

Pratique de l'électronique

2^e PARTIE
voir n° 1780

Diviseurs binaires de fréquences

A partir du signal de fréquence précise, correctement mis en forme, nous allons, par exemple, en diviser la fréquence. Il y a essentiellement trois types de divisions :

- division par une puissance de 2 ;
- division par une puissance de 10 ;
- division par un nombre quelconque.

Commençons par le cas d'une division par une puissance de 2, parce que c'est particulièrement facile. On va tout simplement utiliser une série de bistables de « type T », c'est-à-dire des bistables ayant une commande « T » (comme transition), qui, à chaque signal complet (montant et descendant) reçu, fait changer l'état du bistable.

On peut prendre, pour cela, des basculeurs dits « J-K », en portant les entrées J et K au niveau haut, mais c'est « du luxe ». Il vaut mieux utiliser les circuits intégrés comportant plusieurs bistables T en cascade.

Il y a, par exemple, le HEF 4520, qui comporte deux groupes de quatre bistables T. Chaque circuit divise donc par $16 \times 16 = 256$, si l'on met les deux groupes en cascade. Ainsi, avec deux circuits 4520, on peut diviser par 65 536, ce qui permet d'obtenir des signaux à 1 Hz à partir d'un quartz à 65,536 Hz. Il ne faut pas oublier que chaque sortie de bistable est disponible, et que l'on peut donc, avec un groupe de deux 4520, attaqué par une fréquence F, obtenir des fréquences F/2, F/4, F/8, F/16, F/32... F/8192, F/16384, F/32768 et F/65536. La figure 9 donne un exemple d'utilisation d'un HEF 4520. Les broches 7 et 15 sont à la masse, car ce sont les commandes de remise à zéro des compteurs, que nous n'utilisons pas ici. Le premier groupe de quatre est attaqué

Division et multiplication de fréquence

par le signal à fréquence F sur l'entrée 2 avec l'entrée 1 à la masse, car, ainsi, le compteur avance sur les flancs descendants du signal d'entrée.

Pour la seconde section (entrée 10, sorties 11, 12, 13 et 14), on a utilisé le même type de commande, de sorte que la sortie 11 change d'état lors des flancs descendants du signal de la broche 6 (signal à fréquence F/16).

Pour mettre deux 4520 en cascade, on câble le second exactement comme celui de la figure 9, on commande son entrée 2 par la sortie 14 du premier. Sa sortie 3 donnera le signal à fréquence F/512, sa sortie 4 sera à la fréquence

F/1024... et sa sortie 14 à la fréquence F/65536.

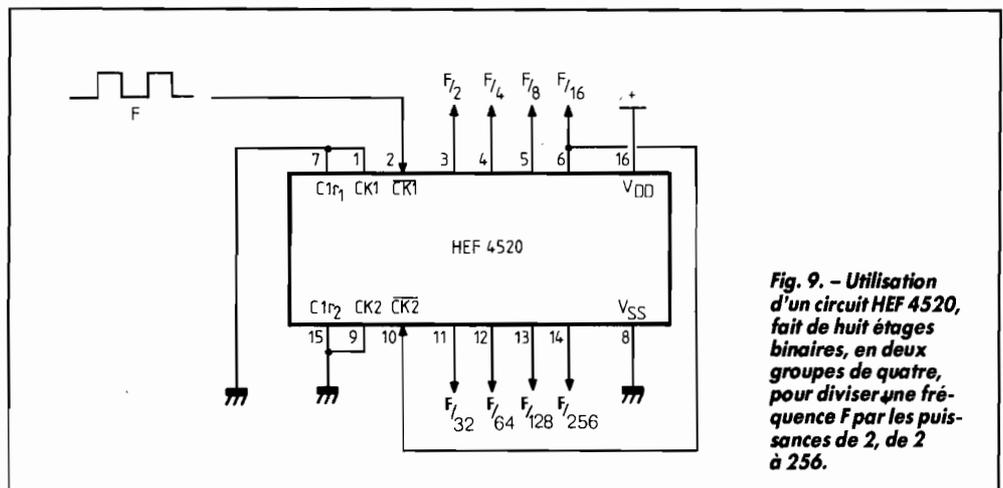
Ne gênons pas les compteurs !

Si nous voulons « utiliser » les sorties à fréquence F/2, F/4... F/65536, nous pouvons évidemment prélever les signaux directement sur ces sorties. Mais, en général, il est plutôt déconseillé de procéder ainsi. En effet, nous risquons de perturber le fonctionnement des étages binaires en reliant leurs sorties à des fils un peu longs. Nous introduisons ainsi des capacités parasites par rapport à la masse, ou entre les différentes sorties, et l'on

arrive quelquefois à perturber complètement le fonctionnement des compteurs.

Le remède est simple. Nous pouvons, par exemple, réaliser sur chaque sortie un petit amplificateur équipé d'un transistor en collecteur commun (mais avec un résistor en série, pour éviter la destruction du transistor en cas de court-circuit). L'utilisation de tels amplificateurs est, de loin, la meilleure solution. La figure 10 donne un exemple d'étage de ce type.

On peut aussi utiliser des « buffers » intégrés, comme ceux du circuit HEF 4050, qui comporte six de ses « buffers ». Rappelons qu'un « buffer » est une sorte d'amplifica-



teur de courant, fonctionnant sur des signaux logiques (tout ou rien), donnant un niveau de sortie identique au niveau d'entrée, mais rendant l'entrée relativement indépendante de la sortie.

Un tel buffer ne consomme, à son entrée, qu'un courant très faible, et il est capable, sur sa sortie, de fournir (à l'état logique haut) ou de consommer (à l'état logique bas) une intensité assez notable.

Chaque sortie de compteur commande une entrée de buffer, et ainsi, même si on met en court-circuit à la masse la sortie du buffer, on ne perturbe pas le compteur.

D'autres compteurs binaires

Le HEF 4520 n'est qu'un exemple parmi bien d'autres. Dans la gamme des circuits CMOS, on peut signaler le HEF 4040, contenant, en un seul circuit, douze étages binaires en cascade (toutes les sorties sont disponibles). Il y a aussi le HEF 4020, à quatorze étages (mais on ne dispose que des sorties 1 et 4 à 14 (les sorties 2 et 3, à fréquence $F/4$ et $F/8$, ne sont pas disponibles).

Citons également le HEF

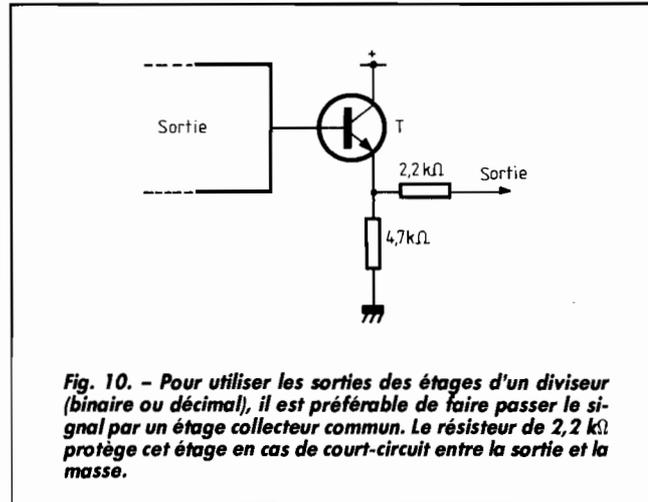


Fig. 10. - Pour utiliser les sorties des étages d'un diviseur (binaire ou décimal), il est préférable de faire passer le signal par un étage collecteur commun. Le résistor de 2,2 kΩ protège cet étage en cas de court-circuit entre la sortie et la masse.

4521, qui, lui, contient **vingt-quatre** étages binaires, mais on ne peut disposer que des sorties des étages 18 inclus à 24 inclus.

Dans les familles TTL, le brave 74 LS 93 est équivalent à une moitié de HEF 4520 (quatre étages binaires), avec quelques possibilités supplémentaires, qui ne nous intéressent pas pour la simple division de fréquence.

Division décimale

Il est bien plus fréquent d'utiliser la division décimale, sur-

tout quand on désire un ensemble fournissant toute une gamme de fréquences « étalons ». En effet, à partir d'un quartz à 10 MHz, par exemple, on aura toutes les fréquences qui sont des puissances de 10.

On a même un peu plus, comme nous allons le voir. Le circuit type, pour la division décimale, est, à notre avis, la double décade HEF 4518. Il a exactement le même brochage que le HEF 4520, donc, pour un diviseur par 10 et 100, on reprend exactement le schéma de la figure 9, en

remplaçant le HEF 4520 par un HEF 4518.

Normalement, en procédant ainsi, on a tendance à penser que l'on n'utilisera que la sortie 6, à $F/10$, et la sortie 14, à $F/100$ (nous verrons d'ailleurs plus loin qu'il est préférable d'utiliser respectivement les sorties 5 et 13). C'est d'ailleurs très souvent le cas. On se limite rarement à un seul HEF 4518, on en utilise plus souvent deux en cascade (pour avoir $F/10\ 000$) ou trois (on arrive à $F/1\ 000\ 000$) ou même quatre (pour aller jusqu'à $F/100\ 000\ 000$).

Mais il ne faut pas oublier que, sur la sortie 3, nous avons $F/2$, et, sur la sortie 11, la fréquence est $F/20$. Quel intérêt? Il faut savoir que, si l'on part d'un quartz à 10 MHz, il peut être très utile de disposer de signaux à 5 MHz, 500 kHz, 50 kHz, 5 kHz, 500 Hz et surtout 50 Hz, toutes ces fréquences ayant la précision et la stabilité du quartz.

Les « pseudo-fréquences » F/5 et autres...

On a dit que l'on pouvait même avoir des fréquences en

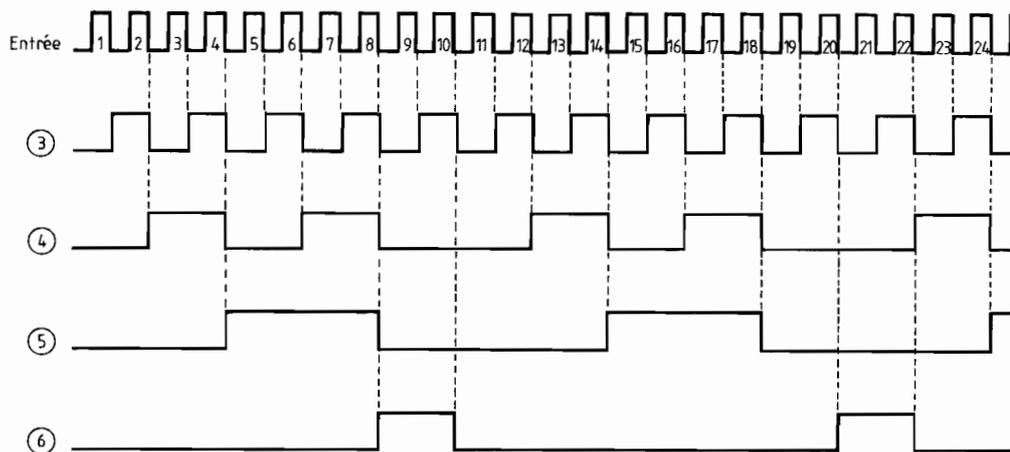


Fig. 11. - Quand on utilise une « décade » (par exemple une moitié de HEF 4518), attaquée par un signal de fréquence F , on a bien, sur la sortie (3), un signal à la fréquence $F/2$ (il est même symétrique). On a aussi, sur les sorties (6), ou (5) de préférence (signal moins dissymétrique), un signal à la fréquence $F/10$. Mais le signal sur la sortie (4), s'il est bien à une « cadence moyenne » correspondant à $F/5$, n'est pas d'une périodicité correcte (on peut dire qu'il est modulé en phase).

F/5, en F/50... Ce n'est pas totalement faux, mais presque. En effet, il est vrai que, dans un compteur décimal, il y a une sortie (sortie 4, par exemple, pour un HEF 4518) qui donne deux signaux pour dix périodes du signal d'entrée. En toute rigueur, la fréquence du signal sur cette sortie est bien le cinquième de la fréquence appliquée à l'entrée.

Oui mais... comme l'a dit un homme politique, cela se présente moins bien quand on examine les formes d'onde. La figure 21 reproduit les signaux des différentes sorties d'une décade, pour vingt signaux d'entrée. La sortie 3 nous donne bien un signal parfaitement symétrique, à fréquence moitié de celle du signal d'entrée.

Mais la sortie 4... quelle horreur ! Elle comporte bien deux parties hautes toutes les dix périodes du signal d'entrée, mais elle est très loin d'être un vrai signal « normal » à la fréquence F/5. Il suffit de regarder la forme d'onde pour s'en rendre compte.

Autrement dit, si nous attaquons l'entrée 2 par un signal à fréquence $F = 1$ MHz, la sortie 4 nous donnera bien 200 000 signaux par seconde, mais les espaces entre ces signaux seront tantôt de $2 \mu\text{s}$, tantôt de $4 \mu\text{s}$. La sortie 4 fournit donc un signal atrocement modulé en phase, presque inutilisable pour des mesures et des étalonnages.

Si l'on tient vraiment aux F/5, F/50 et autres...

... on peut les obtenir quand même, mais pas avec des circuits du type HEF 4518. Il faut recourir aux décades TTL du type 74 LS 90.

Ces circuits comportent, en effet, un diviseur par 2 (un bistable du type T) et un « compteur par 5 ». Dans le fonctionnement normal, en décade classique, on attaque l'entrée du bistable séparé, dite CP₀ (broche 14) par le signal d'entrée, et on relie la sortie de ce bistable (bro-

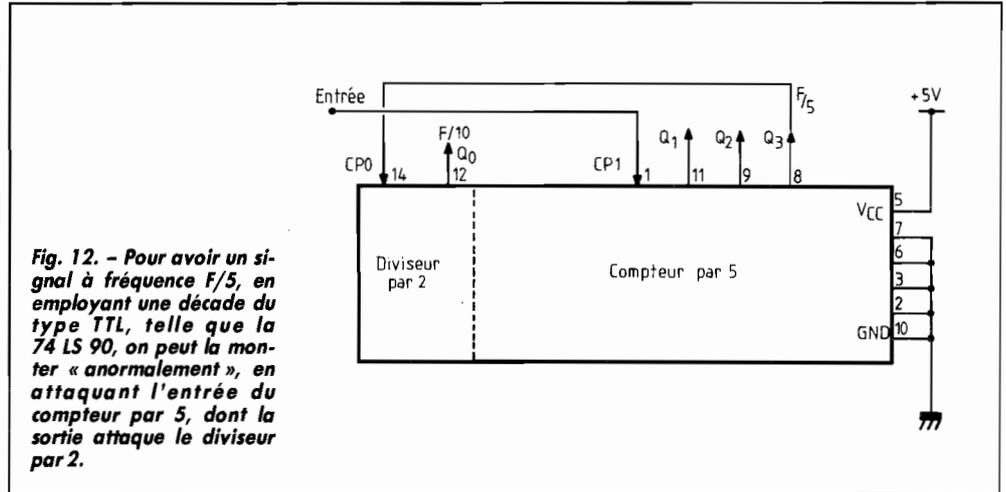


Fig. 12. - Pour avoir un signal à fréquence F/5, en employant une décade du type TTL, telle que la 74 LS 90, on peut la monter « anormalement », en attaquant l'entrée du compteur par 5, dont la sortie attaque le diviseur par 2.

che 12) à l'entrée (dite CP₁) du « compteur par 5 » (broche 1).

Mais, si l'on veut, on peut commander l'entrée CP₁ du compteur par 5 directement par le signal d'entrée, et utiliser le bistable séparé pour diviser par 2 la fréquence qui sort du compteur par 5. On a bien réalisé ainsi une division de fréquence par 10, et cette fois, la sortie du « compteur par 5 » est bien un signal correct, parfaitement périodique, à la fréquence F/5.

Le montage correspondant, pour un 74 LS 90, est indiqué sur la figure 12, et les formes d'onde qui en résultent sont celles de la figure 13. On voit, sur ces formes d'onde, que les signaux Q₂ et Q₃ sont tous les deux périodiques et à la fréquence F/5, le signal Q₂ étant un peu plus symétrique que le signal Q₃.

Signalans que, « en prime », nous avons, maintenant, en sortie du bistable, un signal à fréquence F/10 parfaitement symétrique. Ce n'était pas le cas en utilisant le signal de la sortie 6 d'un HEF 4518, par exemple, ainsi qu'on peut le voir sur les formes d'onde de la figure 11. D'ailleurs, quand on emploie un HEF 4518, la sortie 5 donne un signal à fréquence F/10 moins dissymétrique que celui de la sortie 6.

A noter que, quand on monte un 74 LS 90 avec le compteur par 5 en tête et le diviseur binaire en sortie, on ne peut plus utiliser la décade pour faire du comptage décimal : ses sorties ne peuvent plus

être « décodées » par les circuits habituels pour commander des afficheurs. Mais nous ne nous intéressons actuellement qu'à l'aspect « division de fréquence » et pas au comptage.

Comment cumuler tous les avantages

Rappelons aussi que, si l'on monte les 74 LS 90 avec le compteur par 5 en tête, on ne dispose plus de la fréquence F/2. On peut toujours l'obtenir, si on souhaite l'avoir en plus de F/5, par un diviseur binaire supplémentaire (comme une moitié de 74 LS 74), attaqué par le même signal que celui envoyé au compteur par 5.

Evidemment, la circuiterie devient plus lourde, mais il est bien agréable de disposer, par exemple, de 10 MHz, 5 MHz, 2 MHz, 1 MHz, 500 kHz, 200 kHz, 100 kHz, et ainsi de suite.

Une solution « économique » consiste à utiliser uniquement des diviseurs par 10, 100, 1 000, etc., en disposant de quelques diviseurs par 2 ainsi que de quelques diviseurs par 5, que l'on peut connecter où l'on veut, par des commutateurs ou des fiches, quand on désire une sortie particulière.

Signalons enfin que le fait de disposer d'une sortie à 200 kHz présente un grand intérêt. En effet, on peut alors étalonner le système très facilement, grâce à la station de

la BBC grandes ondes (Droitwich), qui émet sur 200 kHz exactement, avec une précision supérieure à 10^{-10} .

Pour réaliser cet étalonnage, il suffit de relier la sortie 200 kHz de notre ensemble à une petite antenne, et de disposer un récepteur grandes ondes (si possible avec une aiguille indicatrice d'accord), réglé sur la longueur d'onde de 1 500 m, à une distance convenable de ladite antenne, de telle sorte qu'il puisse recevoir environ aussi bien notre 200 kHz que celui de la station anglaise.

Les deux ondes vont alors produire un battement. Si le récepteur comporte une aiguille indicatrice d'accord, on verra osciller régulièrement, au rythme du battement. En ajustant la fréquence du quartz, on doit arriver à donner à ce battement une période d'au moins 10 ou 20 s. Le tout est alors calé avec une bonne précision (écart 0,1 Hz sur 200 kHz, soit 1/2 000 000).

Si le récepteur ne comporte pas d'aiguille indicatrice d'accord, on peut apprécier le battement par la modulation du signal BF reçu (ou, mieux, du souffle). En effet, suivant la composition des deux oscillations, la tension de C.A.G. du récepteur varie à la fréquence du battement.

La réception de Droitwich est parfaite dans le nord de la France, moyenne à Paris, très difficile dans le centre et quasi impossible dans le sud de notre pays.

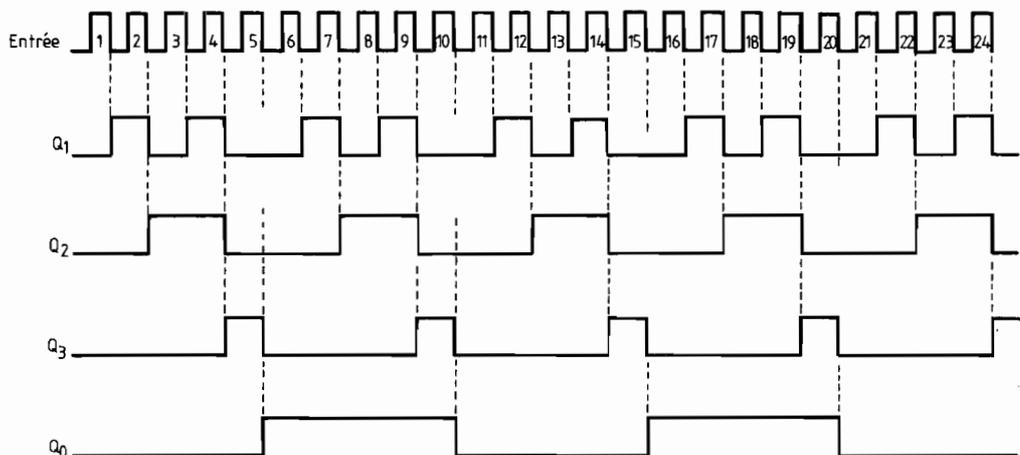


Fig. 13. - Dans le montage de la figure 12, on voit que les sorties Q_3 et Q_2 (signal moins dissymétrique) fournissent des signaux réellement périodiques à fréquence $F/5$, les signaux en Q_0 étant à fréquence $F/10$ (et ce sont des signaux symétriques).

Division par un nombre quelconque

Nous commencerons par le cas relativement simple où l'on veut diviser par un nombre N , produit de nombres entiers relativement petits, par exemple par 21 (3×7). L'utilisation du circuit intégré HEF 4017, compteur décimal à dix sorties décodées, permet de diviser facilement par un nombre de 2 à 9.

Ce circuit utilise, en effet, une technique de comptage par 10 en cinq bistables, anormalement appelée « compteur de Johnson », imaginée en fait, par V.H Regener, il y a près d'un demi-siècle (décrite en avril 1942 - avec des tubes, évidemment - dans la *Review of Scientific Instruments*).

Cette structure est très curieuse. Elle utilise une chaîne de cinq bistables du type J-K, avec des couplages entre eux.

Rappelons d'abord brièvement ce qu'est un basculeur J-K. Il s'agit d'un bistable qui possède une entrée « horloge » (ou « clock ») et deux entrées de commande, nommées respectivement J et K. Il a deux sorties, complémentaires

l'une de l'autre, Q et Q' (ou \bar{Q}).

Un signal sur l'entrée horloge (le plus souvent le flanc montant d'un signal rectangulaire) agit sur le basculeur de différentes façons, suivant les états des entrées J et K :

- si J et K sont bas tous les deux, l'horloge n'agit pas, le basculeur reste dans l'état où il était ;
- si J est haut, K étant bas, l'horloge agit sur le basculeur, faisant passer sa sortie Q au niveau haut, sauf si elle y était déjà, auquel cas il n'y a pas d'action ;
- si J est bas, K étant haut, l'horloge fait passer la sortie Q au niveau bas, sauf si elle y était déjà, auquel cas il n'y a pas d'action ;
- si J et K sont hauts tous les deux, l'horloge provoque un changement d'état du basculeur, quel que soit son état au moment de l'arrivée du top d'horloge.

Donc, en désignant le niveau bas par zéro et le niveau haut par 1, on peut dire que, lors d'un top d'horloge, la sortie Q :

- garde la même valeur si $J = K = 0$;
- passe à un (ou y reste) si $J = 1$ et $K = 0$;
- passe à zéro (ou y reste) si $J = 0$ et $K = 1$;

- change de valeur si $J = K = 1$.

La figure 14 montre la structure du compteur de Regener. Les cinq bistables J-K sont répertoriés de (1) à (5).

Ainsi, chaque impulsion d'horloge H, appliquée à tous les J-K, fait passer le bistable de rang $(n + 1)$ (n compris entre 1 et 4) dans l'état où se trouve le bistable de rang n , à moins, évidemment, que le bistable de rang $(n + 1)$ ne soit déjà dans cet état.

Le bistable de rang 5 commande les J et K du bistable n° 1, mais, contrairement aux autres couplages, c'est sa sortie Q qui commande le K du bistable (1), alors que sa sortie \bar{Q} commande le J de (1). Autrement dit, le couplage de (5) à (1) est « inversé » par rapport aux autres couplages. Cette disposition rappelle l'« anneau de Moebius » (ou « surface à un seul côté ») pour ceux qui aiment les curiosités topologiques.

Fonctionnement du compteur de Regener

Imaginons, au départ, que les cinq basculeurs soient dans l'état « repos », leurs sor-

ties Q étant toutes basses. On voit donc que les basculeurs (2), (3), (4) et (5) ont un zéro sur leurs J et un « un » sur leurs K. Une impulsion d'horloge n'agira pas sur eux, puisque leurs sorties Q sont à zéro.

Mais, en revanche, il y a un « un » sur J du basculeur (1) et un « zéro » sur son entrée K. La première impulsion en H fera donc passer (1) dans l'état où $Q = 1$ et $\bar{Q} = 0$. Après cette première impulsion, le basculeur (2) a donc $J = 1$ et $K = 0$, le (1) a toujours $J = 1$ et $K = 0$. L'impulsion n° 2 en H fera donc passer (2) dans l'état où $Q = 1$, elle n'agira pas sur (1), puisqu'il est déjà dans cet état ; elle n'agira pas non plus sur (3), (4) et (5).

On voit ainsi que la première impulsion en H fait passer (1) dans l'état où $Q = 1$, la deuxième y fait passer aussi (2), (1) restant avec $Q = 1$; la troisième impulsion fait passer (3) dans l'état où $Q = 1$, (1) et (2) restant dans cet état. La quatrième impulsion amène, à son tour, (4) dans l'état où $Q = 1$ (les trois premiers basculeurs restant dans cet état). Enfin, la cinquième impulsion amènera (5) dans l'état où $Q = 1$: tous les basculeurs seront dans cet état. Mais alors, du fait des couplages « inversés » de (5) vers (1), on appli-

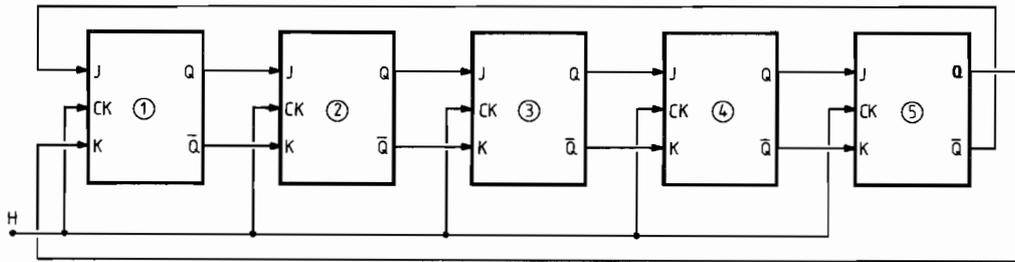


Fig. 14. - Structure du compteur en anneau (du genre « anneau de Moebius »), imaginé par V.H. Regener en 1942 (avec des tubes) et portant, injustement, un autre nom dans les manuels. Quand on commence avec tous les « J-K » au zéro, les impulsions en H font progresser des « un » jusqu'au bout de la chaîne, suivis par une progression des « zéro ».

que maintenant 0 au J de (1) et un à son K.

La sixième impulsion ramènera donc le Q de (1) à zéro, sans agir sur les autres basculeurs. Après cette impulsion, il y aura donc zéro sur le J de (2) et un sur son K, donc la septième impulsion ramènera (2) à zéro, sans agir sur les autres.

On voit comment cela se continue : à la neuvième impulsion, seul (5) sera dans l'état où $Q = 1$, et la dixième impulsion la ramènera à zéro. Donc, dans la chaîne des sorties Q, les « un » avancent pendant les cinq premières impulsions, remplaçant les « zéro », et les « zéro » avancent pendant les cinq dernières impulsions, remplaçant les « un ».

On peut trouver une certaine analogie entre cette succession d'états et la représentation en alphabet Morse des chiffres de 0 à 9.

mettre par une commande de remise à zéro, Clr, sur la broche 15). La sortie S_1 n'est haute que quand le compteur est dans l'état n° 1, etc.

Imaginons donc que nous montions le compteur comme l'indique la figure 15, la sortie S_7 (broche n° 6) étant reliée à la remise à zéro (broche 15).

Le compteur fonctionnera donc tout à fait normalement depuis l'état zéro jusqu'à l'état n° 6 inclus. La sortie S_7 étant restée jusque-là à zéro n'influe pas la commande Clr. Que se passe-t-il lors de la septième impulsion ? Le compteur passe dans l'état n° 7, donc S_7 passe au niveau haut, ce qui amène presque instantanément la remise à zéro du compteur. Autrement dit, le signal sur la sortie S_7 est ce que l'on appelle un « signal sui-

cide » : dès qu'il apparaît, il actionne la commande qui le détruit (la remise au zéro).

Si on regarde la sortie S_7 à l'oscilloscope, on ne voit qu'une fine impulsion, moins de 200 ns à la base, due aux différents retards de propagation des commandes dans le HEF 4017. En effet, l'application d'un niveau haut sur l'entrée Clr ne provoque pas instantanément la remise au zéro du compteur.

Donc, dans le montage de la figure 15, le compteur revient à zéro toutes les sept impulsions en H. En utilisant une sortie telle que S_1 , par exemple, on dispose donc d'un signal d'une durée égale à une période des impulsions en H, se reproduisant toutes les sept impulsions en H.

On réalise ainsi une division de fréquence par 7. On pour-

rait, de la même façon, diviser une fréquence par 2, 3... 8 ou 9, simplement en reliant, dans le montage de la figure 15, la commande Clr à la sortie $S_2, S_3... S_8$ ou S_9 .

Donc, si l'on veut diviser une fréquence par 21, qui est le produit de 3 par 7, on utilisera un premier montage analogue à celui de la figure 15, avec la sortie S_3 (broche 7) commandant l'entrée Clr, dont la sortie S_1 (par exemple) attaquera l'entrée d'un second montage, identique, celui-là, à celui de la figure 15.

Division par un nombre premier supérieur à 10

Les HEF 4017 peuvent aussi être employés pour diviser

Les onze sorties du compteur

Dans le circuit HEF 4017, réalisé en anneau de Regener selon le schéma de la figure 14, on dispose d'une première sortie : la sortie Q-barre de (5), sur la broche 12, haute pendant les cinq premiers états du compteur, basse pendant les cinq derniers.

Mais, grâce à des jeux de portes, on dispose aussi de dix autres sorties, nommées $S_0, S_1, S_2... S_9$. La sortie S_0 est haute quand le compteur est à l'état zéro (où on peut le re-

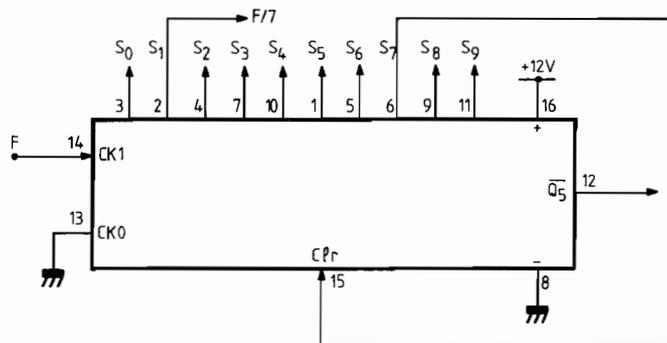


Fig. 15. - Le circuit HEF 4017, en structure de Regener, a dix sorties « décodées », de S_0 à S_9 , et une sortie Q-barre. En utilisant, par exemple, la sortie S_7 pour commander la remise à zéro du compteur, on réalise une division de fréquence par 7.

une fréquence par un nombre premier assez grand. Supposons qu'il s'agisse du nombre 547, qui est premier.

Nous utiliserons alors le montage de la figure 16. On voit qu'il comporte trois compteurs HEF 40917, U pour les unités, D pour les dizaines, et C pour les centaines.

La sortie S₇ du compteur des unités, la sortie S₄ de D, la sortie S₃ de C vont aux trois entrées d'un circuit ET, E (par exemple un tiers de HEF 4073). C'est la sortie de ce circuit qui commande les trois remises au zéro de U, D et C.

Donc, cette remise à zéro aura lieu quand U sera dans l'état n° 7, D étant dans l'état n° 4 et C dans l'état n° 5, c'est-à-dire quand le compteur aura reçu 547 impulsions.

Le couplage entre les circuits utilise la sortie Q-barre du J-K n° 5 (fig. 14). Elle redevient haute quand le compteur revient à l'état n° 0, partant de l'état n° 9, donc quand il « recycle », ce qui est le bon moment pour faire passer une « retenue » des unités vers les dizaines, ou des dizaines vers les centaines.

Il faut toutefois noter que cette disposition peut conduire à ce que l'on appelle une « situation de conflit » : à l'arrivée de la 547^e impulsion, comme U est remis au zéro, il envoie une impulsion positive, par sa sortie 15, à l'entrée de D, qui est, en même temps, commandé par son entrée Clr (broche 15). L'impulsion sur son entrée 14 tend à le faire avancer, alors qu'il est remis au zéro.

Comme la commande de mise au zéro est « dominante » (ayant seule de l'effet si l'on applique d'autres commandes pendant que l'entrée 15 est haute), il suffit que le signal sur les entrées 15 des trois compteurs dure un temps suffisant. Comme il s'agit d'un signal « suicide », dont l'apparition même provoque la destruction (par remise au zéro des compteurs), il est plus prudent, pour éviter les ennuis, de l'allonger un peu.

Cet allongement est réalisé par les éléments D, R et C.

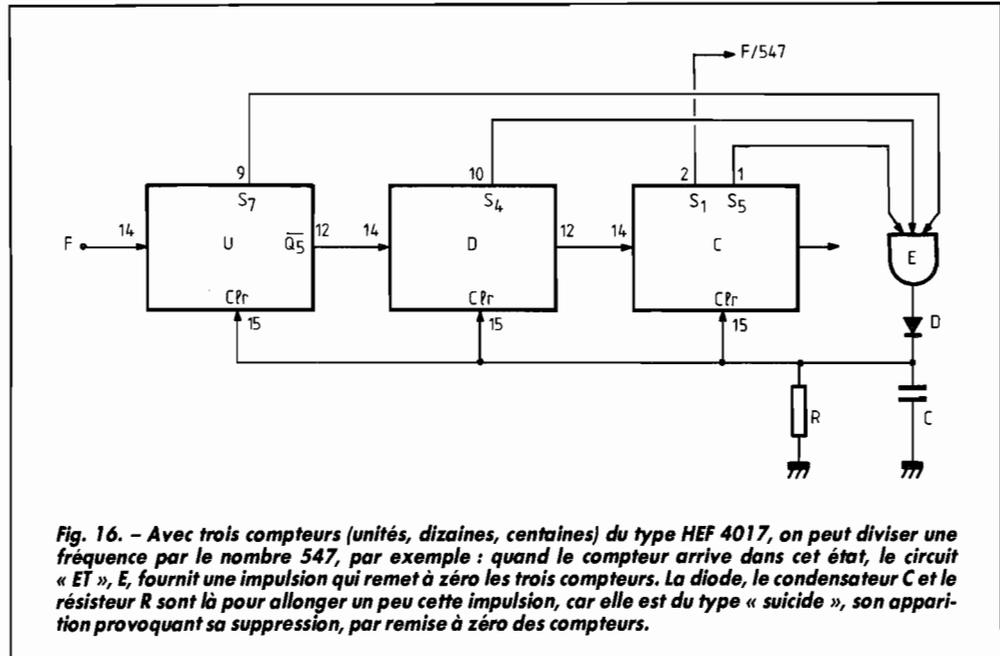


Fig. 16. - Avec trois compteurs (unités, dizaines, centaines) du type HEF 4017, on peut diviser une fréquence par le nombre 547, par exemple : quand le compteur arrive dans cet état, le circuit « ET », E, fournit une impulsion qui remet à zéro les trois compteurs. La diode, le condensateur C et le résistor R sont là pour allonger un peu cette impulsion, car elle est du type « suicide », son apparition provoquant sa suppression, par remise à zéro des compteurs.

Lors de l'apparition du signal sur la sortie de E, le condensateur C se charge à travers la diode D, maintenant, sur les entrées Clr des circuits, un niveau haut pendant le temps de décharge de C dans R.

Bien entendu, il ne faut pas allonger trop le signal, sinon la première impulsion d'entrée qui suit la remise à zéro n'agirait pas sur le compteur U, « bloqué » à zéro par le signal allongé sur son entrée Clr. On se contente d'un allongement de quelque 100 nanosecondes (par exemple C = 100 pF, R = 2,2 kΩ).

Plus la fréquence d'entrée est basse, moins les valeurs de R et C sont critiques. Avec une fréquence d'entrée de 1 MHz, on dispose de 1 μs entre chaque impulsion, en tenant compte d'un retard de 50 ns pour l'arrivée de S₇ de U au niveau haut, puis de 30 ns pour la propagation dans E, on peut se permettre d'allonger le signal de mise à zéro jusqu'à 600 ns sans problème. Avec une fréquence d'entrée de 4 MHz (T = 250 ns) et 80 ns de retard total, il faut limiter l'allongement à 120 ns maximum, pour se réserver une « marge » de 50 ns avant l'impulsion suivante.

L'allongement du signal par le circuit D, C, R est un moyen un

peu « rustique », et l'on aura de meilleurs résultats en utilisant un allongement réalisé par un monostable (une moitié de HEF 4518 par exemple) commandé par la sortie de E, donnant, en sortie, un beau signal rectangulaire de 150 ns, par exemple, capable de durer après la disparition de la sortie de E.

Les compteurs prédéterminés

Un autre moyen de réaliser une division de fréquence par un nombre quelconque est l'emploi des « compteurs prédéterminés », qui se réalisent de plusieurs façons.

On peut utiliser les « décades à prédétermination », comme le circuit HEF 4522 (ou les nombreux équivalents TTL, comme le 74 LS 168). Les circuits indiqués ci-dessus sont des décades, ayant deux particularités :

- on peut les « précharger », c'est-à-dire leur imposer un état de départ arbitrairement choisi, indiqué en code binaire sur quatre entrées, par une commande de « chargement » (« preset-load » en VO), ainsi que nous l'expliquerons plus loin en détail ;
- ces décades comptent « à l'envers », systématiquement

pour la HEF 4522, si on le lui « demande » (par un niveau bas sur la broche 1), dans le cas du 74 LS 168. Autrement dit, les états de la décade, lors de l'envoi d'impulsions successives à l'entrée, se succèdent dans l'ordre 9, 8, 7... 2, 1, 0, un peu comme à Kourou (on n'est toutefois pas obligé de faire partir une Ariane 4 à chaque utilisation). L'idée générale d'un diviseur de fréquence utilisant ces circuits est la suivante. Supposons que nous désirions diviser une fréquence par 691 (nombre premier). Nous allons constituer un compteur à trois décades, et nous allons, au départ, le « prépositionner » à l'état 691, en « prépositionnant » les unités à 1, les dizaines à 9 et les centaines à 9. Autrement dit, nous appliquerons aux entrées de prépositionnement des unités le nombre binaire 0001 (un), à celles des dizaines, le nombre binaire 1001 (9) et à celles des centaines le nombre binaire 0110 (6).

Un signal sur la commande « preset-load » va donc mettre le compteur dans l'état n° 691. La première impulsion envoyée le fera passer, en « décomptage », par l'état 690, la seconde à 689... La 691^e impulsion le fera passer dans l'état 000.

Comme le circuit a la gentillesse de nous dire (par une sortie *ad hoc* dans la décade) quand il arrive dans l'état zéro, lorsque les trois circuits seront dans cet état, on utilisera une porte OU ou NOR à trois entrées (une pour chaque sortie « état zéro » des décades) pour commander le « preset-load », qui va remettre le compteur dans l'état 691... et c'est reparti pour un tour.

Prédétermination par roues codeuses

Pour donner toute sa généralité au système, c'est-à-dire pour permettre une division par n'importe quel nombre, le mieux est d'appliquer aux entrées de prédétermination des décades les sorties d'un ensemble de « roues codeuses ». Précisons ce dont il s'agit.

On veut pouvoir mettre chaque décade dans un état allant de l'état zéro (inclus) à l'état n° 9 (inclus). Signalons, à ce propos, que, quand nous parlons de « remettre la décade à l'état n°9 », nous n'envisageons pas un ravalement de la façade de cette décade ni de repeindre le circuit. C'est pourquoi il est important de dire qu'on la remet dans l'état n° 9.

Pour remettre une décade dans l'état n° n (n de 0 à 9), il faut commencer par lui appliquer, sur ses quatre entrées de prédétermination, le nombre n en code binaire. Autrement dit, si ces entrées sont répertoriées A (unités), B (deuxaines), C (quatraines) et D (huitaines), il faut appliquer à ces entrées :

n	D	C	B	A
0	0	0	0	0
1	0	0	0	1
2	0	0	1	0
3	0	0	1	1
4	0	1	0	0
5	0	1	0	1
6	0	1	1	0
7	0	1	1	1
8	1	0	0	0
9	1	0	0	1

Il va de soi que la présence d'un « un » dans un emplacement signifie que l'on applique à l'entrée un niveau logique haut, le « zéro » correspondant à un niveau logique bas.

On peut, bien entendu, le faire par quatre interrupteurs, permettant de relier les entrées A, B, C et D soit à la masse (zéro), soit au + (un). Mais cela serait compliqué et un peu long.

Une roue codeuse est un ensemble de plusieurs commutateurs, associés à un bouton de commande portant les dix chiffres de 0 à 9, que l'on fait défiler devant un repère.

Ces commutateurs comportent un « commun » et quatre sorties, correspondant respectivement aux entrées A, B, C et D de la décade à prédétermination.

Une réalisation possible d'une telle roue est celle de la figure 17. On voit que l'on n'utilise que trois galettes de commutation, car la troisième peut servir à la sortie C (reliée au commun dans les positions 4, 5, 6 et 7) et D (reliée au commun dans les positions 8 et 9).

Ces roues peuvent se présenter comme des éléments relativement plats, que l'on empile les uns au bout des autres, les chiffres, gravés sur un cylindre court, étant visibles sur la tranche. Une molette reliée au cylindre permet alors de faire tourner la roue.

On trouve aussi ces roues dans une disposition qui rappelle un peu un afficheur à deux chiffres de sept segments. L'engin a alors la forme d'un petit bloc, un prisme à base carrée, qui se fixe sur un circuit imprimé par des broches à l'arrière. La rotation de l'axe des commutateurs est assurée par une tige centrale munie d'une fente comme une vis, les chiffres de 0 à 9, gravés sur un disque, apparaissent alors dans une fenêtre sur la face carrée du bloc.

Il est également à signaler que ces roues existent en « direct » (correspondant au schéma de la figure 17) ou en « complément ». Dans ce se-

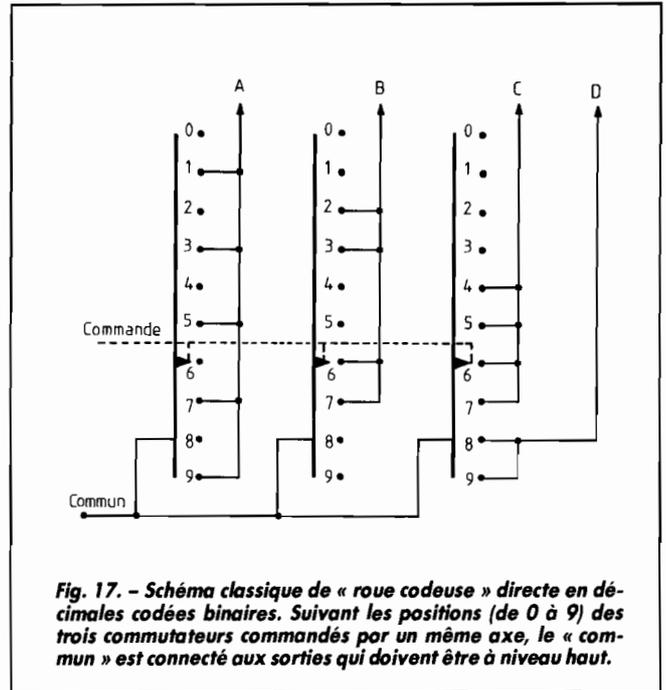


Fig. 17. - Schéma classique de « roue codeuse » directe en décimales codées binaires. Suivant les positions (de 0 à 9) des trois commutateurs commandés par un même axe, le « commun » est connecté aux sorties qui doivent être à niveau haut.

cond type, les sorties sur lesquelles on doit avoir un « un » niveau haut, au lieu d'être connectées au « commun », en sont déconnectées ; elles lui sont reliées quand elles doivent être dans l'état « zéro » (cette disposition est plus rare).

Signalons enfin qu'il y a des roues codées en « hexadécimales ». Elles ont alors seize positions (et non dix), les positions au-delà de 9 étant repé-

rées par A, B, C, D, E et F, ainsi que les informaticiens le savent tous.

Comment utiliser une roue codeuse décimale directe ? C'est extrêmement simple, et la figure 18 en indique le branchement. Le « commun » de la roue est relié au + (la tension positive d'alimentation du circuit) et les sorties de la roue commandent les entrées de même nom de la décade.

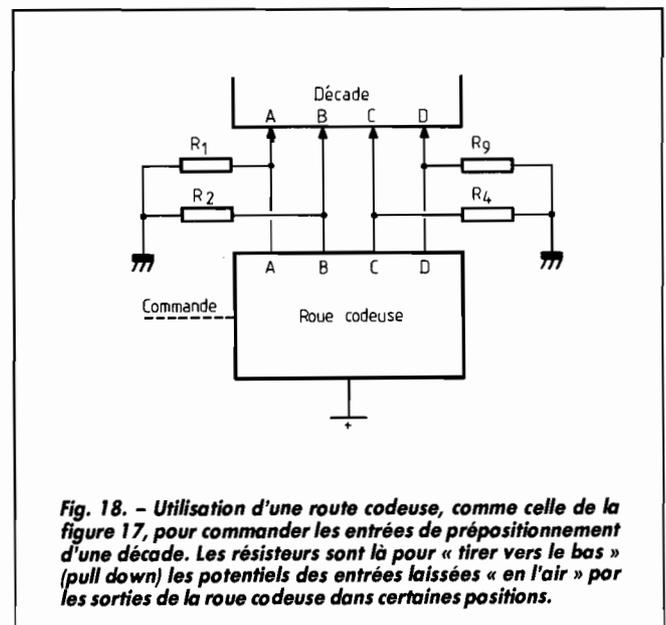


Fig. 18. - Utilisation d'une roue codeuse, comme celle de la figure 17, pour commander les entrées de prépositionnement d'une décade. Les résistances sont là pour « tirer vers le bas » les potentiels des entrées laissées « en l'air » par les sorties de la roue codeuse dans certaines positions.

Un seul point peut sembler moins évident : les quatre résistances de R_1 à R_4 . Ils sont tout simplement là pour fixer les potentiels des entrées, laissées « en l'air » par la roue codeuse quand ils doivent être au niveau zéro logique.

Pour un circuit CMOS, il ne faut jamais laisser une entrée « en l'air », elle prend un niveau indéfinissable, donc on la connecte à un résistor dit « de tirage bas » (pull down) car il « tire » le potentiel de cette entrée vers « le bas » (la masse). La résistance des résistances peut être grande (10 k Ω est une valeur bien classique).

Si le circuit est du type TTL, le fait de laisser une entrée « en l'air » la porte automatiquement au niveau logique un. Il faut alors, si on veut l'amener au niveau bas, un résistor de « tirage bas » de faible résistance (pas plus de 1,8 k Ω pour les TTL du type LS, pas plus de 270 Ω pour une TTL classique).

Intérêt de la division par un nombre quelconque

Avec les roues codeuses et les décades à prédétermination, on peut donc, en associant P groupes (décade + roue codeuse), arriver à diviser une fréquence par tout nombre de 1 à 10 puissance P (à un près). Avec quatre décades et quatre roues codeuses, on divisera donc une fréquence par tout nombre compris entre 1 et 9 999.

On peut se demander l'intérêt d'une telle opération. Nous verrons plus loin que c'est extrêmement important, paradoxalement, quand on veut multiplier une fréquence. Mais il y a des applications plus directes.

Supposons que, par exemple, nous souhaitions régler la vitesse du cabestan d'un magnétophone à cassette. Supposons que ce cabestan ait un

diamètre de 2 mm et que la bande doive défiler à 47,5 mm/s. La circonférence du cabestan représente $2 \times P = 6,283 2$ mm. L'axe doit donc tourner à :

$$47,5/6,283 2 = 7,559 86 \text{ tr/s}$$

En mettant un petit point excentré de peinture blanche sur le bout du cabestan, nous réglerons facilement sa vitesse à l'aide d'un stroboscope qui donne 7,559 86 éclairs par seconde. Il « suffit » donc de synchroniser ledit stroboscope par un signal à 7,559 86 Hz.

On voit facilement que, en divisant une fréquence de 1 MHz (très précise, parce que fournie par un oscillateur à quartz) par le nombre 132 278, on obtient une fréquence de 7,559 84 Hz, soit la valeur voulue à cinq millions près.

Nous avons supposé que les décades utilisées, en plus de leurs possibilités de « prédétermination », permettaient de

compter « en descendant ». Si nous n'avions disposé que de décades à prédétermination comptant uniquement dans le sens montant (sens « normal »), il nous aurait fallu prédéterminer les décades non pas par le nombre N par lequel on veut diviser la fréquence, mais par son « complément à 99...9 ».

Ainsi, avec trois décades, pour diviser une fréquence par 691, il aurait fallu prédéterminer les décades par le nombre :

$$999 - 691 = 308$$

car, avec une décade « montante », il y a une sortie qui indique quand elle passe par l'état n° 9. Les trois décades, partant de 308, passent donc dans l'état 999 (ce qui déclenche la remise à 308) au bout de 691 impulsions. Cette solution est donc peu pratique.

(A suivre)

J.-P. OEHMICHEN

BLOC-NOTES

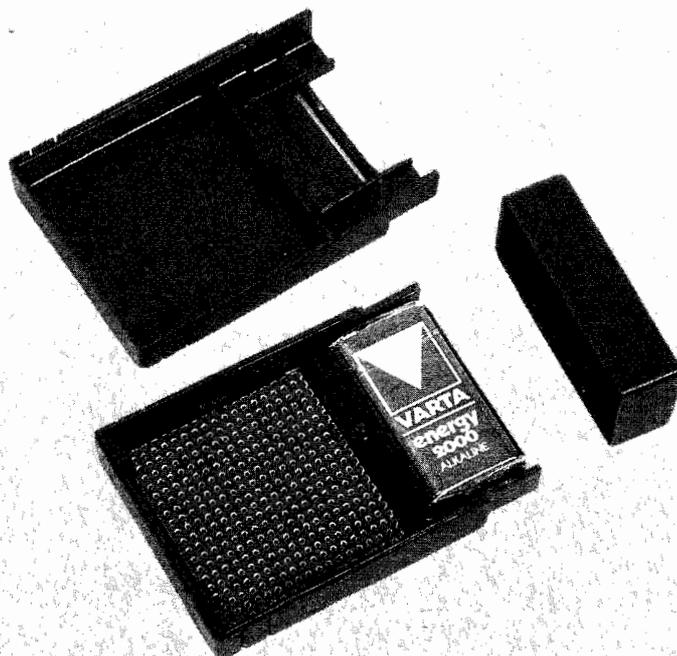
UN COFFRE POUR VOS MONTAGES

MMP sort un nouveau coffret. Vous allez nous dire que ce n'est pas vraiment original. Ce coffret est particulièrement bien conçu. Il est réalisé en trois parties moulées et ressemble assez à un paquet de cigarettes.

Son extrémité, retenue par le moulage, s'enlève par simple traction et laisse apparaître un emplacement pour une pile de 9 V, ou éventuellement deux éléments de 1,5 si vous leur faites un porte-piles pas trop long. Un changement très facile pour la pile, si votre montage est gourmand...

Une fois le couvercle enlevé, vous pourrez séparer les deux parties restantes, elles sont retenues par deux crochets à l'arrière et un pion situé au niveau du compartiment à pile. Si vous avez besoin d'une tenue mécanique meilleure, une version existe avec fermeture par vis, mais, si vous avez acheté la version sans vis, vous n'aurez qu'à faire votre trou...

Il vous faut maintenant fixer votre circuit électronique. Plusieurs solutions ont été prévues. Deux rainures permettent d'introduire deux circuits imprimés de 55 x 22,5 mm, vous avez également aussi une possibilité de mise en place d'un circuit de 49 x 45 mm, qui sera retenu par deux verrous élastiques. Pas besoin de vis, quatre pieds aux quatre coins supportent le circuit, vous devrez seulement éviter, dans votre implantation, d'installer une queue de composant à l'endroit du pied... Il reste un dernier élément attrayant : le prix, qui se monte à seulement 5 F...



Découvert chez : Composants Electronique Services, 101, boulevard Richard-Lenoir, 75009 Paris. Tél. : 47.00.80.11.