

## Les applications des compteurs

**A** quoi sert un compteur électronique ? La réponse est évidente, il sert à compter ! Mais il a encore de bien nombreuses autres applications que le comptage pur et simple. Nous avons déjà vu qu'un compteur est en fait un circuit diviseur, et nous avons déjà mentionné ses applications en horlogerie. Les compteurs sont aussi très employés dans les ordinateurs.

Aujourd'hui nous verrons comment un compteur est inséré dans un montage pour réaliser des mesures telles que la vitesse ou le temps (chronomètre). Nous montrerons des applications en métrologie (mesures de fréquence et de tension).

Nous compléterons cette étude en donnant la définition de termes très courants en ce qui concerne les compteurs, mais dont la signification est plutôt inconnue auprès des débutants.

### Comptage

Comme son nom l'indique, un compteur sert avant tout à compter. L'exemple le plus simple est le comptage d'objets dans une chaîne de fabrication. On conçoit très bien le défilement de ces objets

entre une source de lumière et une cellule photo-électrique, cette dernière étant suivie d'un circuit de mise en forme en « tout ou rien » relié à l'entrée du compteur. A chaque passage, une impulsion est générée et envoyée au compteur. L'affichage donne à tout moment le nombre d'objets comptés.

Une application courante est celle de l'emballage. Il s'agit par exemple de faire des paquets de 12 objets. Le compteur employé sera un compteur par 12. A la sortie de celui-ci, on place un dispositif qui, lorsque le nombre 12 est atteint, arrête le défilement de ces objets, ou émet un signal sonore, ou encore remplace l'emballage plein par un autre à remplir...

### Mesure de la vitesse d'un moteur

La mesure de la vitesse d'un moteur est également obtenue par un compteur et un système à cellule photo-électrique. Le dispositif se complique légèrement par le fait qu'il faut compter le nombre de tours du moteur pendant un temps déterminé, par exemple durant une minute, pour connaître la vitesse en tours/minute.

La figure 1 représente un moteur électrique. Sur sa poulie, on colle un petit morceau de papier d'aluminium formant réflecteur. Une ampoule électrique, type mini-

loupe, est dirigée vers ce réflecteur. La lumière, après réflexion excite la cellule photo-électrique, elle-même suivie par un circuit de mise en forme, pouvant être un trigger de Schmitt. On remarque aussi sur le schéma un monostable réglé à une minute. Son but est de fournir une impulsion positive dont l'amplitude est de + 5 V et dont la durée est d'une minute. Cette tension commande la porte connectée à l'entrée du compteur. Autrement dit, elle ne laisse passer les impulsions positives générées à chaque tour du moteur que pendant une minute. Le nombre de tours par minute est ainsi compté et affiché.

Le papier d'aluminium et le système photo-électrique

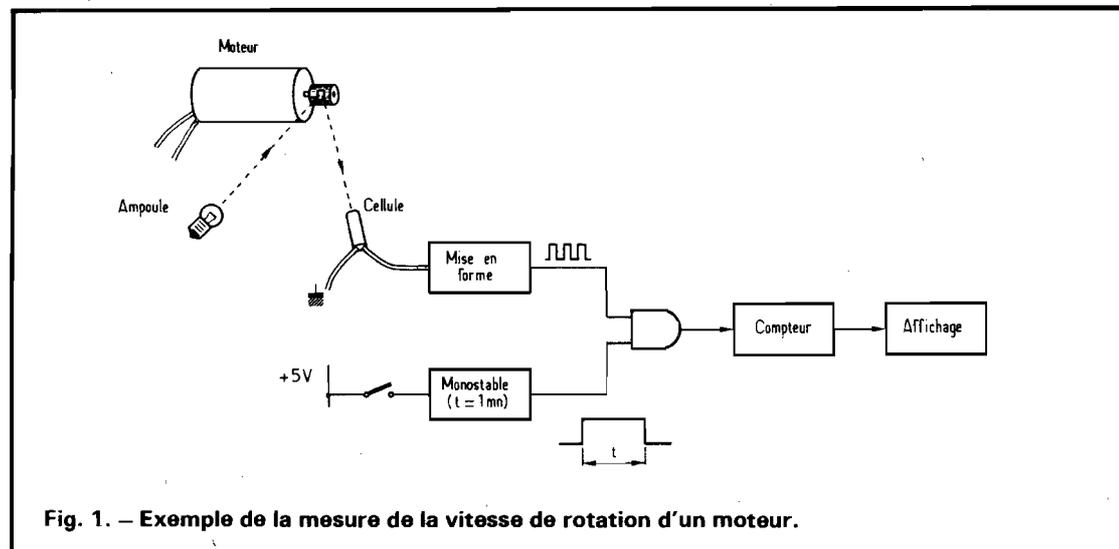


Fig. 1. — Exemple de la mesure de la vitesse de rotation d'un moteur.

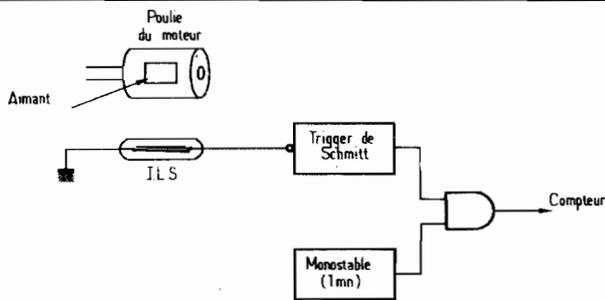


Fig. 2. — Un interrupteur à lame souple (I.L.S.) est utilisé comme capteur.

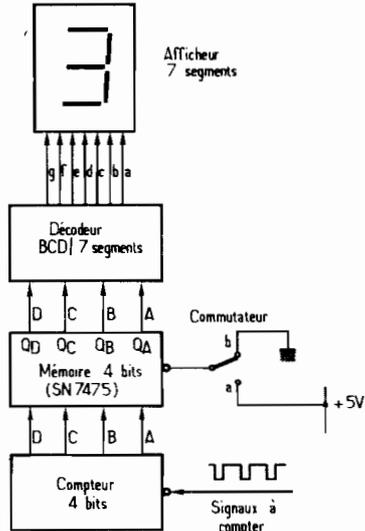


Fig. 3. — Mise en mémoire de l'affichage. Le commutateur étant sur la position a, il y a transmission des signaux entre le compteur et le décodeur. Sur b, la mémoire garde la dernière valeur reçue du compteur.

Fig. 4. — Composition d'un circuit de mémoire 4 bits (SN 7475).

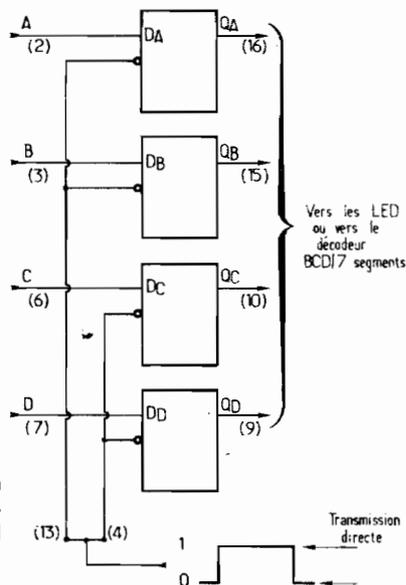
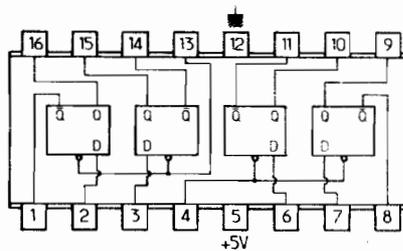


Fig. 5. — Brochage du circuit SN 7475 N (quadruple bascule D de stockage).



pourraient être remplacés par un petit aimant, lui aussi collé sur la poulie. Un interrupteur à lame souple (I.L.S.), également appelé « relais reed », est placé à proximité de la poulie, de telle sorte qu'à chaque passage de l'aimant le relais se ferme et le trigger de Schmitt fournit une impulsion bien nette à sa sortie (fig. 2).

## Mémorisation de l'affichage

Remarquons que tel qu'il est représenté sur les différents dessins, l'affichage nous donnera une succession très rapide de nombres bien difficiles à lire. Il est donc indispensable d'afficher et de mémoriser la valeur finale (nombre de tours du moteur à la fin d'une minute, par exemple).

On emploie alors un circuit mémoire entre le compteur et le décodeur (fig. 3). Il existe

des mémoires 4 bits (SN7475), 8 bits (SN74100, boîtier DIP 24), 16 bits (SN7481 ou 7484)... Notre application utilisera la mémoire 4 bits type SN7475. Ce circuit de mémoire se compose de 4 bascules D dont le but est de stocker l'information au bon moment.

Le fonctionnement de

cette mémoire est simple. Les 4 bascules reçoivent l'information binaire (ABCD) du compteur 4 bits. Ces signaux sont incessamment variables, aussi les bascules suivent-elles ces variations.

Outre l'entrée D et les sorties Q et  $\bar{Q}$ , ces bascules possèdent une commande de verrouillage dont la fonction

est de bloquer la bascule si cette commande est portée au niveau 0, ou de laisser libre le fonctionnement de la bascule si ce niveau reste à 1.

En portant la commande (broches 4 et 13) à + 5 V, on peut voir défiler les chiffres de l'affichage. En ramenant rapidement la tension à 0 V, c'est le dernier chiffre affiché qui reste mémorisé. En pratique il suffit de relier les dites broches à un point du compteur où apparaît une tension positive de 5 V en fin de comptage. Cette impulsion est représentée sur la figure 4.

Le schéma de brochage du SN7475 est donné sur la figure 5.

## Utilisation du compteur en chronomètre

Une autre application est celle de la mesure de temps. En d'autres termes, un compteur peut être transformé en chronomètre électronique, semblable à ceux utilisés dans les compétitions sportives. Voyons-en le fonctionnement (fig. 6).

Un oscillateur donne des signaux carrés dont la période est  $1/10^6$  de seconde. Ceux-ci sont appliqués à la première entrée d'une porte ET. La deuxième entrée de celle-ci reçoit une tension

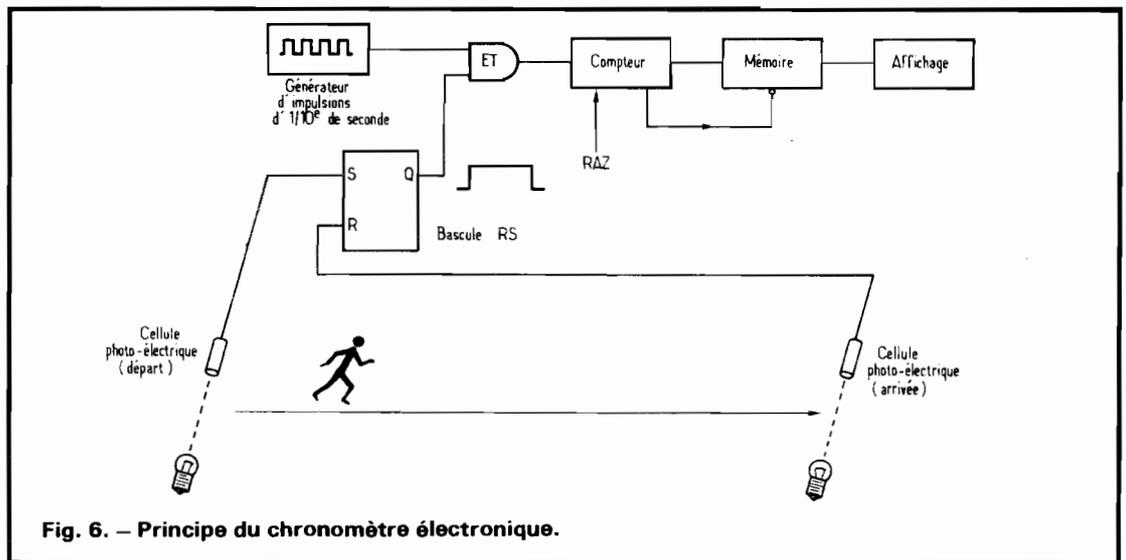


Fig. 6. — Principe du chronomètre électronique.

rectangulaire provenant d'une bascule RS. Les entrées S et R de cette bascule sont commandées respectivement par les cellules photo-électriques de départ et d'arrivée de la course.

Le passage du curseur devant la première cellule occasionne la coupure brève du faisceau lumineux. Il s'ensuit une impulsion électrique à la sortie de la cellule ; éventuellement mise en forme, elle attaque l'entrée S (« set » ou « travail ») de la bascule. La sortie Q passe du niveau 0 au niveau 1, autorisant le passage des impulsions vers le compteur. A l'arrivée de la course, la deuxième cellule fournit l'impulsion qui remet à zéro la bascule RS. Sa sortie Q retombe au niveau bas, bloquant la porte et arrêtant le compteur.

Dans le rectangle dénommé « compteur », nous avons une suite de diviseurs : un diviseur par 10 donnant le nombre de secondes, suivi d'un diviseur par 60 indiquant les minutes, et, si cela est nécessaire, un autre diviseur donnant le nombre d'heures.

Sont représentés également sur la figure 6, la remise à zéro (RAZ) du compteur, le circuit de mémoire et l'affichage.

Connaissant la distance, il est facile à l'aide d'un circuit arithmétique de connaître la vitesse.

Les applications des compteurs sont vraiment très nombreuses. Nous n'avons pas l'intention de les énumérer toutes. Pour terminer, nous donnerons deux applications à la métrologie.

COMPTEURS INTÉGRÉS TTL LES PLUS COURANTS			
Fonction	Type	Boîtier	Caractéristiques sommaires
Binaire	7493	TO 116	Compteur 4 bits
	74161	DIP 16	Synchrone 4 bits
	74163	DIP 16	Synchrone 4 bits
	74197	TO 116	Asynchrone 4 bits
BCD	74176	TO 116	
Décimal	7490	TO 116	Diviseur par 2 + diviseur par 5
	74160	DIP 16	Synchrone
	74162	DIP 16	Synchrone
	74196	TO 116	Asynchrone
	74490	DIP 16	Double compteur décimal
Compteur Décompteur	74142	DIP 16	Décimal
	74190	DIP 16	Décimal synchrone
	74191	DIP 16	Binaire 4 bits synchrone
	74192	DIP 16	Décimal synchrone
Diviseur	7490	TO 116	Diviseur par 2 + diviseur par 5
	7492	TO 116	Diviseur par 12
	74293	TO 116	Diviseur par 2 + diviseur par 8
	74390	DIP 16	Double diviseur par 2 + double diviseur par 5
	74393	TO 116	Double diviseur par 16
Modèles spéciaux	74144	DIP 24	Compteur - Mémoire - Décodeur 7 segments à transistor de sortie à collecteur ouvert
	74177	TO 116	Compteur binaire et décimal ajustable

## Mesure de fréquence

Le fréquencemètre (fig. 7) reçoit à ses bornes une tension périodique dont on veut connaître la fréquence. Cette tension passe à travers un circuit de mise en forme dont on recueille en sortie une tension rectangulaire de même fréquence que le signal à mesurer. Ces signaux bien nets sont appliqués à l'une des entrées de la porte. Une autre partie du circuit consiste en un générateur de temps étalon. C'est un oscillateur à quartz vibrant à une fréquence bien stabilisée de quelques dizaines de kilohertz. Cet étage étalon est

suivi d'un diviseur de fréquence, puis d'un circuit dont la particularité est de donner une impulsion positive d'une seconde. Ce circuit pourrait être un monostable dont la période est bien stable. Sa sortie est reliée à la deuxième entrée de la porte.

Le compteur reçoit bien le nombre d'impulsions par seconde du signal appliqué à l'entrée du fréquencemètre. L'affichage est directement étalonné en périodes par seconde ou Hertz.

## Conversion analogique-digitale

Les appareils de mesure numériques utilisent des compteurs. Nous donnons

dans le paragraphe suivant un exemple appliqué au volt-mètre numérique, mais le principe est le même pour les mesures d'intensité, de température, de pression, d'éclairement, etc.

La quantité à mesurer est donnée sous forme analogique, c'est-à-dire que cette quantité varie continuellement. S'il s'agit d'une température, celle-ci est transformée en tension électrique variant en fonction de la température. Cette tension est une quantité analogique. Si la température varie de 0 à 10 degrés, le capteur donnera par exemple une variation de 3 V, ce qui signifie que la conversion température - tension est de 0,3 V par degré.

Cette valeur analogique est ensuite transformée en quantité digitale par un dispositif appelé « Convertisseur Analogique Digital ». Toujours dans notre exemple, la variation de 3 V est convertie par ce dispositif en un certain nombre d'impulsions qui seront envoyées au compteur, dont l'affichage est étalonné directement en degrés.

Pour 3 V appliqués au convertisseur A/D, mettons que nous ayons 10 kHz. L'af-

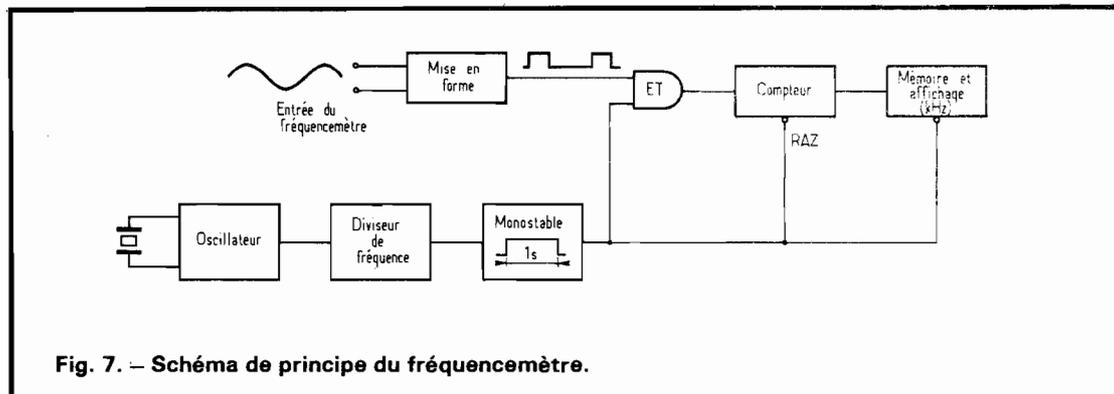


Fig. 7. — Schéma de principe du fréquencemètre.

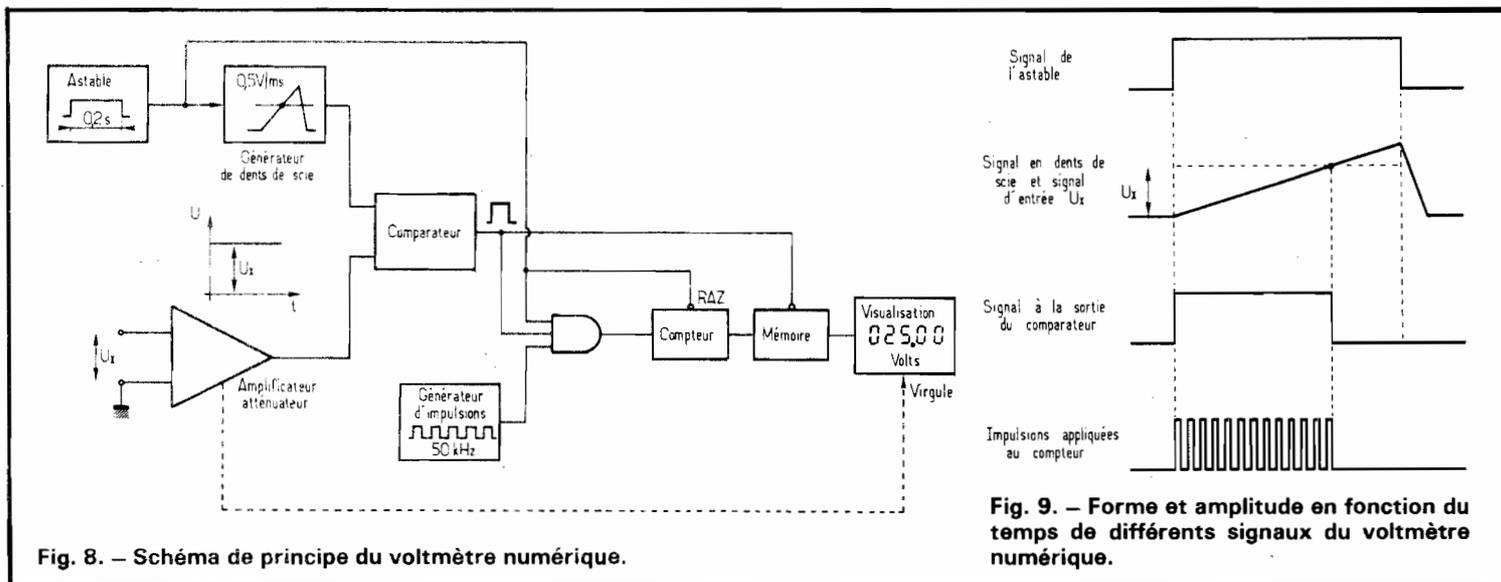


Fig. 8. — Schéma de principe du voltmètre numérique.

Fig. 9. — Forme et amplitude en fonction du temps de différents signaux du voltmètre numérique.

ficheur n'indiquera pas 10 kHz, mais 10 °C. Si la température augmente de 50 %, la tension du capteur augmente elle aussi de 50 %. Elle passe donc de 3 à 4,5 V, donnant à la sortie du convertisseur A/D 50 % de périodes en plus, soit 15 kHz au total. L'affichage indiquera 15 °C.

Il existe plusieurs principes de convertisseurs analogique/digital. Comme exemple d'application, nous parlerons d'un circuit utilisant une dent de scie.

### Voltmètre numérique

Les circuits d'application que nous venons de voir comportent un générateur étalon, un circuit de mise en forme, une porte logique suivie de l'ensemble compteur, mémoire et affichage. On retrouve le même principe dans le voltmètre numérique dont nous avons simplifié au maximum le schéma dans le but de bien faire comprendre le principe (fig. 8)

Ici, la différence principale réside dans le générateur de dents de scie et de comparateur. Commençons par l'astable, il fournit une tension qui, dès son apparition, ouvre la porte de telle sorte que le compteur commence à compter les signaux issus du générateur d'impulsions. Au même moment, le même as-

table déclenche le générateur de dents de scie dont la tension est appliquée à une des entrées du circuit comparateur. Ce dernier fait la comparaison entre deux tensions : la tension en dent de scie et la tension à mesurer qui traverse un ensemble amplificateur - atténuateur symbolisé par un triangle.

La tension à la sortie du comparateur est normalement positive, mais elle retombe à zéro lorsque la valeur de la tension de la dent de scie atteint celle de la tension à mesurer Ux. La largeur de l'impulsion sortant du comparateur est d'autant plus longue que la tension Ux est plus élevée, et de ce fait le nombre d'impulsions comptées par le compteur sera plus grand, car le comparateur commande la porte logique.

La forme et l'amplitude en fonction du temps sont données sur la figure 9.

Il est évident que si la ten-

sion inconnue Ux est deux fois moins grande, le point de rencontre avec la dent de scie sera réduit de moitié, et le nombre d'impulsions comptées sera également divisé par deux. Il va sans dire que le nombre visualisé sera indiqué en volts. Le réglage de l'atténuateur commande la position de la virgule.

### Application pratique

Terminons par un petit exercice numérique. La période de l'astable, qui détermine le temps de la mesure est de 0,2 s (ou 200 ms). La pente de la dent de scie est de 0,5 V par milliseconde, et la fréquence du générateur d'impulsions est de 50 kHz.

La tension maximale mesurable sera :  $0,5 \text{ V/s} \times 200 \text{ ms}$  soit 100 V. La fréquence du générateur d'impulsions étant 50 000

Hz, le nombre d'impulsions comptées est de  $50\,000 \times 0,2 \text{ sec} = 10\,000$ . La visualisation indique 10 000. La virgule doit être placée de telle manière qu'on puisse lire 100,00 V.

Si la tension à mesurer Ux est de 25 V, la rencontre Ux - dent de scie se produit au bout de  $25 \text{ V} / 0,5 \text{ V/ms}$  soit 50 ms (ou 0,05 secondes).

Le nombre de périodes comptées est :  $50\,000 \times 0,05$  soit 2 500. Si la virgule reste bien positionnée, on lit bien 25 V.

### Terminologie des compteurs

Pour terminer nous nous proposons de passer en revue certains termes utilisés dans cette technique.

Tout d'abord un **compteur** est un circuit séquentiel enregistrant un certain nombre d'états à la suite d'une commande extérieure. Les

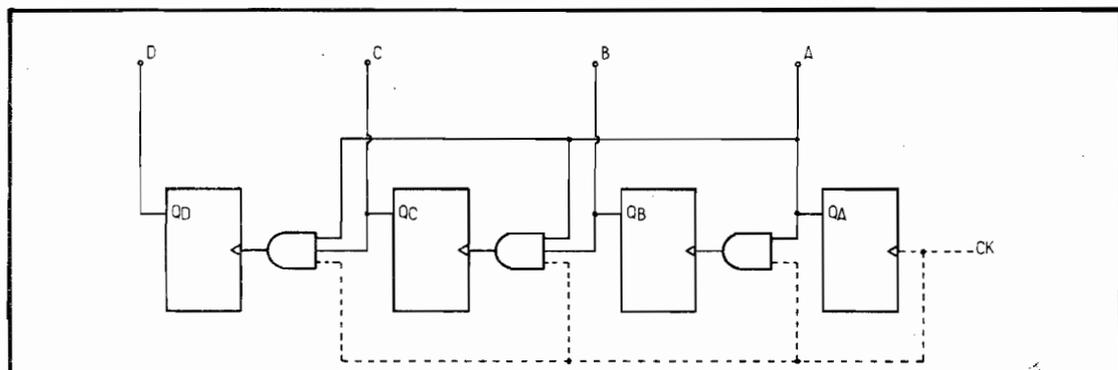


Fig. 10. — Exemple de compteur synchrone.

compteurs sont réalisés par des bascules. On distingue les compteurs **binaires**, affichant en binaire le nombre d'impulsions comptées, les compteurs **BCD** qui sont des compteurs binaires transformés en compteur décimal, les compteurs **décimaux** qui comptent de 0 à 9. Un autre type, appelé : **compteur en anneau**, comporte autant de bascules qu'il y a de symboles dans la base choisie. Nous en parlerons plus tard, lors de l'étude des registres à décalage.

Notons qu'on appelle **décade** un compteur décimal. Le mot **bit** revient souvent dans les textes traitant des compteurs binaires. Il s'agit de l'abréviation de « binary-digit », mot anglais signifiant « nombre binaire ». Un compteur binaire composé de 4 bascules est un compteur 4 bits. On en vient alors à la **capacité** d'un compteur, qui est le nombre binaire le plus élevé susceptible d'être affiché. La capacité d'un compteur binaire est égale à  $2^n$ ,  $n$  étant le nombre de bits du compteur. Un compteur 4 bits peut compter jusqu'à  $2^4$  soit jusqu'à 16. Le terme **modulo** est souvent employé. Un compteur modulo- $N$  est capable de compter jusqu'à  $N$ . Il existe aussi de compteurs **programmés** (en anglais « presettable »), qui permettent de compter à partir d'un certain nombre programmé par l'entrée  $S$  des bascules.

Les compteurs électroniques peuvent également se diviser en deux catégories :

les compteurs asynchrones et les compteurs synchrones. Les compteurs dont nous avons parlé, et dans lesquels l'impulsion à compter est appliquée seulement à la première bascule, sont appelés **compteurs asynchrones**. Ils sont utilisés lorsque la rapidité de fonctionnement n'est pas requise. L'avantage de ce type de compteur est sa simplicité, son inconvénient est que les retards de chaque bascule s'additionnent.

Dans les **compteurs synchrones** tous les étages sont attaqués simultanément, parfois à travers une porte. Par cette méthode,

tous les changements d'état sont synchronisés par le flanc arrière de l'impulsion d'horloge  $T$  ou  $CK$  (voir un exemple de compteur synchrone sur la figure 10).

Pour terminer, citons les **compteurs-décompteurs**, ou compteur **réversible**. Un compteur additionne chaque impulsion arrivant à son entrée, tandis qu'un décompteur soustrait chaque impulsion se présentant à l'entrée. Un compteur est remis à zéro avant tout fonctionnement, tandis qu'un décompteur est programmé à une certaine valeur avant sa mise en service.

En prenant l'exemple d'un grand garage, un compteur placé à l'entrée indique le nombre de voitures à l'intérieur du garage, le décompteur placé au même endroit donne le nombre de places encore disponibles à l'intérieur.

Les schémas synoptiques d'un compteur et d'un décompteur sont donnés figure 11. La commutation  $Q-\bar{Q}$  est facile à l'aide de circuits logiques (fig. 12). Il existe bien sûr des compteurs-décompteurs intégrés, comme le 74191 (binaire) ou le 74142 (décimal).

J.-B. P.

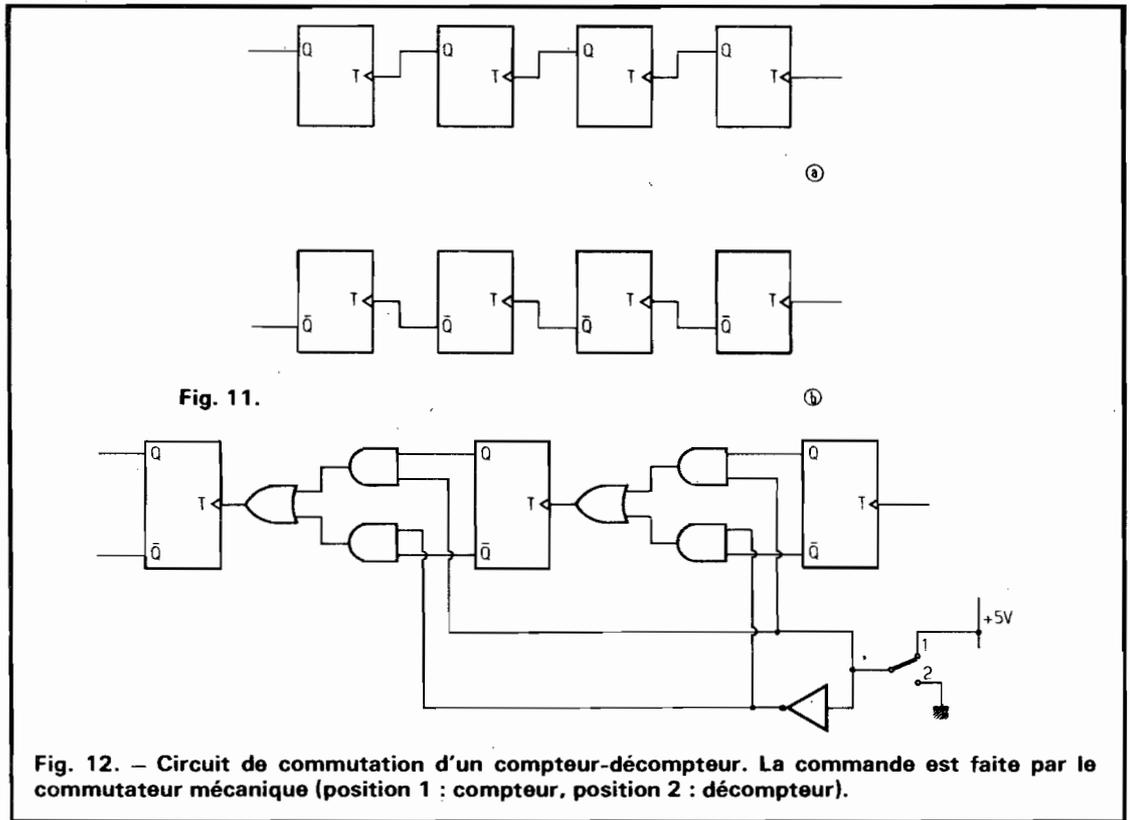
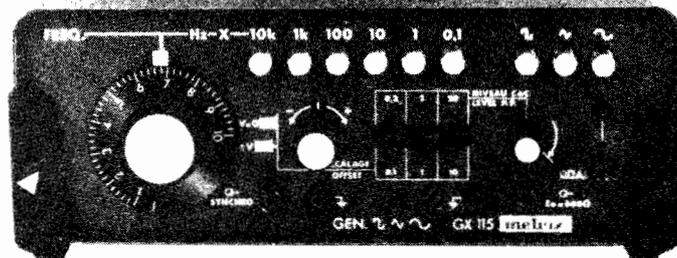


Fig. 12. — Circuit de commutation d'un compteur-décompteur. La commande est faite par le commutateur mécanique (position 1 : compteur, position 2 : décompteur).

## Bloc-notes

### GENERATEUR DE FONCTIONS METRIX GX115

Générateur de fonctions. Délivre des signaux de forme sinusoïdale, carrée et triangulaire dans la gamme de 0,1 Hz à 100 kHz. Fréquence : 0,1 Hz à 100 kHz en 3 sous-gammes. Niveau de sortie (fem.) : 20 V, c. à c. Réglage du niveau par 2 atténuateurs de 20 dB et un progressif de 40 dB.



Décalage de la composante continue : entre  $-10$  V et  $+10$  V. Impédance de sortie : 600  $\Omega$ . Entrée wobulation : niveau compris entre  $+5$  V et  $+11,5$  V pour un  $\Delta f$  sur la totalité de la gamme. Alimentation : 110-220 V~, 50-400 Hz. Dimensions : 260 x 93 x 210 mm. Masse : 2,5 kg.