

# INITIATION A L'ELECTRONIQUE

Suite voir n° 1749

## PASSONS A LA PRATIQUE

Maintenant, nous allons réaliser le premier des circuits qui vont nous servir dans l'expérimentation progressive de l'électronique.

Il s'agit d'un ensemble comportant :

- une horloge interne pouvant fonctionner à 1 Hz, 10 Hz et au « coup par coup », un peu comme celle du montage de la figure 25 ;
- un système de portes, permettant d'envoyer au compteur l'horloge interne, ou une entrée externe ;
- un compteur décimal à quatre décades, comptant donc de zéro à 9999, avec quatre décodeurs et quatre afficheurs sept segments à LED ;
- un compteur binaire à quatorze étages (en fait, il en a seize, mais on n'en utilise que quatorze), avec quatorze LED et quatorze sorties binaires ;
- un dispositif (dont on peut inhiber le fonctionnement), qui remet à zéro le compteur binaire quand le compteur décimal « recycle », c'est-à-dire quand il passe de 9999 à 0000.

Le tout tient sur un circuit imprimé de 12 x 14 cm, dont les composants ne sont pas abusivement serrés, du type « simple face », facile à réaliser et à mettre au point.

Nous allons en détailler la composition, puis la technique de mise au point (cette dernière se réduit d'ailleurs à presque rien) très en détail, pour être bien sûr que les lec-

teurs ne rencontrent pas de difficultés.

Le but de cet ensemble est, en général, d'envoyer les mêmes signaux au compteur décimal et au compteur binaire, les deux étant préalablement remis au zéro. Le compteur binaire nous donne alors, sur ses sorties, le nombre binaire sous forme parallèle, alors que le compteur décimal nous « traduit » ce nombre en décimal.

## GENERALITES ET JUSTIFICATION DES CHOIX

Les décades se présentent souvent deux par deux (circuits HEF 4518). Nous avons donc pris quatre de ces déca-

des, car il aurait été un peu encombrant d'aller à six. Le comptage jusqu'à 10 000 suffit, en effet, pour la plupart des applications envisagées.

Le compteur binaire comporte quatorze étages, car, ainsi, on peut aller théoriquement jusqu'à 16 383, c'est-à-dire juste au-delà de la capacité du compteur décimal. Comme le comptage binaire peut ainsi « dépasser » le comptage décimal, nous avons pensé qu'il pouvait être intéressant de remettre à zéro le compteur binaire quand le compteur décimal dépasse sa capacité.

Pour le décodage, nous avons utilisé les braves HEF 4511 bien classiques, en prévoyant d'utiliser si nécessaire leur commande de « prise en mémoire », mais pas leurs com-

mandes de « test des afficheurs ».

Ces décodeurs commandent des afficheurs LED cathode commune. Pour ces derniers, nous avons choisi des modèles Hewlett-Packard 5082-7760. Ils n'ont (évidemment et hélas !) pas le même brochage que les MAN 4640. Si vous voulez utiliser ces derniers, il vous faudra donc modifier un peu le dessin du circuit imprimé.

Le comptage binaire est fait par deux HEF 4520, ce qui aurait permis d'avoir seize sorties ; mais, étant donné que l'on ne compte pas au-delà de 9999 en décimal, nous avons utilisé seulement 14 des sorties (avec 13, on se limitait à 8191).

Pour ces sorties, afin de ne pas perturber les compteurs, nous avons renoncé à la solution (un peu barbare) de la figure 25 (commande directe des LED par les sorties des compteurs). Il y a donc 14 transistors en « collecteur commun » pour commander les LED et fournir les tensions de sortie sous relativement basse impédance.

## HORLOGE ET SYSTEME DE PORTE

Pour varier un peu, nous n'avons pas repris l'oscillateur Charbonnier de la figure 25. Notre horloge utilise donc, avec un manque d'originalité consternant, un brave « 555 ». Toutefois, l'auteur est très fier d'avoir fait faire à ce 555 une chose relativement nouvelle : la mise en forme des signaux donnés par un

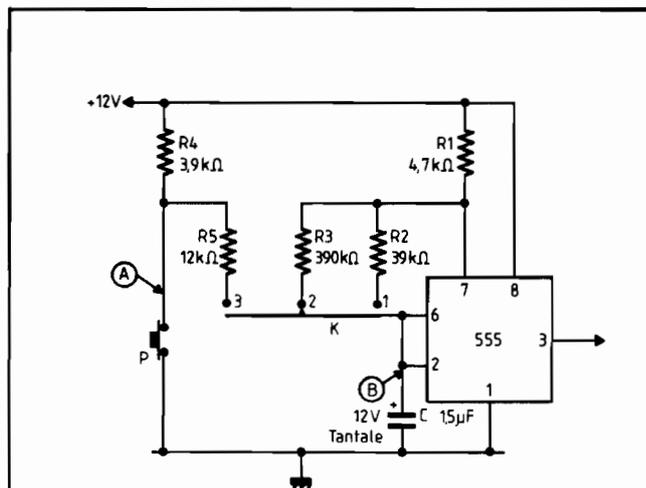


Fig. 33. - Schéma du système d'horloge et de commande coup par coup utilisé dans le montage de l'ensemble des compteurs. Le 555, quand le commutateur K est dans la position 3, sert à éliminer les signaux dus aux rebondissements du poussoir P.

poussoir (soyons francs : il serait bien extraordinaire que quelqu'un d'autre n'ait pas déjà eu cette idée).

Le schéma (fig. 33) est simple, tout à fait classique pour le fonctionnement en 10 Hz (commutateur K en position 1) et 1 Hz (K en position 2). La valeur de  $R_1$  (4,7 k $\Omega$ ), faible par rapport à celle de  $R_2$  et surtout de  $R_3$ , rend le signal de sortie sur la broche (3) presque symétrique.

Reste le fonctionnement au « coup par coup ». On utilise alors ici le 555 en tant que circuit doué d'hystérésis, comme un trigger de Schmitt. En effet, quand les entrées (2) et (6) de ce circuit sont reliées entre elles, le circuit bascule dans un sens quand le potentiel commun de ces entrées franchit, en montant, les deux tiers de la tension d'alimentation (soit 8 V) ; il bascule dans l'autre sens quand ce potentiel franchit, en descendant, le tiers de la tension d'alimentation (soit ici 4 V).

Donc, quand K est sur la position 3, le point (A) est haut, puisque le poussoir P est normalement ouvert, et que le résistor  $R_4$  est relié au + 12 V. Il en va de même du point (B). Dans ces conditions, la sortie (3) du 555 est au niveau bas.

Quand on appuie sur P, le potentiel de (A) tombe à zéro, mais avec des quantités de rebondissements, comme le montre la figure 34 (a) : Un tel signal serait inutilisable pour commander un compteur, qui le considérerait comme un grand nombre de tops. Le potentiel de (B) suit celui de (A) (courbe b), mais on n'y retrouve que très atténuées les irrégularités, en raison du filtre « passe-bas » (ou « intégrateur ») constitué par  $R_5$  et C, dont la constante de temps (18 ms) est grande par rapport à la durée des différents rebondissements.

Or, la sortie (3) du 555 ne devient haute que lorsque le potentiel de (B) franchit en descendant le seuil bas (4 V), et ne redevient basse que quand

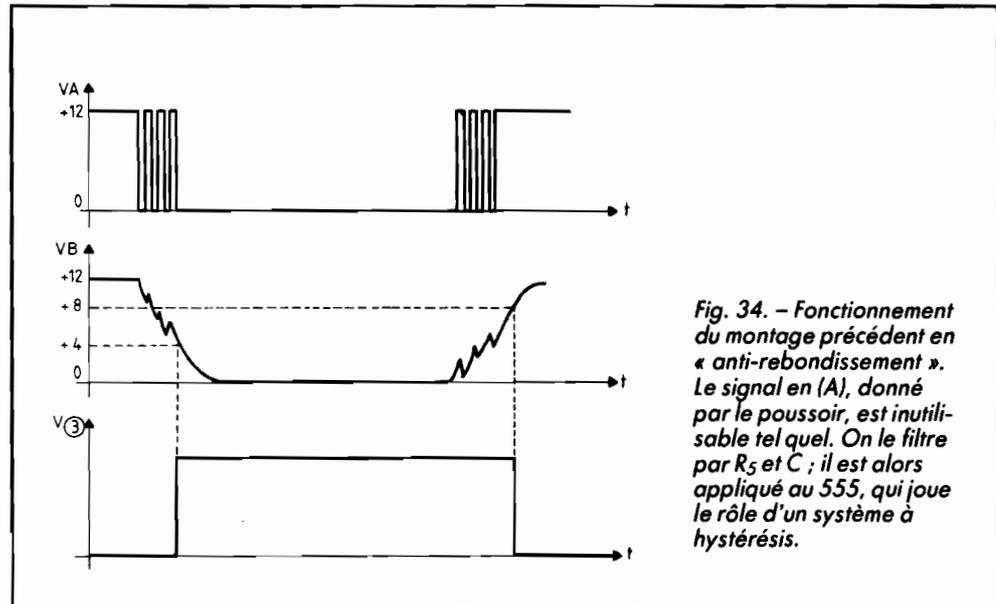


Fig. 34. - Fonctionnement du montage précédent en « anti-rebondissement ». Le signal en (A), donné par le poussoir, est inutilisable tel quel. On le filtre par  $R_5$  et C ; il est alors appliqué au 555, qui joue le rôle d'un système à hystérésis.

ce potentiel passe, en montant, par le seuil haut (8 V). Donc, si les irrégularités restant en (B) ont une amplitude inférieure à 4 V crête/crête, il n'y a (fig. c) qu'une seule montée (et une seule descente) du potentiel de (3), ce qui était le but recherché.

## LA COMMUTATION DES ENTREES

La figure 35 indique la méthode utilisée, des plus classiques. Le signal du 555, venant

de sa broche (3), est appliqué à une entrée (broche 1) d'un circuit « NAND »  $N_1$ . L'autre entrée (broche 2) de ce circuit est normalement au niveau haut, en raison de la présence de  $R_1$ , qui porte le point (D) à + 12 V. On retrouve alors, sur la sortie de  $N_1$  (broche 3), le signal de la sortie (3) du 55, mais inversé.

Comme le point D est à niveau haut, le circuit NAND  $N_2$  joue le rôle d'inverseur logique (ses entrées sont reliées entre elles), et il applique un niveau bas sur une entrée (broche 9) du circuit NAND  $N_3$ , bloquant

la sortie de ce dernier au niveau haut, quel que soit le signal appliqué à l'entrée « EXT » (broche 8).

Le NAND  $N_4$  reçoit donc un niveau haut sur une de ses entrées (broche 6) et le signal inversé du 55 sur son autre entrée (broche 5). Il inverse le signal reçu ; on trouve donc, sur la sortie S (broche 4), le signal du 555, tel qu'il était sur la sortie (3) de ce dernier.

A l'opposé, si l'on met à la masse le point (D), le NAND  $N_1$  bloque le passage du signal issu du 555, sa sortie reste au niveau haut. Le NAND

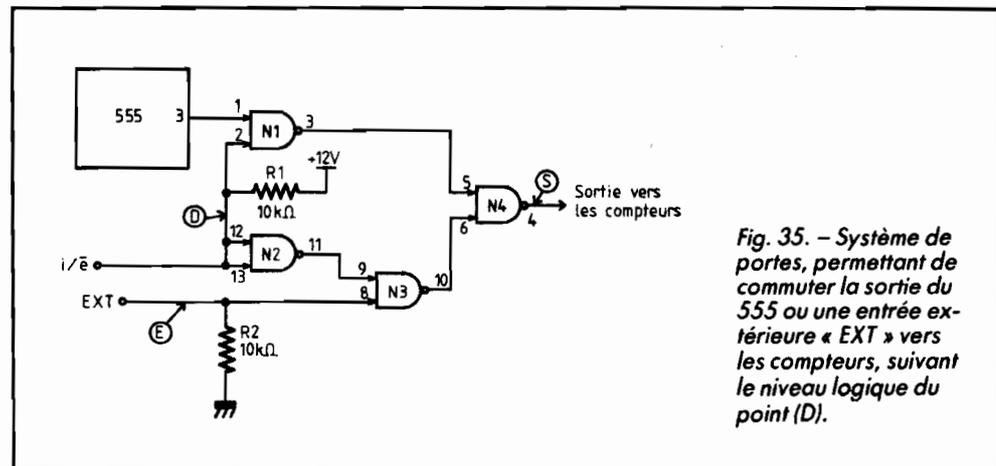


Fig. 35. - Système de portes, permettant de commuter la sortie du 555 ou une entrée extérieure « EXT » vers les compteurs, suivant le niveau logique du point (D).

N<sub>2</sub> applique alors à une entrée (broche 9) du NAND N<sub>3</sub> un niveau haut. Donc N<sub>2</sub> fournit, sur sa sortie, le signal appliqué en « EXT », mais inversé.

Le NAND N<sub>4</sub> inverse à son tour ce signal, et l'on trouve en (S) le signal appliqué en « EXT ».

Pour améliorer les flancs des signaux appliqués en « EXT », au lieu de prendre un simple « quadruple NAND », du genre HEF 4011, nous avons choisi, ici aussi, le quadruple « NAND Schmitt », le HEF 4093, dont nous avons déjà parlé plus haut.

Le point de commande (D) est nommé i/e barre avec un trait de négation au-dessus du e, pour indiquer que ce point commande le fonctionnement en « interne » (i) quand il est au niveau haut, et permet l'application des signaux externes (e) sur l'entrée « EXT » quand il est au niveau bas. Ce trait de négation au-dessus d'une lettre désignant une entrée est régulièrement utilisé pour indiquer que cette entrée est active au niveau bas.

## COMMANDE DES AFFICHEURS DECIMAUX

Elle est tout à fait classique. Nous avons utilisé quatre décodeurs HEF 4511, sans employer leur fonction « test d'afficheur » ni leur fonction « effacement », toutes deux actives au niveau bas, ce qui nécessite de relier au + 12 V les broches (3) et (4) des quatre décodeurs.

Comme il peut être intéressant de disposer de la commande de prise en mémoire du comptage, dont nous avons parlé plus haut, nous avons relié à une ligne commune de commande les broches (5) des quatre décodeurs. Comme ces entrées ne doivent pas être laissées « en l'air », un résistor de 10 k $\Omega$  relie cette ligne

commune à la masse. Ainsi, en l'absence de commande, il n'y a pas prise en mémoire. Celle-ci n'intervient qu'en portant la ligne L (latch) au niveau haut.

Pour commander les segments des afficheurs, nous avons choisi des résisteurs d'une valeur de 1,8 k $\Omega$ . Il n'y a donc, par segment, qu'un courant maximal de l'ordre de 5,4 mA (car la tension directe aux bornes d'une des LED est de l'ordre de 1,6 V, et la sortie de l'afficheur monte à environ 11,3 V au niveau haut). Ainsi, ces afficheurs sont moins lumineux qu'ils ne seraient avec 10 mA par segment, mais on les voit tout de même très bien, en limitant la consommation totale à environ 150 mA (au lieu de 280) quand on affiche 8888.

En ce qui concerne les quatre décades, il s'agit de deux circuits HEF 4518. Nous avons utilisé les commandes d'horloge par les entrées CP (broches 2 et 10), en portant les entrées CP (broches 1 et 8) à la masse. Ainsi, les basculements ont lieu sur les flancs descendants des signaux d'horloge, ce qui est indispensable (en tous cas pour les décades des dizaines, centaines et mille) pour que le comptage soit correct. En effet, la dé-

cade des dizaines, par exemple, doit compter au moment où la sortie D (valeur huit) de la décade des unités passe du niveau haut au niveau bas.

Les connexions de remise au zéro des décades (broches 7 et 15) sont reliées entre elles, un résistor de 10 k $\Omega$  les reliant à la masse pour ne pas laisser ces entrées « en l'air ». Un niveau haut (12 V) appliqué momentanément sur ces décades les remet au zéro.

## COMPTEUR BINAIRE

Il s'agit, nous l'avons dit, de deux HEF 4520, ce qui permettrait d'avoir un compteur binaire à seize étages, dont nous n'utilisons que les quatorze premiers. Nous retrouvons, pour ces étages, les mêmes considérations sur les commandes d'horloge par les flancs descendants que pour les décades.

La ligne de remise à zéro des étages binaires est commandée comme l'indique la figure 36. On voit que, quand on remet à zéro les décades, par application d'un niveau haut sur le point ZD (zéro des décades), le niveau haut est transmis, par la diode D<sub>1</sub>, à la ligne de remise à zéro des bi-

naires (ZB), normalement maintenue au niveau bas par le résistor R<sub>3</sub>.

Donc, on peut remettre au zéro les binaires seuls, en appliquant un niveau haut au point ZB, mais la remise au zéro des décades entraîne automatiquement la remise au zéro des binaires.

Ces dernières sont aussi remises à zéro par le signal collecteur du transistor T. En effet, ce dernier est normalement saturé, le résistor R<sub>1</sub> qui alimente sa base étant relié au + 12. Le collecteur de ce transistor est donc normalement à un potentiel bas.

Mais, quand la décade des mille repasse de 9 à zéro (quand l'ensemble des décades repasse de 9999 à 0000), la sortie D de cette décade passe du niveau haut au niveau bas. Ce flanc descendant est transmis, par R<sub>3</sub> et C, à la base de T, qui se bloque pendant un temps très court (environ 3  $\mu$ s). On trouve donc, sur le collecteur de T, un signal positif très court, qui, transmis par la diode D<sub>2</sub>, remet à zéro les binaires.

Les diodes D<sub>1</sub> et D<sub>2</sub> constituent un circuit « ou », permettant aux étages binaires d'être remis à zéro par le signal ZD ou par le recyclage du compteur décimal.

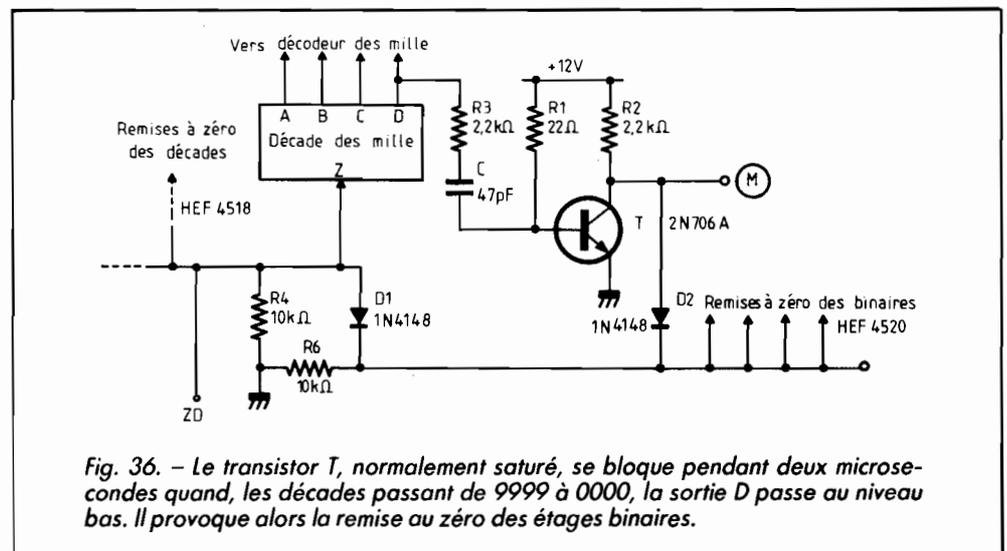


Fig. 36. - Le transistor T, normalement saturé, se bloque pendant deux microsecondes quand, les décades passant de 9999 à 0000, la sortie D passe au niveau bas. Il provoque alors la remise au zéro des étages binaires.

Donc, quand on arrive à 9999 sur les décades, si l'on a commencé avec les binaires et les décades à zéro en même temps, les quatorze étages binaires affichent, en code binaire, la valeur décimale 9999, soit, en binaire :

10011100001111

(ou, en hexadécimal, \$270 F). L'impulsion suivante provoque la remise au zéro des quatre décades (on dit que le compteur décimal a « recyclé », parce que l'on a dépassé sa « capacité » maximale de comptage) ; l'impulsion produite par T remet les binaires à zéro. On peut donc être sûr que le comptage binaire et le comptage décimal commencent ensemble, tout étant remis au zéro.

Le but du résistor  $R_3$  est de limiter le courant consommé à la sortie D de la décade des mille quand sa sortie D passe au niveau haut (quand on arrive à 8000), car il faut alors charger C à travers la jonction base-émetteur de T. Ce dernier transistor est du type 2N706A, un modèle de commutation rapide.

Si l'on juge cette remise au zéro indésirable, on peut l'inhiber, en mettant à la masse le point (M) : ainsi, même quand T est bloqué, le potentiel de son collecteur ne peut pas remonter.

## SORTIES BINAIRES ET AFFICHAGES

Pour ne pas charger les sorties des différents étages binaires, nous avons prévu, sur chaque sortie, un étage « collecteur commun » monté comme l'indique la figure 37, le montage correspondant étant répété quatorze fois sur le circuit imprimé, pour les quatorze étages binaires de notre compteur.

Le transistor T est un modèle NPN absolument quelconque, type basse fréquence, ayant

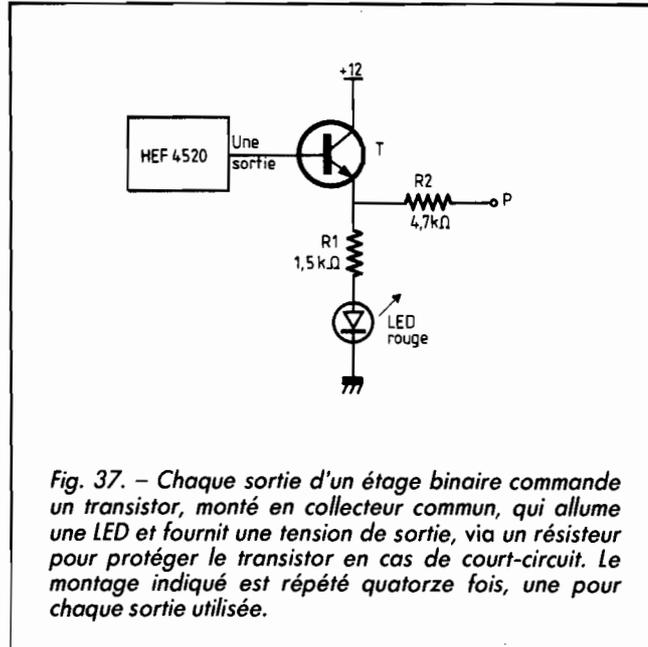


Fig. 37. — Chaque sortie d'un étage binaire commande un transistor, monté en collecteur commun, qui allume une LED et fournit une tension de sortie, via un résistor pour protéger le transistor en cas de court-circuit. Le montage indiqué est répété quatorze fois, une pour chaque sortie utilisée.

un gain supérieur à 100 si possible, par exemple un BC 108, un 2N2222, un BC 237, etc.

Quand la sortie qui commande la base de T est au niveau haut (presque 12 V), l'émetteur de T arrive à environ 11,4 V. La LED s'allume, avec un courant voisin de 6,5 mA, ce qui la rend très visible. Le point (P) est une sortie (il y en a quatorze) pour les applications ultérieures.

Le résistor  $R_2$  est là pour protéger le transistor T en cas de court-circuit entre le point (P) et la masse. Rappelons, en effet, qu'un étage collecteur commun est excellent pour ne pas charger le circuit qui le commande, mais qu'il risque d'être détruit (et de détruire ensuite le HEF 4520) si l'on met directement son émetteur à la masse.

## REALISATION ET MISE AU POINT

Commencez par graver le circuit imprimé, dont la figure 38 reproduit le tracé, vu du côté

cuivre. L'implantation des composants est indiquée sur la figure 39, sur laquelle on suppose le circuit transparent, le tout étant vu du côté cuivre aussi.

Une fois le circuit gravé et percé, surtout NE SOUDEZ PAS TOUTS LES COMPOSANTS EN UNE FOIS. S'il vous plaît, employez la « méthode Horace » (une difficulté à la fois), quoiqu'il y ait fort à parier que tout se passera fort bien (mais il peut y avoir un composant défectueux, ou un ruban coupé, ou un court-circuit). Malgré la place que cela va prendre, nous allons détailler cette mise au point, car elle constitue un nouvel exemple de la méthode Horace trop peu employée par les amateurs.

Donc, commencez par souder tous les « straps » qui sont nécessaires pour les croisements de connexion (le circuit est du type « simple face »). L'auteur avoue qu'il utilise sans scrupule ces connexions, nommées « fils de la honte » par les dessinateurs de circuits imprimés, qui voudraient éliminer tous ces fils. Il y en a 22 dans le circuit, plus un, indiqué

en pointillé, que l'on ne soudera que plus tard.

Vérifiez alors qu'il n'y a pas de court-circuit entre la ligne de + et la masse, à la sonnette par exemple, car il n'y a encore aucun composant soudé sur le circuit.

Soudez alors le circuit 555, le condensateur de  $10 \mu\text{F}$  qui découple l'alimentation, le condensateur de  $1,5 \mu\text{F}$  arrivant sur (2) et (6) du 555, le résistor de  $2,2 \text{ k}\Omega$  allant du + 12 au (7) du 555 et reliez momentanément « en l'air » le (7) et le (2) du 555 par un résistor de  $1 \text{ M}\Omega$ .

Alimentez le circuit par du 12 V. Un voltmètre sur la sortie (3) du 555 doit vous montrer la présence d'un signal carré d'une période totale d'environ 3 s.

Nous ouvrons ici une parenthèse. Si vous voulez vérifier le signal (ou la tension) en un point du circuit, pendant la mise au point, la meilleure solution est de souder en ce point, momentanément, un petit fil nu, de 3 ou 4 cm, sur lequel on accrochera facilement une sonde de voltmètre ou d'oscilloscope. L'auteur conserve, dans ce but, un lot de « queues de résistances », coupées après soudure sur des circuits imprimés. Après vérification, on dessoude le petit fil.

Bien entendu, comme nous l'avons déjà dit à propos des mises au point, tous ces soldages et dessoldages doivent se faire sur un circuit totalement déconnecté de tout appareil (alimentation, voltmètre, prise de masse, etc.).

Si vous n'avez pas trouvé, sur la sortie (3) du 555, le signal prévu, vérifiez qu'il y a toujours du 12 V sur la ligne d'alimentation. Au cas où le 12 V aurait disparu, cela signifie que le 555 est :

- monté à l'envers ;
- mort.

A signaler que l'exactitude de la première hypothèse entraîne souvent celle de la seconde.

Si le 12 V est toujours bon et que le 555 refuse de fournir le signal prévu, vérifiez (avec un voltmètre numérique, ou avec un moyen de mesure de tension ayant une résistance d'entrée de plus de 10 M $\Omega$ ) le potentiel des broches (2) et (6). S'il reste obstinément bas (le potentiel de la broche 7 étant haut), il y a fort à parier que le condensateur de 1,5  $\mu$ F entre les broches (2)-(6) et la masse est mort, ou monté à l'envers.

Quand le 555 a été reconnu « bon pour le service », câblez alors le HEF 4093 qui sert à la commutation du signal allant aux compteurs, ainsi que les résisteurs de 10 k $\Omega$  entre le + 12 et les broches (2)-(12)-(13) de ce circuit, et de 100 k $\Omega$  entre la broche (8) et la masse.

Vérifiez que, en laissant l'entrée *i/e* non connectée, le signal donné par le 555 se retrouve sur la broche (4) du HEF 4093, et que, en mettant à la masse cette entrée, on trouve bien, sur la broche (4), un niveau bas, passant au niveau haut si l'on applique du + 12 (à travers un résistor de 4,7 k $\Omega$  par sécurité) à l'entrée « EXT ».

## ESSAI DES AFFICHEURS ET DES DECADES

Câblez alors les quatre afficheurs, et les vingt-huit résisteurs de 1,8 k $\Omega$ . Vous pouvez alors vérifier les afficheurs en amenant un fil relié au + 12 sur les pieds (côté allant vers les sorties des décodeurs) des vingt-huit résisteurs de 1,8 k $\Omega$ .

**ATTENTION** lors de cet essai, comme chaque fois que vous appliquez du + 12 V direct en un point du circuit, sans résistor de protection en série, ne vous trompez pas : en particulier, n'appliquez jamais le + 12 V sur le haut d'un des résisteurs de 1,8 k $\Omega$  (sur un fil allant directement à un segment d'un afficheur) : vous détrui-

riez instantanément la LED de ce segment, et l'afficheur serait bon pour la poubelle. Un moyen pour que ce danger n'existe pas consiste à utiliser un fil relié au + 12 via un résistor de 1 à 1,5 k $\Omega$  (mais alors la luminosité du segment essayé est réduite).

En promenant le fil sur les pieds des sept résisteurs de 1,8 k $\Omega$  allant à un afficheur, on doit voir s'allumer les sept segments de cet afficheur (ce

qui vous permettra, en outre, de vérifier que votre câblage est bon, si, ayant utilisé des modèles autres que des 5082-7760, vous avez dû modifier le circuit dans la zone de raccordement aux afficheurs). « Inutile, cette vérification ! » diront certains. L'auteur n'est pas du tout de cet avis, car, ayant vérifié le premier afficheur (celui des unités), il jugea que cela suffisait et ne vérifiera pas les autres. Lors de

l'essai global, l'affichage des dizaines était tout à fait anormal, et il fut difficile de voir si cela venait de la décade, du décodeur, ou de l'afficheur. Finalement, c'est ce dernier qui n'était pas bon (c'était un afficheur très ancien, ayant son segment a hors d'usage). Si la vérification des quatre afficheurs avait été faite comme indiqué ci-dessus, une grande perte de temps aurait été évitée.

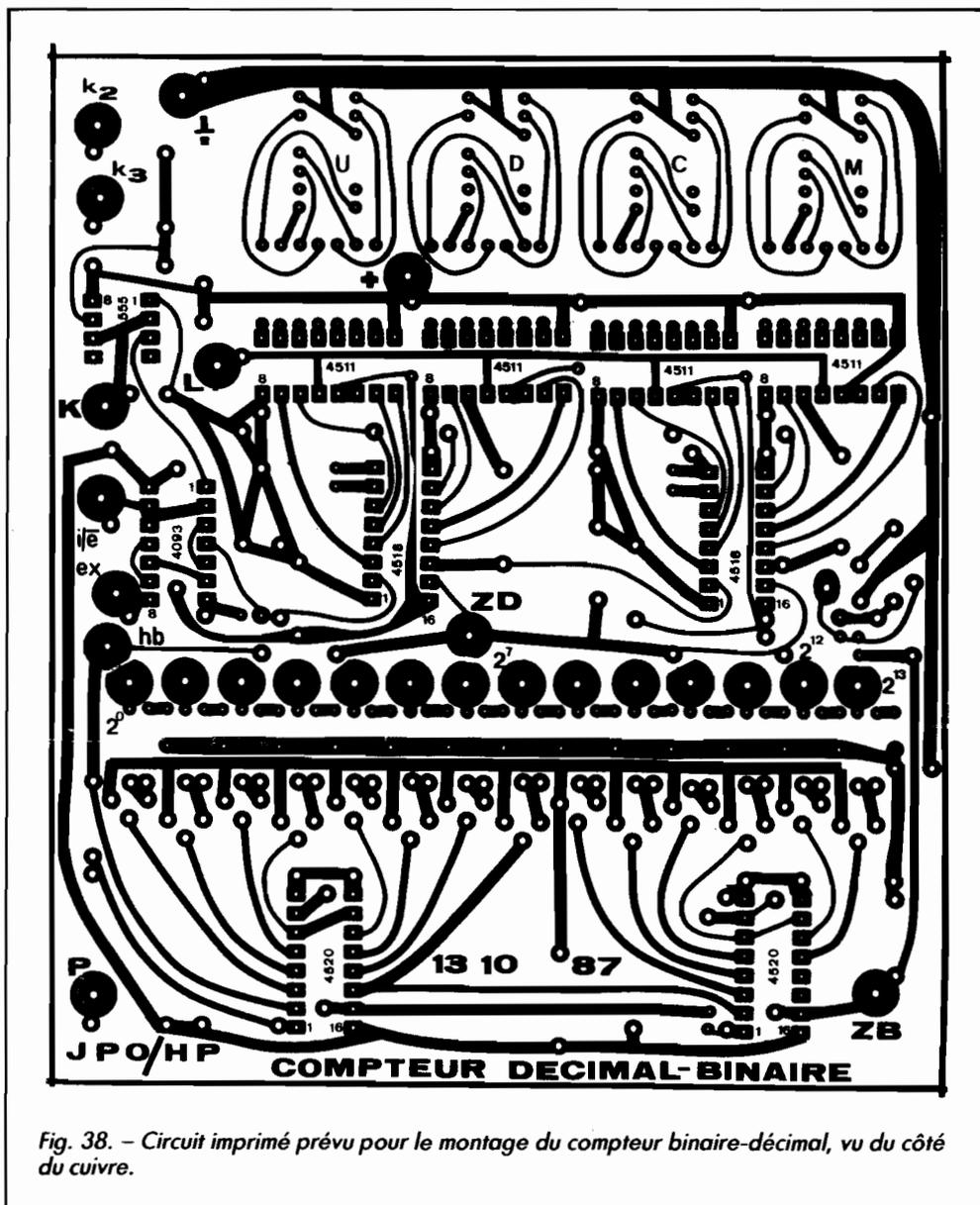


Fig. 38. - Circuit imprimé prévu pour le montage du compteur binaire-décimal, vu du côté du cuivre.

