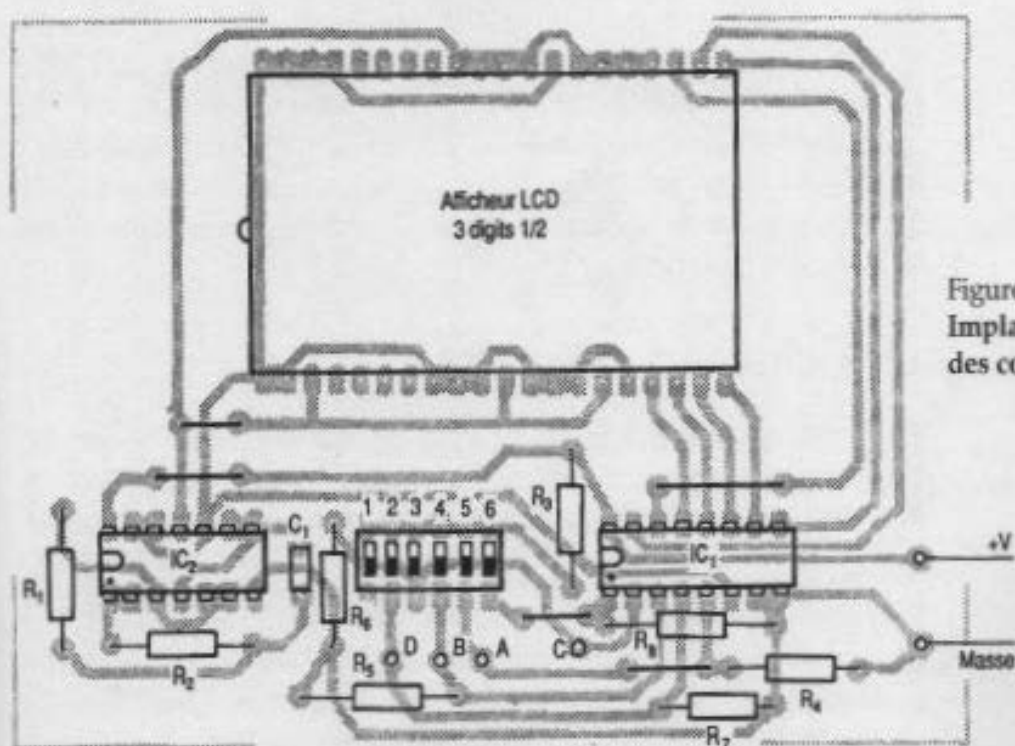


Figure 6.14.
Implantation
des composants.

gauche du composant, légèrement en saillie. Une simple pile de 9 V fera l'affaire et pourra assurer un fonctionnement satisfaisant pendant une période fort longue.

Le brochage de l'afficheur utilisé est donné à la figure 6.15 et devrait vous permettre de l'utiliser en toute circonstance.

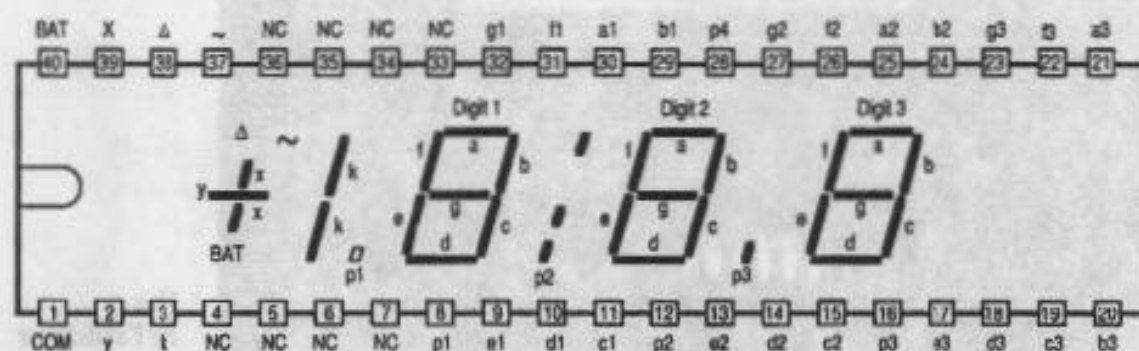


Figure 6.15.
Brochage
de l'afficheur
LC 513031.

7 L'AMPLI-OP

7.1 Générateur aléatoire	124
7.2 Adaptateur thermométrique	128
7.3 Sonomètre simplifié	130
7.4 Servomoteur	134

8	Les capteurs	141
9	La puissance	171
10	Le son	187

Dans les chapitres précédents, nous nous sommes efforcés de bien mettre en valeur le 1 et le 0, niveau haut et niveau bas, si caractéristiques de l'électronique « logique ». Pourtant, dans de nombreux autres domaines, une tension ou un courant peuvent prendre une infinité de valeurs. Ce domaine est celui de l'analogique, où chaque millivolt peut avoir une importance; l'appareil de mesure prend toute sa valeur, car il n'est plus possible de se contenter de l'allumage ou non d'une petite diode Led.

Un nouveau composant fait son apparition, c'est l'amplificateur opérationnel, plus familièrement connu sous le nom d'ampli-op (abréviation AOP). Le détail interne d'un tel composant est fort complexe et ne nous apporterait rien de plus. Nous allons nous contenter d'exploiter quelques-unes de ses fantastiques possibilités et soyez certains qu'elles sont fort nombreuses. On le représente schématiquement par un triangle, comme tous les amplis, avec ses deux entrées notées $e+$ et $e-$ et sa sortie unique. Ce circuit intégré, fort utilisé en mesure et instrumentation, est un amplificateur de tension à entrées différentielles, c'est-à-dire qu'il amplifie la différence de tension existant entre son entrée inverseuse ($e-$) et son entrée non inverseuse ($e+$). Le gain théorique d'un tel élément peut atteindre plusieurs dizaines de milliers d'unités ! Toutefois, la tension de sortie ne peut évidemment pas excéder celle qui alimente l'ampli. À propos d'alimentation, ces circuits sont généralement conçus pour être alimentés par deux tensions symétriques, l'une négative, l'autre positive, par rapport au « zéro » ou masse des signaux. Malgré cela, pour nos essais, nous nous contenterons d'une tension simple, sachant que nous ne rechercherons pas des performances professionnelles. Certains ampli-op d'ailleurs, le LM 324 que nous utiliserons plus loin, fonctionnent parfaitement avec une tension simple. Le circuit le plus connu est sans conteste le modèle 741, qui existe sous différentes formes de boîtier : rond, DIL 14 broches ou mini-DIL 8; c'est sous cette forme que nous le retrouverons dans notre première maquette.

7.1 GÉNÉRATEUR ALÉATOIRE

Ce schéma très particulier va nous permettre de bien mettre en évidence deux spécialités de l'ampli-op, à savoir l'amplification d'une tension très faible et le montage comparateur. Il est donné à la figure 7.1. S'il est une tension qu'il est nécessaire d'amplifier, c'est bien celle produite par un générateur de bruit blanc. De quoi s'agit-il ?

C'est un signal composite qui apparaît dans une jonction semi-conductrice (diode ou transistor) mais avec une polarisation dans

dû, semble-t-il, à l'agitation électronique dans le semi-conducteur, lorsque la tension de polarisation se situe non loin du coude de la caractéristique inverse. Il contient théoriquement toutes les fréquences du spectre, avec une même énergie.

Le collecteur T_1 est en l'air, cette jonction est totalement inutile ici. L'autre jonction est bien polarisée à l'envers. Ce transistor développe une très faible tension, de l'ordre de 10 mV crête à crête. Le transistor T_2 assure une première amplification, tout en présentant une haute impédance d'entrée. Sa sortie par contre sera à impédance relativement faible en raison de la résistance R_2 de 10 k Ω . Le condensateur C_1 est indispensable pour assurer une polarisation correcte de T_1 . On prélève le signal à l'aide de la résistance R_4 pour l'amener sur l'entrée inverseuse du circuit IC₁, un modèle 741 ultraclassique, alimenté entre 7 et 4. L'autre entrée, borne 3 ou e+, est polarisée d'une manière réglable à l'aide de l'ajustable P_1 à travers la résistance R_5 . Le gain ou coefficient multiplicateur de l'ampli-op dépend essentiellement de la valeur des résistances R_4 et R_6 qui assurent ce que l'on appelle la contre-réaction. Il est donc de l'ordre R_6/R_4 soit 1 M Ω /33 k Ω = 30 environ. On trouve ensuite une diode Zener Z_1 dont le rôle est celui d'un filtre qui opère un blocage des signaux trop faibles, ou du moins inférieurs à sa propre valeur de Zener, ici 4,7 V. Seules les

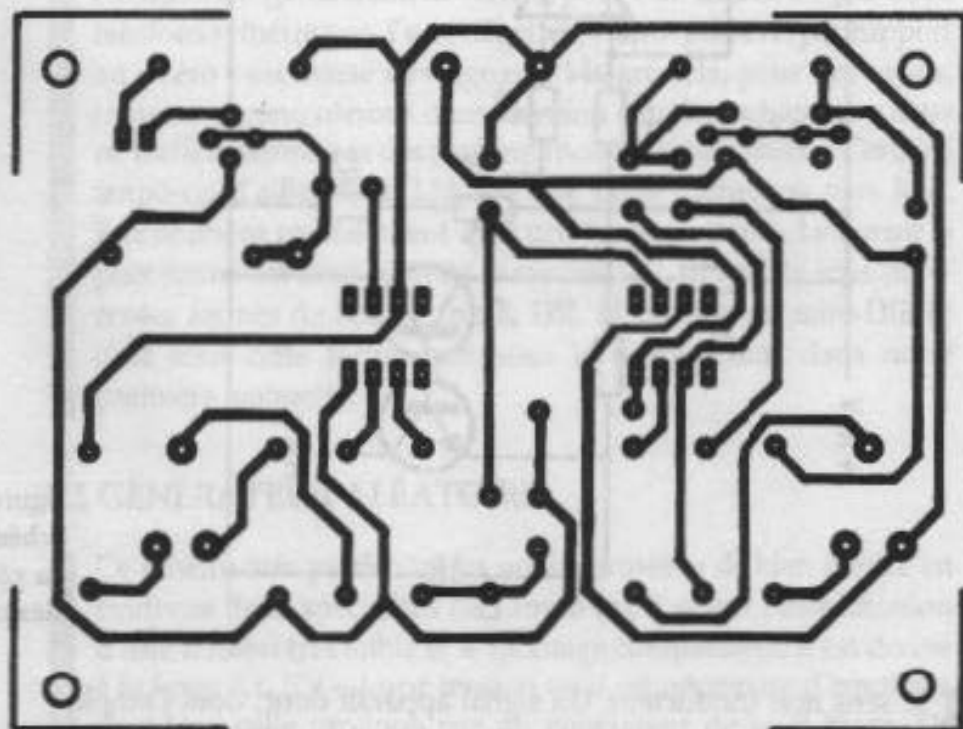


Figure 7.2.
Circuit imprimé
du générateur
de bruit aléatoire.

crêtes les plus fortes parviendront à franchir ce composant, et la présence du condensateur C_2 agit comme un filtre passe-bas. En effet, seules les fréquences les plus basses nous intéressent si nous souhaitons les visualiser sur une Led et surtout si notre œil doit en percevoir les moindres variations. Le second ampli-op, IC_2 , est monté en comparateur de tension; en voici brièvement expliqué le principe : si l'entrée positive 3 est à un potentiel supérieur à celui appliqué sur l'entrée inverseuse ou négative 2, la sortie 6 passe au niveau positif de l'alimentation ou presque. À l'aide de l'ajustable P_2 , on pourra doser la tension de référence. Tous les pics délivrés par la diode Zener sont comparés à cette valeur, et à chaque fois que le réglage est dépassé, on trouve un niveau haut à la sortie de l'ampli-op.

Liste des composants

Semiconducteurs :

IC_1, IC_2 : ampli-op μA 741

en boîtier DIL 8

T_1, T_2, T_3 : transistor NPN BC 337

Z_1 : diode Zener 3,9 ou 4,7 V

L_1 : diode Led \varnothing 5 mm rouge

Résistances 1/4 W :

R_1, R_4, R_5 : 33 k Ω

R_2 : 10 k Ω

R_3 : 12 k Ω

R_6 : 1 M Ω

R_7, R_8 : 150 Ω

R_9 : 47 k Ω

R_{10} : 100 k Ω

R_{11} : 15 k Ω

R_{12} : 470 Ω

P_1 : ajustable horizontal 10 k Ω

P_2 : ajustable horizontal 1 k Ω

Condensateurs :

C_1 : plastique 470 nF

C_2 : plastique 68 nF

C_3 : plastique 330 nF

Divers :

2 supports à souder 8 broches

Picots à souder

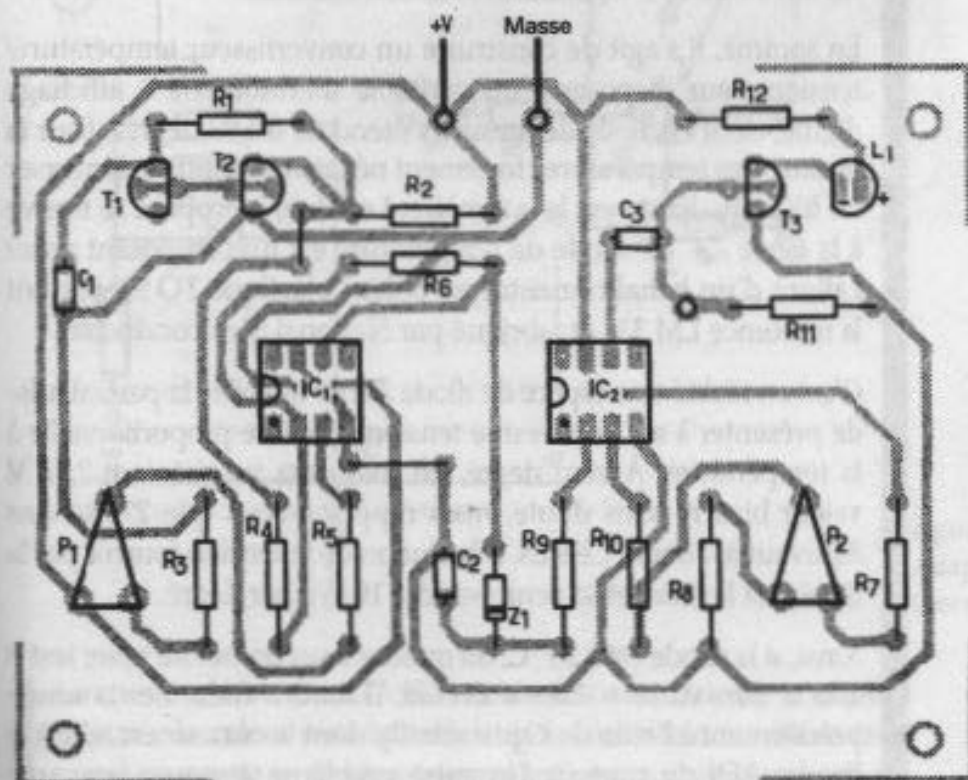


Figure 7.3.
Implantation
des composants.

Le signal de sortie est totalement aléatoire avec des niveaux 1 très brefs ou plus longs qui, à travers le condensateur C_3 , parviennent sur la base du transistor de sortie T_3 , lui-même chargé d'allumer la Led, ce qui n'est pas sans rappeler la lueur vacillante et faiblarde de la flamme d'une bougie. Il est possible de monter plusieurs Leds en série, sans altérer le bon fonctionnement de ce module dont vous trouverez tous les éléments aux figures 7.2 et 7.3 (p. 126 et 127).

Ces deux applications de l'ampli-op sont fondamentales et nous ne manquerons pas de les utiliser souvent. L'inversion des entrées $e+$ et $e-$ conduit à des résultats différents, mais toujours utiles. Si vous avez la chance ou l'occasion de posséder un oscilloscope, ne manquez pas de suivre à la trace la forme du signal, de mesurer sa fréquence et son amplitude.

7.2 ADAPTATEUR THERMOMÉTRIQUE

Ce petit module met en œuvre un seul composant, à savoir l'archi-classique ampli $\mu A741$. Il sera alimenté sous une tension symétrique à l'aide du module « alimentation symétrique » sans doute déjà construit. Nous souhaitons mesurer une température à l'aide d'un capteur spécialisé ultrasensible, et afficher celle-ci sur un voltmètre digital.

En somme, il s'agit de construire un convertisseur température/tension pour disposer d'un véritable thermomètre à affichage digital, dont l'échelle de mesure s'étend de 0 à 99 degrés. Pour la mesure des températures fortement négatives, il suffira d'inverser les fils s'en allant vers le voltmètre. Le schéma proposé se trouve à la figure 7.4. La sonde de température est un composant ayant l'allure d'un banal transistor en boîtier plastique TO 92, portant la référence LM 335 et fabriqué par National Semiconductor.

C'est en réalité une espèce de diode Zener qui offre la particularité de présenter à ses bornes une tension continue proportionnelle à la température. À zéro degré, on mesurera précisément 2,73 V, valeur bizarre sans doute, mais rappelez-vous que 273 kelvins équivaut à 0 degré Celsius. L'évolution de la tension fournie par la Zener est linéaire et sa pente vaudra 10 mV par degré.

Ainsi, si la sonde est à 20 °C, on mesure à ses bornes au point test B $2,73 + 20 \times 0,010 = 2,93$ V. En fait, il faudra étalonner la sonde précisément à l'aide de l'ajustable P_2 , dont le curseur est relié à la broche ADJ du capteur. Un autre problème se pose : pour une lecture directe plus confortable des degrés sur le voltmètre, il serait plaisant de pouvoir lire 00,0 pour exactement 0 °C, ce qui ne sera pas possible puisque la sonde présente à cette tempéra-

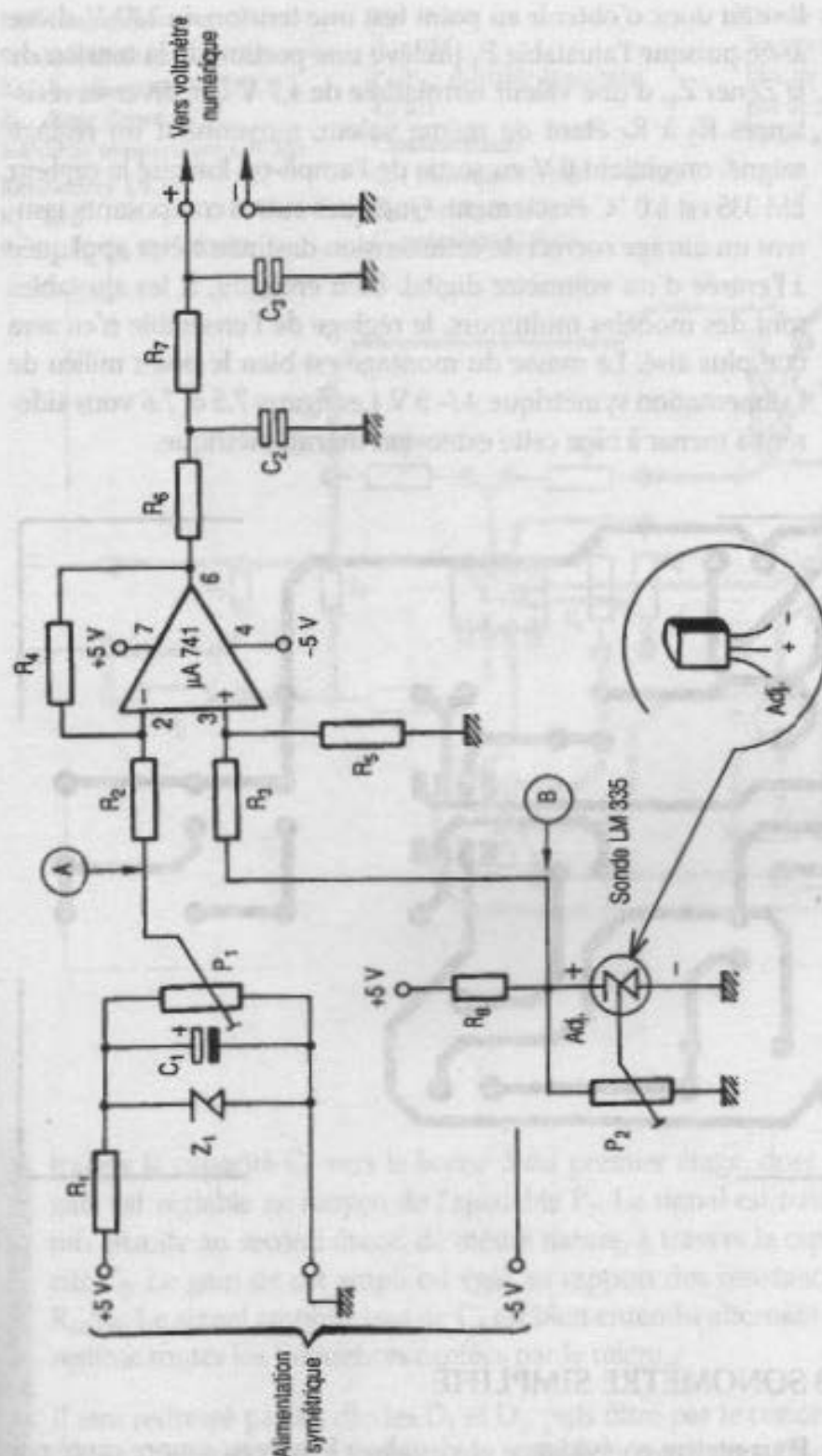
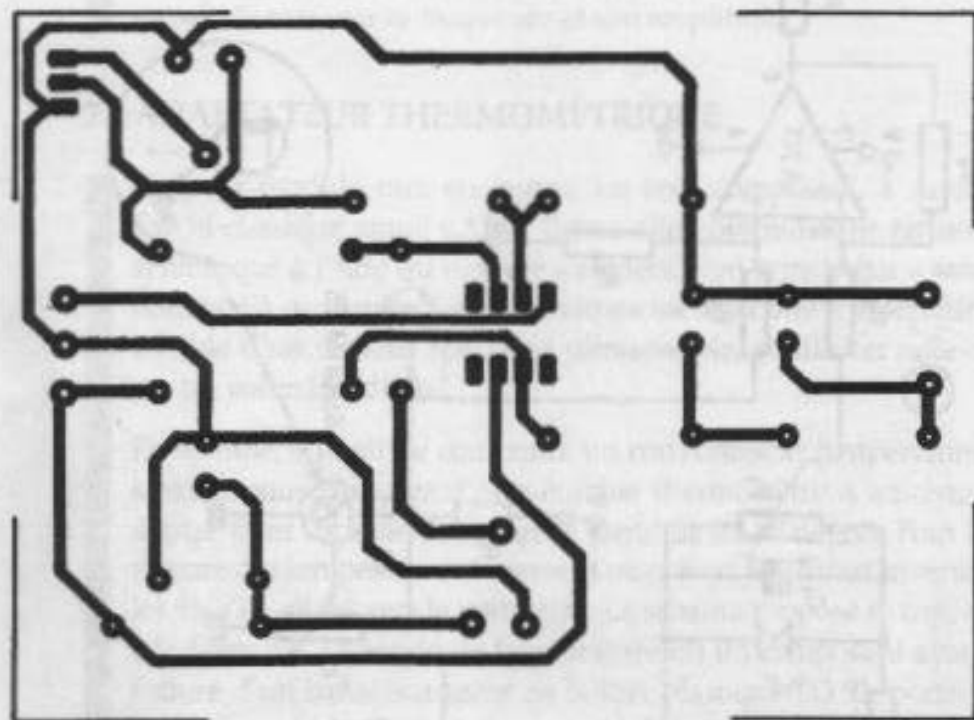


Figure 7.4.
Adaptateur
thermométrique.

ture une tension de 2,73 V. Il nous faut soustraire à la tension mesurée la valeur excédentaire et pour ce faire nous allons faire appel au montage soustracteur réalisé avec un simple ampli-op. La tension de sortie sur la borne 6 du 741 est égale à la tension présente sur l'entrée non inverseuse 3 moins la tension présente sur l'entrée inverseuse 2.

Il suffit donc d'obtenir au point test une tension de 2,73 V, chose aisée puisque l'ajustable P_1 prélève une portion de la tension de la Zener Z_1 , d'une valeur normalisée de 4,7 V. Les diverses résistances R_2 à R_5 étant de même valeur, moyennant un réglage soigné, on obtient 0 V en sortie de l'ampli-op lorsque le capteur LM 335 est à 0 °C exactement. Quelques autres composants assurent un filtrage correct de cette tension destinée à être appliquée à l'entrée d'un voltmètre digital. Bien entendu, si les ajustables sont des modèles multitours, le réglage de l'ensemble n'en sera que plus aisé. La masse du montage est bien le point milieu de l'alimentation symétrique ± 5 V. Les figures 7.5 et 7.6 vous aideront à mener à bien cette extension thermométrique.



*Liste des composants***Semiconducteurs :**IC₁ : ampli-op μ A 741 DIL 8Z₁ : diode Zener 4,7 V

Sonde de température LM 335

Résistances 1/4 W :R₁ : 10 Ω R₂, R₃, R₄, R₅, R₆ : 100 k Ω R₇ : 47 k Ω R₈ : 1 k Ω P₁, P₂ : ajustable horizontal
4,7 k Ω **Condensateurs :**C₁ : chimique vertical 47 μ F/25 VC₂ : plastique 470 nFC₃ : plastique 220 nF**Divers :**

Support à souder 8 broches

Bloc de 3 bornes vissé-soudé

pas de 5 mm

Picos à souder

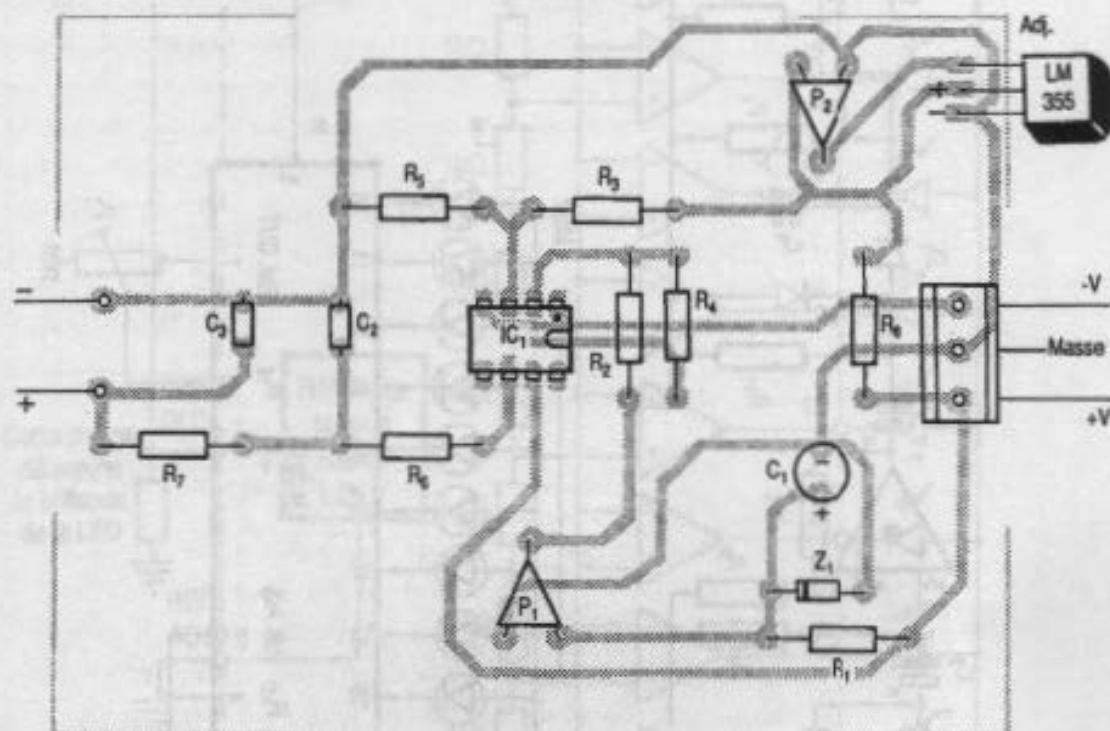


Figure 7.6.
Implantation
des composants.

travers la capacité C_1 vers la borne 3 du premier étage, dont le gain est réglable au moyen de l'ajustable P_1 . Le signal est transmis ensuite au second étage, de même nature, à travers la capacité C_2 . Le gain de cet ampli est égal au rapport des résistances R_{10}/R_9 . Le signal amplifié issu de C_3 est bien entendu alternatif et restitue toutes les fréquences captées par le micro.

Il sera redressé par les diodes D_1 et D_2 , puis filtré par le condensateur chimique C_4 qui se décharge périodiquement dans l'ajustable P_4 ; une tension continue est disponible sur la broche 9 de l'AOP final monté ici en étage suiveur, c'est-à-dire présentant une très forte impédance à l'entrée et une faible impédance à la sortie, le tout sans aucun gain puisque la contre-réaction est réalisée par la liaison directe entre les broches 8 et 9. Les variations de niveau, même très rapides, captées par le micro sont restituées fidèlement et seront visualisées à l'aide d'un ensemble de 10 amplis-op

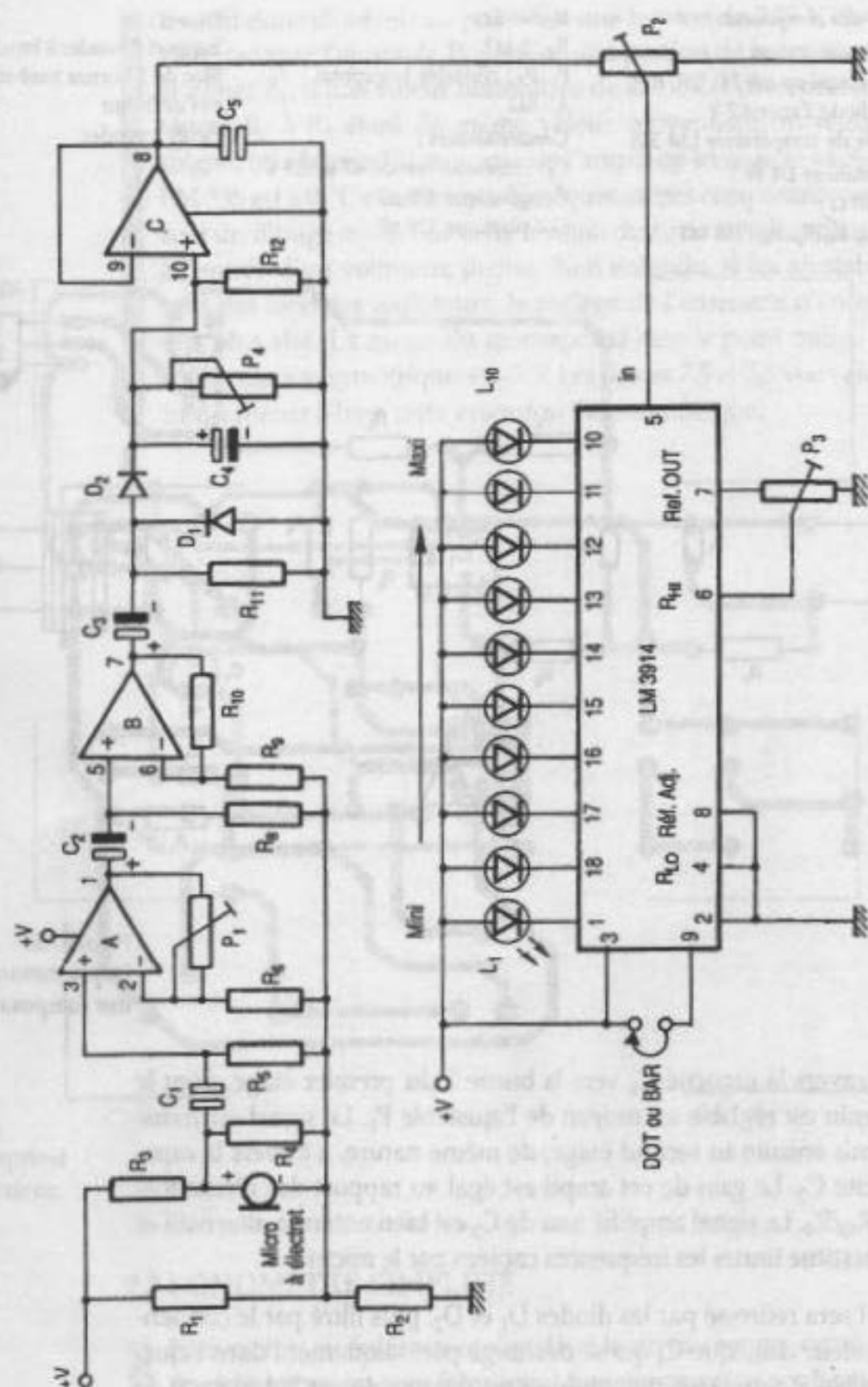


Figure 7.7.
Sonomètre simplifié.

montés en comparateurs de tension. Ne cherchez pas, ils sont tous présents dans le circuit intégré LM 3914, spécialisé dans ce genre de travail. La figure 7.8 donne le détail de la constitution

bas (RLO) est simplement relié à la masse commune du montage. Le signal à mesurer est appliqué sur la borne 5, où il est traité par un autre étage buffer, et transmis ensuite à toutes les entrées inverseuses des 10 comparateurs. La suite se devine aisément : si la tension à mesurer est supérieure au seuil de l'AOP, celui-ci voit sa sortie passer à l'état bas et la Led correspondante s'allume.

Une possibilité supplémentaire nous est offerte : à l'aide de la broche 9, il est possible d'obtenir soit un affichage linéaire de toutes les Leds (mode BAR), soit un affichage ponctuel, Led par Led (mode DOT). Cette dernière possibilité suppose simplement que la borne 9 soit laissée en l'air ; dans le cas contraire, il suffit de la relier au pôle positif de l'alimentation. À cet instant, on pourra voir s'animer toute l'échelle des Leds pour peu que le niveau sonore soit suffisant. Vous n'aurez aucun mal à entreprendre ce petit sonomètre en suivant les indications des figures 7.9 et 7.10.

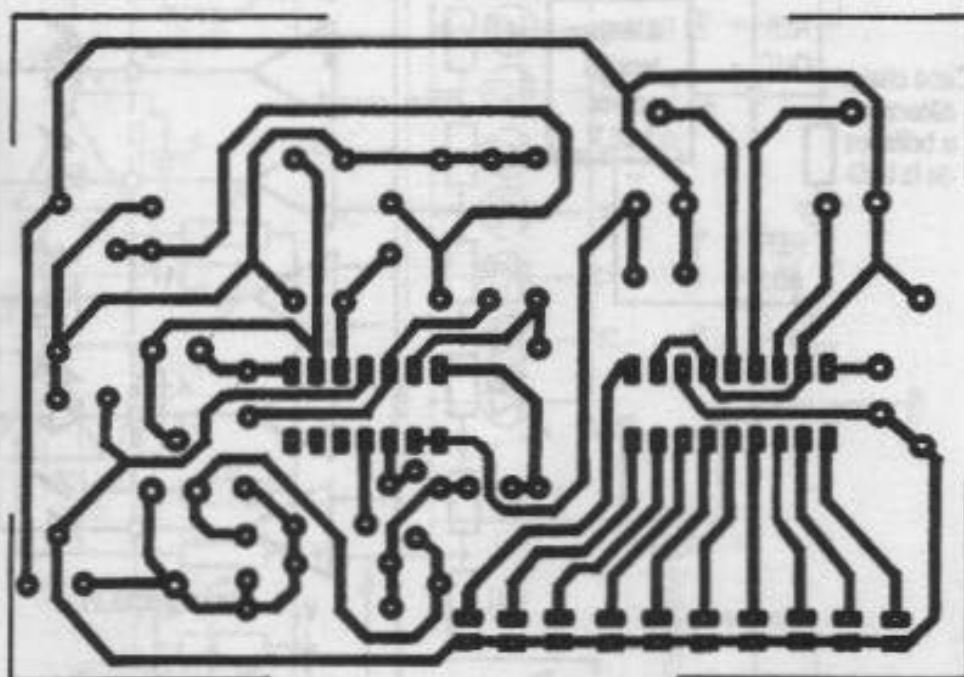


Figure 7.9.
Circuit imprimé
du sonomètre.

7.4 SERVOMOTEUR

Habituellement, les maquettes électroniques fournissent une indication visuelle (Leds, afficheurs, écrans) ou sonore (buzzer, haut-parleur). Quelquefois, elles alimentent une charge quelconque sur le secteur. Pourtant, les résultats les plus spectaculaires sont obtenus lorsque la machine construite fait en quelque sorte preuve d'intelligence, c'est-à-dire lorsqu'elle obéit au doigt et à

Liste des composants

Semiconducteurs :

IC₁ : quadruple ampli-op LM 324IC₂ : chaîne de 10 comparateurs
linéaires LM 3914D₁, D₂ : diodes commutation
1N4148L₁ à L₁₀ : diodes électrolumines-
centes 3 mm rouge

Résistances 1/4 W :

R₁, R₂, R₃ : 10 kΩR₄ à R₉ : 12 kΩR₁₀ : 1 MΩR₁₁ : 1 kΩR₁₂ : 4,7 kΩP₁ : ajustable horizontal 1 MΩP₂, P₄ : ajustable horizontal 100 kΩP₃ : ajustable horizontal 4,7 kΩ

Condensateurs :

C₁ : plastique 470 nFC₂ : chimique vertical 2,2 μF/25 VC₃, C₄ : chimique vertical 10 μF/25 V

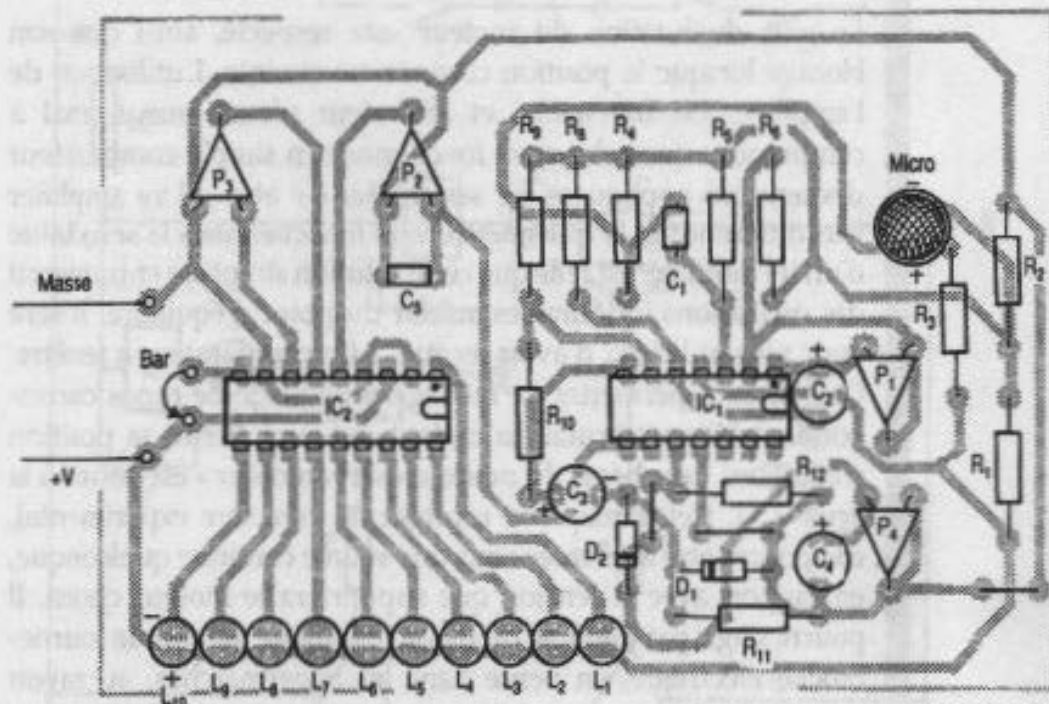
Divers :

Support à souder 14 broches

Support à souder 16 broches

Micro à électret miniature

Picots à souder

Figure 7.10.
Implantation
des composants.

l'œil à l'opérateur qui la commande de loin. L'électronique se fait alors vite oublier au profit de la mécanique.

Nous allons donc dans cette troisième réalisation découvrir les bases d'une commande asservie, toujours à l'aide d'une paire d'amplis-op; dans un dispositif d'asservissement en général, on trouve toujours trois parties essentielles :

- un moteur avec réducteur de vitesse, dont le rôle est de déplacer un objet ou un outil par l'intermédiaire d'une transmission directe (chaîne ou engrenages). L'utilisation d'une courroie non crantée n'est pas souhaitable en raison du risque de patinage toujours possible sur la poulie d'entraînement;
- un capteur de position, constitué en principe d'un potentiomètre dont l'axe est lié mécaniquement à celui du moteur, pour copier fidèlement le sens du déplacement et le nombre de

degrés de celui-ci. Il est bien évident qu'une rotation de 360° exigera un potentiomètre multitours, en supposant que le dispositif mécanique puisse en assurer le mouvement;

- un ensemble de commande et de comparaison qui devra agir sur le moteur par l'intermédiaire d'un étage de puissance et cela en fonction de l'information fournie d'une part par le capteur lié au moteur et d'autre part par la position que l'on veut faire prendre au moteur (consigne).

Le sens de rotation du moteur sera respecté, ainsi que son blocage lorsque la position correcte est atteinte. L'utilisation de l'ampli-op est inévitable, et le lecteur n'aura aucun mal à comprendre que celui-ci va fonctionner en simple comparateur des tensions appliquées sur ses entrées $e+$ et $e-$; il va amplifier leur différence et la transmettre vers la sortie. Mais la sensibilité d'un tel montage est telle que cette solution simpliste entraînerait des oscillations indésirables autour du point d'équilibre. Il sera donc plus judicieux d'avoir recours à un comparateur à fenêtre. Ce dispositif permettra de ménager une plage de repos correspondant à l'arrêt brutal du moteur qui aura atteint sa position d'équilibre. Le schéma du module « servomoteur » est donné à la figure 7.11. Cette maquette revêtant un caractère expérimental, elle pourra être alimentée sous une source continue quelconque, en rapport avec la tension que supportera le moteur choisi. Il pourra s'agir par exemple du très économique moteur de tourne-broche électrique, en vente dans les supermarchés, au rayon camping/plein air. Les deux amplis A et B, un demi-circuit LM 324, forment le comparateur à double seuil : trois situations sont à envisager :

- la tension U_e , celle du potentiomètre P_2 sur le moteur, est supérieure au seuil haut; dans ce cas la sortie de l'ampli A est haute, tandis que celle de l'ampli B reste au niveau 0. On note :
si $U_e > U_h$, on a $A = 1$ et $B = 0$.
- la tension U_e est supérieure au seuil bas, mais reste inférieure à la tension du seuil haut; elle se trouve donc dans la fenêtre. Les deux amplis voient leurs sorties respectives au niveau bas. On note :
si $U_h > U_e > U_b$, on a $A = 0$ et $B = 0$.
- la tension U_e est inférieure à la tension du seuil bas; dans ce cas, la sortie de l'ampli B passe à 1 et celle de l'ampli A reste à 0. On note :
si $U_e < U_b$, on a $A = 0$ et $B = 1$.

Les diodes D_1 et D_2 aux bornes des ajustables P_3 et P_4 modifient de quelques fractions de volts la tension issue du potentiomètre P_2 , et de ce fait, contribuent à stopper le moteur avant qu'il n'atteigne sa

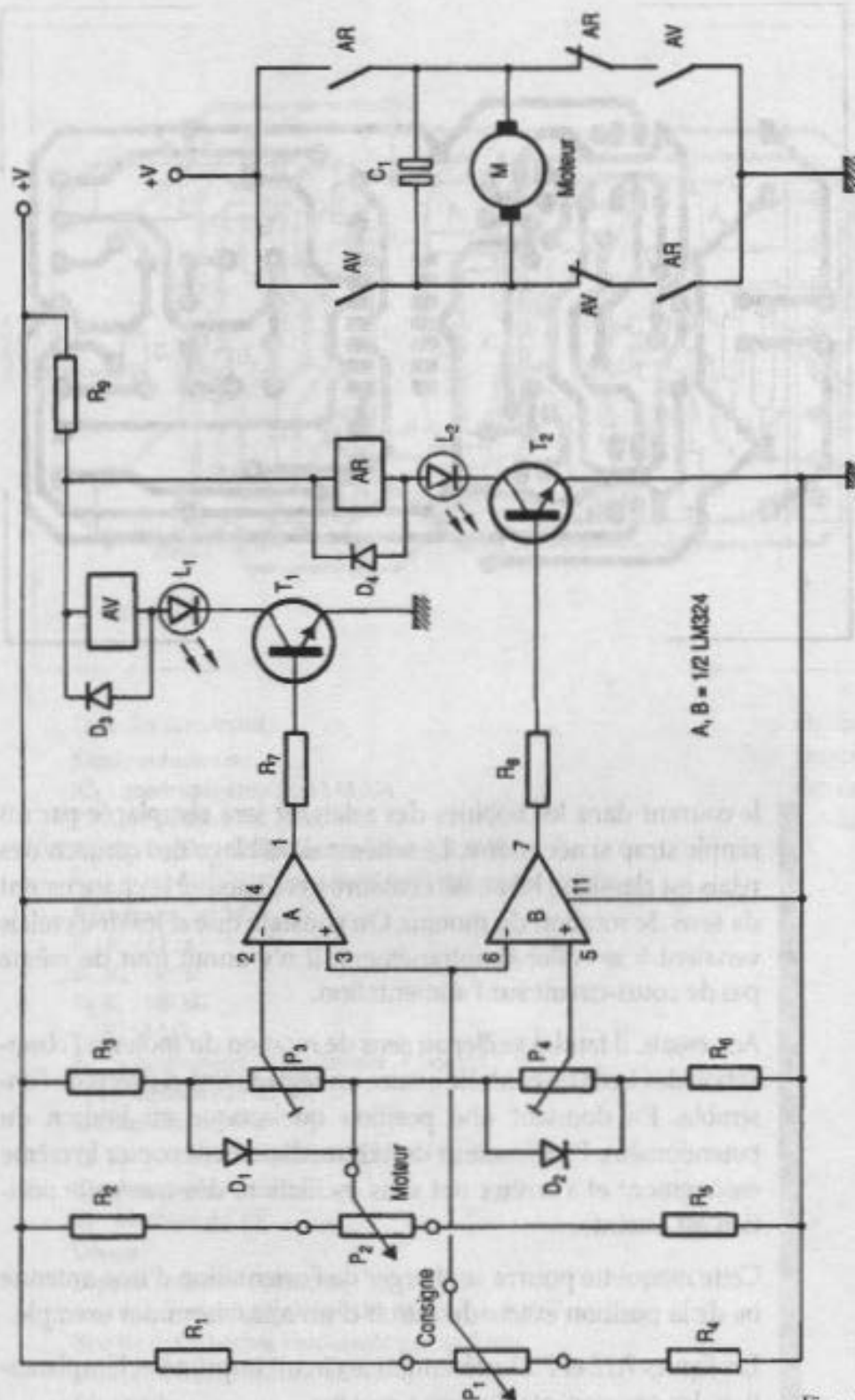


Figure 7.11.
Servo-moteur.

position d'équilibre; on anticipe donc l'arrêt pour tenir compte de l'inertie du mécanisme. Les transistors T_1 et T_2 activent les relais AVANT et ARRIÈRE. À noter encore la présence d'une diode Led en série avec chaque bobine pour mieux visualiser l'action en cours. La résistance R_9 permet éventuellement de limiter

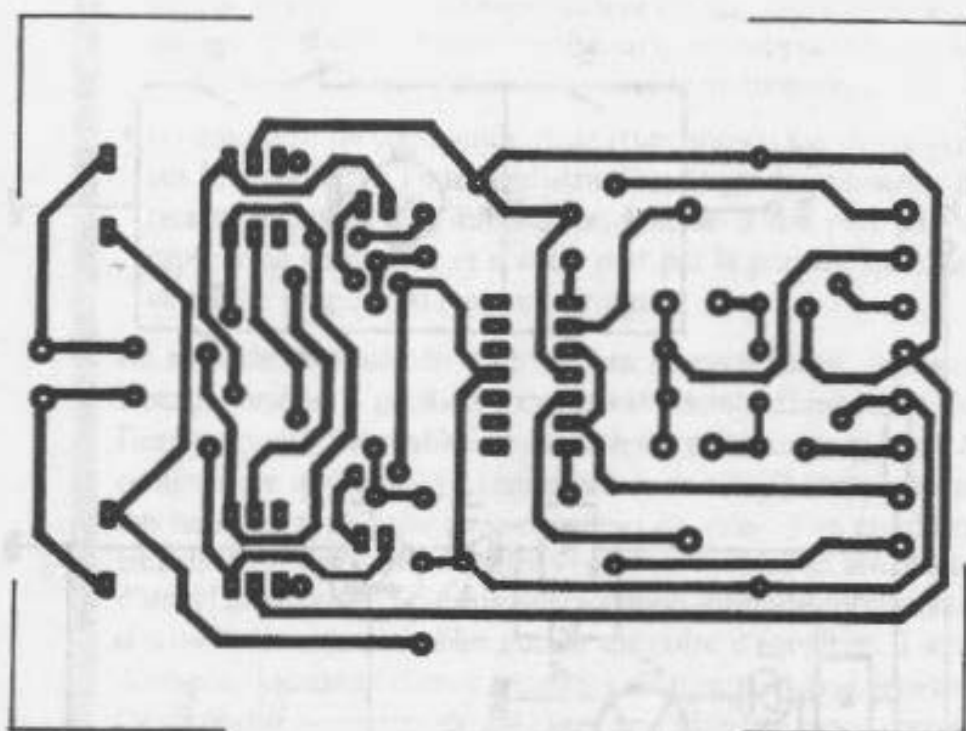


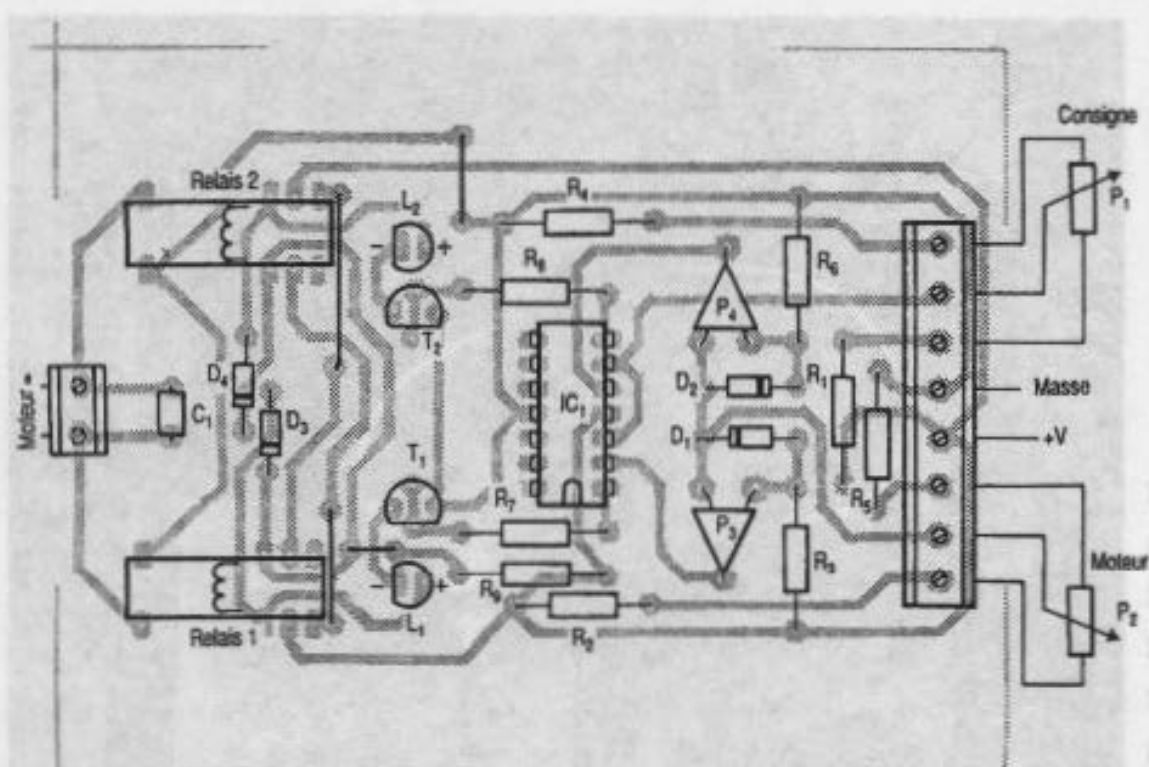
Figure 7.12.
Circuit imprimé
du servo-moteur.

le courant dans les bobines des relais, et sera remplacée par un simple strap si nécessaire. Le schéma de câblage des contacts des relais est classique lui aussi, et assure avec fiabilité le changement du sens de rotation du moteur. On constate que si les deux relais venaient à se coller simultanément, il n'y aurait tout de même pas de court-circuit sur l'alimentation.

Aux essais, il faudra veiller au sens de rotation du moteur; l'observation des Leds de contrôle assure un réglage aisé et précis de l'ensemble. En donnant une position quelconque au bouton du potentiomètre P_1 , le moteur doit immédiatement copier le même mouvement et s'arrêter net sans oscillation, dès que cette position est atteinte.

Cette maquette pourra se charger de l'orientation d'une antenne ou de la position exacte du miroir d'un rétroviseur par exemple.

Les figures 7.12 et 7.13 présentent le circuit imprimé et l'implantation des composants du servo-moteur.



Liste des composants

Semiconducteurs :

IC₁ : quadruple ampli-op LM 324

T₁, T₂ : transistor BC 337

D₁, D₂, D₃, D₄ : diodes commutation 1N 4148

L₁, L₂ : diodes électroluminescentes 5 mm rouge + verte

Résistances 1/4 W :

R₁, R₄ : 47 Ω

R₂, R₅ : 100 Ω

R₃, R₆ : 100 k Ω

R₇, R₈ : 1 k Ω

P₁ : potentiomètre 10 k Ω linéaire + bouton

P₂ : potentiomètre 4,7 k Ω

(solidaire du moteur)

P₃, P₄ : ajustable horizontal 4,7 k Ω

Condensateur :

C₁ : plastique 4,7 nF

Divers :

Support à souder 14 broches

2 relais inverseurs bipolaires DIL 16 bobines 6 V

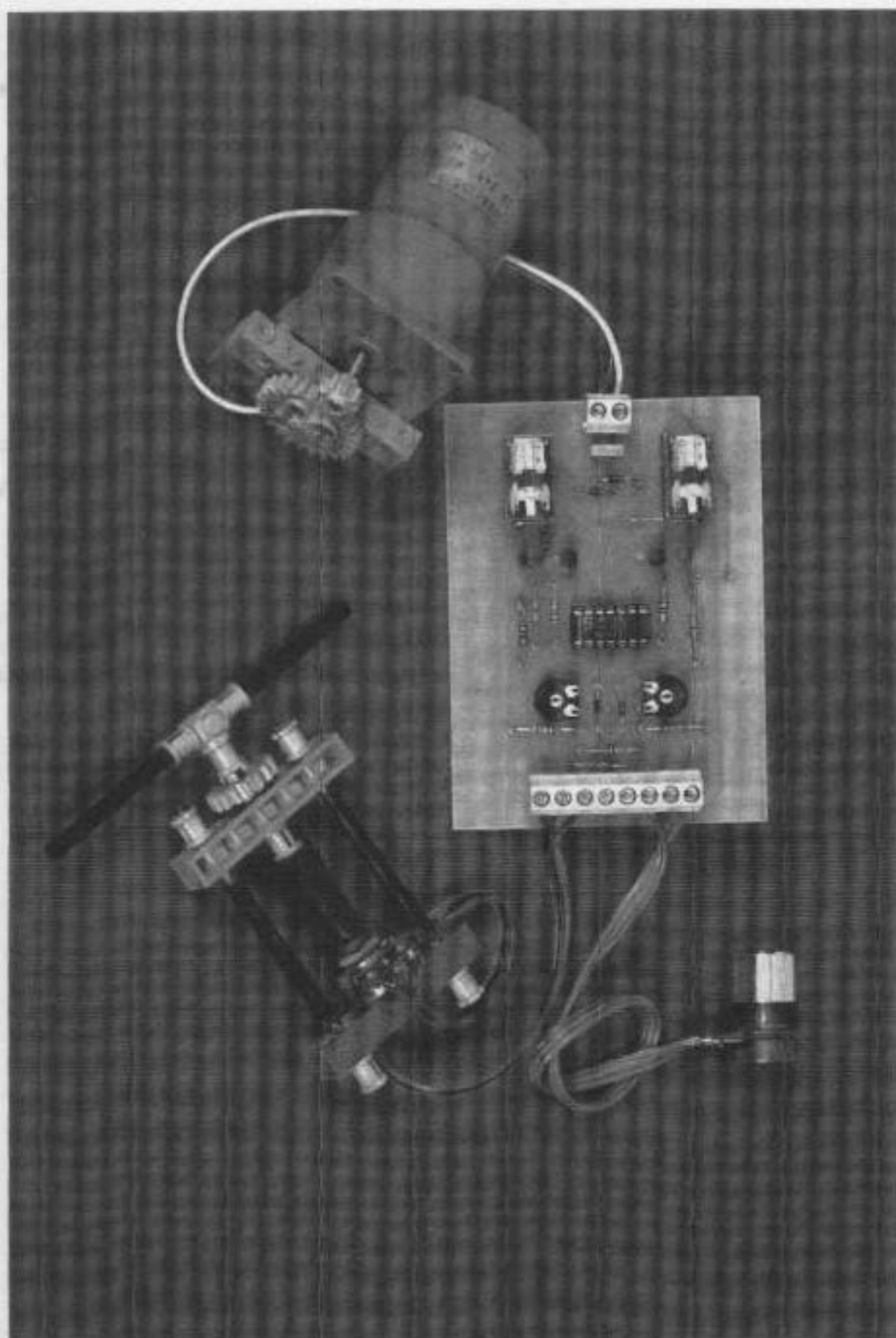
Bloc de 8 + 3 bornes vissé-soudé pas de 5 mm

Moteur courant continu (voir texte)

Fils souples

Diverses pièces LEGO technic

Figure 7.13.
Implantation
des composants.



Vue du
servo-mécanisme.

8 LES CAPTEURS

8.1	Capteur de bruit	143
8.2	Capteur de température	146
8.3	Détecteur de chocs	148
8.4	Capteur d'humidité	152
8.5	Détecteur de lumière	155
8.6	Détecteur de liquide	157
8.7	Émetteur à infrarouge	160
8.8	Récepteur à infrarouge	164
8.9	Capteur de mouvements	166
8.10	Capteurs opto-électroniques	169

9	La puissance	171
10	Le son	187

Il s'agit ici d'aborder un sujet fort vaste, qui consiste à découvrir les détecteurs de « n'importe quoi », intermédiaires incontournables entre les grandeurs physiques à mesurer et les circuits électroniques à proprement parler. Ces éléments vont donner vie à nos maquettes, en ce sens qu'ils les animent d'une manière tout à fait automatique, qui viendra nous changer un peu du sempiternel bouton poussoir que l'on doit actionner pour voir enfin se passer quelque chose. On a quelquefois l'habitude de dire : l'électronique peut tout ! C'est presque vrai dans la mesure où l'on dispose d'un composant capable de se charger de la détection ou de la mesure de la grandeur à surveiller. Ainsi, le thermostat se charge de réguler votre température grâce à la sonde qui le renseigne sur la chaleur réelle à l'endroit où elle se trouve, et également en comparaison avec la valeur de consigne ou de réglage affichée par l'utilisateur.

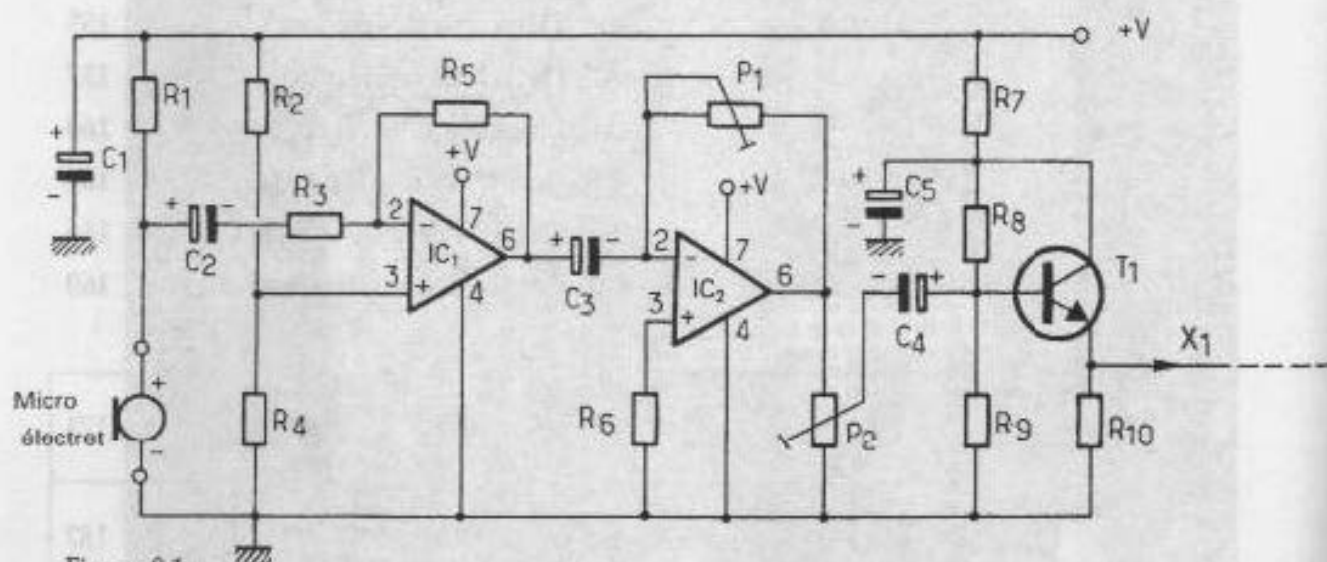


Figure 8.1.
Capteur de bruit.

Nous nous sommes volontairement limités à quelques montages simples et intéressants, mais en avons surtout délaissé d'autres en raison de leur complexité ou des composants onéreux à mettre en œuvre. Nous laissons donc de côté les domaines des ultrasons, les détecteurs de matériaux (isolants ou non), de fumée, de gaz et autres émanations. Notre domaine se situera dans des sujets aussi classiques que la lumière, la chaleur, le bruit, mais aussi la détection d'un choc, d'un liquide et même de l'humidité. Cela représente déjà bon nombre de maquettes intéressantes à construire, sans compter celles que vous pourrez obtenir par combinaison. Signalons encore à nos amis lecteurs que nos petits modules ont un caractère pédagogique et qu'ils se contentent souvent d'allumer une ou plusieurs diodes Leds en fonction de la

présence ou non de la grandeur à mesurer. Nous exploiterons dans un prochain chapitre ces informations pour commander une charge plus importante. En route à présent pour cette étude abrégée des capteurs électroniques.

8.1 CAPTEUR DE BRUIT

Le capteur de bruit sera bien entendu un microphone, élément spécialisé dans la prise de son s'il en est un. Le schéma proposé se trouve à la figure 8.1 et utilise comme on peut s'y attendre les services des amplificateurs opérationnels précédemment étudiés. La capsule microphonique est du type électret, c'est-à-dire un microphone de très faibles dimensions avec préamplificateur intégré. Il faut alimenter ce composant à travers la résistance R_1 en respectant ses polarités. En présence d'un bruit ou d'un son quel-

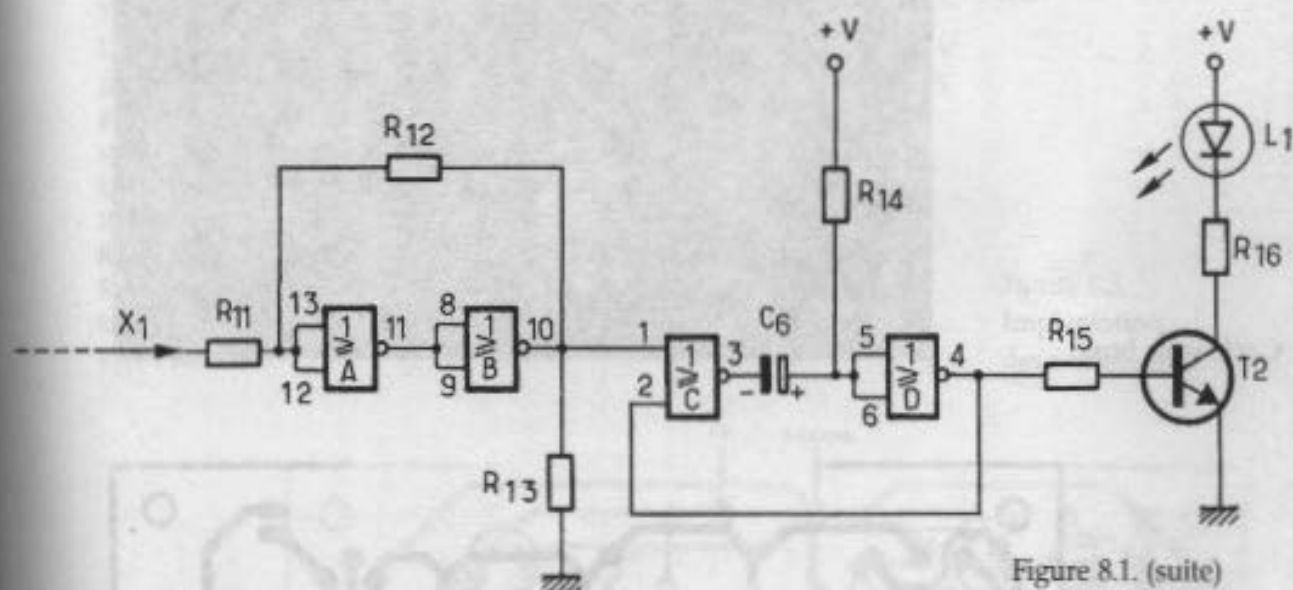
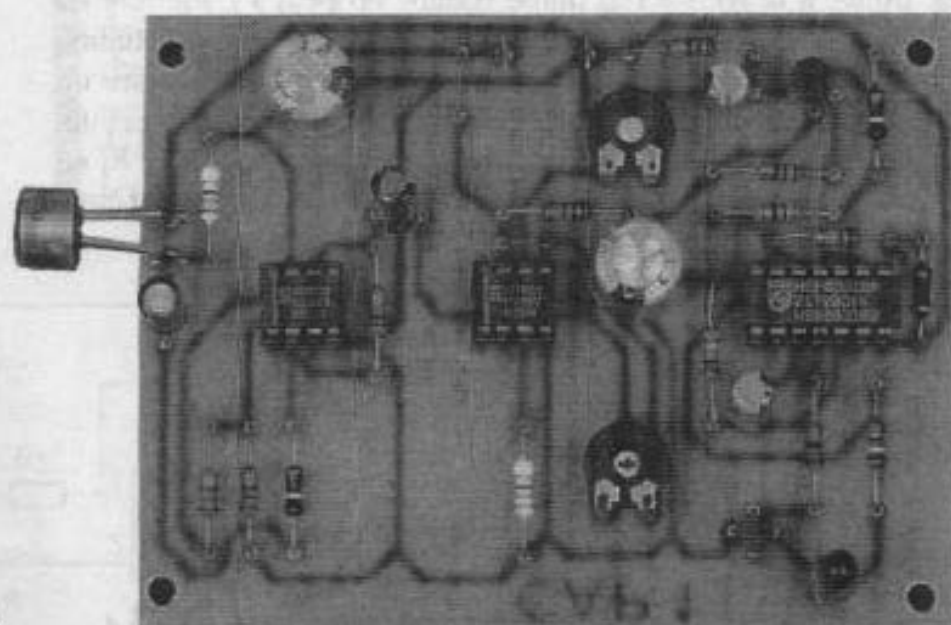


Figure 8.1. (suite)
Capteur de bruit.

conque, le micro génère une très faible tension variable, appliquée à travers la résistance R_3 et le condensateur C_2 vers l'entrée inverseuse du premier ampli-op, monté à cet endroit en amplificateur classique. L'entrée non inverseuse (borne 3) est portée à mi-tension de la source, grâce au point diviseur formé par R_2 et R_4 , de valeurs identiques, le gain de cet étage est fonction du rapport R_5/R_3 , soit environ 66 dans notre cas. La tension de sortie disponible en borne 6 de IC₁ traverse le condensateur C_3 et est appliquée sur le second étage amplificateur composé par le circuit IC₂ et quelques composants annexes.

L'ajustable P_1 permet de régler le gain de l'ensemble. L'étage suivant, construit autour du transistor T_1 , réalise un petit étage

adaptateur d'impédance. L'ajustable P_2 servira à régler le gain de cet étage, donc finalement la sensibilité du micro. Le signal alternatif convenablement amplifié devra subir le traitement d'un étage trigger de Schmitt, construit autour des portes NOR A et B selon un schéma déjà connu. Pour permettre de bien visualiser un niveau sonore, on utilise en étage final temporisateur un classique monostable. Les deux portes NOR restantes sont exploitées avec le condensateur C_6 et la résistance R_{14} qui peut éventuelle-



Capteur de bruit.

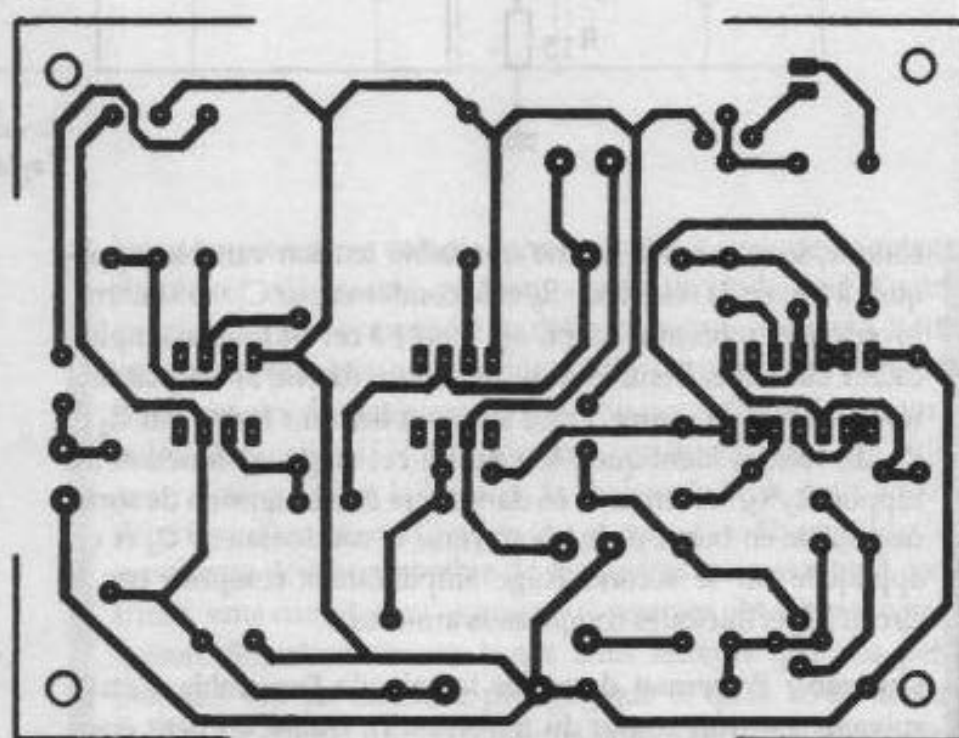


Figure 8.2.
Circuit imprimé
du capteur
de bruit.

ment être remplacée par un élément ajustable. La sortie est matérialisée par la diode L_1 s'allumant un bref instant à chaque fois qu'un bruit est capté et si la sensibilité est bien adaptée au niveau sonore. Un interrupteur sonore pourra être confectionné à l'aide de ce schéma, et il ne devrait même pas être difficile de lui greffer un code à l'aide d'un module logique ou d'un compteur décimal 4017. Vous trouverez tous les renseignements utiles aux figures 8.2 et 8.3. Signalons enfin qu'un petit haut-parleur de 8 à 25 Ω aurait tout aussi bien pu être utilisé en capteur de bruit : il aurait simplement fallu construire l'étage préamplificateur BF déjà inclus au micro à électret.

Liste des composants

Semiconducteurs :

IC_1, IC_2 : ampli-op μA 741 DIL 8
 IC_3 : quadruple NOR C/MOS 4001
 T_1, T_2 : transistor NPN BC 337
 L_1 : diode électroluminescente

Résistances 1/4 W :

R_1, R_5 : 6,8 k Ω
 R_2, R_4, R_6, R_9 : 10 k Ω
 R_3 : 1,5 k Ω
 R_7 : 100 k Ω
 R_{10}, R_{11} : 390 Ω
 R_{11}, R_{12} : 47 k Ω
 R_{12} : 1 M Ω

R_{14} : 470 k Ω

R_{15} : 27 k Ω

P_1 : ajustable horizontal 220 k Ω

P_2 : ajustable horizontal 4,7 k Ω

Condensateurs :

C_1, C_5 : chimique vertical 470 μF /25 V

C_2, C_6 : chimique vertical 2,2 μF /25 V

C_3 : chimique vertical 1 μF /25 V

C_4 : chimique vertical 22 μF /25 V

Divers :

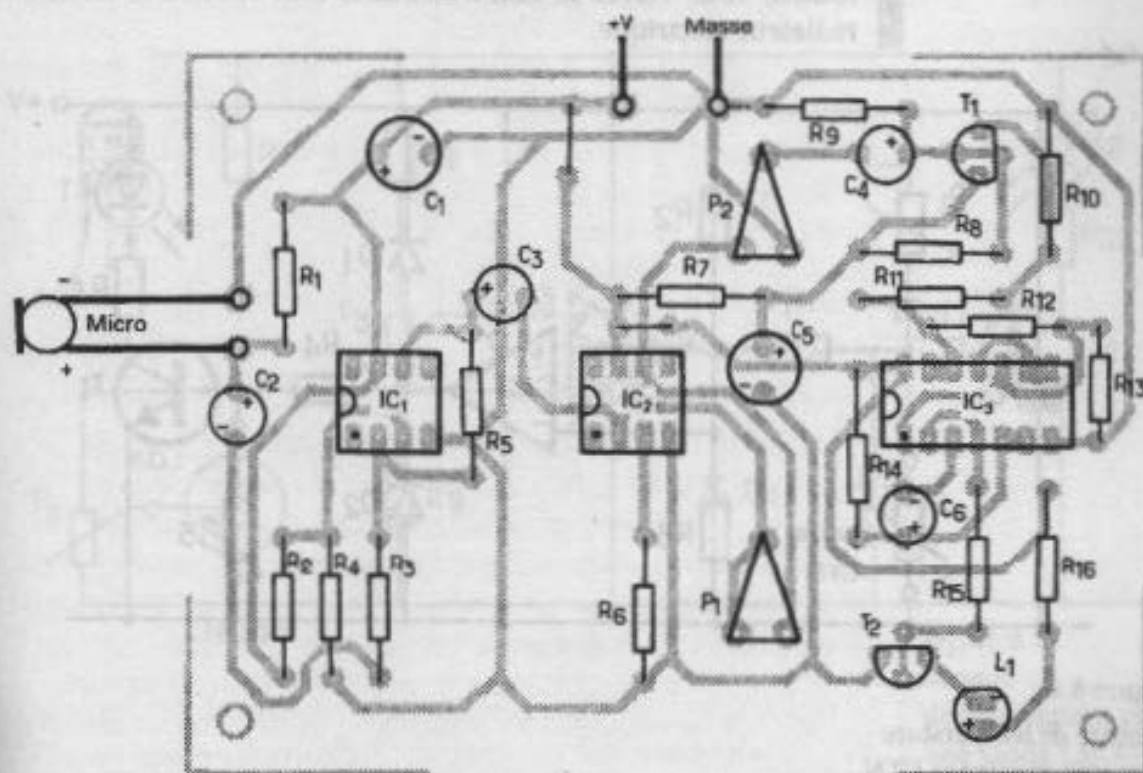
2 supports à souder 8 broches

1 support à souder 14 broches

Micro à électret miniature

Picots à souder

Figure 8.3.
Implantation
des composants.



8.2 CAPTEUR DE TEMPÉRATURE

En fait, nous vous proposons deux solutions à ce montage très connu, car les thermostats électroniques remplacent avantageusement leurs homologues mécaniques, en raison de leur plus grande précision et de leur hystérésis très réduite (entendez par là l'écart entre l'enclenchement et le déclenchement effectif).

Version utilisant une résistance CTN (figure 8.4a)

Il s'agit d'une résistance quelque peu particulière, possédant un coefficient de température négatif (CTN). Dans une résistance ordinaire, la valeur ohmique augmente linéairement avec la chaleur, tandis que dans le cas d'une résistance CTN, cette variation est inversée et possède de plus une allure logarithmique. La valeur d'un tel composant, sa valeur ohmique nominale en fait, se trouve vérifiée à la température de 25° C. Par ailleurs nous utiliserons la sonde CTN dans une plage restreinte, entre 7° C et 30° C, ce qui permet de travailler sur une zone relativement linéaire. Une fois encore, nous allons faire appel à un ampli-op, monté cette fois-ci en comparaison de tension. L'entrée inverseuse e^- se trouve à mi-tension d'alimentation, l'autre entrée e^+ mesure la tension résultant du pont diviseur formé par la résistance CTN d'une part et l'élément ajustable P_1 d'autre part. Rappelez-vous, si la tension sur la borne 3 est supérieure à celle sur la borne 2, la sortie 6 de IC_1 passe au niveau haut et allume la Led L_1 grâce au transistor T_1 . En chauffant la CTN avec la pointe de votre fer à souder, vous verrez la Led s'éteindre, tout comme le ferait un radiateur électrique.

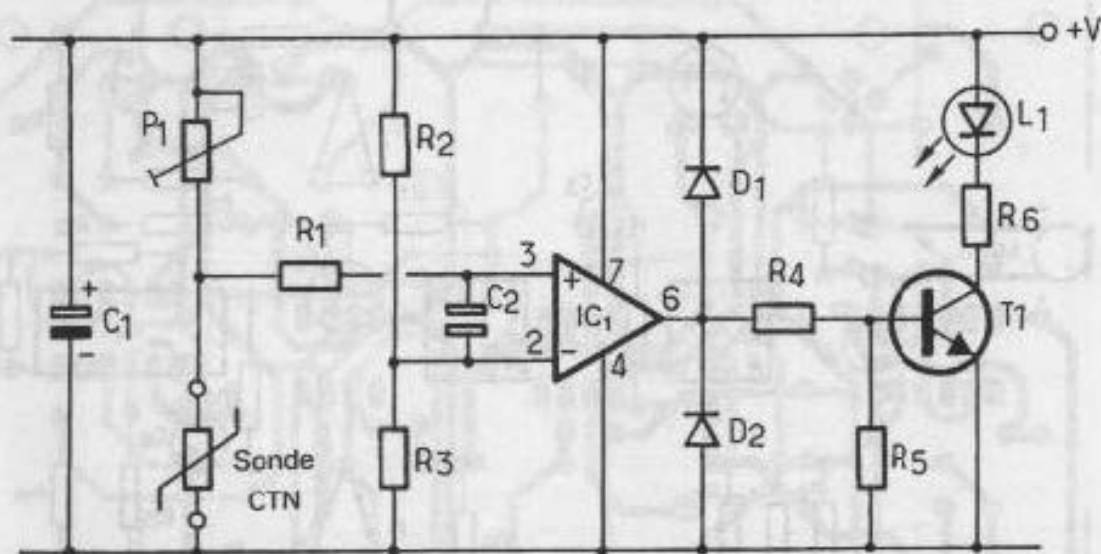


Figure 8.4a.
Mesure de température
avec une résistance CTN.

Liste des composants

Semiconducteurs :

IC₁ : quaduple NAND C/MOS

4011 ou NOR C/MOS 4001

LDR : cellule photorésistante
modèle 03 ou 05L₁ : diode électroluminescenteT₁ : transistor NPN BC 337

Résistances 1/4 W :

R₁ : 150 k Ω R₂ : 1 M Ω R₃ : 4,7 k Ω R₄ : 56 k Ω R₅ : 390 Ω P₁ : ajustable horizontal 100 k Ω

Condensateur :

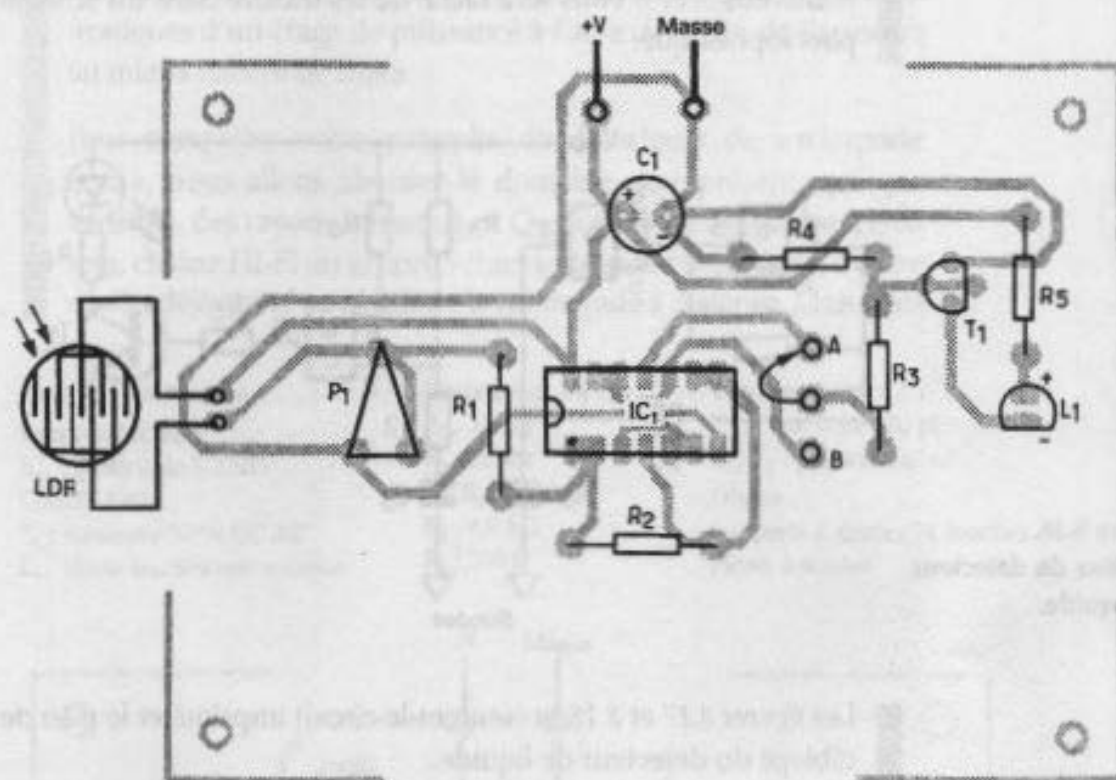
C₁ : chimique vertical 470 μ F/25 V

Divers :

Support à souder 14 broches

Picots à souder

Fil souple

Figure 8.15.
Implantation
des composants.

8.6 DÉTECTEUR DE LIQUIDE

Il est bien connu que l'eau laisse passer plus ou moins bien un courant électrique. Mais cette façon simpliste de procéder ne peut nous convenir, en raison de l'usure prématurée des électrodes qui fondent comme une véritable électrolyse. En appliquant aux sondes immergées une différence de potentiel alternative de fréquence élevée, on retarde fortement la corrosion des électrodes immergées.

R₁ et C₁ forment les composants RC de l'oscillateur astable construit autour des portes NAND A et B selon un schéma classique à présent. Un signal carré d'environ 100 kHz est appliqué à travers le condensateur C₂ sur l'une des sondes, car le condensateur est perméable au signal alternatif. Les entrées de la porte NAND C sont maintenues à l'état haut à travers les résistances R₃ et R₄.

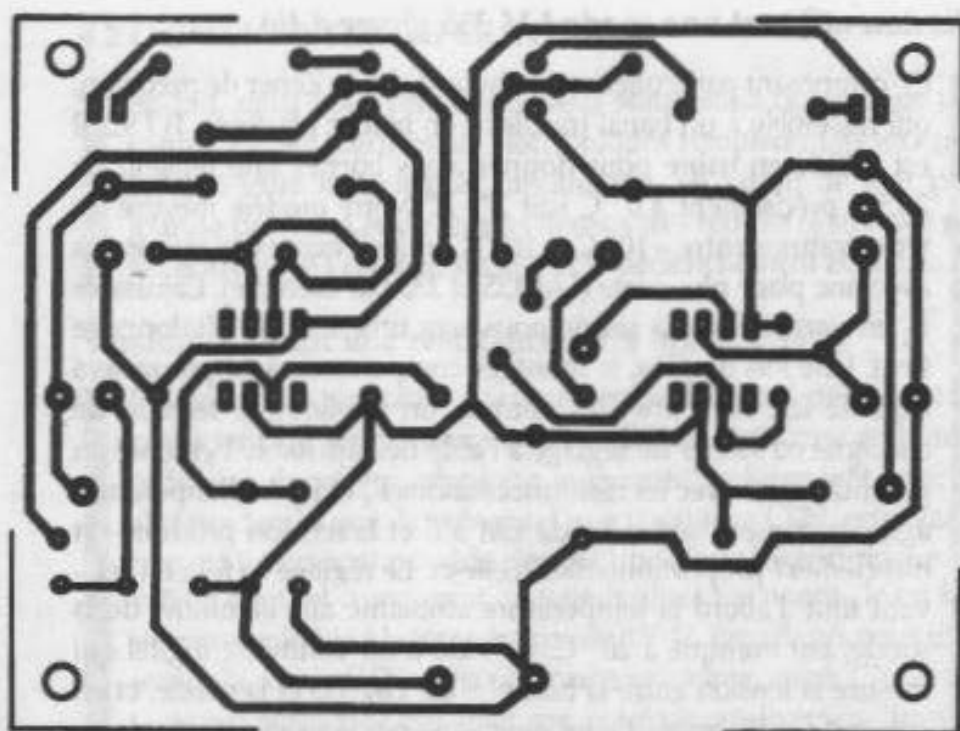


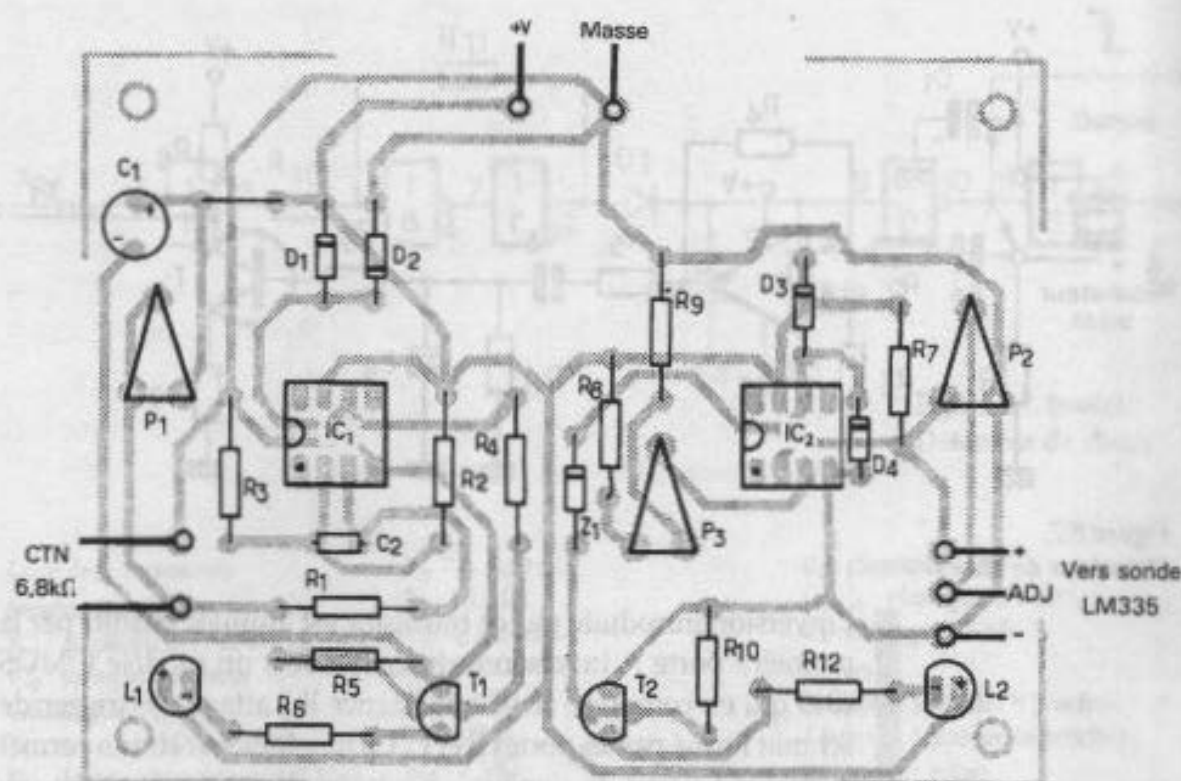
Figure 8.5.
Circuit imprimé
du capteur
de température.

Les figures 8.5 et 8.6 présentent le circuit imprimé et le plan de câblage du capteur de température.

8.3 DÉTECTEUR DE CHOCS

Ce montage est plus particulièrement destiné à compléter un système d'alarme, en venant renforcer les contacts de détection périmétriques habituellement utilisés. Le capteur, quelque peu inhabituel, sera simplement réalisé avec un petit résonateur piézo, présent dans bon nombre de réveils ou gadgets actuels. Le principe reste très simple : en appliquant une tension alternative aux bornes d'un tel élément, on produit un signal sonore discret mais strident. Ces résonateurs sont entourés d'une enveloppe perforée ultraplate et n'ont rien à voir avec le buzzer à oscillateur interne qu'il suffit d'alimenter sous une tension continue. En vertu donc de la loi de la réversibilité, la déformation de la pastille de laiton produit une modification d'ordre électrique que l'on peut aisément visualiser à l'oscilloscope. Sur cette constatation, il suffit d'amplifier le signal produit et de l'exploiter. Nous vous proposons un schéma possible à la figure 8.7 (p. 150).

Le capteur sera donc une pastille piézo ultramince que l'on aura soin de récupérer sur un résonateur ou encore sur une carte



Liste des composants

Semiconducteurs :

IC₁, IC₂ : ampli-op μ A 741 DIL 8
 T₁, T₂ : transistor NPN BC 337
 L₁, L₂ : diode Led \varnothing 5 mm
 D₁ à D₄ : diodes commutation 1N 4148
 Z₁ : diode Zener 2,7 V
 Capteur de température NS
 type LM 335

Résistances 1/4 W :

R₁ : 47 k Ω
 R₂, R₃ : 56 k Ω

R₄ : 68 k Ω
 R₅, R₁₀ : 33 k Ω
 R₆ : 470 Ω
 R₇ : 2,7 k Ω
 R₈, R₉ : 3,3 k Ω
 R₁₁ : facultatif ou 10 k Ω
 P₁ : ajustable horizontal 10 k Ω
 P₂ : ajustable horizontal 30 k Ω
 P₃ : ajustable horizontal 4,7 k Ω

Condensateurs :

C₁, C₅ : chimique vertical 100 μ F/25 V
 C₂ : plastique 100 à 150 nF

Figure 8.6.
Implantation
des composants.

Divers :

2 supports à souder 8 broches
 Capteur de température CTN
 6,8 k Ω à 25°
 Picots à souder

postale musicale. Attention, ce composant est polarisé. Un petit choc sur le laiton ou des vibrations aux alentours de cette pastille plaquée sur une surface plus grande auront pour effet immédiat de générer au point X sur le schéma une succession d'impulsions électriques parfaitement désordonnées.

Cette tension composite est acheminée par le condensateur C₂ et la résistance R₂ sur l'entrée inverseuse d'un vulgaire ampli-op, en l'occurrence IC₁, notre inévitable 741 de service. Le gain de cet étage est relativement élevé, en partie à cause de la valeur très grande de R₄. Il y aura distorsion du signal jusqu'à l'écrêtage même, mais cela n'a aucune importance ici puisqu'un filtre passe-bande très sommaire va extraire après amplification une bande de fréquences plus calmes et l'acheminer vers le transistor T₁ jouant le rôle d'étage adaptateur.

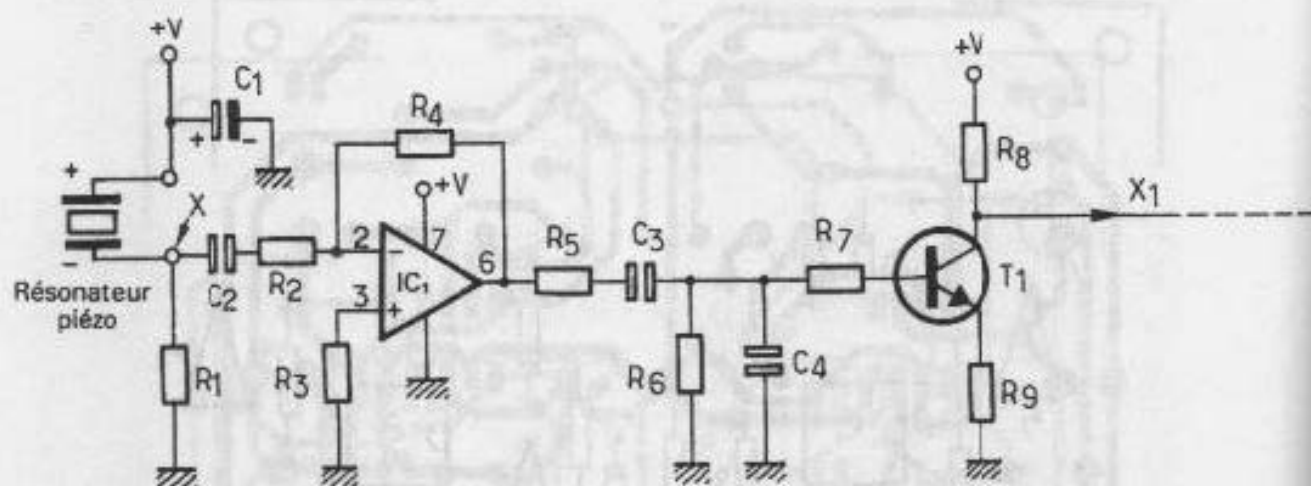


Figure 8.7.
Détecteur de chocs.

L'inversion introduite par ce transistor est annulée ensuite par la première porte A inverseuse du circuit IC₂, un modèle C/MOS 4049 qui en comporte six. La résistance R₁₀ attaque le trigger de Schmitt formé par les portes B et C. Ce montage fort connu permet d'obtenir à partir de signaux « hésitants et mous » des créniaux bien nets aux seuils parfaitement définis. La résistance R₁₁ de forte valeur introduit une sorte de rétroaction et donc une sorte d'hystérésis peu gênante ici.

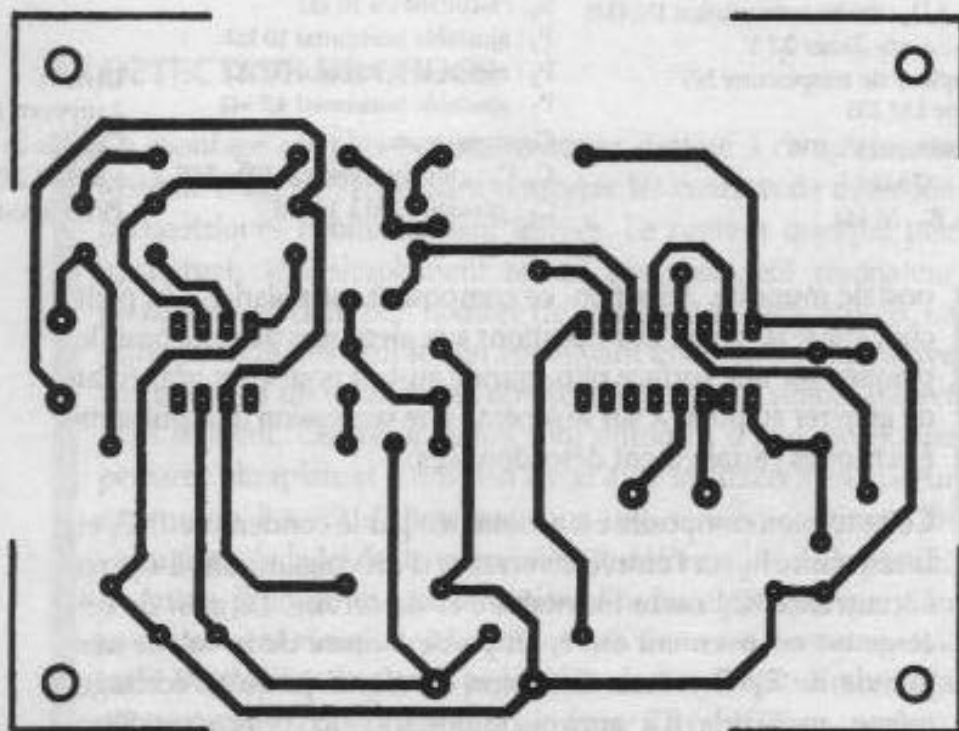


Figure 8.8.
Circuit imprimé
du détecteur
de chocs.

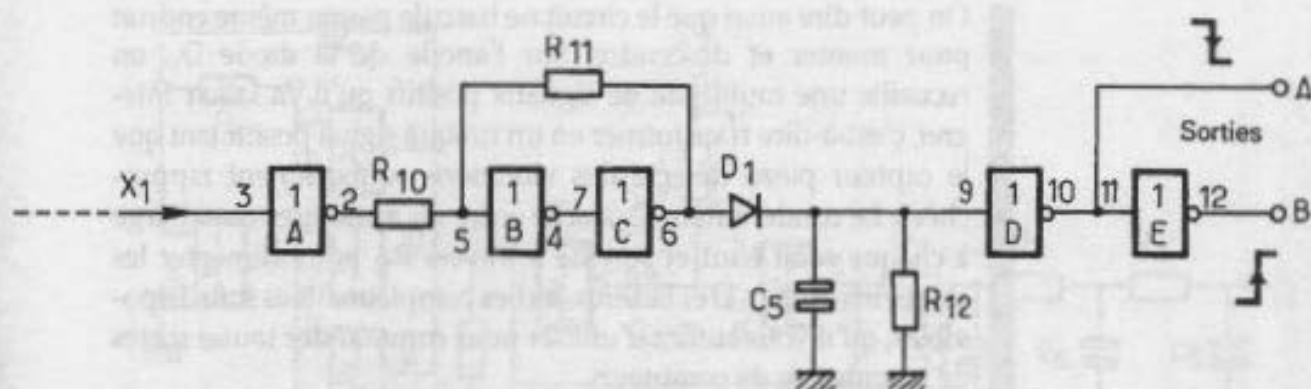


Figure 8.7. (suite)
Détecteur de chocs.

Liste des composants

Semiconducteurs :

IC₁ : ampli-op μ A 741 DIL 8

IC₂ : sextuple inverseur

C/MOS #049

T₁ : transistor NPN BC 337

D₁ : diode commutation 1N 4148

Résistances 1/4 W :

R₁ : 10 k Ω

R₂ : 1 k Ω

R₃, R₁₀ : 100 k Ω

R₄ : 1,2 M Ω

R₅, R₆ : 33 k Ω

R₇ : 680 Ω

R₈ : 6,8 k Ω

R₉ : 220 Ω

R₁₁ : 1 M Ω

R₁₂ : 220 k Ω

Condensateurs :

C₁ : chimique vertical 100 μ F/25 V

C₂ : plastique 47 nF

C₃, C₅ : plastique 470 nF

C₄ : plastique 22 nF

Divers :

1 support à souder 8 broches

1 support à souder 16 broches

Résonateur piézo

Picots à souder

Fil souple

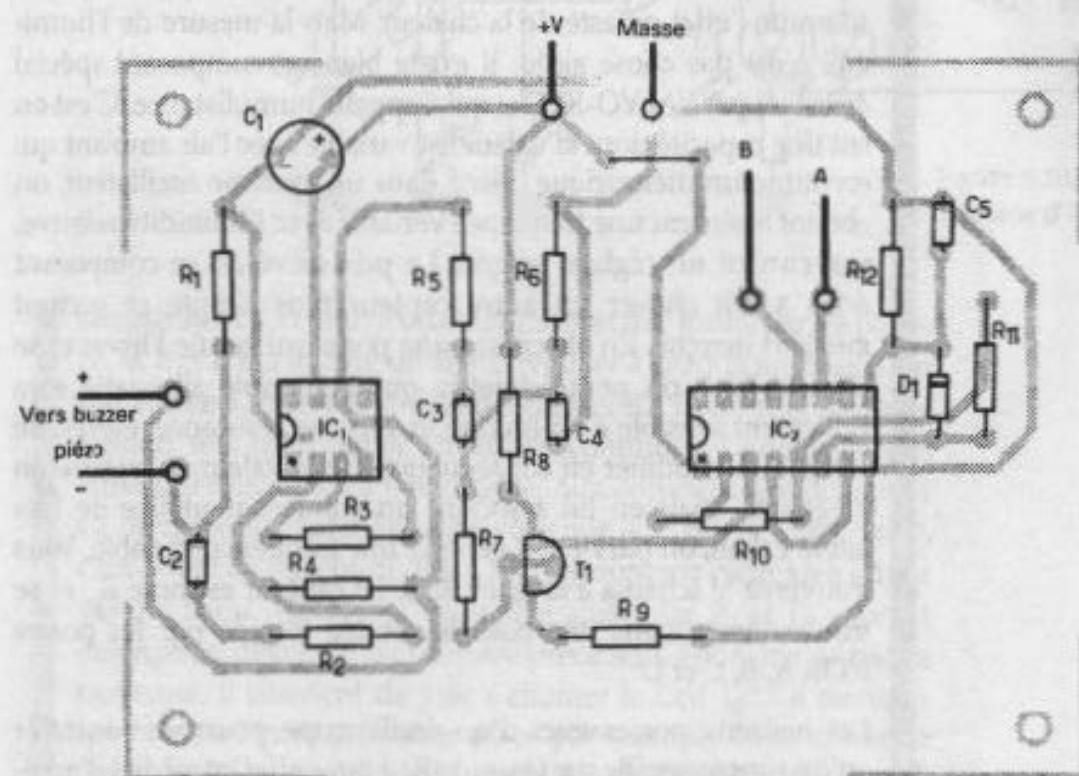


Figure 8.9.
Implantation
des composants.

On peut dire aussi que le circuit ne bascule pas au même endroit pour monter et descendre. Sur l'anode de la diode D_1 , on recueille une multitude de signaux positifs qu'il va falloir intégrer, c'est-à-dire transformer en un unique signal positif tant que le capteur piézo détecte des vibrations suffisamment rapprochées. Le condensateur C_5 stocke entre ses armatures une charge à chaque seuil haut et se vide à travers R_{12} pour alimenter les étages inverseurs D et E. Deux sorties complémentées sont disponibles, qu'il vous suffira d'utiliser pour commander toutes sortes de bascules ou de compteurs.

Le tracé du cuivre se trouve à la figure 8.8 (p. 150) et l'implantation des composants à la figure 8.9 (p. 151).

8.4 CAPTEUR D'HUMIDITÉ

On se propose purement et simplement de mesurer d'une manière électronique le degré hygroscopique souvent donné en pourcentage de 0 à 100 %. Ce dernier chiffre correspond à un air saturé, comme par exemple les régions tropicales où l'air vous « colle à la peau ». L'humidité relative de l'air intervient sur les champignons ou moisissures dont elle provoque le développement; dans le sol, elle favorise les parasites de toutes sortes. Il est notoire également que l'augmentation du degré hygroscopique accentue l'effet néfaste de la chaleur. Mais la mesure de l'humidité n'est pas chose aisée; il existe bien un composant spécial distribué par VALVO-RTC et qui s'appelle humidistance. C'est en fait une capacité dont la valeur est variable avec l'air ambiant qui constitue un diélectrique. Placé dans un système oscillateur, on obtient aisément une fréquence variable avec l'humidité relative, moyennant un réglage soigné. Le prix élevé de ce composant nous a fait choisir un autre capteur plus simple et surtout meilleur marché. En observant une porte qui gonfle l'hiver et se rétracte l'été, on peut admettre qu'une simple allumette sera également sensible à l'humidité et verra sa résistance, élevée de surcroît, se modifier en conséquence. Cette valeur se mesure en mégohms, mais en lui associant un condensateur fixe de très faible valeur, on parvient à générer une fréquence variable. Vous trouverez le schéma à la figure 8.10. Le capteur est noté R_x , et se trouve inséré dans une bascule astable formée par les portes NOR A, B, C et D.

Les heureux possesseurs d'un oscilloscope pourront constater qu'un simple souffle sur la sonde R_x a pour effet immédiat d'accélérer le rythme des impulsions délivrées. Nous venons bien de convertir l'humidité en fréquence; il nous faut encore la transformer en tension variable, plus aisément exploitable dans un étage

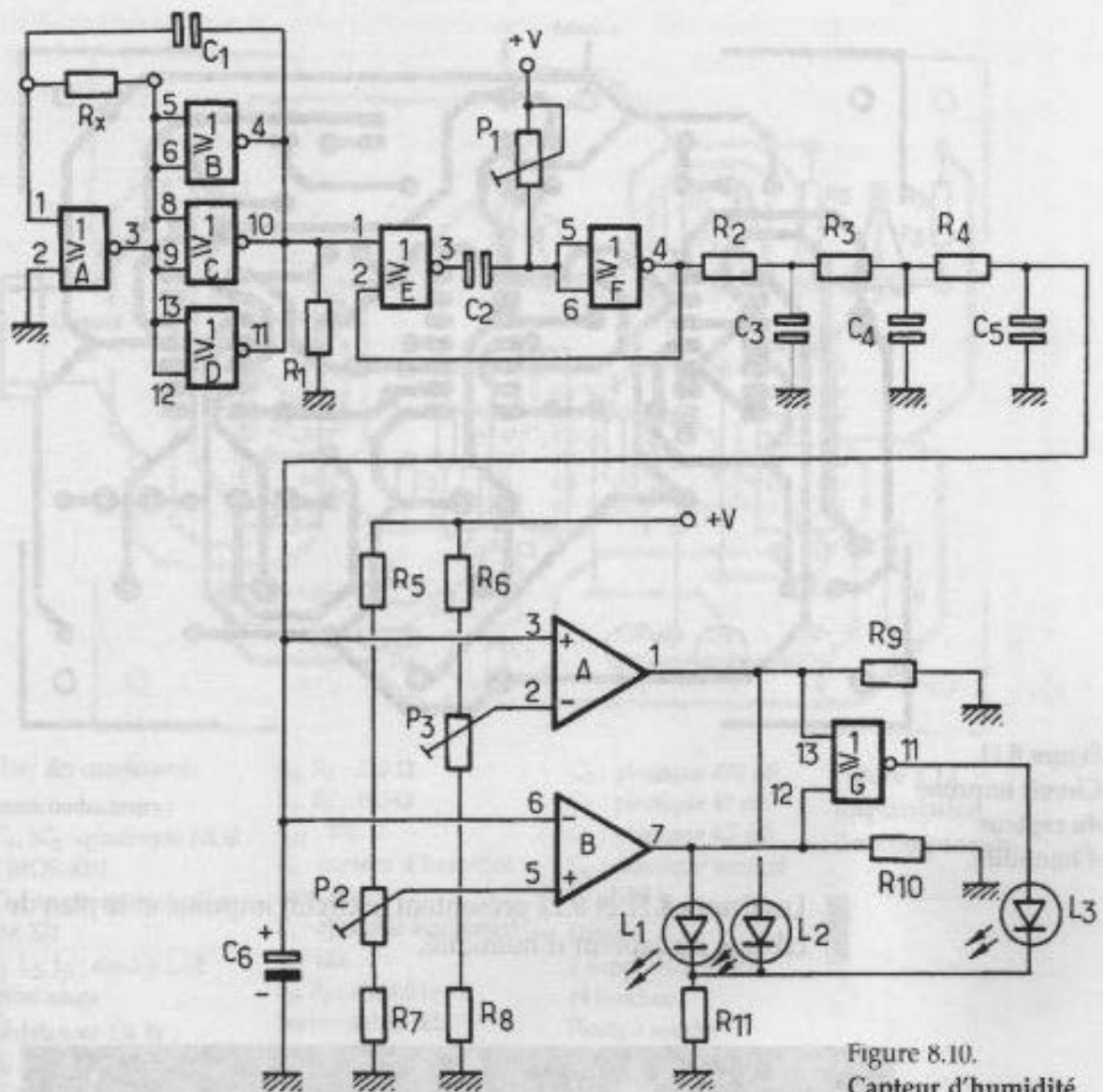


Figure 8.10.
Capteur d'humidité.

comparateur. On trouve un étage monostable formé par les portes NOR E et F, qui délivre un signal régulier à chaque impulsion sur son entrée 1, forcée à la masse à travers R_1 . Cette succession de signaux sera transformée en tension continue à l'aide des divers filtres qui font suite au monostable. Aux bornes du condensateur C_5 , on mesure d'autant plus de volts que la fréquence est grande, c'est-à-dire en fait l'humidité. Cette tension sera comparée à deux valeurs fixes, réglables à l'aide des ajustables P_2 et P_3 selon la description déjà faite au chapitre précédent. Pour une humidité moyenne, il convient de voir s'allumer la Led L_3 . Ce montage spectaculaire pourra trouver place par exemple dans une serre tropicale. La confection de la sonde d'humidité est aisée : il suffit de prélever dans une petite allumette en bois un tronçon de 25 mm environ et de bobiner à chaque extrémité quelques spires serrées d'un fil nul rigide qui servira également de connexion.

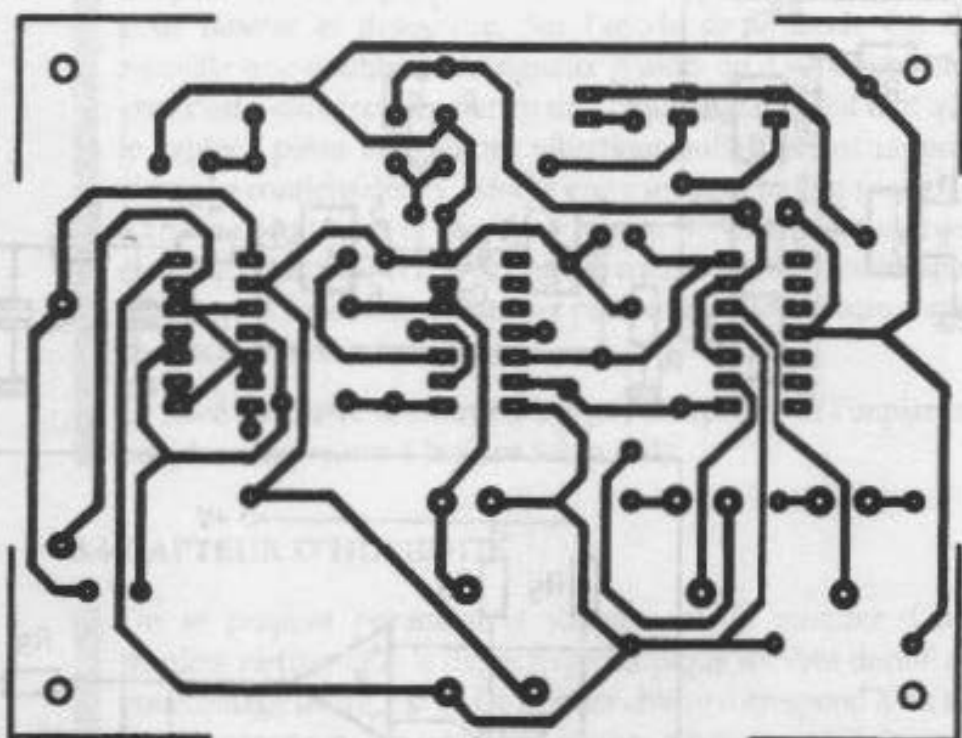
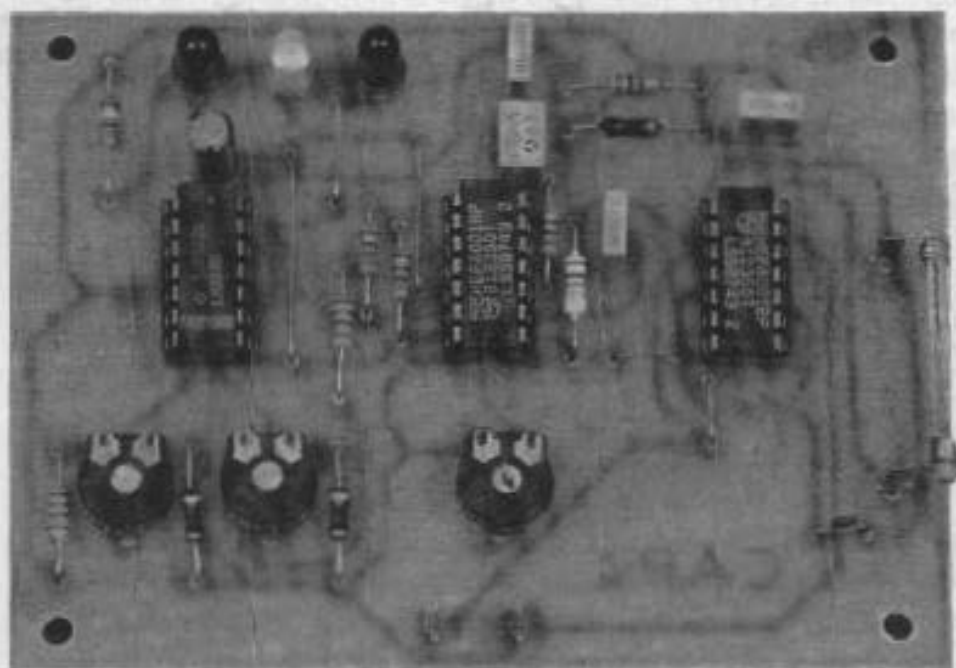
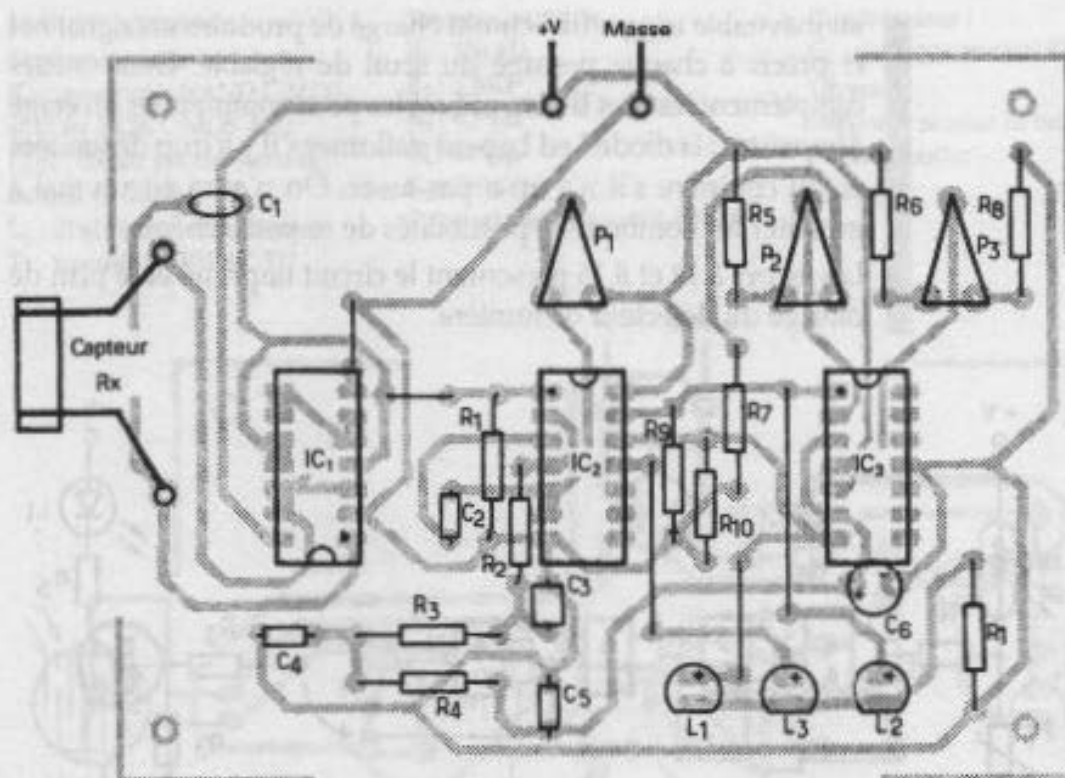


Figure 8.11.
Circuit imprimé
du capteur
d'humidité.

Les figures 8.11 et 8.12 présentent le circuit imprimé et le plan de câblage du capteur d'humidité.



Le capteur
d'humidité terminé.



Liste des composants

Semiconducteurs :

IC₁, IC₂ : quadruple NOR
C/MOS 4001

IC₃ : quadruple ampli-op
LM 324

L₁, L₂, L₃ : diodes Led
selon usage

Résistances 1/4 W :

R₁, R₃ : 22 kΩ

R₂ : 47 kΩ

R₄, R₉, R₁₀ : 10 kΩ

R₅, R₆ : 470 Ω

R₇, R₈ : 100 Ω

R₁₁ : 390 Ω

R_x : capteur d'humidité
(voir texte)

P₁ : ajustable horizontal
470 kΩ

P₂, P₃ : ajustable
horizontal 4,7 kΩ

Condensateurs :

C₁ : céramique 47 pF

C₂ : plastique 10 nF

C₃ : plastique 470 nF

C₄ : plastique 47 nF

C₅ : plastique 4,7 nF

C₆ : chimique vertical
10 μF/25 V

Divers :

3 supports à souder

14 broches

Picots à souder

Fil nu étamé

Figure 8.12.

**Implantation
des composants.**

8.5 DÉTECTEUR DE LUMIÈRE

Il s'agit de mesurer la lumière visible à l'aide d'un dispositif que l'on a coutume d'appeler cellule photoélectrique. Il existe des capteurs photovoltaïques, mais nous choisirons plus volontiers un élément photorésistant très simple d'emploi et de faible prix. Le type le plus courant est le modèle CdS au sulfure de cadmium. Son principe est fort simple : si la face sensible d'une cellule photorésistante est soumise à un éclairage violent, la résistance du matériau avoisine à peine quelques centaines d'ohms. Par contre, dans l'obscurité totale, la résistance peut atteindre et dépasser plusieurs mégohms. On pourra toutefois reprocher à cet élément sa relative lenteur de réaction aux variations de lumière. Nous vous proposons un schéma très simple à la figure 8.13. Un pont diviseur formé par le capteur CdS et l'ajustable P₁ attaque

un inévitable trigger de Schmitt chargé de produire un signal net et précis à chaque passage du seuil de réglable. Deux sorties complémentées A et B sont utilisables pour commander un étage à transistor; la diode Led L_1 peut s'allumer s'il y a trop de lumière ou au contraire s'il n'y en a pas assez. On n'aura aucun mal à exploiter les nombreuses possibilités de ce petit schéma.

Les figures 8.14 et 8.15 présentent le circuit imprimé et le plan de câblage du détecteur de lumière.

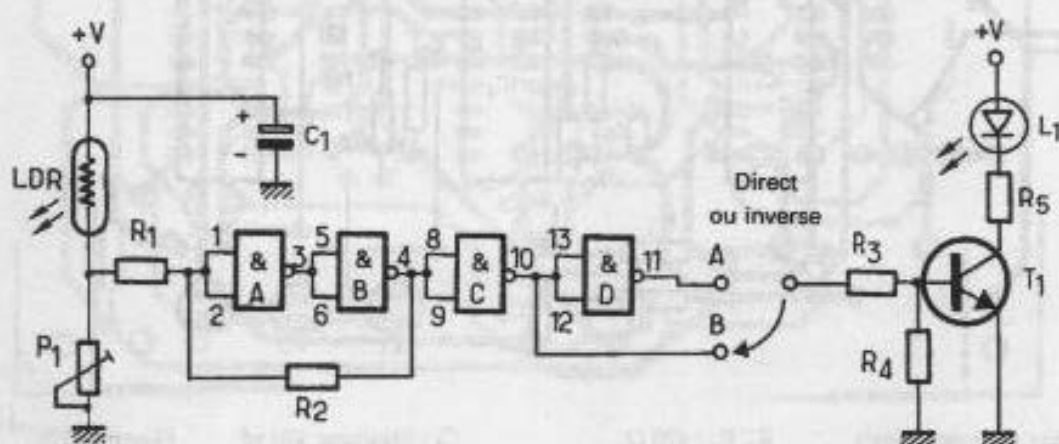


Figure 8.13.
Détecteur de lumière.

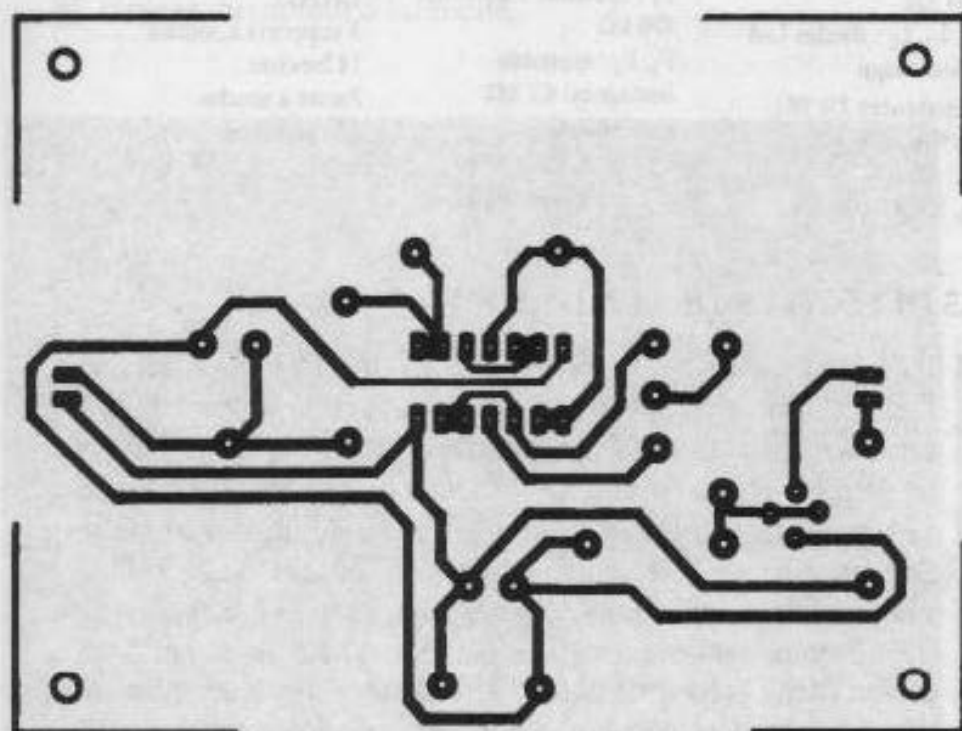


Figure 8.14.
Circuit imprimé
du détecteur
de lumière.

Liste des composants

Semiconducteurs :

IC₁ : quadruple NAND C/MOS
4011 ou NOR C/MOS 4001

LDR : cellule photorésistante
modèle 03 ou 05

L₁ : diode électroluminescente

T₁ : transistor NPN BC 337

Résistances 1/4 W :

R₁ : 150 k Ω

R₂ : 1 M Ω

R₃ : 4,7 k Ω

R₄ : 56 k Ω

R₅ : 390 Ω

P₁ : ajustable horizontal 100 k Ω

Condensateur :

C₁ : chimique vertical 470 μ F/25 V

Divers :

Support à souder 14 broches

Picots à souder

Fil souple

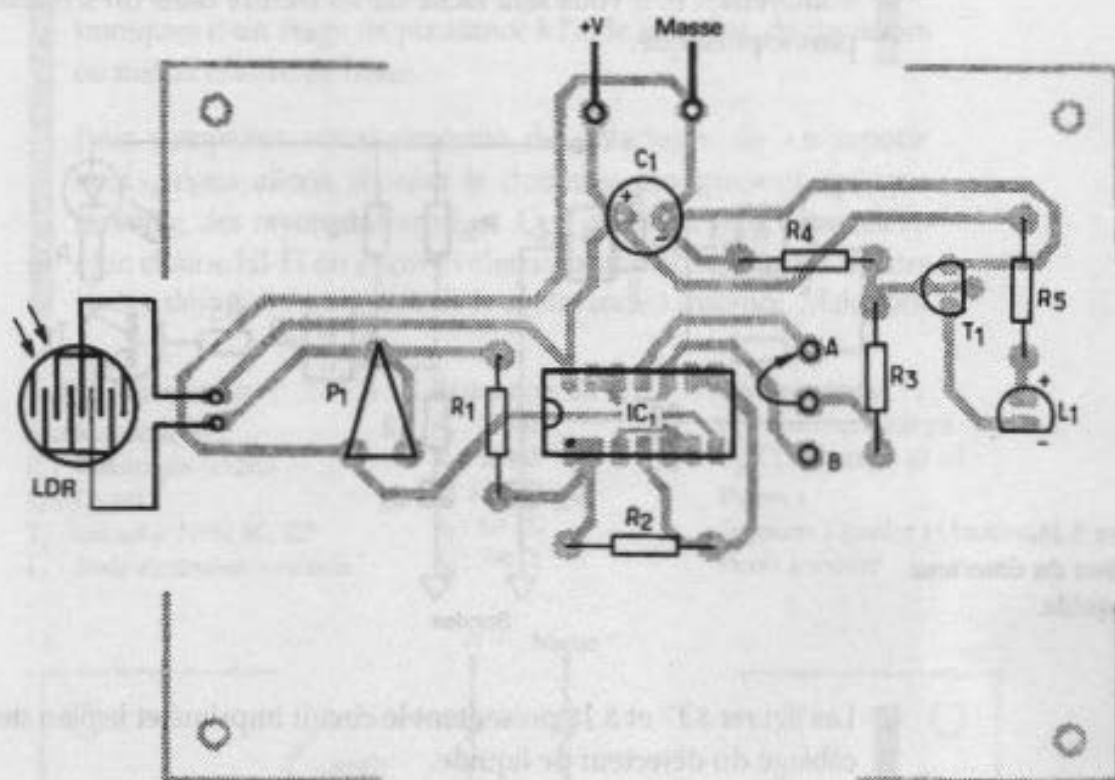


Figure 8.15.
Implantation
des composants.

8.6 DÉTECTEUR DE LIQUIDE

Il est bien connu que l'eau laisse passer plus ou moins bien un courant électrique. Mais cette façon simpliste de procéder ne peut nous convenir, en raison de l'usure prématurée des électrodes qui fondent comme une véritable électrolyse. En appliquant aux sondes immergées une différence de potentiel alternative de fréquence élevée, on retarde fortement la corrosion des électrodes immergées.

R₁ et C₁ forment les composants RC de l'oscillateur astable construit autour des portes NAND A et B selon un schéma classique à présent. Un signal carré d'environ 100 kHz est appliqué à travers le condensateur C₂ sur l'une des sondes, car le condensateur est perméable au signal alternatif. Les entrées de la porte NAND C sont maintenues à l'état haut à travers les résistances R₃ et R₄.

d'où un niveau bas sur la sortie 10. La Led L_1 visualise cet état. Lorsque les 2 sondes sont immergées, le signal HF « traverse » le liquide à contrôler et à travers R_2 vient perturber l'état de la porte C et faire basculer sa sortie à 1. La Led L_1 s'allume bien en présence d'un liquide.

Les applications de ce schéma rudimentaire (figure 8.16) sont nombreuses et il vous sera facile de les inclure dans un schéma plus sophistiqué.

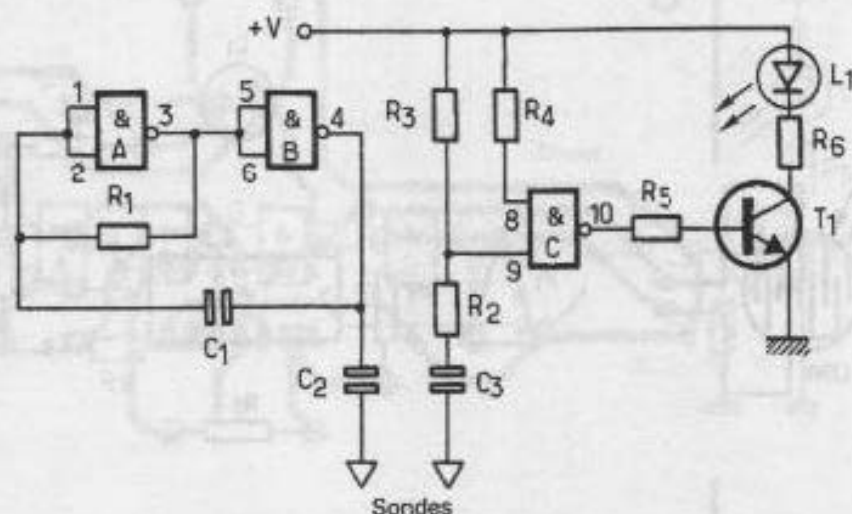


Figure 8.16.
Schéma du détecteur
de liquide.

Les figures 8.17 et 8.18 présentent le circuit imprimé et le plan de câblage du détecteur de liquide.

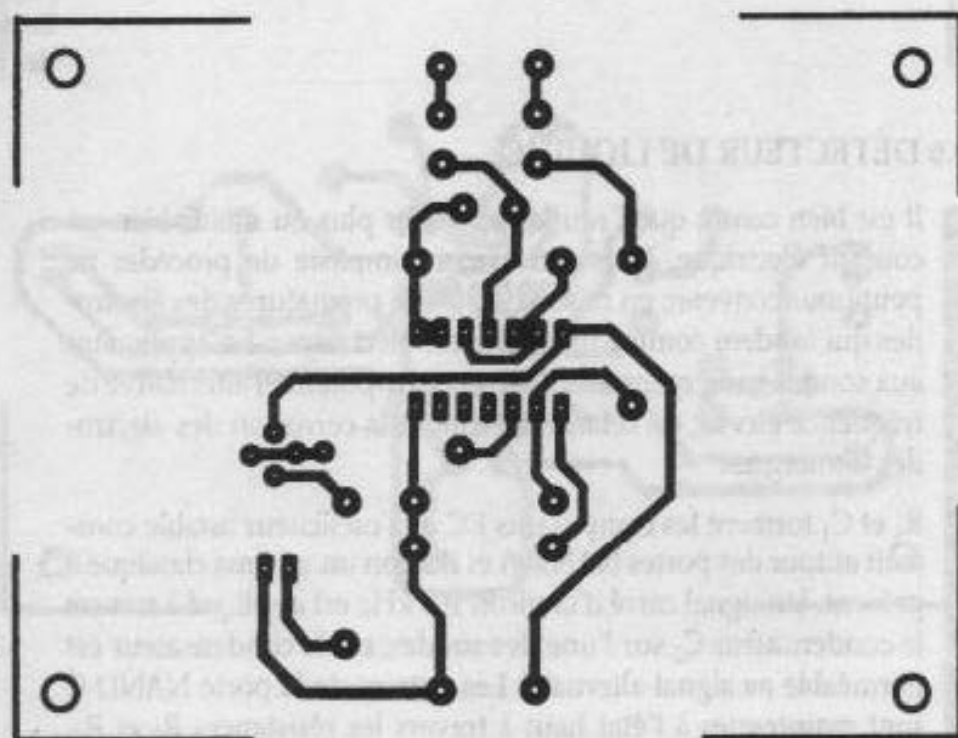


Figure 8.17.
Circuit imprimé
du détecteur
de liquide.

Nous allons terminer là ce chapitre sans pouvoir aborder tous les capteurs existants. Citons pour la forme les détecteurs de passage, ou fourches OPTO, basés sur la détection de la lumière, les détecteurs de champ magnétique, de présence, de tension ou d'intensité. La détection de fumée est chose aisée avec un dispositif à cellule LDR.

Au prochain chapitre, nous allons enfin doter nos montages électroniques d'un étage de puissance à l'aide de relais, de thyristors ou mieux encore de triacs.

Pour compléter votre panoplie de détecteurs de « n'importe quoi », nous allons aborder le domaine omniprésent, quoique invisible, des rayons infrarouges. Que ce soit devant votre téléviseur, chaîne HI-FI ou encore véhicule automobile, chacun d'entre nous a déjà goûté au plaisir de la commande à distance. Mais nous

Liste des composants

Semiconducteurs :

IC₁ : quadruple NAND

C/MOS 4011

T₁ : transistor NPN BC 337

L₁ : diode électroluminescente

Résistances 1/4 W :

R₁ : 15 k Ω

R₂ : 10 k Ω

R₃, R₄ : 150 k Ω

R₅ : 6,8 k Ω

R₆ : 390 Ω

Condensateurs :

C₁ : céramique 330 pF

C₂, C₃ : plastique 47 nF

Divers :

Supports à souder 14 broches

Picots à souder

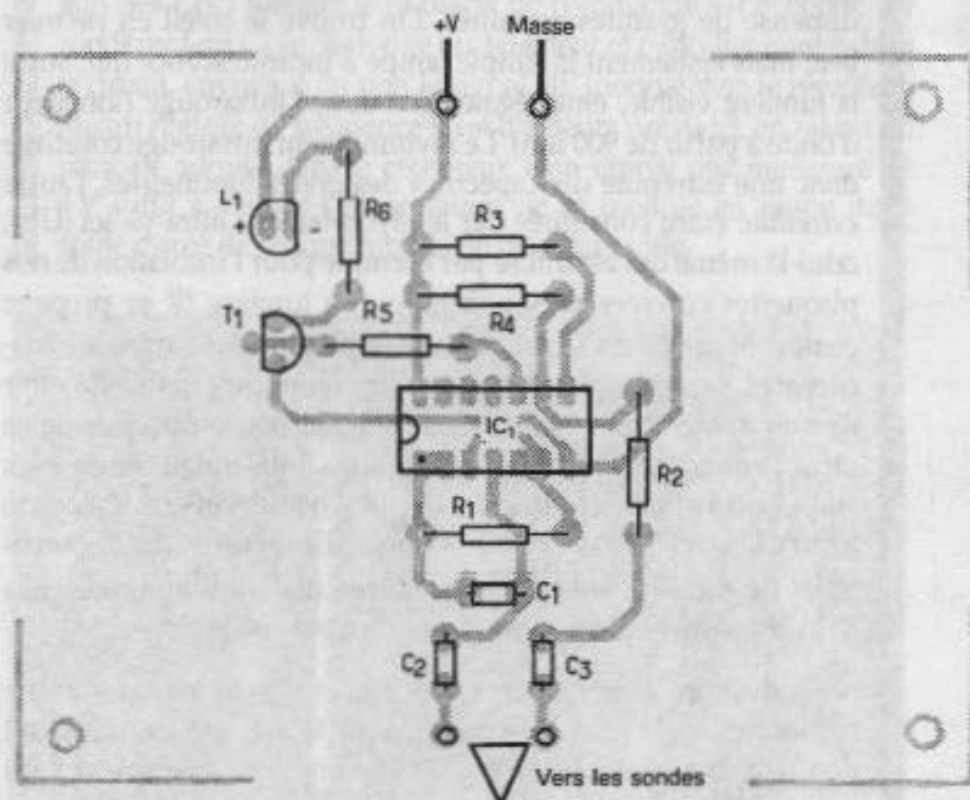


Figure 8.18.
Implantation
des composants.

n'utiliserons pas, loin s'en faut, des circuits spécialisés onéreux ou difficiles à approvisionner, car notre ambition est plus modeste et consiste simplement à voir s'animer un module récepteur éloigné de quelques mètres par une simple action sur le poussoir d'un boîtier de commande portable. Un mini-zapping en somme !

Un autre module original saura surveiller si un objet a été déplacé dans n'importe quelle direction, à l'aide de quelques capteurs utilisant un liquide conducteur, à savoir le mercure. Une logique appropriée permet d'initialiser le dispositif dans une position quelconque, même fortement oblique, et mémorise celle-ci. C'est idéal pour compléter un système d'alarme sur un véhicule automobile et éviter ainsi de laisser soulever même un tant soit peu la carrosserie.

8.7 ÉMETTEUR À INFRAROUGE

Faisons au préalable un petit rappel sur le rayonnement infrarouge, qui ne peut se capter avec une antenne, ni se voir vraiment, car ses fréquences se situent à la limite de perception de l'œil humain qui travaille dans une plage très étroite de longueur d'onde entre 350 et 800 nm. La lumière infrarouge se révèle plutôt par ses effets calorifiques, car toute source de chaleur en dispense de grandes quantités. On trouve le soleil en premier lieu, mais également la simple lampe à incandescence qui, outre la lumière visible, émet également dans l'infrarouge (longueur d'onde à partir de 900 nm). Le rayonnement infrarouge constitue donc une extrémité du « spectre » des ondes lumineuses, l'autre extrémité étant constituée par le rayonnement ultra-violet (UV), celui-là même qui est utilisé par exemple pour l'insolation de nos plaquettes cuivrées présensibilisées. La lumière IR se propage comme la lumière visible, traverse la plupart des surfaces transparentes, peut se réfléchir dans un miroir et est capable de subir une modulation très rapide. Les caractéristiques optiques de ce rayonnement rendent ses applications totalement insensibles aux perturbations électromagnétiques ou sonores. À l'aide de lentilles et réflecteurs, il est possible d'atteindre des distances utiles de plusieurs dizaines de mètres, à la condition toutefois d'un alignement parfait entre la source et la cible visée.

Nous désirons émettre un seul ordre, et c'est donc un système monocal qui'il faut construire, dont le schéma de détail est donné à la figure 8.19. Il est d'une simplicité exemplaire : un premier oscillateur astable module un second oscillateur de fréquence plus élevée. Cet ensemble classique ne nécessite qu'un boîtier C/MOS 4011 comportant 4 portes NAND et une petite poignée de composants. Une succession de salves d'un signal à

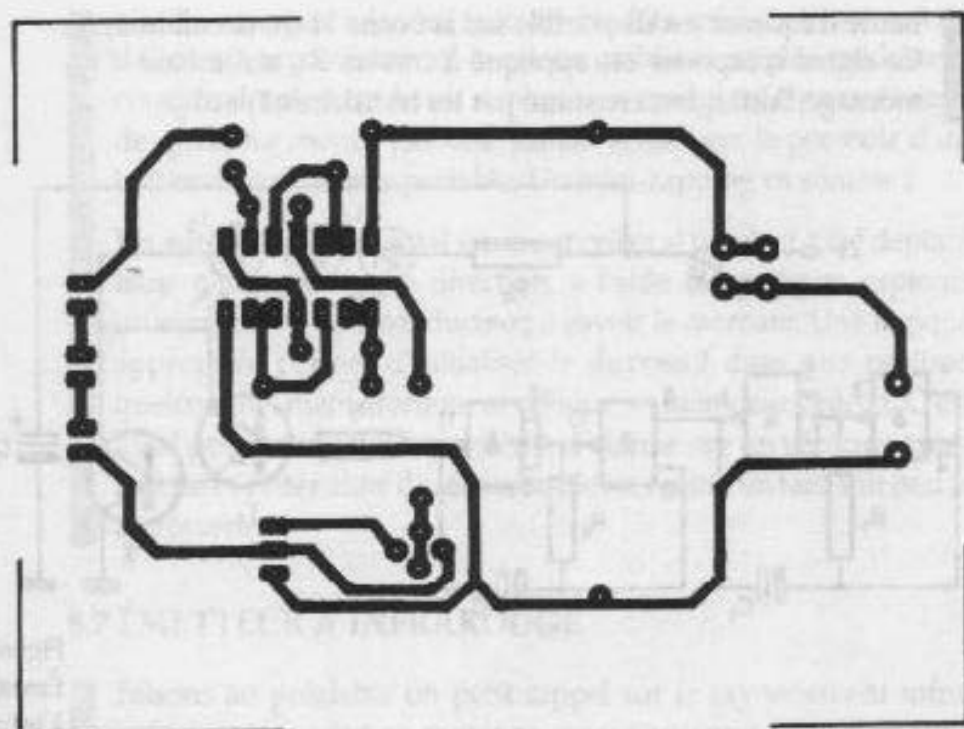


Figure 8.20.
Circuit
imprimé
de l'émetteur

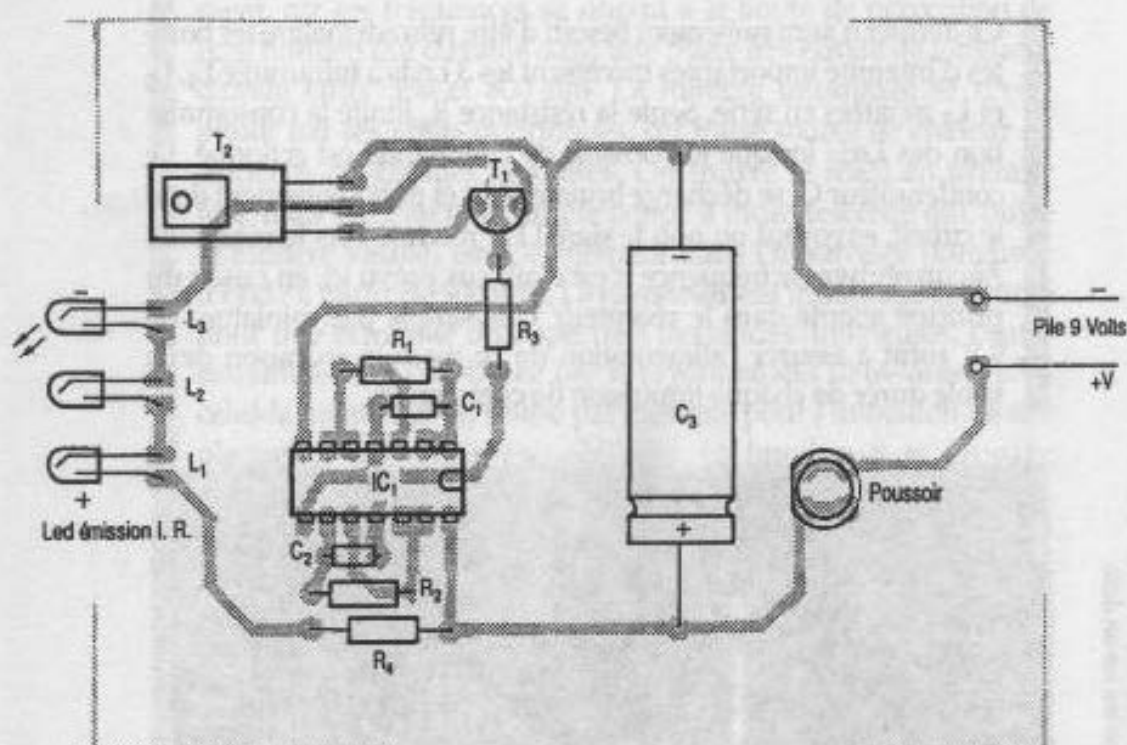


Figure 8.21.
**Implantation
des composants.**

Liste des composants

Semiconducteurs :

IC₁ : quadruple NAND
CMOS 4011

T₁ : transistor NPN BC 337

T₂ : transistor NPN BD 135

L₁, L₂, L₃ : diodes émission
infrarouge LD 271

Résistances 1/4 W :

R₁ : 470 kΩ

R₂ : 10 kΩ

R₃ : 120 kΩ

R₄ : 2,2 Ω

Condensateurs :

C₁ : plastique 10 nF

C₂ : plastique 22 nF

C₃ : chimique horizontal 1 000
à 2 200 μF/16 V

Divers :

Poussoir miniature pour CI

Support à souder 14 broches

Coupleur pressor pour pile 9 V

Picots à souder

8.8 RÉCEPTEUR À INFRAROUGE

Le schéma est donné à la figure 8.22. Pour capter le rayonnement infrarouge, nous utiliserons une photodiode de même nature, portant la référence BP 104. Ce composant est présenté dans un petit boîtier plastique noir, qui est en fait un filtre spécial réduisant l'influence néfaste des sources de lumière parasites. Ce capteur délivre un très faible courant inverse en présence d'une impulsion infrarouge, image fidèle du signal pulsé de l'émetteur. Un premier étage préamplificateur sera réalisé à l'aide du transistor T_1 , un modèle NPN à grand gain. Cet étage est découplé à l'aide de la résistance R_4 et du condensateur chimique C_{14} . Les liaisons entre étages successifs sont assurées par des condensateurs de faible valeur. À noter la présence de l'ajustable P_1 qui permet de doser précisément la polarisation de la photodiode. Le signal capté est prélevé après amplification sur le curseur de l'ajustable P_2 qui agit ici comme un véritable régulateur de niveau.

Les figures 8.23 et 8.24 présentent le circuit imprimé et le plan de câblage du récepteur IR.

L'étage suivant exploite les propriétés d'un ampli-cp dont le gain dépend finalement du rapport des résistances R_5 et R_6 , soit une valeur de 1 000 ! La saturation est vite atteinte, mais l'écrêtage du

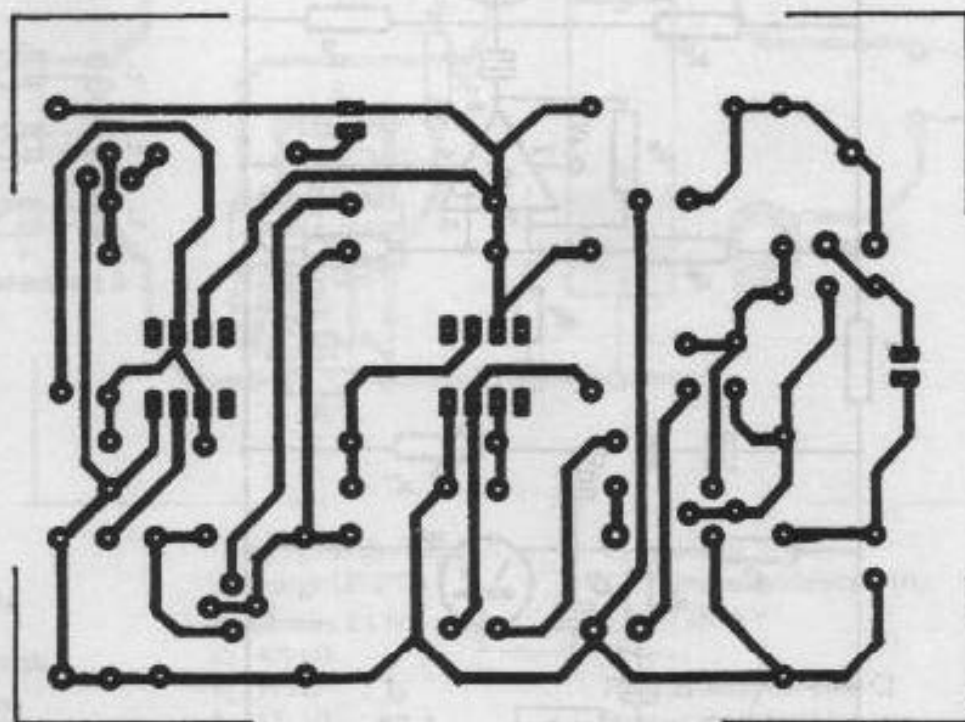


Figure 8.23.
Circuit imprimé
du récepteur IR.

signal n'a pas grande importance, puisque nous souhaitons simplement obtenir une impulsion. Le transistor T_2 assure l'adaptation vers l'intégrateur constitué par la diode D_1 , le condensateur C_7 et la résistance R_{13} . Les impulsions prélevées et amplifiées sont transformées en un signal continu permanent, tant que dure l'émission. Un étage suiveur IC_2 permet de commander sans mal la diode L_1 à chaque fois et aussi longtemps que l'on exerce une pression sur le poussoir de l'émetteur. À chacun d'exploiter à sa guise cette version simplifiée, voire simpliste, d'une liaison à infrarouges.

Liste des composants

Semiconducteurs :

IC_1, IC_2 : ampli-op 741 DIL 8

T_1 : transistor NPN à grand grain BC 549 C

T_2 : transistor PNP BC 327

T_3 : transistor NPN BC 337

Photodiode à infrarouge BP 104

D_1 : diode commutation 1N 4148

L_1 : diode Led

Résistances 1/4 W :

R_1, R_{10} : 100 k Ω

R_2, R_8 : 1 M Ω

R_3 : 10 k Ω

R_4, R_9 : 4,7 k Ω

R_5 : 1 k Ω

R_6, R_7, R_{12} : 33 k Ω

R_{11} : 150 Ω

R_{13} : 120 Ω

R_{14} : 22 k Ω

R_{15} : 270 k Ω

R_{16} : 56 k Ω

R_{18} : 220 Ω

P_1 : ajustable horizontal 470 k Ω

P_2 : ajustable horizontal 10 k Ω

Condensateurs :

C_1 : chimique vertical 4,7 μ F/25 V

C_2 : plastique 1 nF

C_3 : 100 pF céramique

C_4, C_5 : 4,7 nF plastique

C_6 : plastique 22 nF

C_7 : plastique 1 μ F non polarisé

Divers :

2 supports à souder 8 broches

Picots à souder

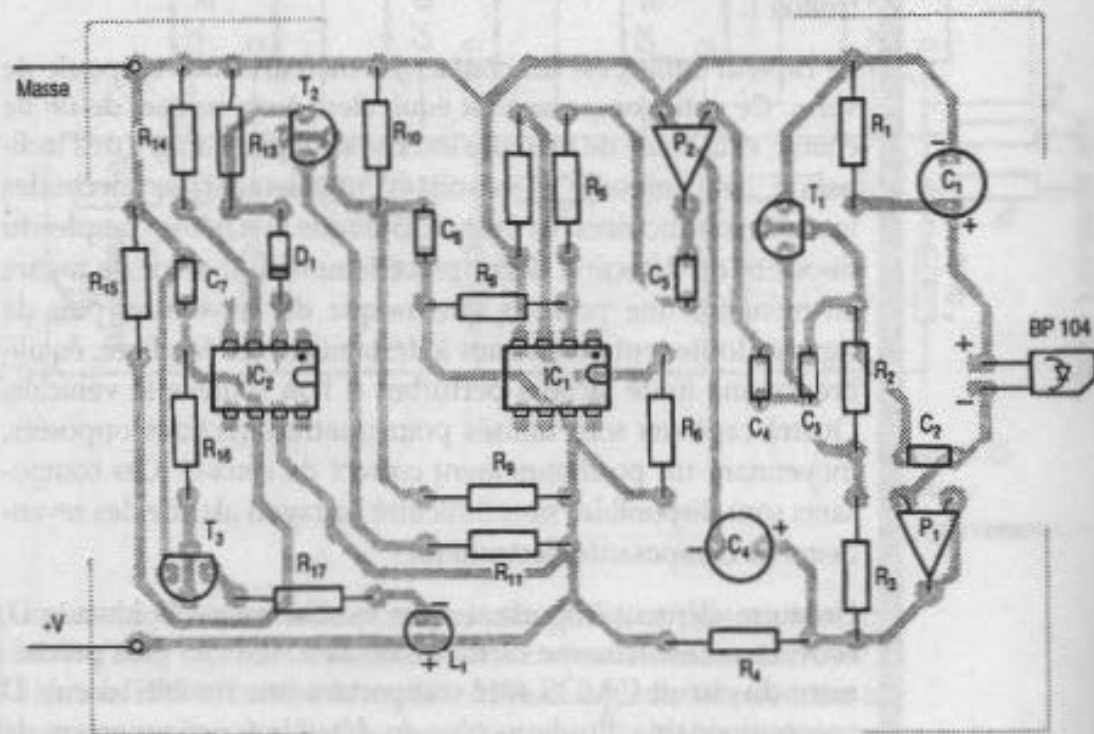


Figure 8.24.
Implantation
des composants.

Avec un réglage soigné, on atteint 4 à 5 m, à la condition de diriger l'émetteur vers la face sensible du capteur BP 104. Une bascule bistable pourra augmenter les possibilités de cet ensemble très économique et aisé à mettre au point. Pour information seulement, sachez qu'il existe le boîtier SL 486 de PLESSEY, qui se charge de toute la partie réception et remplace à lui tout seul notre module « récepteur à infrarouges ».

8.9 CAPTEUR DE MOUVEMENTS

La plupart des dispositifs de surveillance, que l'on trouve sur un véhicule automobile notamment, sont basés sur l'éventualité d'une effraction pour pénétrer dans l'habitacle et tenter de mettre ensuite hors service le système d'alarme pour dérober un accessoire interne ou le véhicule lui-même. Tous ces systèmes fonctionnent tant bien que mal, mais ne protègent nullement l'extérieur du véhicule, c'est-à-dire les jantes en alliage léger ou les pneus taille basse extra-larges. Le module que nous vous proposons ici peut réaliser cette protection additionnelle. Le principe consiste à mettre en mémoire la position exacte du véhicule ou de l'objet à protéger, quelle que soit celle-ci, et donc dans le cas d'une voiture, même si celle-ci n'est pas strictement garée à l'horizontale; car il est clair qu'elle peut tout aussi bien se trouver dans une rue en pente ou encore stationner à cheval sur un trottoir !

Le capteur utilisé est un contact au mercure sous ampoule de verre. Ce petit composant est équivalent à un contact de fin de course, et la boule de mercure interne se déplace au gré de l'inclinaison de l'ampoule et réunit éventuellement les électrodes internes conductrices. La figure 8.25 donne le schéma complet du dispositif de détection décrit précédemment. Il s'agit de mettre en mémoire une position quelconque de la voiture, puis de signaler toute tentative visant à déstabiliser cet équilibre, équilibre somme toute facile à perturber si l'on soulève le véhicule. Quatre capteurs sont utilisés pour quatre directions opposées, moyennant un positionnement correct de ceux-ci. Ces composants sont disponibles sans difficulté au rayon alarme des revendeurs de composants électroniques.

Un autre élément important dans le schéma est la bascule D, souvent utilisée comme mémoire bistable. Il s'agit plus précisément du circuit CMOS 4013 comportant une double bascule D prépositionnable. Étudions plus en détail le fonctionnement de la première d'entre elles, celle qui est notée D₁. L'entrée SET = S est destinée à imposer l'état logique 1 à la sortie Q, alors que l'entrée RESET = R a pour rôle de mettre cette même sortie au

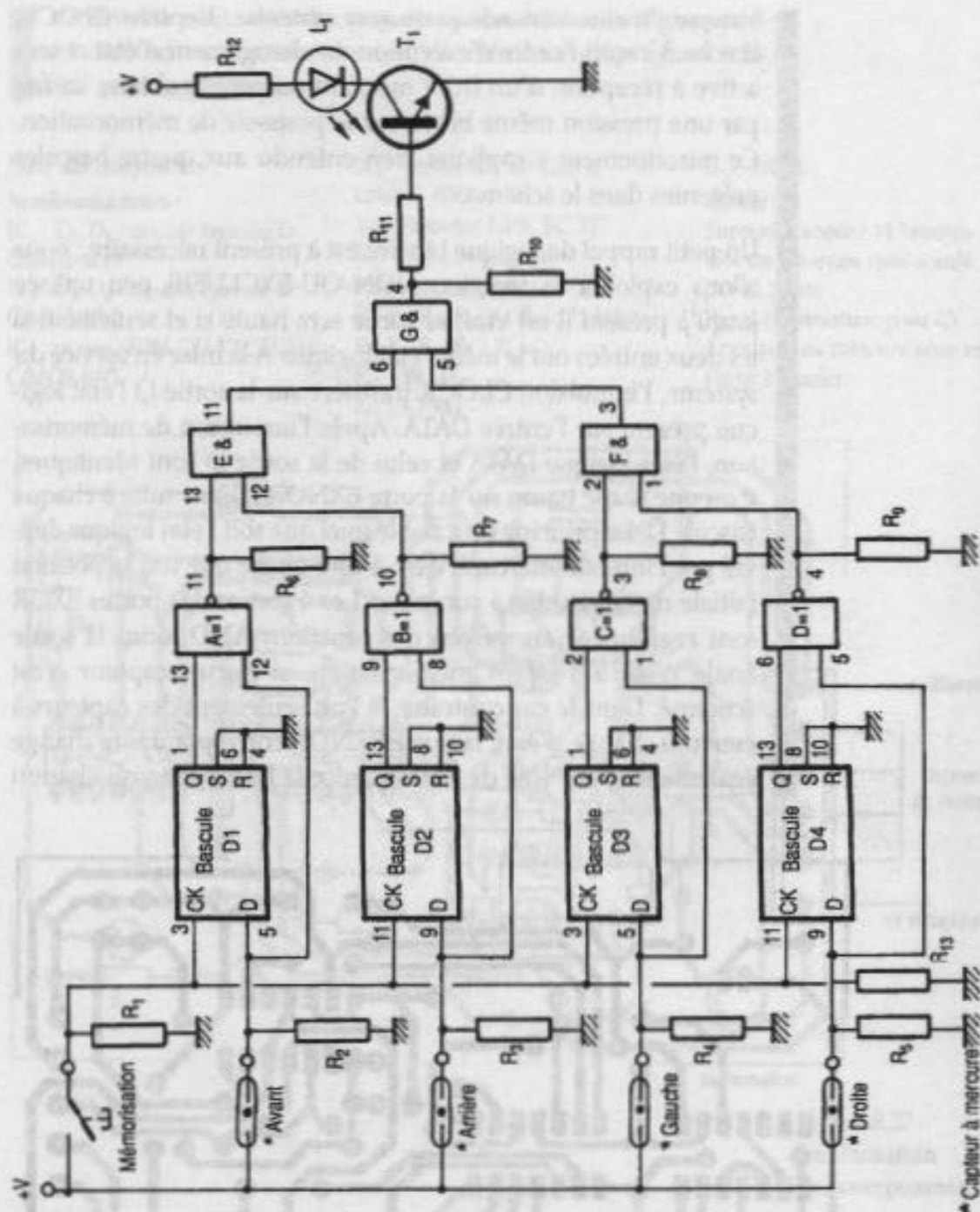


Figure 8.25.
Capteur
de mouvement.

niveau bas. Nous n'utiliserons pas ces options et, pour ce faire, il nous a suffi de relier les bornes 4 et 6 en permanence à la masse. L'entrée DATA, broche 5, reçoit le niveau logique de référence à prendre en compte lors du basculement. Elle est normalement forcée à la masse par la résistance R_2 , mais verra son potentiel passer au niveau haut de l'alimentation si l'inter au mercure correspondant est fermé, ce qui ne manquera de se produire

lorsque l'inclinaison adéquate sera obtenue. L'entrée CLOCK, broche 3, reçoit l'ordre d'exécution du changement d'état et sera active à réception d'un front montant ou positif, obtenu en fait par une pression même brève sur le poussoir de mémorisation. Ce raisonnement s'applique bien entendu aux quatre bascules présentes dans le schéma.

Un petit rappel de logique binaire est à présent nécessaire : nous allons exploiter la fonction NON-OU-EXCLUSIF, peu utilisée jusqu'à présent il est vrai ; sa sortie sera haute si et seulement si les deux entrées ont le même état logique. À la mise en service du système, l'impulsion CLOCK transfère sur la sortie Q l'état logique présent sur l'entrée DATA. Après l'impulsion de mémorisation, l'état logique DATA et celui de la sortie Q sont identiques, d'où une sortie haute sur la porte EXNOR faisant suite à chaque bascule D. Le principe est valable quel que soit l'état logique délivré par l'inter au mercure, c'est-à-dire quelle que soit la position initiale de l'ensemble à surveiller. Les 4 sorties des portes EXOR sont regroupées au moyen des fonctions AND, dont la sortie finale reste à 1 après mémorisation, si aucun capteur n'est actionné. Dans le cas contraire, si l'un seulement des capteurs à mercure change d'état, la porte EXNOR correspondante change également et par voie de conséquence la Led L_1 de visualisation

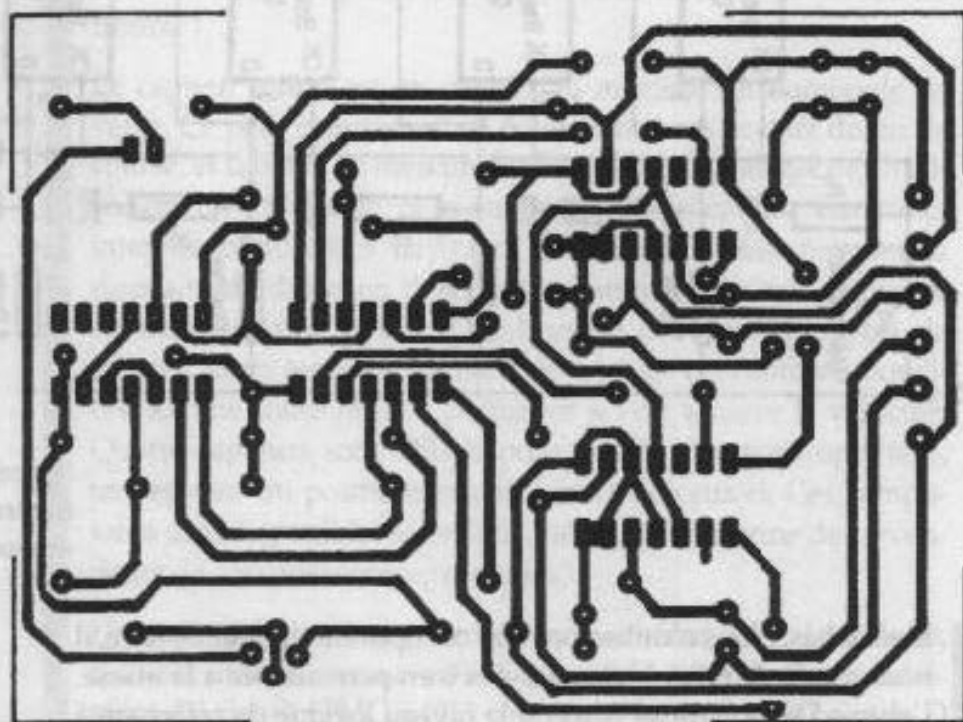


Figure 8.26.
Circuit imprimé
du capteur
de mouvement.

s'éteint. Ce petit schéma logique ne nécessite aucun réglage et doit fonctionner au premier essai, si les indications des figures 8.26 et 8.27 sont respectées.

Liste des composants

Semiconducteurs :

IC₁ : D₁, D₂ : double bascule D
C/MOS 4013

IC₂ : D₃, D₄ : double bascule D
C/MOS 4013

IC₃ : portes NON-OU-EXCLUSIF
C/MOS 4077

IC₄ : portes NAND E, F, G
C/MOS 4081

T₁ : transistor NPN BC 337

L₁ : diode Led rouge

Résistances 1/4 W :

R₁, R₂, R₃, R₄, R₅, R₁₃ : 33 kΩ

R₆, R₇, R₈, R₉ : 27 kΩ

R₁₀ : 39 kΩ

R₁₁ : 4,7 kΩ

R₁₂ : 390 Ω

Divers :

Support à souder 14 broches

Bloc de 6 bornes vissé-soudé

pas de 5 mm

Poussoir miniature pour CI

4 contacts au mercure sous verre

Picots à souder

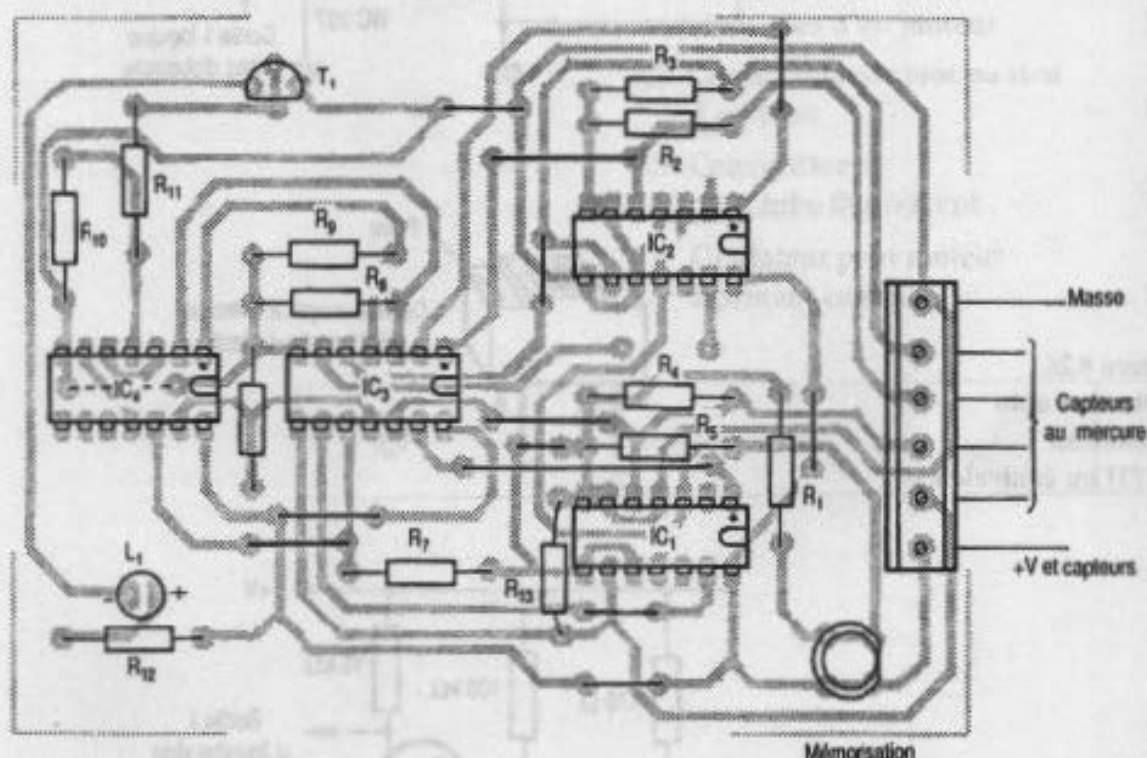


Figure 8.27.
Implantation
des composants.

8.10 CAPTEURS OPTO-ÉLECTRONIQUES

Les figures 8.28 et 8.29 (p. 170) présentent, pour deux composants très semblables, un petit schéma d'application. Le détecteur opto à réflexion pourra réagir à un obstacle opaque passant à proximité des fenêtres sensibles situées sur le dessus du boîtier. Le modèle à fourche saura par exemple détecter la rotation d'un mobile et analyser sa vitesse. On pourra aussi l'utiliser pour contrôler l'absence de rotation d'un mobile quelconque. Ils ne remplacent pas un coupleur optique classique, totalement préservé lui de la lumière ambiante.

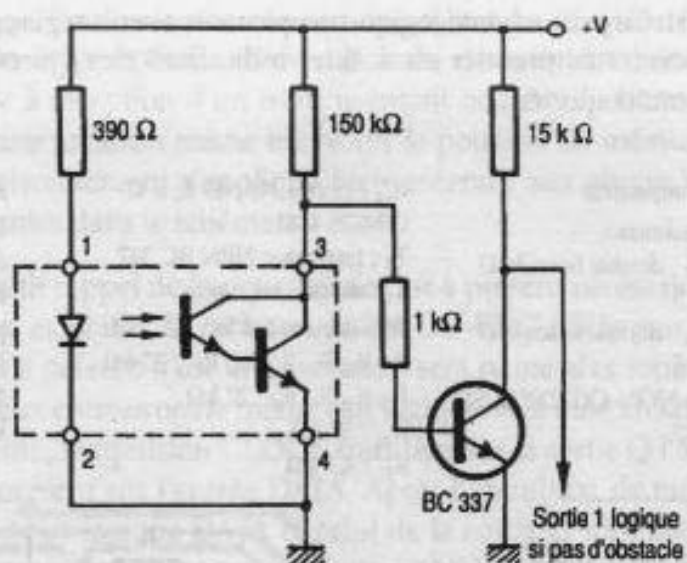


Figure 8.28.
Détecteur opto
à réflexion
(B 711 ou équivalent).

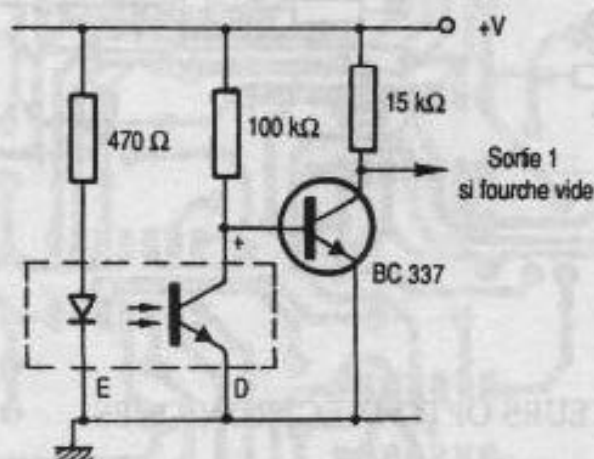


Figure 8.29.
Capteur opto
fourche (CNY 37
ou équivalent).



Capteur opto fourche
(CNY37 ou équivalent)

9 LA PUISSANCE

9.1	Commandes d'un relais et du sens d'un moteur	172
9.2	Commande par tout ou rien d'un triac	175
9.3	Convertisseur pour tube fluorescent	179
9.4	Gradateur pour moteur à courant continu	182

10	Le son	187
----	--------	-----

Tous les circuits étudiés dans les chapitres précédents, même les plus sophistiqués, manquaient toutefois de puissance, et à part allumer une diode Led, ils étaient bien incapables de faire autre chose. Dans la réalité pourtant, les circuits électroniques commandent des dispositifs réels, dotés d'une véritable force et capables d'effectuer un travail concret. On pourrait dire que toute cervelle, même la plus performante, ne sert à rien si elle n'est pas associée à des muscles. C'est précisément l'objet de notre chapitre qui vous fera découvrir des éléments plus gourmands que les composants habituels; mais pour espérer faire un travail, l'unité d'intensité sera non plus le milliampère, mais bien l'ampère quelquefois. Il existe des transistors de puissance capables de commuter dans le circuit collecteur-émetteur une intensité notable, pour un courant de base adapté à la sortie d'un circuit logique. Le refroidissement de monstres tels que le 2N 3055 est souvent indispensable. Mais une tension élevée n'est guère appréciée, surtout si elle est directement prélevée sur le réseau alternatif EDF.

Pour résoudre le problème, et surtout isoler électriquement la charge de la commande, on peut également faire appel au vieux relais électromagnétique classique, ou encore à contact ILS (inter à lames souples sous ampoule de verre). Nous aurons également l'occasion de faire connaissance avec un relais statique fort apprécié, en l'occurrence le TRIAC. Voyons ces nouveaux venus en détail.

9.1 COMMANDES D'UN RELAIS ET DU SENS D'UN MOTEUR

Commande d'un relais par transistor

Ce schéma (figure 9.1) archiclassique permet d'utiliser n'importe quelle maquette électronique, car une commande logique suffira à mettre en œuvre un petit relais, avec un ou plusieurs contacts. L'entrée A, forcée à la masse par la résistance R_1 , est appliquée sur une première porte NAND inverseuse. Le signal est inversé une seconde fois par l'autre porte NAND qui rétablit ainsi le sens de la commande A. L'entrée B opère donc une commande inverse. La sortie 4, à travers la résistance R_3 , applique sur la base du transistor T_5 un niveau 1 ou un niveau 0. Rappelons que, pour que le transistor NPN soit passant, il suffit que sa base soit positive ou au niveau haut. Si un courant traverse le collecteur, la bobine d'un petit relais 6 V, en série avec une diode Led de visualisation, est activée et entraîne les contacts en nombre variable (souvent, on dispose au moins d'un inverseur). La diode D_2 est utile à la coupure de la bobine, car elle absorbe l'extra-courant de rupture

de la charge selfique que constitue la bobine du relais, et empêche la destruction de la jonction du transistor. À noter encore que la diode Led n'a point de résistance de limitation, car ce rôle est joué par la valeur ohmique de la bobine du relais. Ce petit montage se trouve sur la plaquette des figures 9.3 et 9.4.

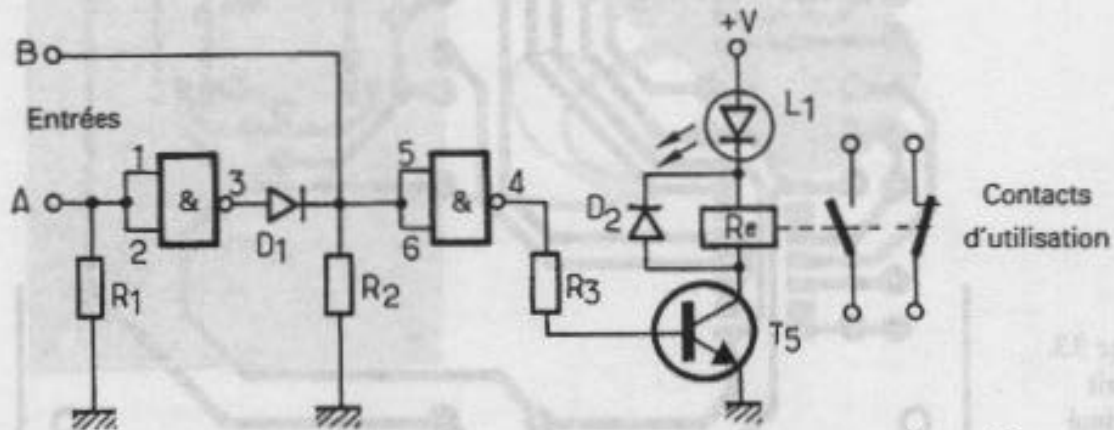


Figure 9.1.
Commande
d'un relais
par un transistor.

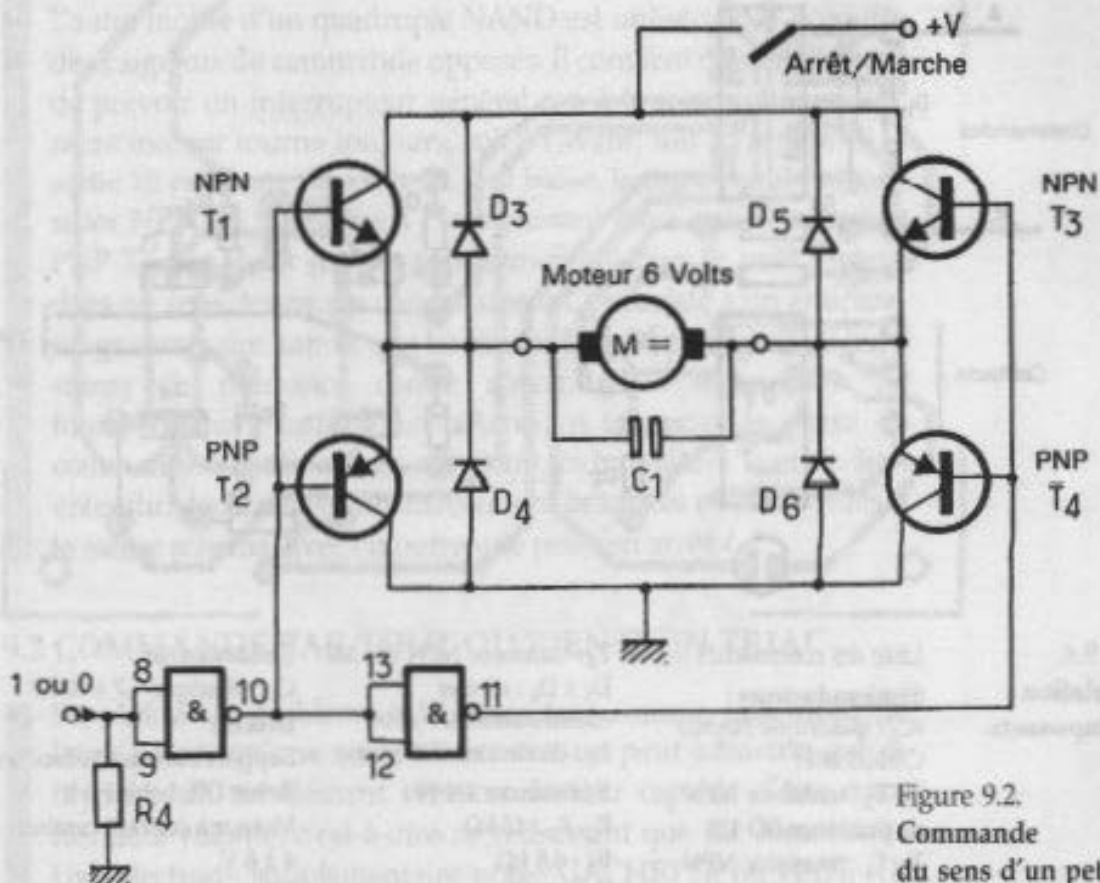


Figure 9.2.
Commande
du sens d'un petit
moteur continu.

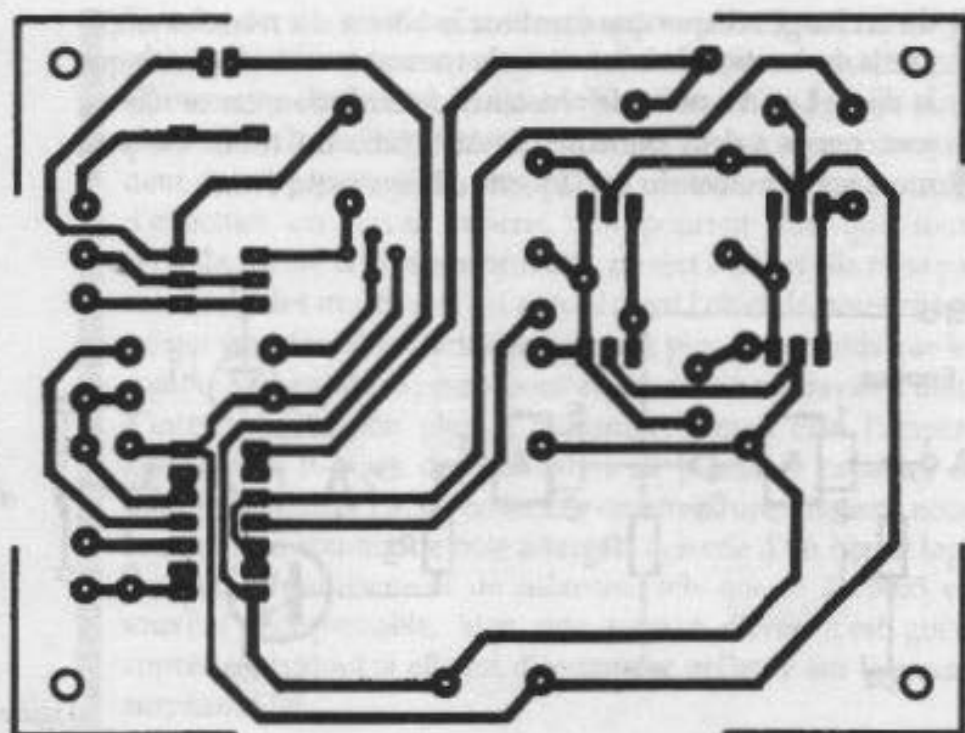


Figure 9.3.
Circuit
imprimé
du moteur.

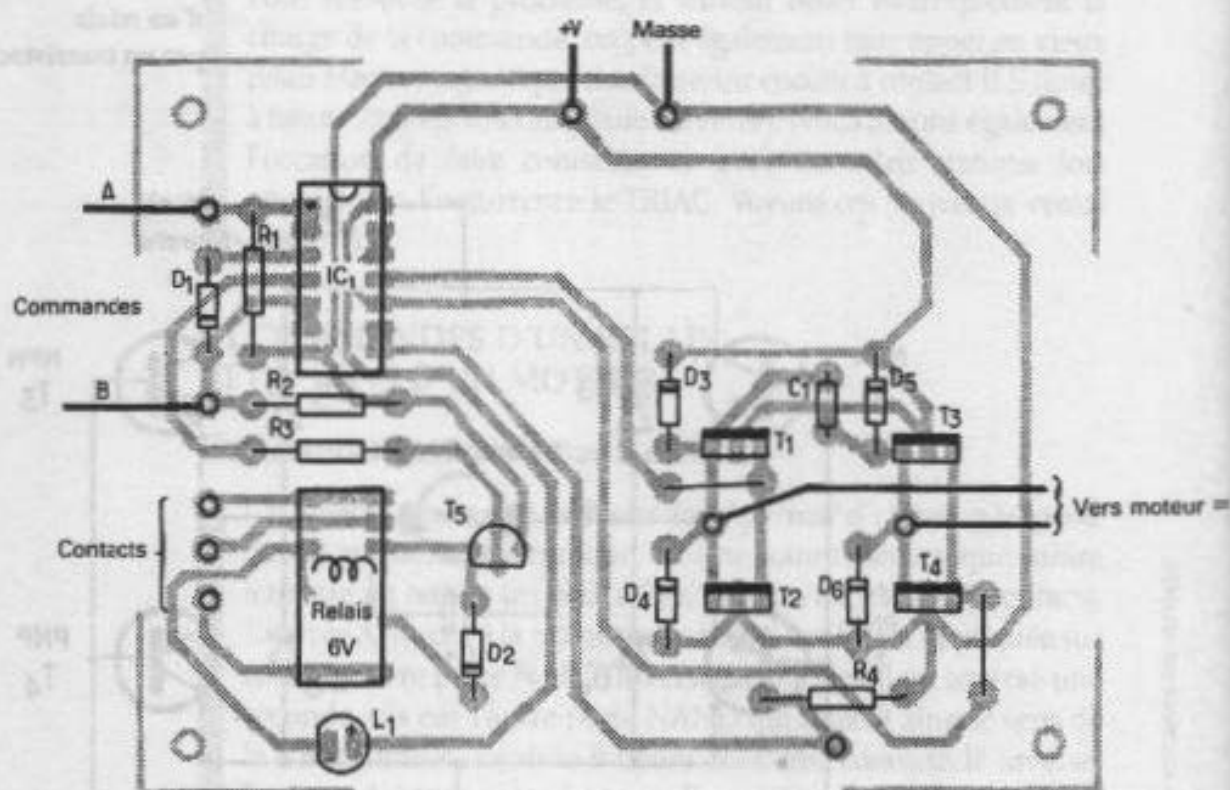


Figure 9.4.
Implantation
des composants.

Liste des composants

Semiconducteurs :

IC₁ : quadruple NAND CMOS 4011

T₁, T₂ : transistor NPN de puissance BD 135

T₃, T₄ : transistor NPN de puissance BD 136

T₅ : transistor NPN BC 337

D₁ à D₆ : diodes

commutation 1N 4148

L₁ : diode Led Ø 5 mm

Résistances 1/4 W :

R₁, R₂ : 47 kΩ

R₃ : 6,8 kΩ

R₄ : 47 kΩ

Condensateur :

C₁ : plastique 4,7 à 10 nF

Divers :

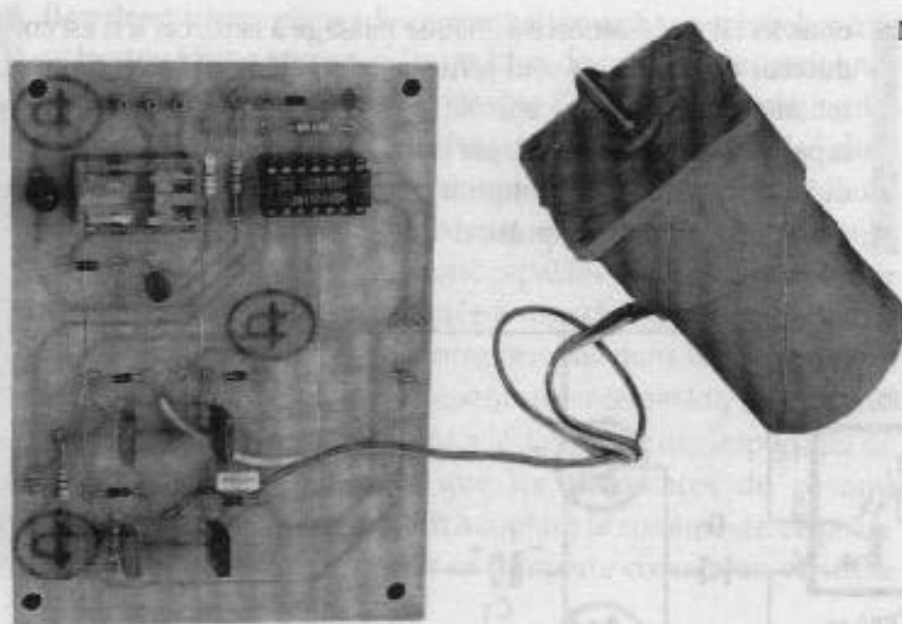
Support à souder 14 broches

Relais DIL bobine 6 V

Moteur à courant continu

4 à 6 V

Picots à souder



Module puissance.

Commande du sens d'un moteur

Sur le même circuit imprimé, nous avons placé un autre montage très utile, permettant, toujours à l'aide d'un signal logique, de commander le choix du sens de rotation d'un petit moteur continu à aimant permanent. Ce schéma se trouve à la figure 9.2 (p. 173).

L'autre moitié d'un quadruple NAND est utilisée pour produire deux signaux de commande opposés. Il convient éventuellement de prévoir un interrupteur général car, à la mise sous tension, notre moteur tourne toujours, soit à l'avant, soit à l'arrière. Si la sortie 10 est haute, la sortie 11 sera basse, logique non ? Le transistor NPN de puissance T_1 sera passant ainsi que le transistor PNP T_4 . Ces deux composants alimentent bien le petit moteur dans un sens donné. Le condensateur C_4 procède à un antiparasitage sommaire, tandis que les diodes D_3 à D_6 protègent les transistors de puissance contre d'éventuelles surtensions. Le fonctionnement opposé est obtenu en inversant le signal de commande à l'entrée et en sollicitant les transistors T_2 et T_3 . Bien entendu, deux relais convenablement branchés peuvent réaliser le même schéma, avec en outre une position arrêt.

9.2 COMMANDE PAR TOUT OU RIEN D'UN TRIAC

Simplifions le problème à la base : tout comme une diode ne laisse passer qu'une seule alternance, on peut admettre que le thyristor est un élément semi-conducteur capable d'être commandé à volonté, c'est-à-dire ne redressant que sur commande. Une électrode supplémentaire notée GÂCHETTE ou GATE (G) sera nécessaire. Mais le thyristor souffre d'un inconvénient pour

nous ici : il se désamorce à chaque passage à zéro, car il n'est conducteur que dans un seul sens. Le triac, élément bidirectionnel, est mieux adapté au contrôle d'une tension alternative. Il est capable à l'aide d'une simple impulsion sur sa gâchette de conduire jusqu'à la fin de l'alternance; la suivante est prise en charge également si une impulsion adéquate est délivrée à temps.

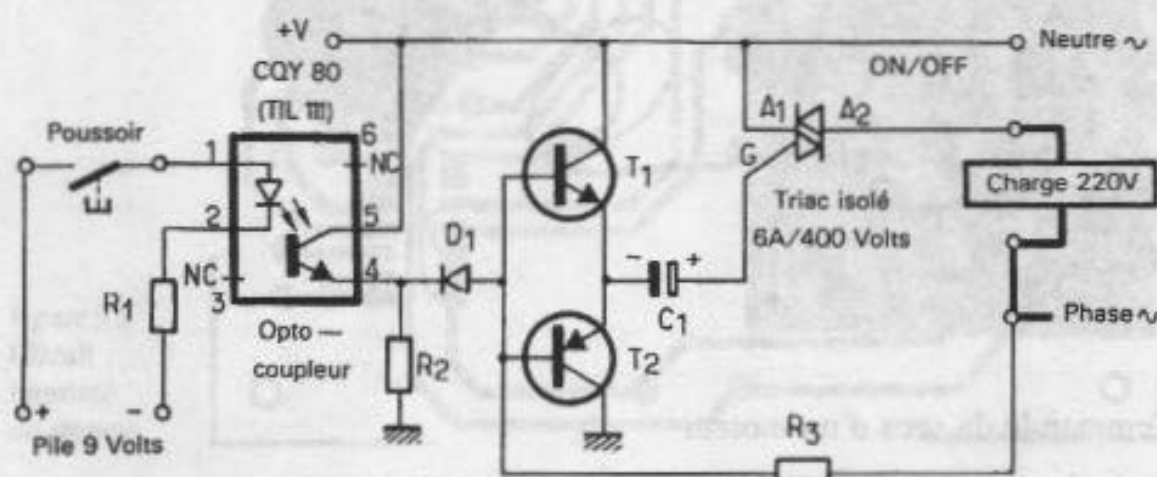


Figure 9.5.
Commande par tout
ou rien d'un triac.

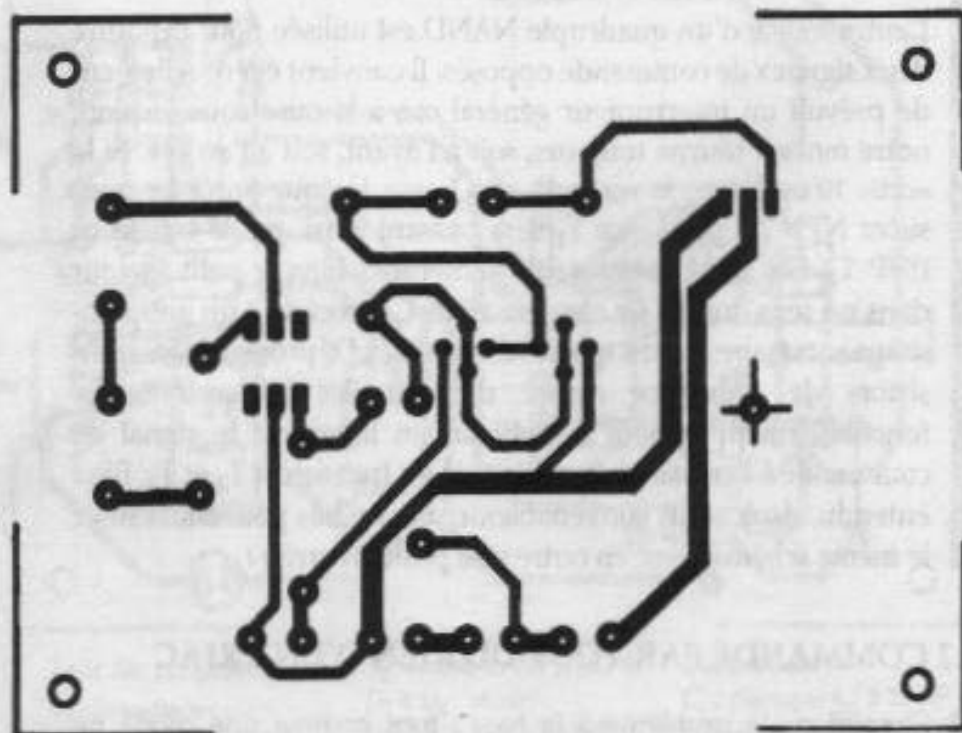


Figure 9.6.
Circuit imprimé
de la commande
par tout ou rien
d'un triac.

Il va donc laisser passer le courant alternatif sans chercher à le redresser. Mieux encore, si l'impulsion de commande est donnée un peu plus tard, c'est-à-dire lorsque l'alternance est déjà entamée, le triac ne conduira que pendant la partie restante de l'alternance. C'est le principe du découpage de phase sur lequel sont construits de nombreux gradateurs ou variateurs de puissance en alternatif. Les triacs sont donc capables de piloter et de doser à volonté la puissance appliquée à une charge raccordée sur le secteur alternatif. Nous ne rentrerons pas dans la partie théorique fort complexe de ce composant très intéressant, mais sachez tout de même qu'il est recommandé d'envoyer des impulsions de commande de même sens que les alternances du courant commandé. Un mot encore, en adoptant la commande de phase sans autre précaution, le triac se comporte comme un véritable

Liste des composants

Semiconducteurs :

IC₁ : opto-coupleur CQY 80
ou TIL 111
T₁ : transistor NPN BC 337
T₂ : transistor PNP BC 327
D₁ : diode commutation 1N 4148
Triac isolé 6 A / 400 V

Résistances 1/4 W :

R₁ : 470 Ω
R₂ : 4,7 k Ω
R₃ : 330 k Ω

Condensateur :

C₁ : chimique horizontal 2,2 μ F/25 V

Divers :

Bloc de 6 bornes vissé-soudé
au pas de 5 mm
Picots à souder
Coupleur pression pour pile 9 V
miniature

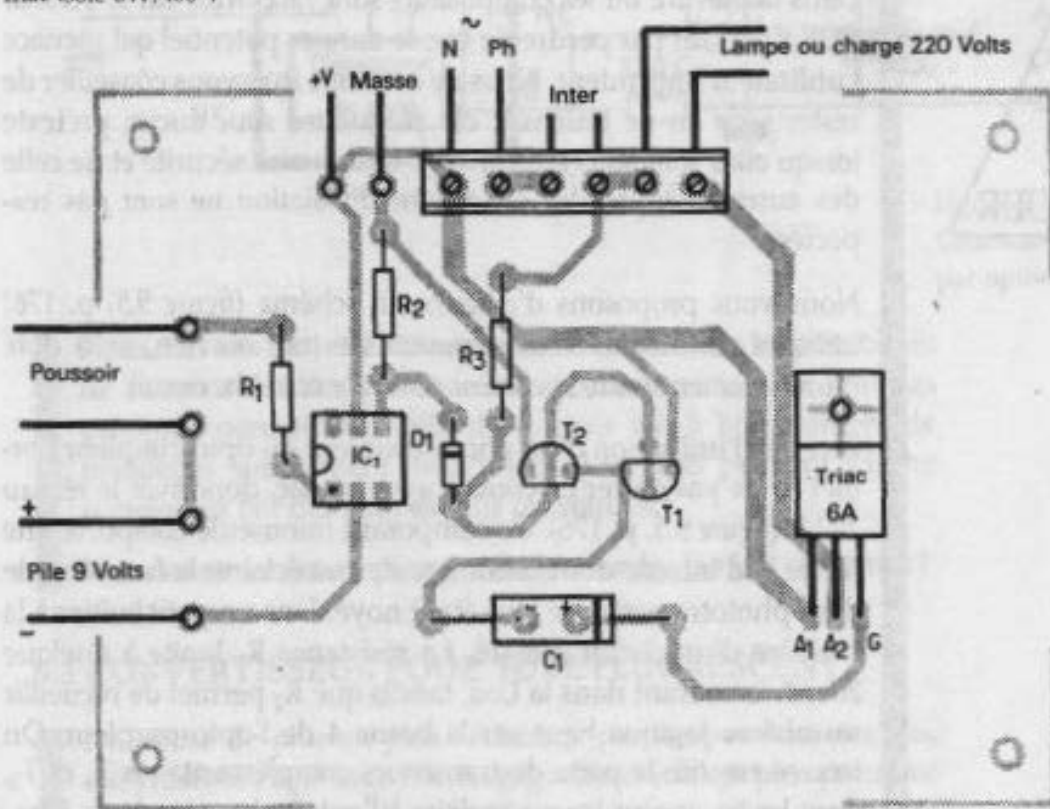
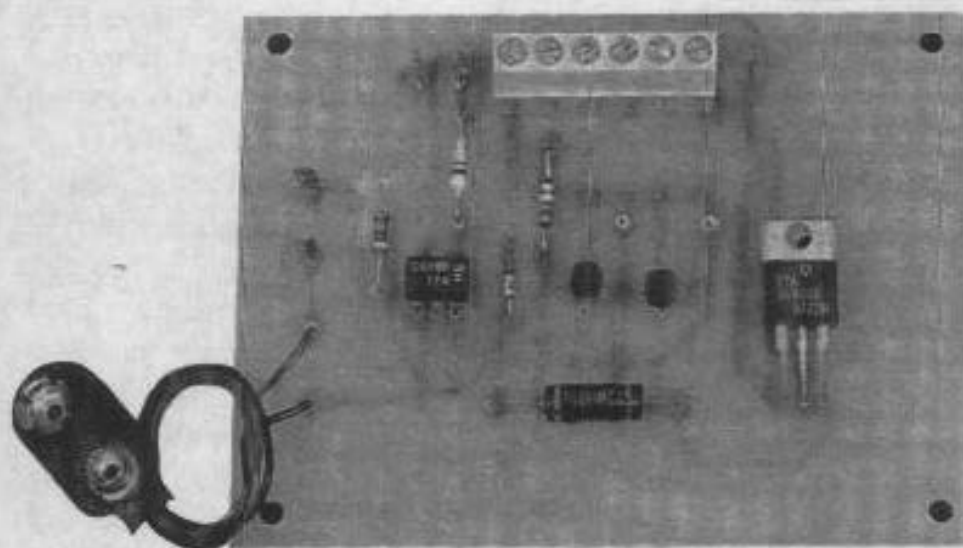


Figure 9.7.
Implantation
des composants.

Commande
par TRIAC.



pollueur du réseau sur lequel il est branché. En effet, il génère bon nombre de parasites qu'il faut atténuer par des filtres adaptés ou en le faisant déclencher lors du passage à zéro de l'alternance. Des circuits spécialisés existent, qui permettent une mise en œuvre aisée et fiable des triacs (*figure 9.5, p. 176*).

Attention !

Dans la mesure où les composants sont raccordés sur le secteur EDE, il ne faut pas perdre de vue le danger potentiel qui menace l'utilisateur imprudent. Nous ne saurions trop vous conseiller de rester sage en ne touchant ces plaquettes sous aucun prétexte lorsqu'elles sont sous tension. Il y va de votre sécurité et de celle des autres si toutes les conditions d'isolation ne sont pas respectées.

Nous vous proposons d'ailleurs un schéma (*figure 9.5, p. 176*) utilisant un triac avec une commande tout ou rien, mais doté d'un isolement entre la commande et le reste du circuit.

En effet, l'utilisation d'un photo-coupleur ou opto-coupleur permet de ne pas entrer en contact avec le triac, donc avec le réseau 220 V (*figure 9.5, p. 176*). Ce composant minuscule comporte une diode Led interne dont la lumière s'en va éclairer la face sensible d'un phototransistor, le tout étant noyé dans un petit boîtier à la manière d'un circuit intégré. La résistance R_1 limite à quelque 20 mA le courant dans la Led, tandis que R_2 permet de recueillir un niveau logique haut sur la borne 4 de l'opto-coupleur. On trouve ensuite la paire de transistors complémentaires T_1 et T_2 , dont les bases réunies sont reliées à l'entrée de commande à travers la diode D_1 . Les impulsions bidirectionnelles sont véhiculées à travers le condensateur chimique C_1 vers la gâchette du triac, lui-même chargé d'alimenter le récepteur alternatif. À l'aide

d'une simple pile de 9 V, en plus du module d'alimentation AI₁, vous pourrez commander une charge importante (prévoir un radiateur sur le triac dans ce cas) en toute sécurité.

Consulter les figures 9.6 et 9.7 (p. 176 et 177) pour la confection de ce module.

Utilisation d'un OPTO-TRIAC (figure 9.8)

L'utilisateur d'un photocoupleur particulier permet de construire un relais statique simple, efficace et sûr. Le circuit MOC 3040 et 3041 contient un détecteur de passage à zéro, une Led d'entrée et une phototriac avec une tension d'isolation de 7 500 V. La résistance R_1 aura 330 Ω pour le MOC 3040 et le double pour le MOC 3041. Ce schéma peut s'adapter sans mal après un étage à ampli-op pour attaquer un triac en toute sécurité.

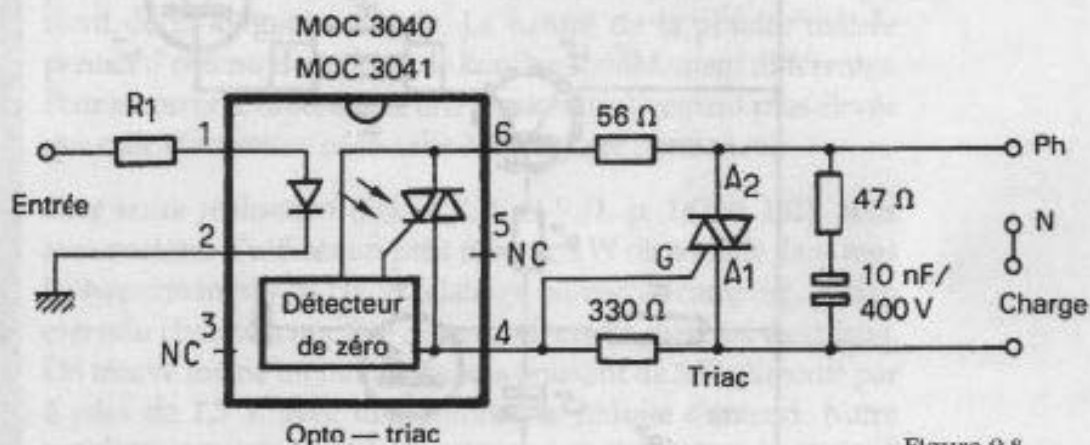


Figure 9.8.
Commande
par opto-triac.

Nous n'avons pas, et de loin, passé en revue toutes les possibilités de commander des puissances importantes, mais les schémas proposés permettront déjà de donner vie à bon nombre de maquettes simplement didactiques. Les Leds peuvent ici être remplacées par des lampes plus puissantes.

Nous venons tout simplement de greffer des jambes sur la tête !

9.3 CONVERTISSEUR POUR TUBE FLUORESCENT

On utilise de plus en plus l'éclairage par lampes fluorescentes, qui présente l'avantage non négligeable d'éclairer plus pour une consommation moindre. Malheureusement, cette source de lumière nécessite une tension élevée, et c'est précisément l'objet du premier module qui reconstitue une tension alternative, mais non sinusoïdale, à peu de chose près égale en amplitude à celle

du réseau EDE. On pourra donc utiliser une source autonome comme des piles ou mieux encore la batterie du véhicule automobile. Le schéma de cette application est donné à la figure 9.9.

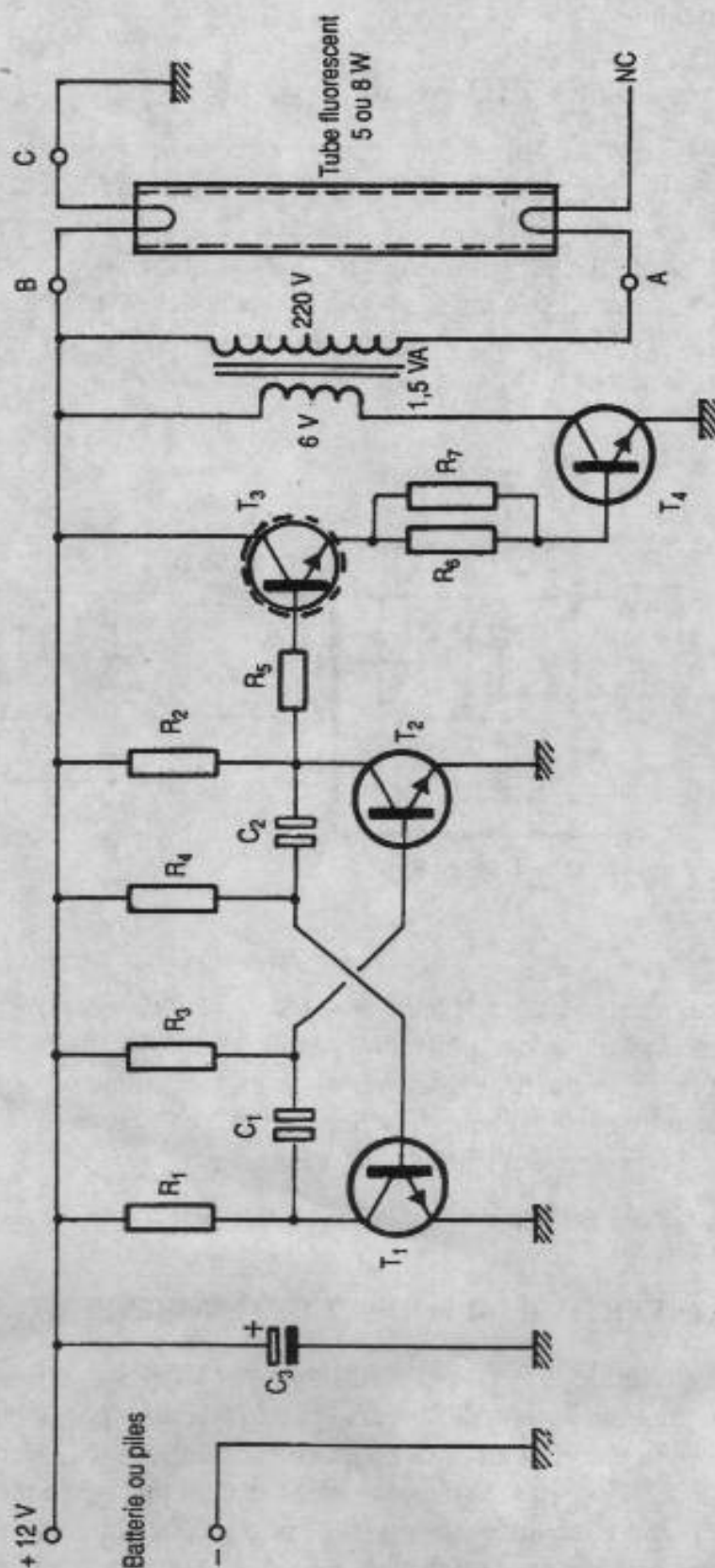


Figure 9.9.
Ondulateur pour
tube fluorescent.

Un appareil d'éclairage par fluorescence (souvent improprement appelé tube au néon !) se compose d'un tube en verre qui forme la lampe elle-même et d'un dispositif externe destiné à provoquer l'allumage automatique et la stabilisation sur la tension alternative du réseau. Ce tube est souvent de forme allongée, mais on trouve à présent dans le commerce des lampes fluorescentes plus compactes et disposant du même culot que les classiques lampes à filament.

Il est en verre fin et contient de la vapeur de mercure à très faible pression. Les extrémités sont munies d'un filament de préchauffage. Lorsque le gaz rare interne (argon) est soumis à une différence de potentiel suffisante, il est ionisé et il s'y produit une décharge électrique d'un bout vers l'autre, qui produit une lumière quasiment invisible puisqu'elle se situe dans le spectre ultraviolet. La poudre fluorescente qui tapisse l'intérieur du tube permet de convertir les UV en lumière visible par simple allongement de la longueur d'onde. La nature de la poudre utilisée permet d'obtenir des teintes de lumière sensiblement différentes. Pour amorcer le tube, il faut une tension relativement plus élevée que celle d'entretien nécessaire à l'allumage permanent.

Pour notre réalisation (figures 9.10 et 9.11, p. 182 et 183), nous avons retenu d'utiliser un petit tube de 8 W disponible dans tous les hypermarchés au rayon éclairage ou encore camping, et bien entendu chez bon nombre de revendeurs de matériel électrique. On trouve même un modèle moins puissant de 5 W alimenté par 4 piles de 1,5 V, avec une autonomie réduite s'entend. Notre problème consiste à produire une tension alternative de quelque 300 V à partir d'une source continue de faible valeur. Ce convertisseur est simplement constitué par un petit oscillateur astable formé autour des transistors NPN T_1 et T_2 . La fréquence d'oscillation dépend en partie de la valeur des condensateurs C_1 et C_2 . On trouve ensuite un étage tampon constitué par le transistor T_3 qui alimente à travers la résistance R_6 la base du gros transistor de puissance T_4 , un classique 2N3055 qu'il n'est pas vraiment utile de munir d'un dissipateur. Ce dernier met sous tension l'enroulement basse tension d'un transformateur 220/6 V, habituellement utilisé à l'envers il est vrai. L'enroulement haute tension produit une tension élevée suffisante pour provoquer l'amorçage du tube. Le filament reste alimenté, mais avec une très faible consommation. À ce sujet, sous une tension de 12 V, nous avons relevé une intensité absorbée d'environ 500 mA pour le tube de 8 W, celui de 5 W n'en absorbant que 350. La tension aux bornes du tube allumé sera de 80 V environ. Les composants resteront tièdes, même après plusieurs heures de fonctionnement... si la source 12 V tient le coup !

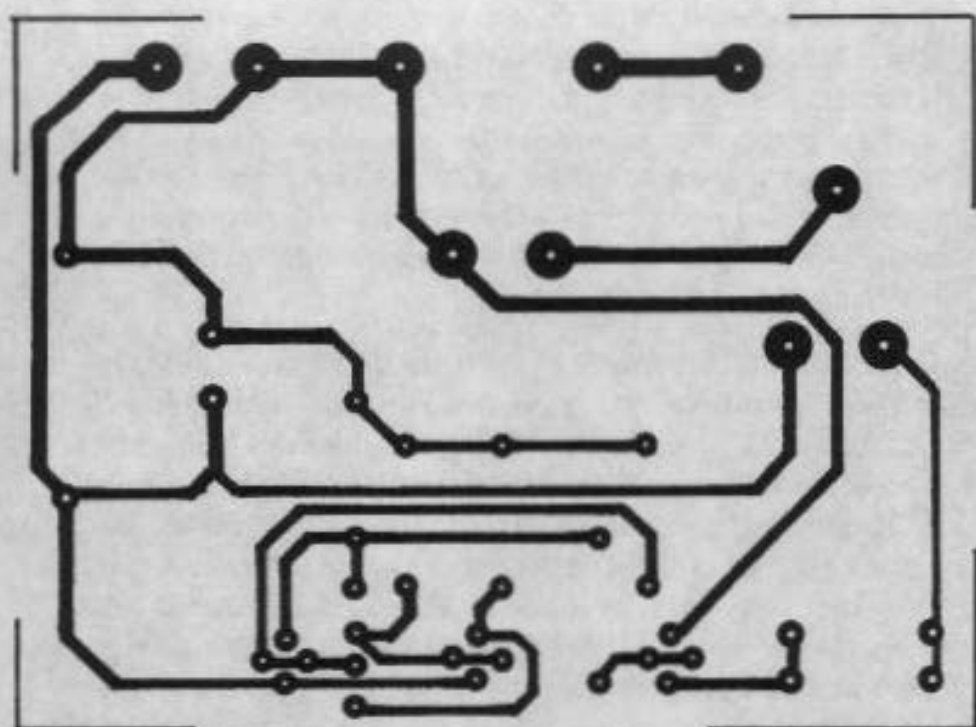


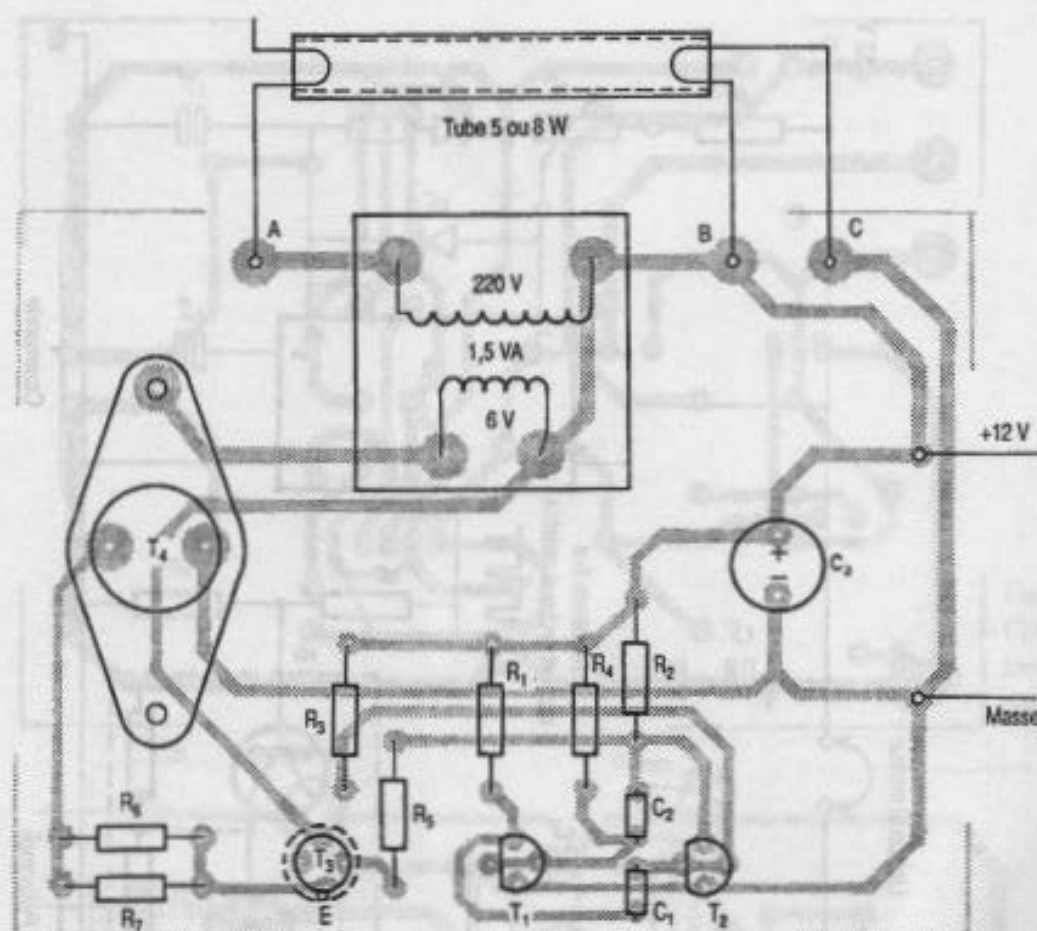
Figure 9.10.
Circuit imprimé
de l'onduleur.

9.4 GRADATEUR POUR MOTEUR À COURANT CONTINU

En considérant l'allure d'un signal carré non symétrique (voir encadré figure 9.12), on peut constater que la période totale T est constituée par un état haut T_1 suivi d'un état bas T_2 . Il est très aisé de produire un signal à fréquence fixe et rapport cyclique à partir d'un classique oscillateur NE 555, assorti de deux diodes D_1 et D_2 pour obtenir des durées de charge et de décharge inégales pour la capacité C_2 . La « moyenne » de tension appliquée sur un récepteur recevant un tel signal est bien entendu proportionnelle au rapport des durées T_1 et T_2 , qui avec les valeurs des composants du schéma peuvent prendre un rapport de 1 à 10 environ. La valeur de la tension efficace disponible vaudra :

$$U_{eff} = U_{max} \sqrt{\frac{T_1}{T}}$$

Ainsi, avec un rapport cyclique de 1/3, on obtient une valeur efficace de 0,58 fois la valeur maximale de la tension d'alimentation. Le potentiomètre P_2 pourra faire varier le rapport cyclique de 1/10 à 10/10; ce signal est restitué sur la borne 3 de IC_1 , et sera appliqué sur l'étage Darlington constitué par les transistors T_1 et T_2 . Suivant le moteur utilisé, il sera peut-être nécessaire de jouer



Liste des composants

Semiconducteurs :

T₁, T₂ : transistor NPN BC 337

T₃ : transistor NPN 2N 1711 - dissipateur

T₄ : transistor de puissance NPN 2N 3055

Résistances 1/4 W :

R₁, R₂ : 560 Ω

R₃, R₄ : 10 kΩ

R₅ : 1,5 kΩ

R₆, R₇ : 56 Ω

Condensateurs :

C₁, C₂ : plastique 220 nF

C₃ : chimique vertical 2 200 μF/25 V

Divers :

Transformateur à picots 220/6 V, 1,5 VA ou plus

Tube fluorescent miniature 5 ou 8 W

Picots à souder

Fils souples

Figure 9.11.
Implantation
des composants.

sur la valeur de l'ajustable P₁ pour obtenir la saturation des semi-conducteurs. Signalons encore que cet étage peut être avantageusement remplacé par un ensemble Darlington intégré portant la référence TIP 141. La diode D₄ aux bornes du moteur est appelée diode de « roue libre » et permet d'écouler les surtensions par trop dangereuses à l'ouverture d'un circuit selfique tel que l'enroulement du moteur. La résistance R₆ de faible valeur et forte puissance sera déterminée en fonction des caractéristiques du moteur utilisé et ce, en relation avec la tension d'alimentation. À ce sujet, il est possible d'opter pour une tension unique de la section de puissance et de l'étage de commande. Dans ce cas, veuillez réaliser la liaison prévue à cet effet sur la plaquette (figures 9.13 et 9.14).

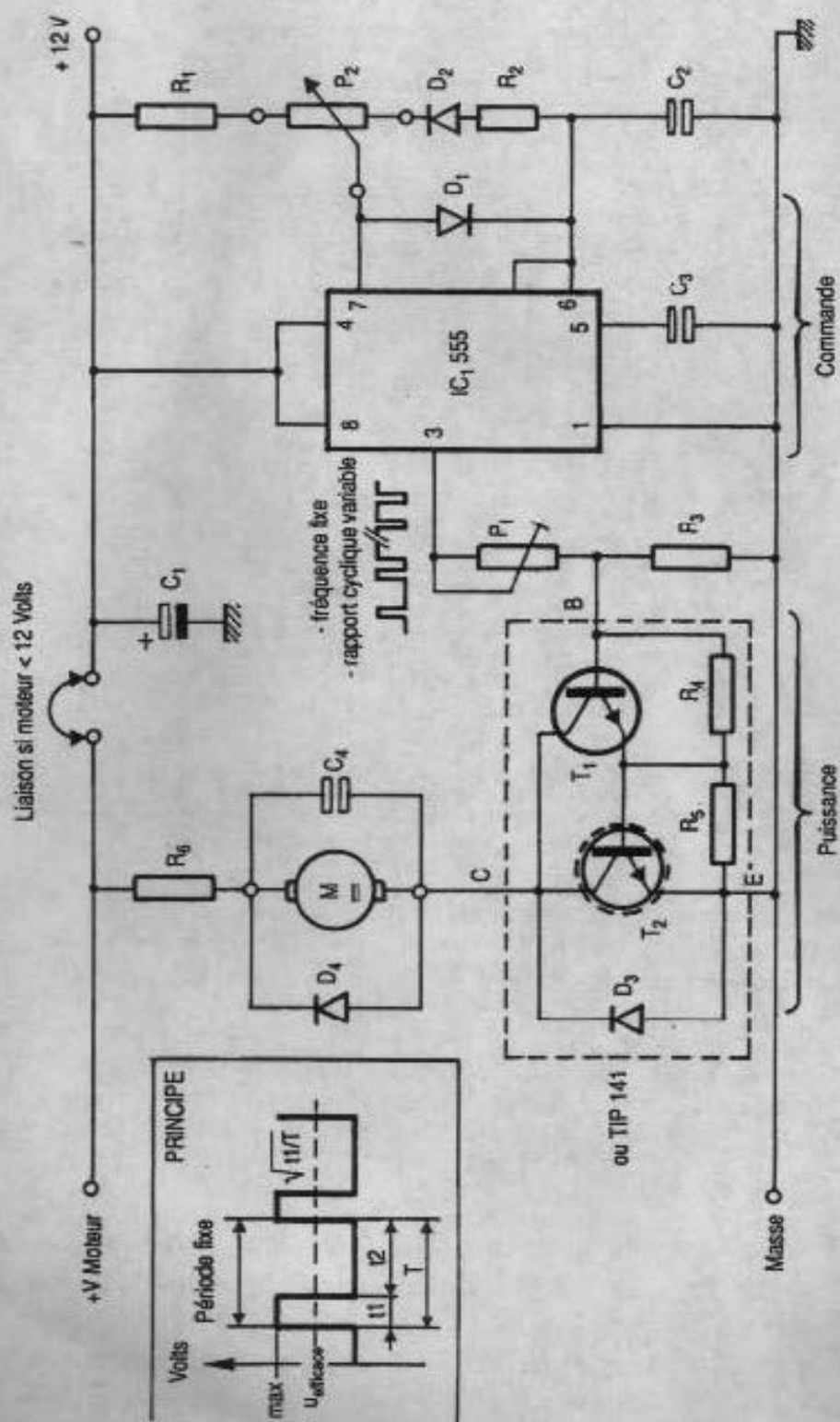


Figure 9.12.
Hacheur
pour moteur CC.

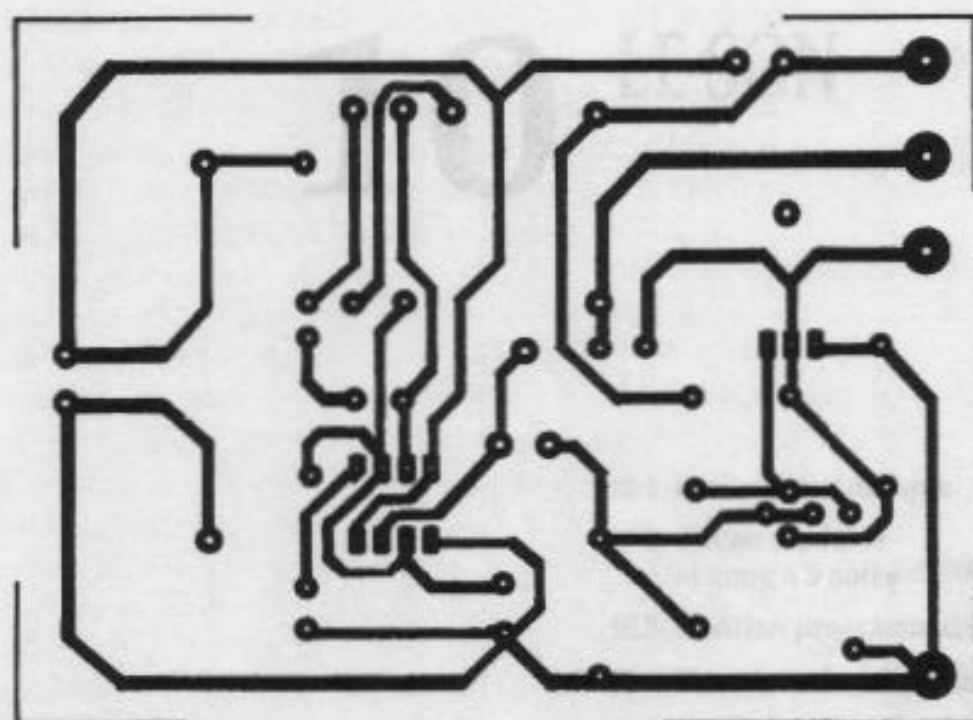
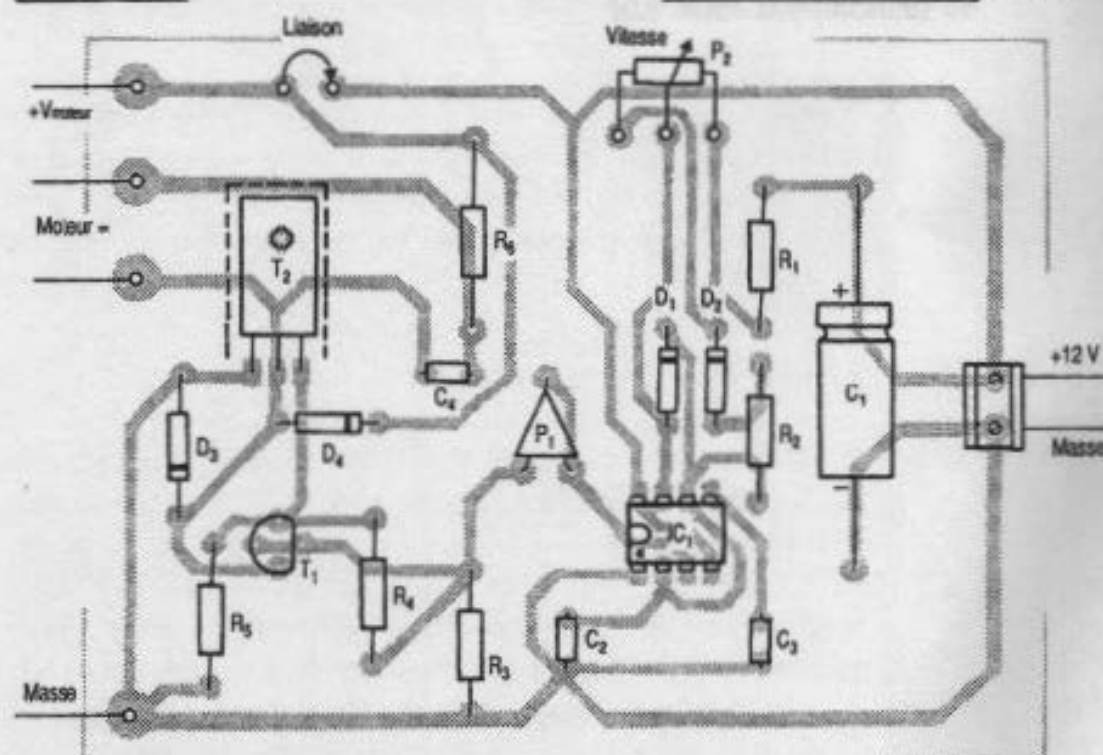


Figure 9.13.
Circuit
imprimé
du gradateur.



Liste des composants

Semiconducteurs :

IC₁ : oscillateur NE 555 boîtier DIL 8

T₁ : transistor NPN BC 337

T₂ : transistor de puissance BD 135

+ dissipateur

D₁, D₂ : diodes commutation 1N 4148

D₃, D₄ : diodes redressement 1N 4004

Résistances 1/4 W :

R₁, R₂ : 1 k Ω

R₃ : 10 k Ω

R₄, R₅ : 820 Ω

R₆ : 33 Ω (si possible 2 W)

P₁ : ajustable horizontal 4,7 k Ω

P₂ : potentiomètre 10 k Ω + bouton

Condensateurs :

C₁ : chimique horizontal

1 000 μ F/25 V

C₂ : plastique 100 nF

C₃ : plastique 22 nF

C₄ : plastique 4,7 nF

Figure 9.14.

Implantation des composants.

Divers :

Support à souder 8 broches

Moteur à courant continu

(à aimant permanent)

Bloc de 2 bornes vissé-

soudé pas de 5 mm

Picots à souder

10 LE SON

10.1 Grillon électronique	188
10.2 Sirène modulée et gong à 3 notes	189
10.3 Carillon programmable	194
10.4 Décodeur de fréquence	194
10.5 Mini-amplificateur BF	197

Ce dernier chapitre sera plutôt du genre récréatif, car il consiste à passer en revue diverses manières de produire un son (ou bruit) plus ou moins agréable, et à le rendre audible grâce à des composants particuliers comme le résonateur piézo ou le célèbre haut-parleur. Il est incontestable que l'ouïe est avec la vue un des sens les plus sollicités en électronique. Il n'y a qu'à penser aux multiples appareils HI-FI disponibles de nos jours, comme le lecteur de disque, de compact ou de cassette, le tuner, l'omniprésent walkman et l'incontournable téléviseur présent dans tous les foyers. L'oreille humaine perçoit les vibrations de l'air à la seule condition qu'elles ne soient ni trop lentes ni trop rapides. On situe habituellement les limites de l'audition humaine entre 25 Hz et 15 kHz environ, et encore ces valeurs sont-elles variables entre les individus. Certains animaux, comme le chien par exemple, font mieux et sont capables de percevoir les ultrasons, plus élevés. Vous avez déjà entendu parler du sifflet à ultrasons, du « sonar » des dauphins et des chauves-souris. Il ne suffit pas qu'un son soit situé dans la bonne fréquence, il faut encore qu'il soit suffisamment puissant pour être perçu.

Nous savons déjà construire un oscillateur astable et régler sa fréquence à l'aide des éléments RC. Il faut encore actionner un haut-parleur : le signal variable fera vibrer l'air ambiant à l'aide de la membrane, solidaire d'une bobine placée dans un champ magnétique.

10.1 GRILLON ÉLECTRONIQUE

Notre premier montage (*figure 10.1*) fera usage de quatre oscillateurs distincts pour imiter d'une manière réaliste le chant saccadé caractéristique du grillon de nos campagnes. L'astable 1, ainsi que les autres, utilise la porte NAND à trigger du circuit C/MOS 4093; il suffit de lui adjoindre l'ajustable P_3 et le condensateur C_3 pour générer un signal carré d'environ 2 500 Hz. Cette fréquence sera hachée ensuite par une autre fréquence plus basse d'environ 25 Hz. Le résultat de ce mélange est disponible à la borne 3 d'une simple porte NAND. Ce signal composite déjà agréable devra encore être modulé plus lentement par une troisième bascule astable, d'une fréquence beaucoup plus lente, soit environ 0,5 Hz. On dispose à la sortie 4 d'une autre porte NAND d'un son ressemblant à s'y méprendre à celui de notre insecte. Mais il est notoire qu'il ne doit pas chanter sans arrêt et que ses trilles sont entrecoupés de longs silences. Il va donc falloir réaliser un signal ultra-lent pour approcher un peu plus encore le cri de notre grillon. La dernière porte NAND, montée en étage inverseur,

servira à alimenter les deux bornes du résonateur piézo branché à ses extrémités. Une simple pile de 9 V peut faire l'affaire si vous souhaitez un minimum d'autonomie pour cette maquette.

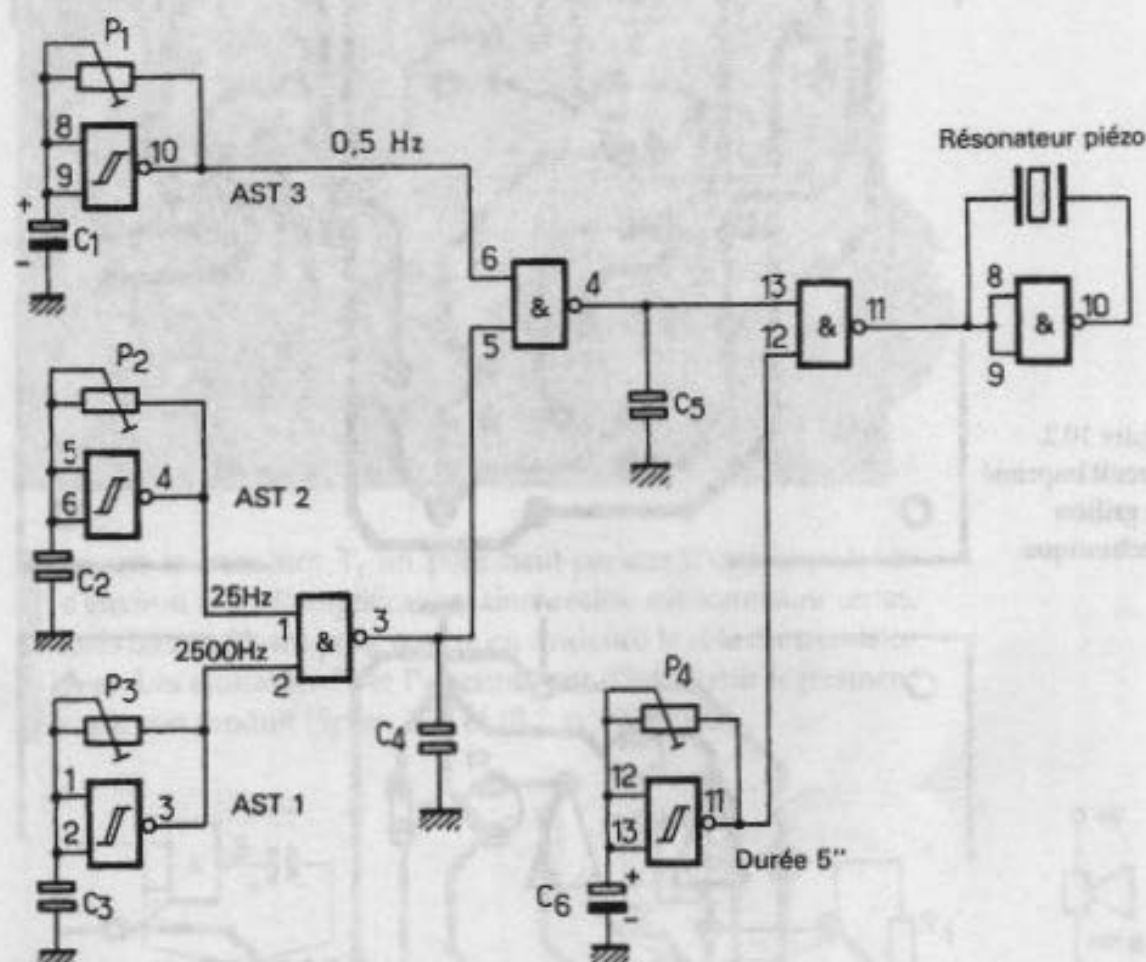


Figure 10.1.
Grillon électronique.

Vous trouverez tous les détails pour la réalisation aux figures 10.2 et 10.3.

10.2 SIRÈNE MODULÉE ET GONG À 3 NOTES

Sirène modulée (figure 10.4, p. 191)

À l'aide seulement d'un quadruple circuit NAND 4011, il est possible de construire une mini-sirène, dont le son caractéristique vous enchantera. L'oscillateur 1, d'une fréquence très lente, vient produire à l'aide de l'étage R_2 et C_3 une tension continue variable à très faible allure, qu'il suffit d'appliquer à un second multivibrateur astable pour finalement récupérer, à travers la résistance R_5 , un signal modulé, suffisamment puissant pour actionner à

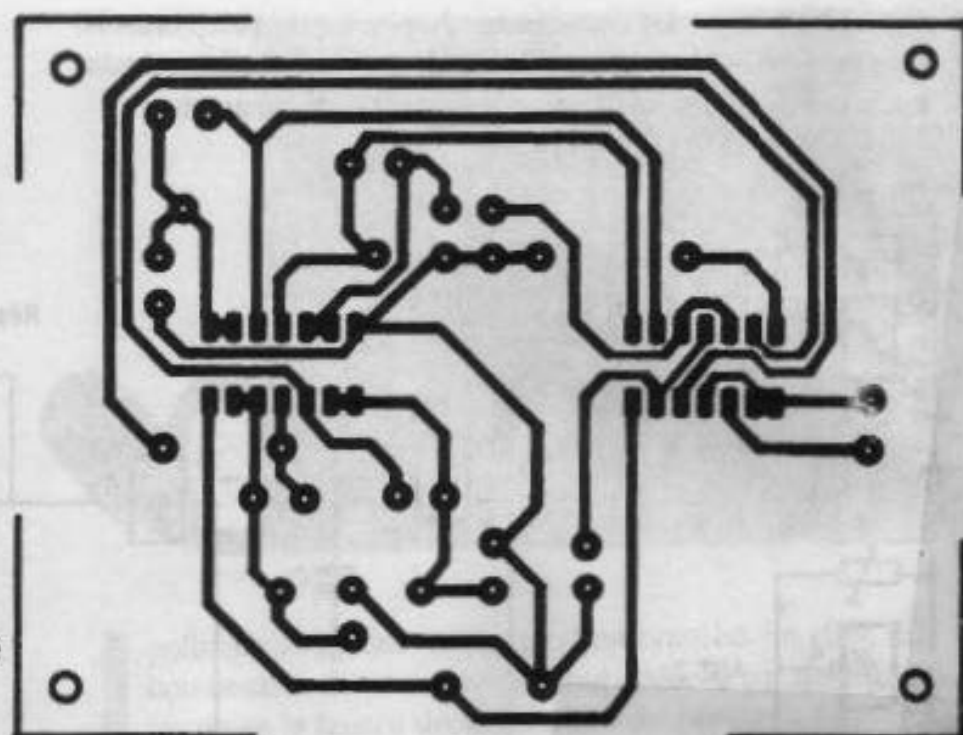


Figure 10.2.
Circuit imprimé
du grillon
électronique.

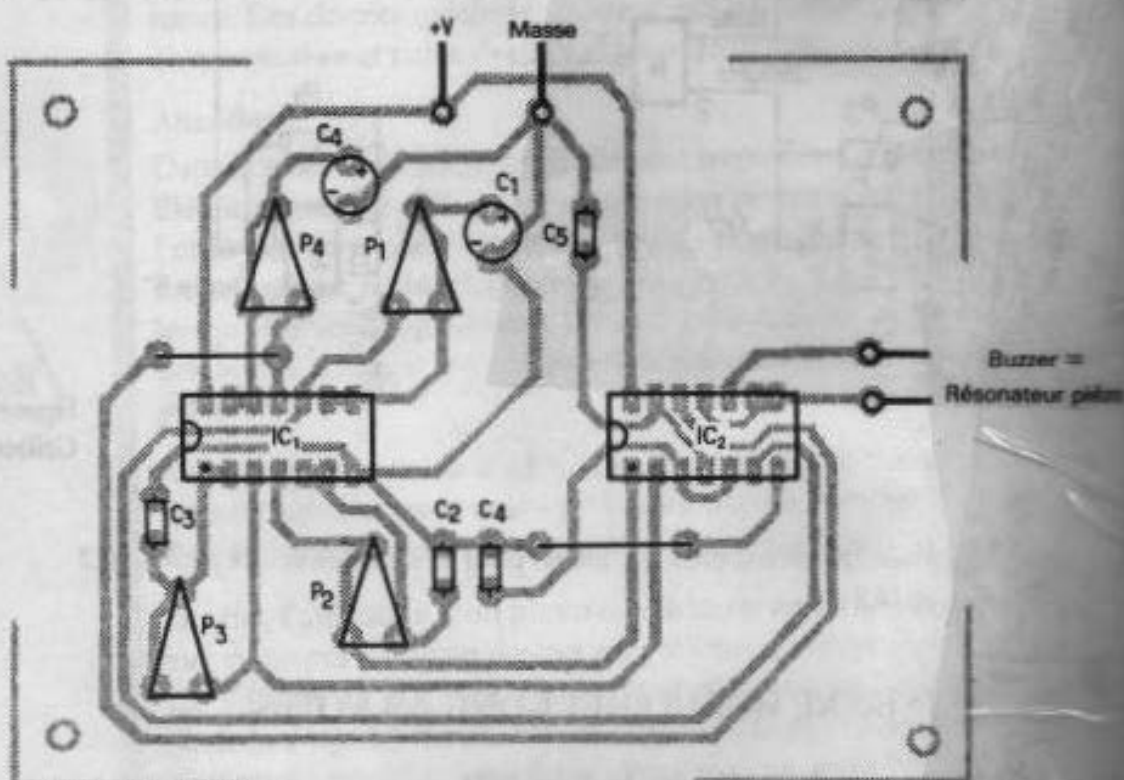


Figure 10.3.
Implantation
des composants.

Liste des composants

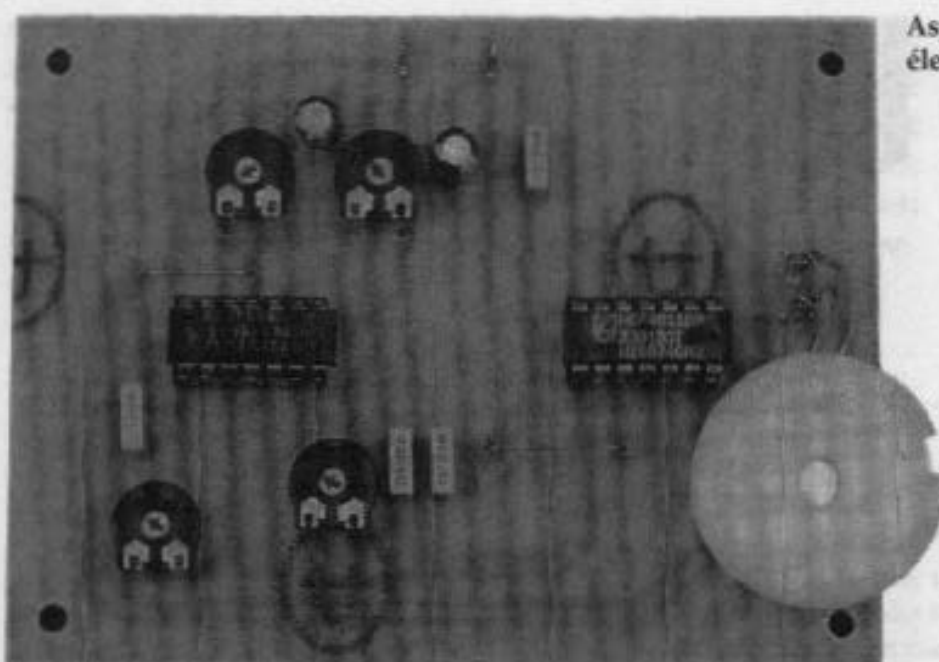
Semiconducteurs :
IC₁ : quadruple trigger
NAND C/MOS 4093
IC₂ : quadruple NAND
C/MOS 4011

Résistances :
P₁, P₂, P₃, P₄ : ajustable
horizontal 470 kΩ

Condensateurs :
C₁ : chimique vertical
2,2 μF/25 V
C₂ : plastique 100 nF
C₃ : plastique 1 nF

C₄, C₅ : plastique 4,7 nF
C₆ : chimique vertical
10 μF/25 V

Divers :
2 supports à souder
14 broches
Résonateur piézo
Picots à souder
Fil souple



Aspect du grillon électronique terminé.

travers le transistor T_1 un petit haut-parleur d'une impédance d'environ $8\ \Omega$. L'amplificateur ainsi réalisé est sommaire certes, mais bien suffisant pour mettre en évidence le rôle du transistor final. Les ajustables P_1 et P_2 permettent d'intervenir légèrement sur le son produit (figures 10.6 et 10.7, p. 192 et 193).

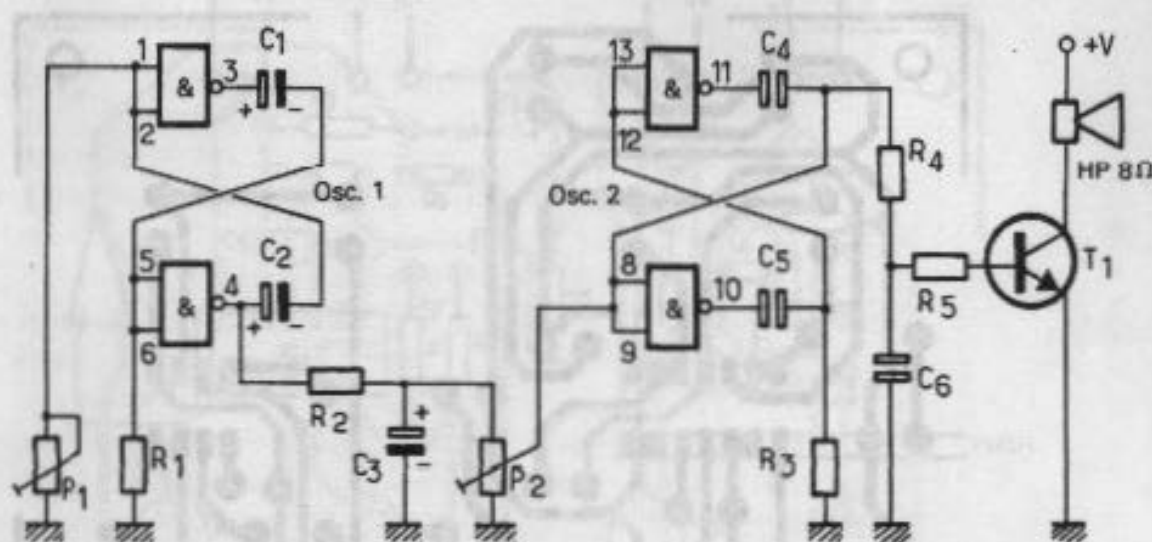


Figure 10.4.
Sirène modulée.

Gong à 3 notes (figure 10.5)

À l'aide d'un petit circuit intégré spécialisé produit par Siemens, le SAB 600, il est possible de créer une séquence complexe de 3 notes. À partir d'une fréquence d'horloge établie par des composants externes (R_6 et C_9), on crée la première note de

660 Hz, puis une seconde à 550 Hz et une dernière à 440 Hz. Le circuit se charge de la division d'une manière digitale. Sachez encore que les notes sont atténuées en amplitude par un dispositif à action progressive jusqu'à l'extinction totale.

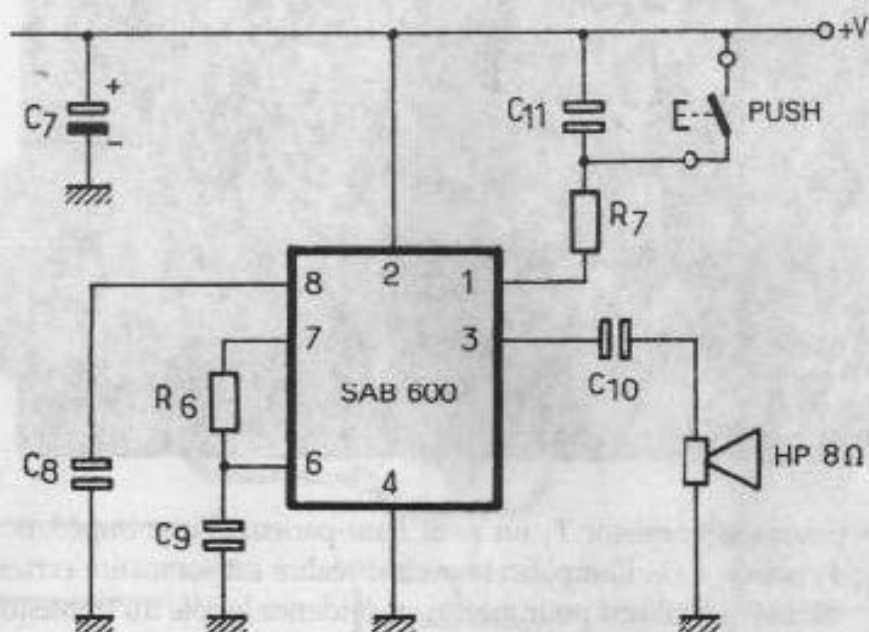


Figure 10.5.
Gong à 3 notes.

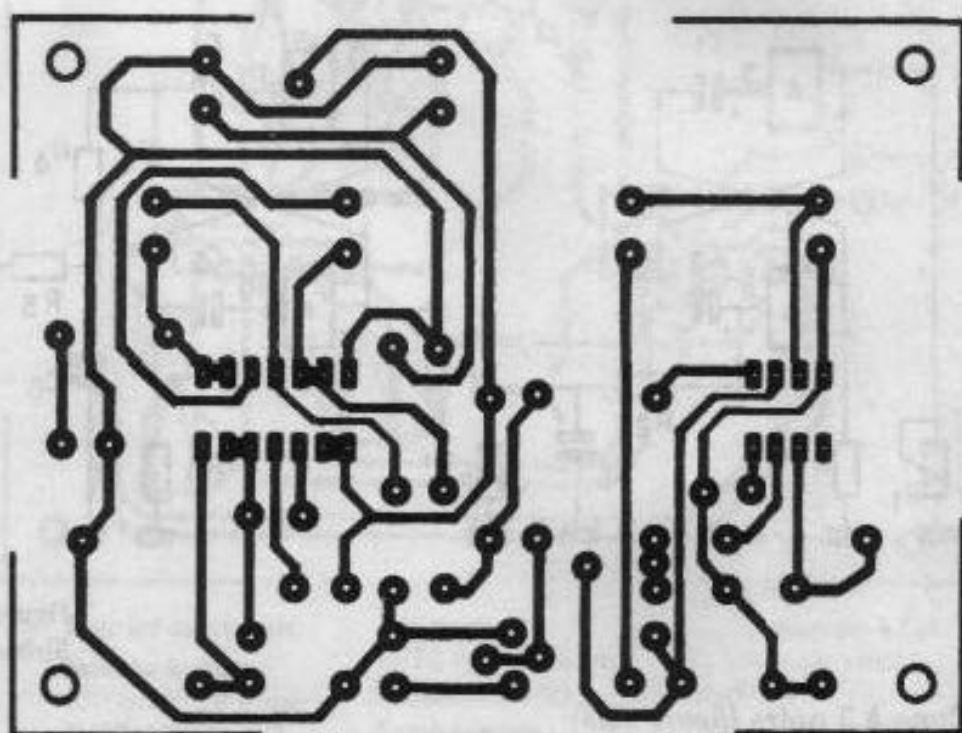


Figure 10.6.
Circuit imprimé
du module
(sirène modulée
et gong à 3 notes).

Il s'agit de 3 convertisseurs D/A (digital vers analogique) qui assurent les décroissances successives. Un ampli de puissance intégré peut directement alimenter un petit haut-parleur à travers le condensateur C_{10} . Pour démarrer la séquence, il suffit d'une action brève sur le poussoir prévu à cet effet. Tous les composants de ce module figurent sur la même plaquette que la sirène modulée.

Liste des composants

Semiconducteurs :

IC₁ : quadruple NAND CMOS 4011

T₁ : transistor NPN BC 337

IC₂ : générateur de notes Siemens SAB 600

Résistances 1/4 W :

R₁ : 4,7 kΩ

R₂, R₃ : 10 kΩ

R₄ : 22 kΩ

R₅ : 2,7 kΩ

R₆ : 33 kΩ

R₇ : 100 kΩ

P₁, P₂ : ajustable horizontal 4,7 kΩ

Condensateurs :

C₁, C₂ : chimique vertical 470 μF/25 V

C₃ : chimique vertical 220 μF/25 V

C₄, C₅ : plastique 220 nF

C₆, C₈ : plastique 100 nF

C₇, C₁₀ : chimique vertical 100 μF/25 V

C₉ : plastique 4,7 nF

C₁₁ : plastique 330 nF

Divers :

Support à souder 14 broches

Support à souder 8 broches

2 haut-parleurs miniatures

8 Ω

Picots à souder

Fil souple

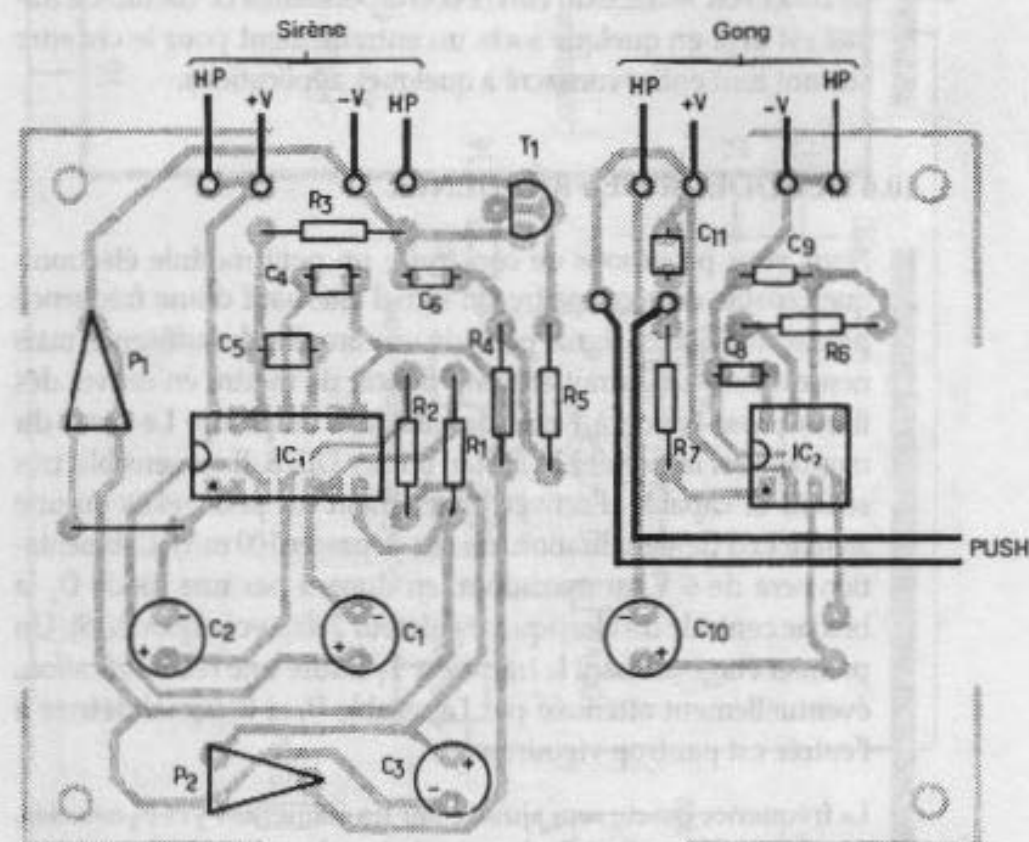


Figure 10.7.
Implantation
des composants.

10.3 CARILLON PROGRAMMABLE (figure 10.8)

Nous vous proposons pour en terminer avec ce chapitre de réaliser un petit carillon à l'aide d'un étage VCO (*Voltage Controlled Oscillator*). Cet élément génère une fréquence directement proportionnelle à une tension continue de commande, à partir d'une fréquence de base dépendant de composants externes. Nous utiliserons pour ce faire une partie du circuit C/MOS 4046. Le signal de sortie est disponible sur la broche 4 du circuit VCO. Entre les bornes 11 et 12, on trouve les éléments variables de la fréquence de base, dépendant encore de la valeur du condensateur placé entre les bornes 6 et 7. La tension de commande est injectée sur la borne 9 tandis que l'entrée 5, lorsqu'elle est haute, bloque le VCO et servira ici à créer une interruption dans la mélodie. Pour obtenir une tension variable, on fait usage d'un simple compteur décimal C/MOS 4017 qui, à travers des résistances ajustables, forme un pont diviseur variable avec la résistance fixe de 47 k Ω . Un simple oscillateur astable commandé sera chargé de faire avancer le compteur. Le départ de la mélodie de 2 \times 4 notes est donné par une action sur le poussoir. Nous vous laissons le soin de concevoir le tracé du cuivre correspondant à ce circuit. Ce travail est déjà en quelque sorte un entraînement pour le chapitre suivant tout entier consacré à quelques applications.

10.4 DÉCODEUR DE FRÉQUENCE

Nous vous proposons de construire un petit module électronique capable de reconnaître un signal alternatif d'une fréquence précise, lorsque ce signal possède une amplitude suffisante, mais non excessive. Il aurait été trop délicat de mettre en œuvre des filtres passe-bande à l'aide de quelques ampli-cp. Le cœur du montage est le circuit LM 567 en boîtier DIL 8. Il est sensible, très sélectif et capable d'activer directement un petit relais ou une simple Led de signalisation (ne pas dépasser 100 mA). L'alimentation sera de 6 V au maximum, en dopant par une diode D₁ la broche centrale du classique régulateur 7805 (voir figure 10.9). Un premier étage utilisant le transistor T₁ assure une réamplification, éventuellement atténuée par l'ajustable P₁ si le signal détecté à l'entrée est par trop vigoureux.

La fréquence exacte sera ajustée par les éléments P₂ et P₃ associés, fréquence dépendant également de la valeur précise du condensateur C₇. Le montage est très sélectif avec une basse tension d'entrée de l'ordre de 50 mV. La broche 8 attaque directement un relais 6 V, mais contrairement à notre schéma, il est toujours possible de séparer la tension positive d'alimentation du relais de

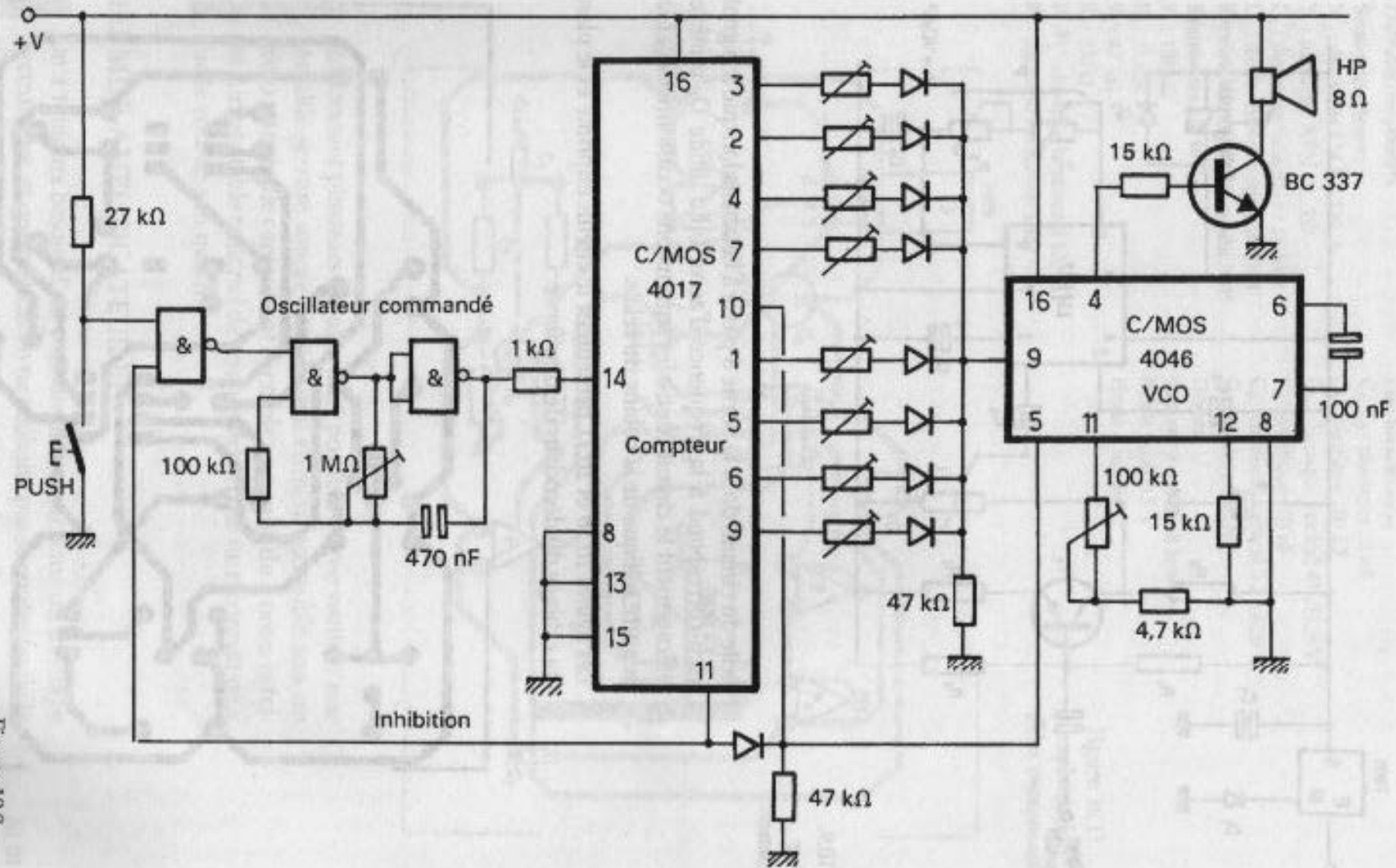


Figure 10.8.
Carillon
programmable.

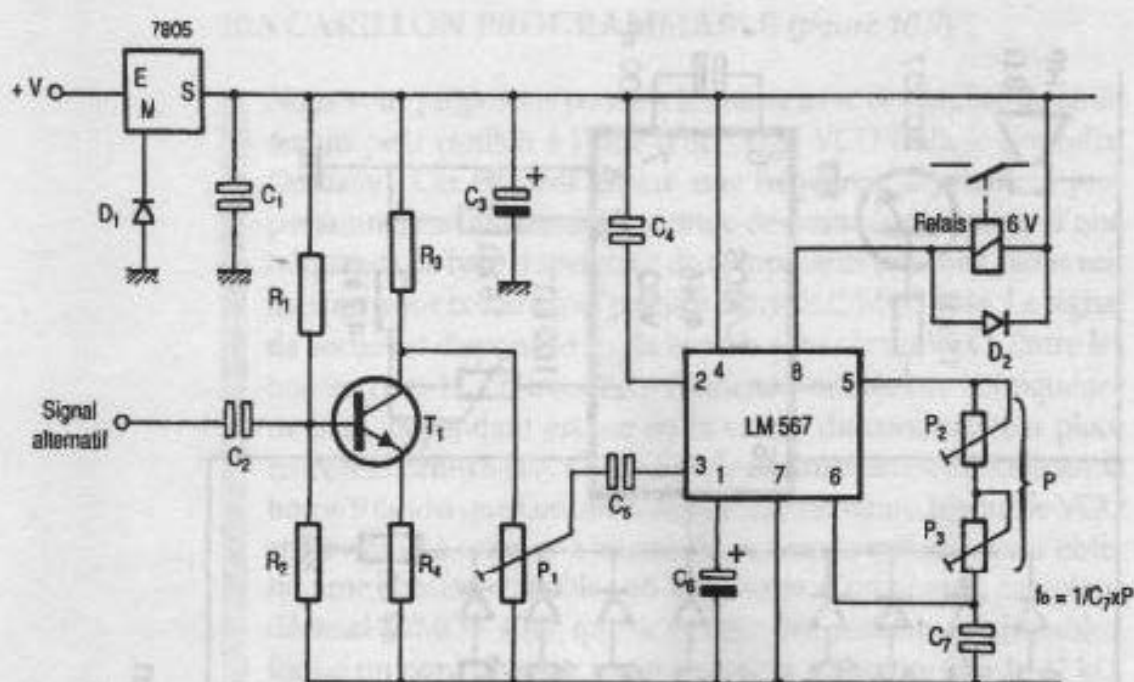


Figure 10.9.
Décodeur
de fréquence.

celle du circuit, dont la borne 8 passe à l'état bas lorsque le signal reçu correspond à la fréquence d'accord. La diode D_1 protège efficacement le circuit contre les surtensions occasionnées par la rupture selfique de la bobine du relais.

Les figures 10.10 et 10.11 présentent le circuit imprimé et le plan du câblage du décodeur de fréquence.

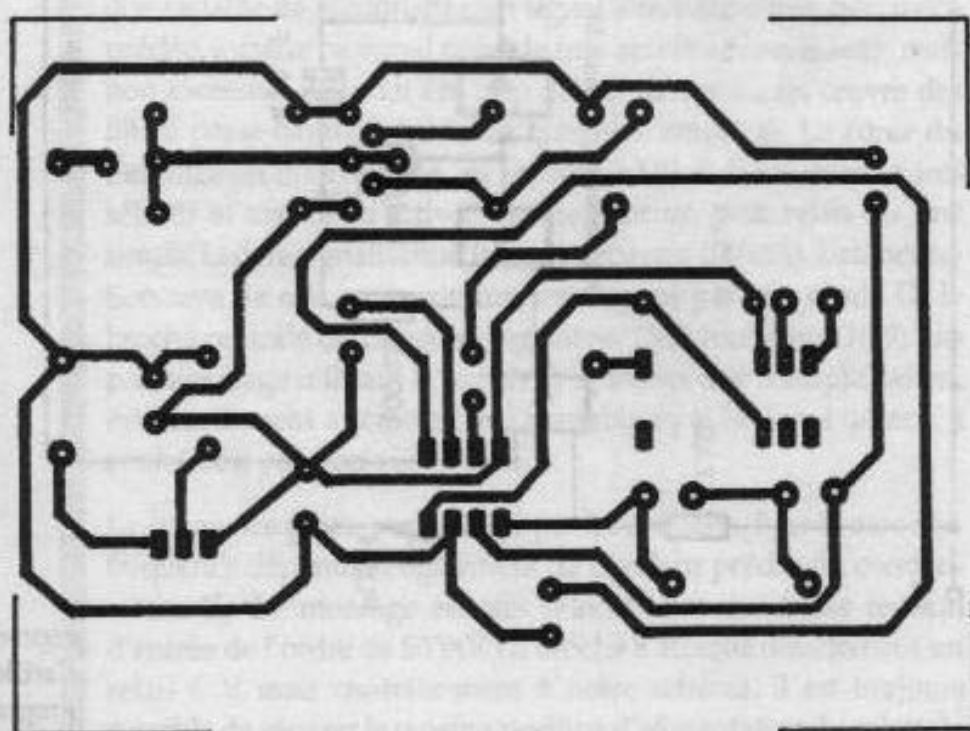


Figure 10.10.
Circuit
imprimé
du décodeur.

*Liste des composants***Semiconducteurs :**

IC₁ : décodeur LM 567 DIL 8
 T₁ : transistor NPN BC 337
 D₁ : diodes redressement 1N4001
 D₂ : diodes commutation 1N4148
 Régulateur intégré 5 V positif 7805

Résistances 1/4 W :

R₁ : 100 kΩ
 R₂ : 15 kΩ
 R₃ : 4,7 kΩ
 R₄ : 150 Ω
 P₁, P₂ : ajustable horizontal 100 kΩ
 P₃ : ajustable horizontal 1 kΩ

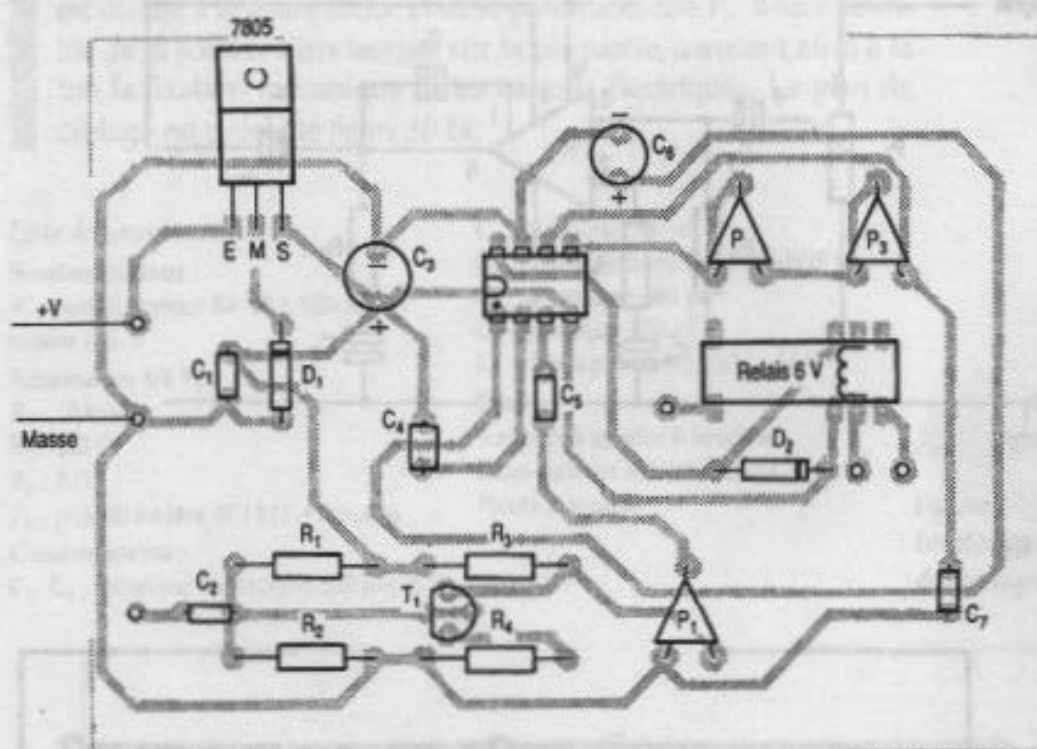
Condensateurs :

C₁, C₅ : plastique 22 nF
 C₂ : plastique 100 nF
 C₃ : chimique vertical 47 μF/25 V
 C₄ : plastique 680 nF
 C₆ : chimique vertical 2,2 μF/25 V
 C₇ : plastique 10 nF

Divers :

Support à souder 8 broches
 Relais bobine 6 V
 Picots à souder

Figure 10.11.
 Implantation
 des composants.



En associant plusieurs circuits, il est possible de reconstituer une véritable serrure sonore dont le seul élément accessible sera un micro minuscule captant par exemple une suite de 3 notes précises. Un véritable matériel de science fiction qui ne reconnaît plus que la voix de son maître !

10.5 MINI-AMPLIFICATEUR BF

On a toujours besoin d'un petit amplificateur dans un montage électronique, et quelquefois on ne souhaite pas se contenter de la classique paire de transistors complémentaires. Il existe sur le marché une multitude de circuits « prêts à l'emploi » et parmi ceux-ci nous avons retenu le modèle TBA 820 de SGS. Il s'agit

d'un petit circuit intégré monolithique utilisé en amplificateur audio, dans un boîtier DIL à 8 broches. Il fonctionne sous une plage de tension s'étendant de 3 à 16 V au maximum. Il ne nécessite que très peu de composants externes et sa puissance atteint

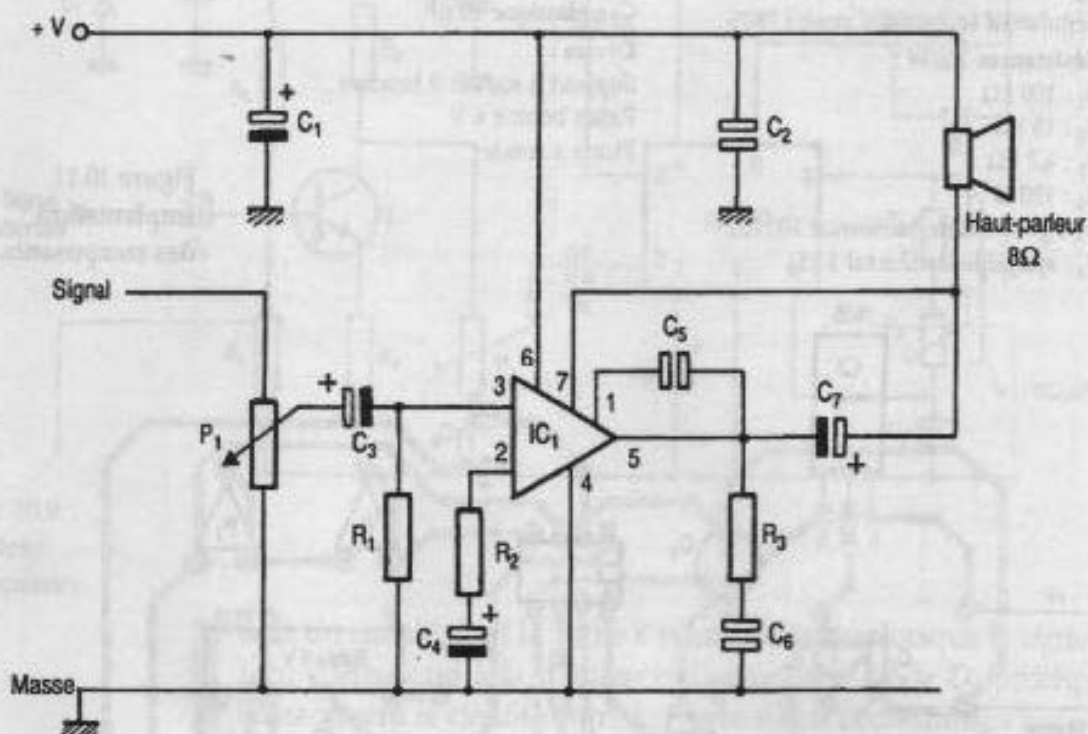


Figure 10.12.
Mini-ampli BE

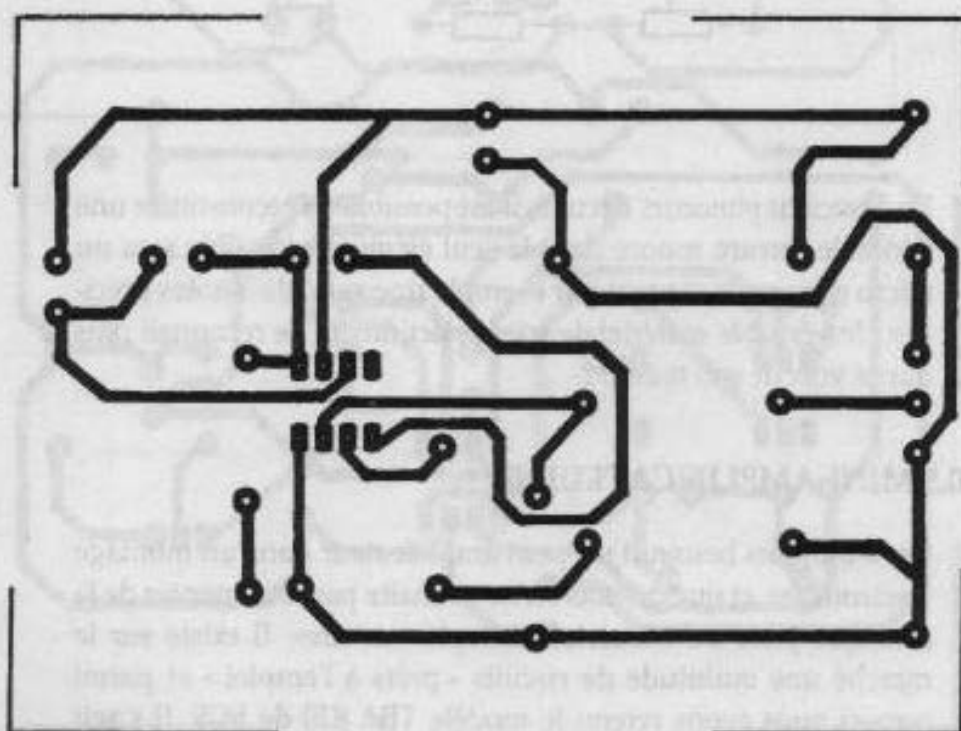


Figure 10.13.
Circuit
imprimé
de l'ampli BE

modestement 2 W sous une tension de 12 V, avec un haut-parleur d'une impédance de 8 Ω . Le schéma complet du circuit est donné à la figure 10.12; le signal à amplifier est prélevé sur le curseur du potentiomètre P_1 , faisant ici office de réglage du volume. Il sera acheminé à travers le condensateur C_3 sur l'entrée 3 du circuit amplificateur. Le gain constant de cet étage unique dépend principalement des composants R_2 et C_4 . La réponse en fréquence s'étend de 25 Hz à près de 20 000 Hz environ.

La capacité C_5 assure une compensation en fréquence. Le signal amplifié est dirigé vers le haut-parleur à travers la capacité C_7 , chargée de bloquer la composante continue. Le tracé du cuivre est donné à la figure 10.13. Pour le potentiomètre P_1 , il sera possible de le souder directement sur la plaquette, assurant ainsi à la fois la fixation mécanique et les liaisons électriques. Le plan de câblage est présenté figure 10.14.

Liste des composants

Semiconducteur :

IC₁ : amplificateur BF TBA 820 M
boîtier DIL 8

Résistances 1/4 W :

R_1 : 10 k Ω

R_2 : 120 Ω

R_3 : 1 Ω

P_1 : potentiomètre 470 k Ω + bouton

Condensateurs :

C_1, C_4 : chimique horizontal 100 μ F/25 V

C_2 : plastique 100 nF

C_3 : chimique horizontal 47 μ F/25 V

C_5 : céramique 680 pF

C_6 : plastique 220 nF

C_7 : chimique vertical 470 μ F/25 V

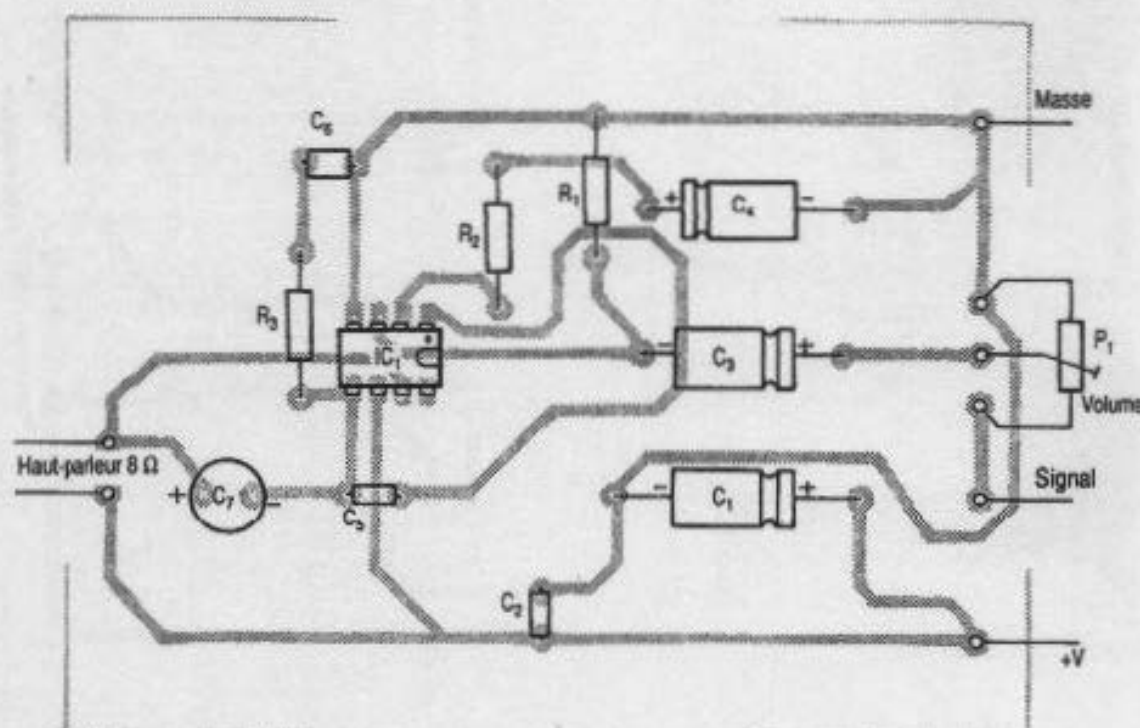
Divers :

Support à souder 8 broches

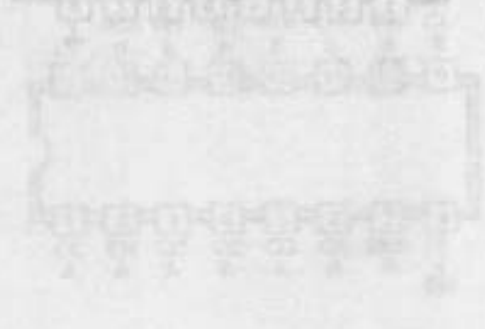
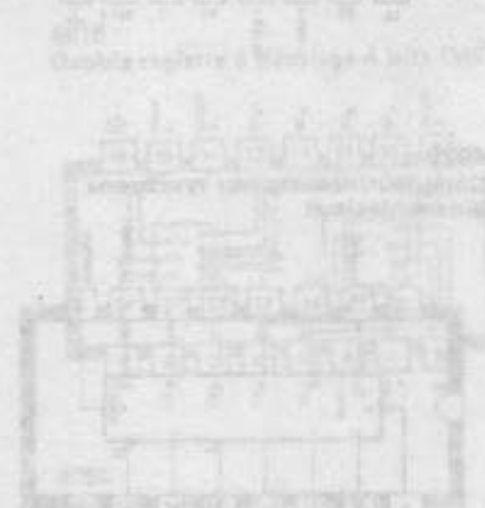
Haut-parleur miniature 8 Ω

Picots à souder

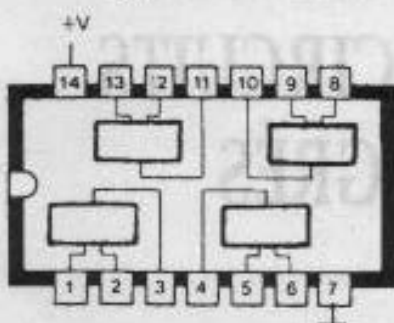
Figure 10.14.
Implantation
des composants.



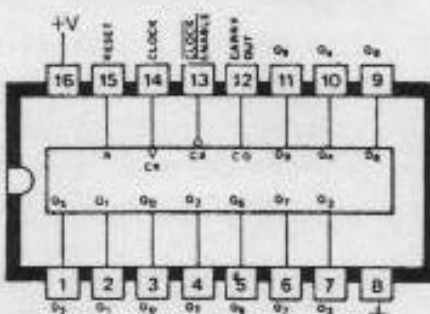
BROCHAGES DES CIRCUITS INTÉGRÉS



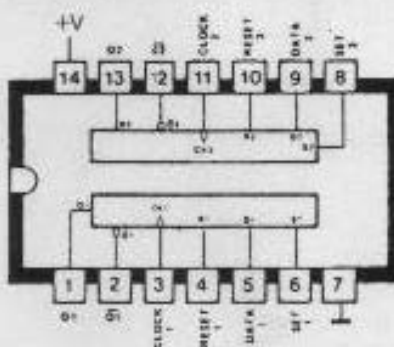
4001, 4011, 4030, 4071, 4077, 4081
Fonctions logiques à 2 entrées (CMOS)



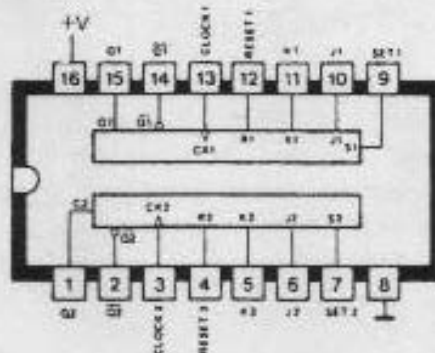
4017
Compteur décimal



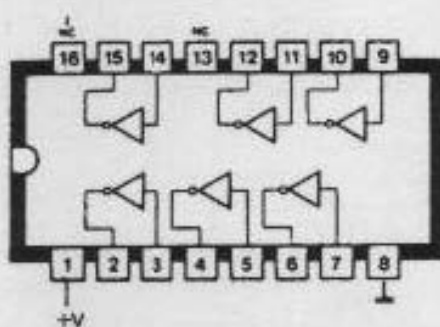
4013
Double porte bascule D



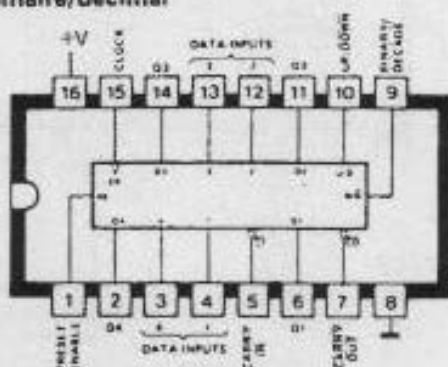
4027
Double bascule JK



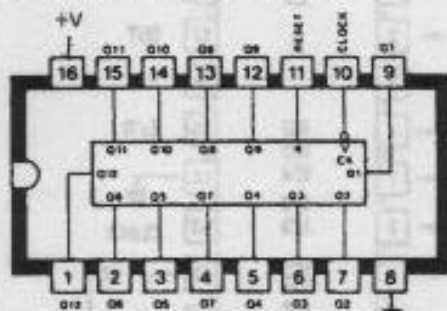
4049
Sextuple inverseur de puissance



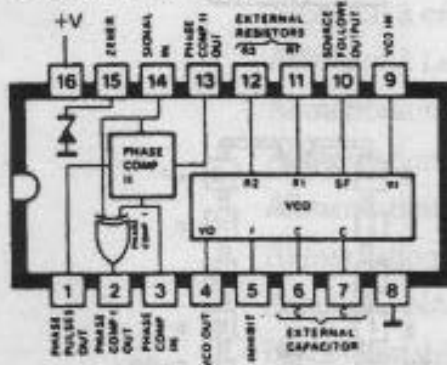
4029
Compteur/décompteur synchrone
binaire/décimal



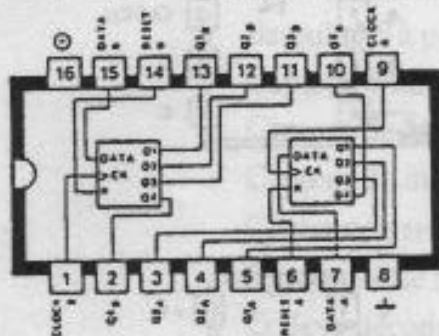
4040
Compteur binaire 12 étages



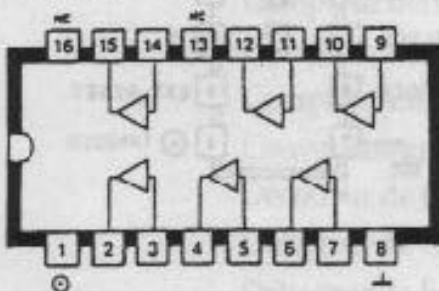
4046
Boucle à verrouillage de phase (VCO)



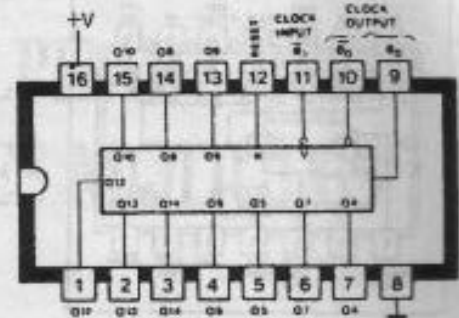
4015
Double registre à décalage 4 bits (MSI).



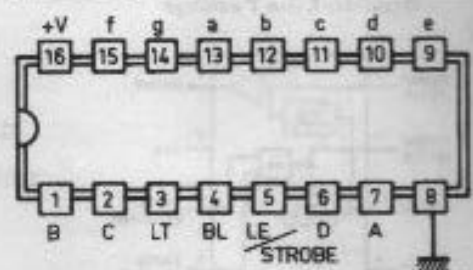
4050
Sextuplet porte de puissance
(non inversante) (portes de puissance).



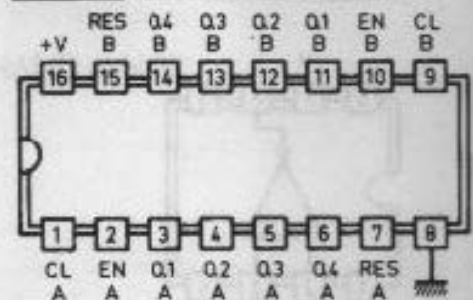
4060
Compteur/diviseur binaire
à 14 étages avec oscillateur



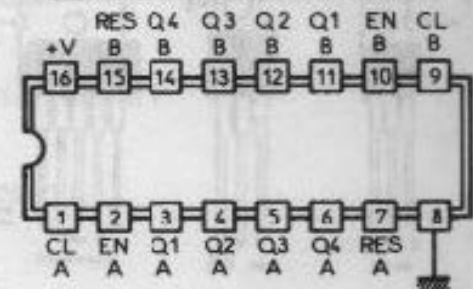
CD 4511 Décodeur BCD → 7 segments



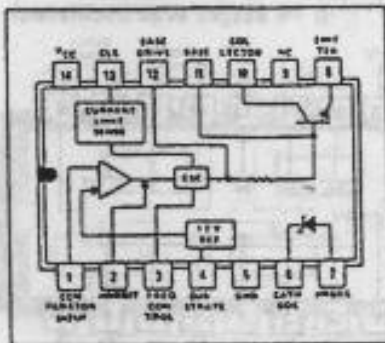
CD 4518 Double compteur décimal



CD 4520 Double compteur binaire

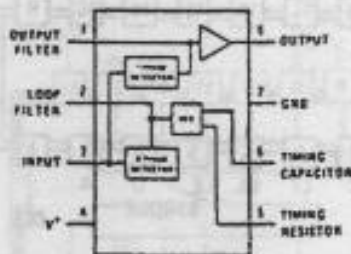


TL 497

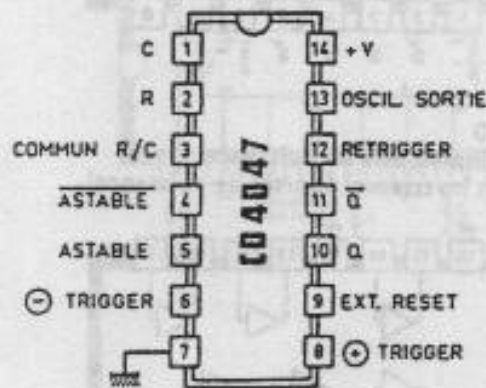
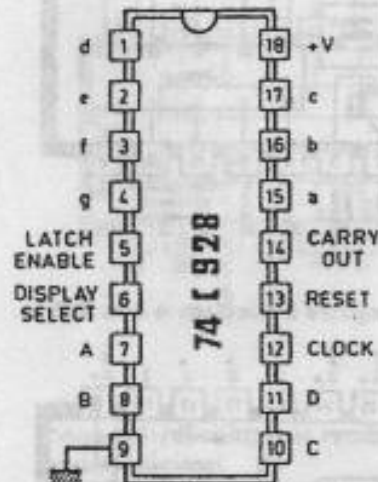
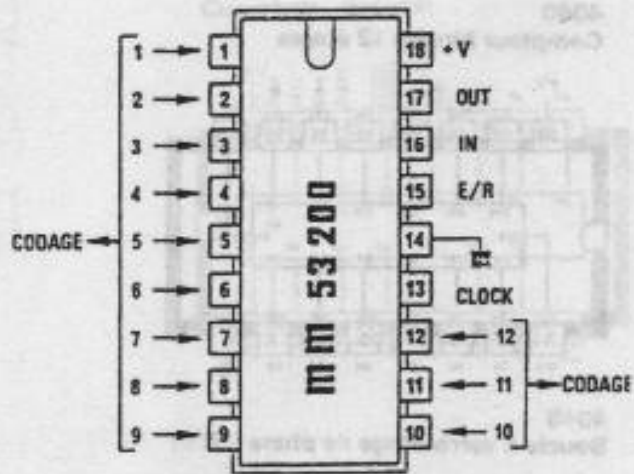
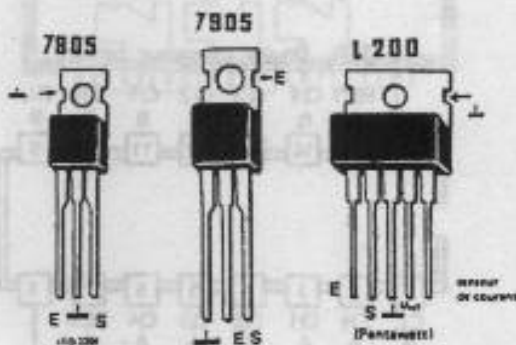
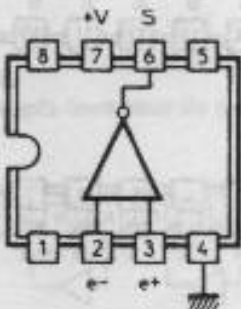


LM 567

Dual-In-Line Package



µA 741 : Amplificateur opérationnel



LISTE ALPHABÉTIQUE DES MODULES

Adaptateur thermométrique	128
Afficheur à cristaux liquides	118
Afficheur à Leds	107
Alimentation à découpage	13
Alimentation par condensateur	5
Alimentation par transformateur	2
Alimentation symétrique	7
Astables à NAND et NOR	41
Bascule astable à 4047	44
Bascule maître-esclave JK	62
Bascule monostable à 4047	52
Bascule RS à portes logiques NAND et NOR	58
Capteur d'humidité	152
Capteur de bruit	143
Capteur de mouvement	166
Capteur de température	146
Chronomètre à 3 digits	114
Codeur-décodeur	84
Commande de relais et d'un moteur	172
Commande tout ou rien d'un triac	175
Compteur décimal 0 à 99	70
Compteur multiple codé « feux tricolores »	74
Compteur-décompteur 4029	97
Convertisseur pour tube fluorescent	179
Décodeur de fréquence	194
Détecteur de choc	148
Détecteur de liquide	157
Détecteur de lumière	155
Diviseur binaire à 12 étages	77

Double compteur BCD	95
Double décade BCD	100
Double décade 4511	108
Émetteur à infrarouge	160
Générateur aléatoire	124
Gradateur pour moteur à courant continu	182
Grillon électronique	188
Mini-ampli BF	197
Monostable à fonction NAND	50
Monostable à fonction NOR	47
Monostable avec NE 555	50
Monostable universel	57
Oscillateur + diviseur	86
Récepteur à infrarouge	164
Registre à décalage	27
Régulateur de tension et d'intensité	8
Servomoteur	134
Simulateur logique	21
Sirène modulée et gong à 3 notes	189
Sonomètre simplifié	130
Touches sensibles	65

045265 - (I) - (2,5) - OSB 80° - SCM

Achievé d'imprimer sur les presses de la
 SNEL S.A.
 rue Saint-Vincent 12 - B-4020 Liège
 tél. 32(0)4 344 65 60 - fax 32(0)4 343 77 50
 août 2000 - 17725

Dépôt légal : août 2000

L'électronique à la portée de tous

Ouvrage d'initiation, *L'électronique à la portée de tous* est un véritable manuel d'apprentissage de l'électronique par la réalisation de montages simples – représentatifs des grands thèmes de l'électronique – que le lecteur est entraîné à étudier, expérimenter, modifier ou encore combiner entre-eux. Suivre la voie adoptée par l'auteur dans cet ouvrage est l'assurance pour l'électronicien « en herbe » de maîtriser les bases de cette matière ô combien passionnante qui deviendra vite une passion qui ne le quittera plus.

L'auteur n'a retenu ici que des schémas de principes conçus et éprouvés par lui-même. À chaque schéma correspond un montage sélectionné pour ses vertus pédagogiques, et pour lequel les composants nécessaires à sa réalisation sont aisés à se procurer dans le commerce pour un coût extrêmement modeste. Pour chaque montage sont proposés le tracé des pistes du circuit imprimé et l'implantation des composants sur le circuit.

Spécialement conçu pour un public jeune qui découvre très tôt à l'école les premières notions d'électronique, ce livre ravira à coup sûr toute personne, même plus âgée, qui souhaite acquérir et assimiler rapidement les principes fondamentaux des montages électroniques. La lecture de cet ouvrage ne fera qu'exalter un enthousiasme qui compensera largement leurs lacunes en mathématique et en physique.

<http://www.dunod.com>

Code 045265

ISBN 2 10 005265 9