

## INITIATION A LA PRATIQUE DE L'ELECTRONIQUE

# COMPTEURS & DECOMPTEURS BINAIRES & DECIMAUX

Un compteur se transforme en décompteur par une simple modification de câblage entre les bascules. Un compteur-décompteur est commuté par un circuit OU-exclusif.

Dans un compteur asynchrone, l'impulsion à compter est appliquée uniquement à l'entrée de chaque bascule. Le temps de réponse de celle-ci s'additionnant, les compteurs asynchrones sont utilisés lorsqu'on n'exige pas une grande vitesse de comptage. Leur avantage est la simplicité.

L'impulsion de comptage est envoyée simultanément à toutes les bascules d'un compteur synch-

rone. Ces derniers sont généralement constitués de bascules JK Maître-esclave. Le temps de retard total du compteur est le même que celui d'une seule bascule. Dans ce type de compteur, tous les étages ne changent pas forcément d'état à chaque impulsion reçue à l'entrée.

Les compteurs binaires intégrés les plus utilisés sont le 7493, le 74161 et le 74191.

Un compteur binaire se transforme facilement en compteur décimal, il suffit de connaître la table de vérité des bascules et de simplifier à l'aide du diagramme de Karnaugh.

## Compteurs-décompteurs

Il est très facile de transformer un compteur en décompteur. Il suffit simplement d'apporter quelques modifications au câblage. Nous avons représenté sur la figure 1 un compteur à 4 bascules (a) et sa transformation en décompteur (b). Le signal attaquant une bascule provient de  $\bar{Q}$  de la précédente, et non plus de Q, pour ce type de bascule sensible aux fronts descendants du signal d'attaque.

Avant de commencer le décomptage, toutes les bascules du décompteur sont mises à l'état haut, d'une façon analogue à la remise à zéro d'un compteur. Les entrées S sont branchées ensemble et reliées un bref ins-

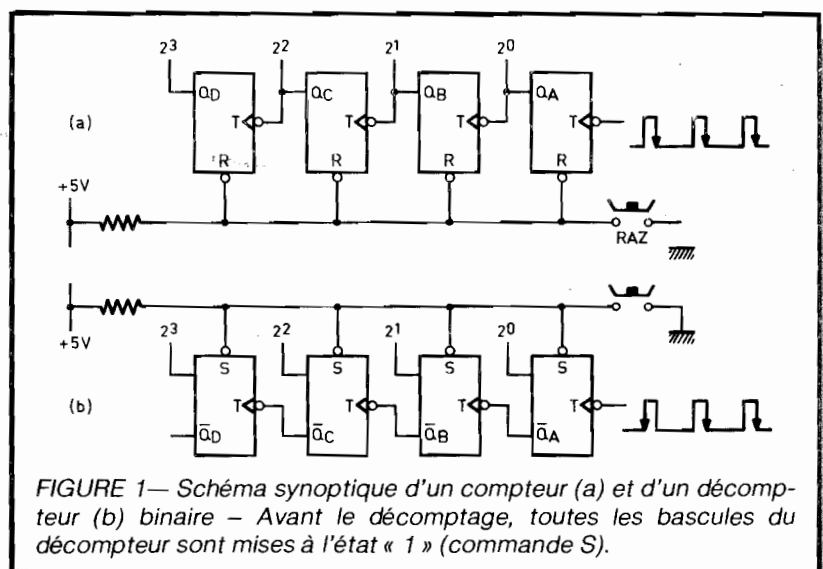
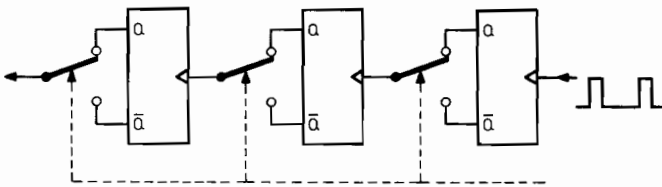


FIGURE 1— Schéma synoptique d'un compteur (a) et d'un décompteur (b) binaire — Avant le décomptage, toutes les bascules du décompteur sont mises à l'état « 1 » (commande S).

	COMPTEUR				DECOMPTEUR			
	(8)	(4)	(2)	(1)	(8)	(4)	(2)	(1)
Etat initial	0	0	0	0	1	1	1	1
1 <sup>ère</sup> impulsion	0	0	0	1	1	1	1	0
2 <sup>ème</sup> "	0	0	1	0	1	1	0	1
3 <sup>ème</sup> "	0	0	1	1	1	1	0	0

FIGURE 2. - Succession des états des sorties Q des bascules dans un compteur et dans un décompteur.



- Schéma théorique d'un compteur-décompteur.

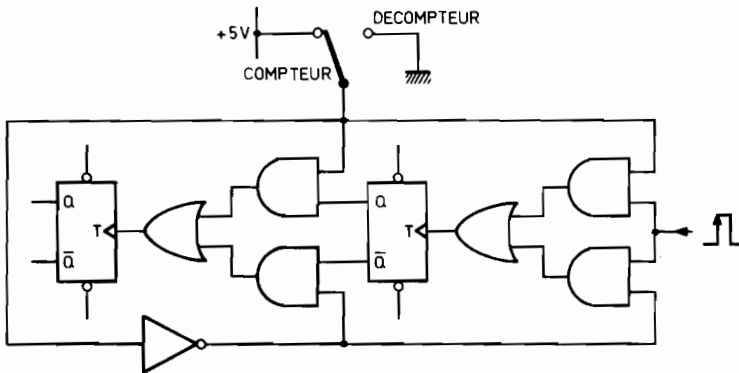


FIGURE 4. - Schéma pratique d'un compteur-décompteur.

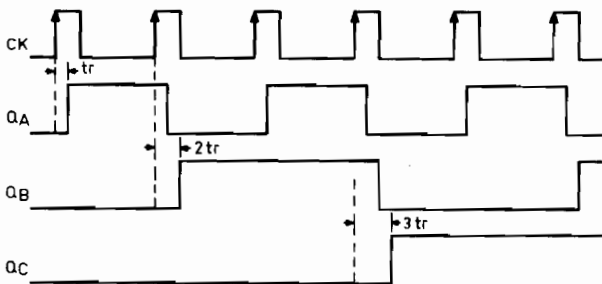


FIGURE 5. - Addition des temps de retard dans un compteur asynchrone. En mode synchrone, le retard est le même pour tous les étages.

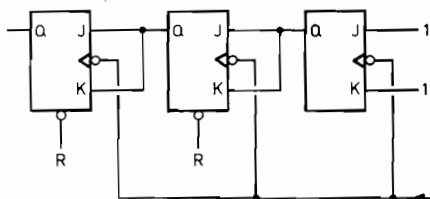


FIGURE 6. - Compteur synchrone constitué de bascules JK Maître-esclave.

tant au niveau logique zéro. Le nombre binaire est alors  $(1111)_2$ . Après la première impulsion il passe à  $(1110)_2$ , puis à  $(1101)_2$ , etc. (voir figure 2).

Ce schéma théorique d'un compteur-décompteur (compteur réversible ou « up-and-down counter » en anglais) est donné sur la figure 3. L'équivalent électrique du commutateur utilisé est un OU-EXCLUSIF, ce qui nous amène au schéma réel de commutation d'un compteur-décompteur utilisant cet opérateur (fig. 4).

## Compteurs synchrones et asynchrones

Jusqu'ici nous n'avons parlé que de compteurs asynchrones. L'impulsion à compter est appliquée seulement à la première bascule et la commande de la suivante est obtenue par le retour à zéro de celle qui la précède. Chaque bascule présentant un certain retard, celui-ci peut se révéler gênant puisqu'il s'additionne à chaque étage (fig. 5).

Ce type de compteur est employé lorsque la rapidité de fonctionnement n'est pas requise. Son avantage est sa simplicité.

Dans les compteurs synchrones, tous les étages sont attaqués simultanément par la même impulsion. Par cette méthode, tous les changements sont synchronisés par un des flancs de cette impulsion (impulsion à compter appliquée sur toutes les entrées CK). Le temps de retard ne s'additionne plus à chaque bascule, il reste le même pour tout le compteur.

Nous avons sur la figure 6 un compteur synchrone constitué de bascules JK Maître-esclave.

Il faut remarquer que tous les étages ne basculent pas forcément à chaque impulsion appliquée sur CK. Le basculement de chaque étage dépend de l'état des entrées J et K au moment où arrive l'impulsion. Autrement dit, le basculement de chaque étage est conditionné par l'état de la sortie précédente. Elle ne bascule qu'à l'apparition du front actif de l'impulsion venant de l'extérieur.

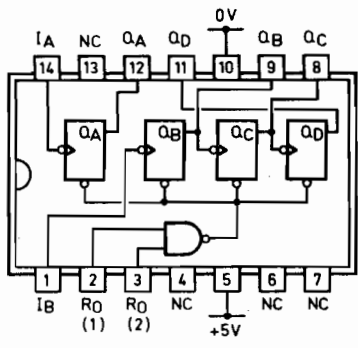


FIGURE 7. – Schéma de branchement du 7493 (compteur binaire asynchrone 4 bits).

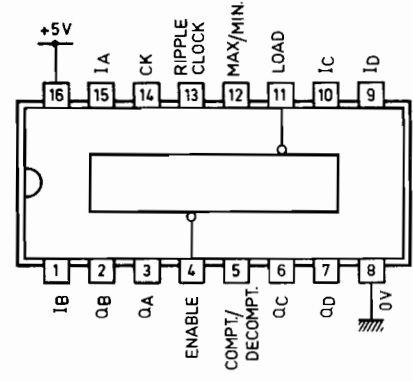


FIGURE 8. – Schéma de branchement du 74191 (compteur-décompteur synchrone 4 bits).

### Compteurs binaires intégrés

Les compteurs binaires dont nous avons parlé et que vous avez, nous l'espérons, réalisés, avaient pour but de

bien montrer le mécanisme d'un compteur électronique.

Il existe, vous vous en doutez, des circuits intégrés regroupant dans un seul boîtier de nombreuses bascules ayant l'avantage d'être compacts.

Le 7493 est un compteur binaire

asynchrone 4 bits avec lequel, moyennant les artifices dont nous allons parler dans la suite de cet article, on peut compter de 2 jusqu'à 16 (fig. 7).

Ouvrons une parenthèse pour parler de terminologie. Nous venons de mentionner le 7493 comme étant un comp-

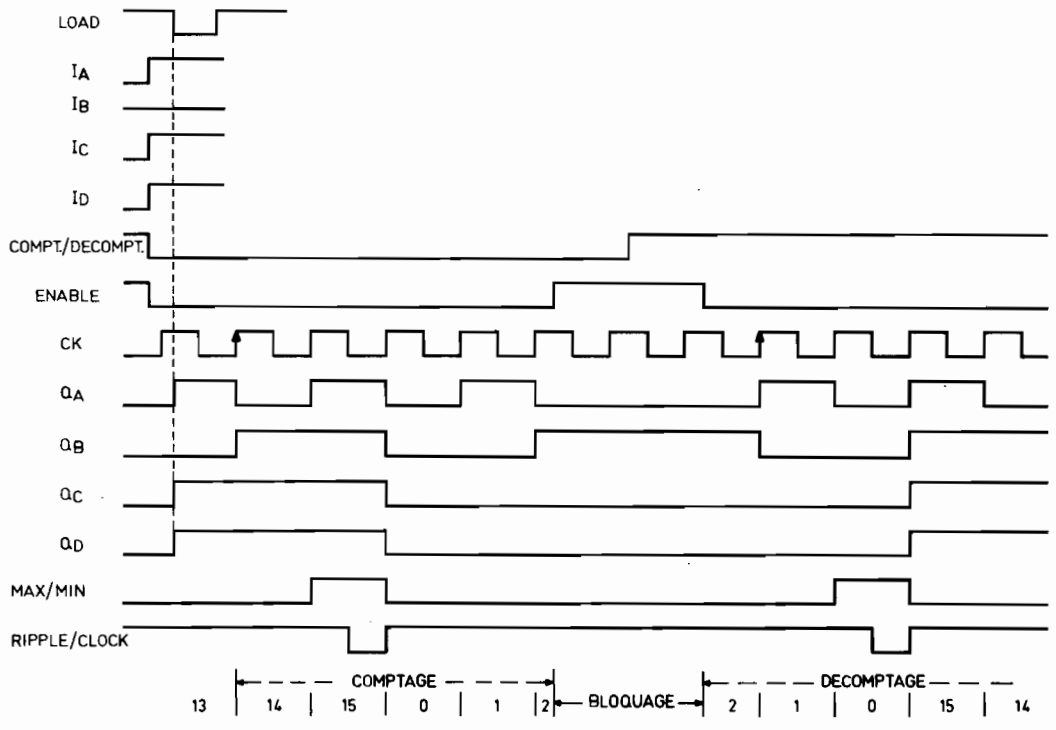


FIGURE 9. – Diagramme des temps du 74191.

teur 4 bits. Sachez qu'un compteur binaire constitué de 4 bascules est appelé « compteur 4 bits », car sa capacité est de 4 chiffres binaires (le mot « bit » est la contraction de l'expression anglaise « binary digit » signifiant chiffre binaire).

D'autre part, la capacité d'un compteur 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 16. Le terme modulo est souvent employé. Un compteur modulo N est capable de compter jusqu'à N.

Un compteur électronique est souvent appelé « diviseur ». Un compteur décimal est un diviseur par 10 : pour 10 impulsions à l'entrée, il donne 1 impulsion en sortie. Aussi parlerons-nous souvent de diviseur par 10 au lieu de compteur décimal...

Revenons à notre 7493 constitué de 4 bascules. Ce compteur asynchrone peut être utilisé soit en 4 bits soit en 3 bits. Dans ce dernier cas, l'entrée est la broche n° 1 ( $I_B$ ), ce qui rend disponible la première bascule pour une autre application.

En fonctionnement sur 4 bits, l'entrée  $I_A$  est utilisée (broche 14) et une connexion doit être placée entre les sorties 1 et 12.

La remise à zéro s'effectue en portant les sorties  $R_0$  (1) et  $R_1$  (2) au niveau haut.

Un autre circuit intégré très utilisé est le 74191, compteur-décompteur 4 bits synchrone, avec possibilité d'être programmé (fig. 8). Les cosses marquées  $I_A$  à  $I_B$  sont les entrées programmables. Elles sont portées à une certaine valeur binaire ((1101) sur la figure 9), prise en compte par l'application d'un niveau logique bas sur l'entrée LOAD (broche n° 11). La broche n° 5 commande le comptage et le décomptage (niveau bas pour compter). L'entrée ENABLE doit être au niveau zéro pour débloquer le circuit.

Le diagramme des temps de la figure 9 nous montre un exemple de comptage (depuis la valeur programmée 13 jusqu'à 15), de blocage (action de ENABLE), et de décomptage (à partir de la valeur qui était figée dans le circuit). C'est le flanc positif du signal d'horloge qui est actif, et le premier comptage ou décomptage n'apparaît qu'à l'apparition de ce flanc montant.

Lorsque le compteur a dépassé sa capacité, il apparaît une impulsion négative d'une durée égale à une demi-période d'horloge (broche n° 12). De même, une impulsion positive de durée double apparaît sur la broche n° 13 lors d'un dépassement de capacité (nombre supérieur à 15 pour le compteur, inférieur à zéro pour le décompteur).

Le circuit intégré 74161 est un compteur binaire synchrone 4 bits avec remise à zéro synchrone possédant également la possibilité d'être programmé (fig. 10 a).

Enfin un autre circuit TTL, le 74193, également compteur/décompteur 4 bits synchrone, possède deux entrées, l'une pour le comptage, l'autre pour le décomptage.

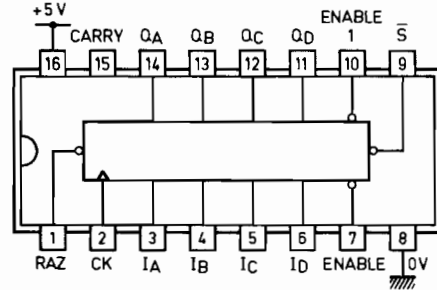


FIGURE 10-a. – Branchement du 74161 (Compteur binaire synchrone 4 bits avec remise à zéro synchrone). Les 2 entrées ENABLE doivent être à l'état bas.

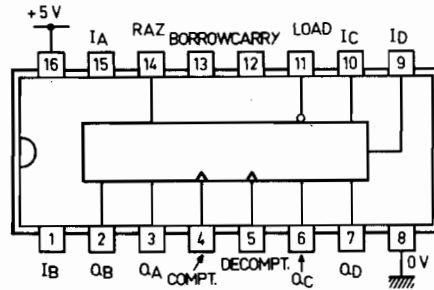


FIGURE 10-b. – Branchement du 74193 (compteur-décompteur synchrone 4 bits avec deux entrées). La remise à zéro (RAS) se fait en passant au niveau 1.

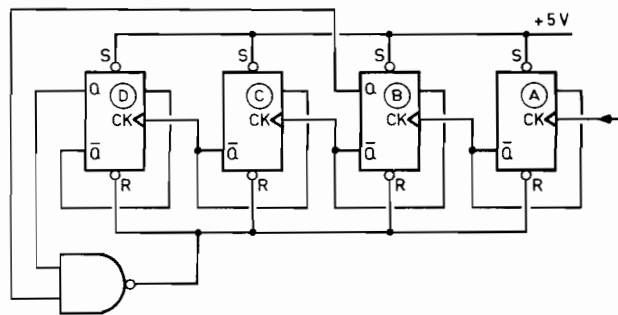


FIGURE 11. – Compteur décimal utilisant deux circuits intégrés 7474 et un NAND (7400). L'état des bascules est représenté par les LED non masquées sur le schéma.

Comme pour les modèles dont nous venons de parler, une impulsion négative apparaît lorsqu'il y a dépassement de capacité. Ici une impulsion apparaît sur la sortie CARRY (broche n° 12) pour le compteur ; une autre impulsion apparaît sur BORROW (broche n° 13) pour un décomptage. Ces impulsions sont destinées au circuit suivant.

## Compteur binaire transformé en décimal

Sur la figure 11, vous reconnaissez un compteur binaire classique. Nous y avons ajouté un opérateur NAND à deux entrées.

Vous savez maintenant que, moyennant quelques transformations, un compteur binaire peut être facilement transformé en compteur décimal. C'est justement un compteur binaire transformé en décimal dont le schéma est donné sur la figure.

Vous savez également qu'un compteur composé de 4 bascules peut compter jusqu'à  $(1111)_2$ , soit en décimal  $2^4$  ou  $(16)_{10}$ . Notons sur un tableau (fig. 12) l'état que peuvent prendre les 4 bascules du compteur depuis zéro jusqu'à 16. Si on arrive à le faire compter seulement de 0 à 9, ce compteur devient décimal. Pour cela, il faut qu'après le neuvième objet compté le compteur revienne à zéro. Ceci est réalisé par la porte NAND remettant le compteur binaire à l'état initial, par l'action sur l'entrée R (RESET) de chaque bascule, dès qu'apparaît le dixième objet compté. Autrement dit, dès que l'état 1010 se présente, les deux entrées de la porte sont à l'état haut, mettant sa sortie au niveau bas. On sait en effet que la sortie d'une porte NAND est toujours au niveau 1, sauf lorsque toutes ses entrées sont à l'état haut. La réponse de la porte étant très rapide, quelques nanosecondes, le chiffre binaire 1010 n'apparaît que durant  $10^{-9}$  seconde et laisse la place au chiffre binaire 0000.

Si nous représentons le diagramme des temps du compteur décimal ainsi obtenu, nous avons les formes d'onde représentées sur la figure 13. Dès l'apparition de la dixième impulsion à l'entrée, les 4 bascules reviennent toutes à zéro. L'impulsion de la bascule B ne se manifeste que très brièvement, pen-

	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
10	1	0	1	0
11	1	0	1	1
12	1	1	0	0
13	1	1	0	1
14	1	1	1	0
15	1	1	1	1
16	0	0	0	0

FIGURE 12.  
Table de comptage  
d'un compteur binaire 4 bits,

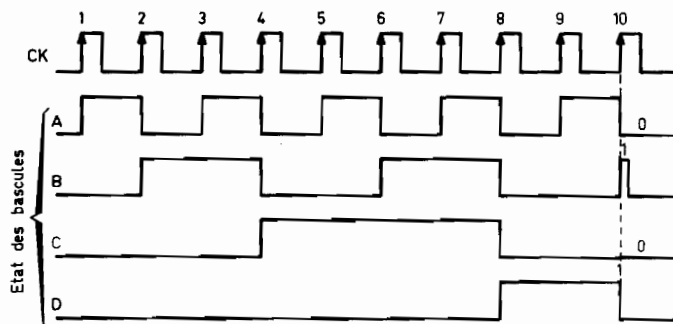


FIGURE 13. – Diagramme des temps du compteur BCD.

dant le temps de réponse du circuit (de l'ordre de 1 ns). Nous l'avons représenté assez longue pour une question de compréhension.

Un compteur comme celui-ci, transformé de binaire en décimal, est appelé « compteur BCD » : les lettres BCD sont les initiales de la locution anglaise « Binary Coded Decimal », soit en traduction française : « Décimal codé en binaire ». Ce qui veut dire que tout chiffre décimal de 0 à 9 peut être codé en binaire de 4 chiffres. Le « 1 » décimal est transcrit en BCD par (0001), le 9 par (1001). Pour les chiffres décimaux supérieurs à 9, et inférieurs à  $(100)_{10}$ , la quantité binaire est exprimée par 8 bits. Par exemple, 20 s'écrit : 0010 0000. De la même façon 352 s'écrit : 0011 0101 0010.

Ce code, peu pratique lorsqu'on veut écrire sur le papier un nombre décimal élevé, devient d'une grande utilité

à la sortie des ordinateurs pour convertir rapidement le langage BCD de cet ordinateur au langage décimal de l'utilisateur.

Il est aussi primordial de faire attention à bien repérer les 4 digits et de ne pas confondre le BCD avec le code binaire pur. Ces deux codes ne sont identiques que jusqu'à 9.

Ce code BCD est également appelé code 8421.

Le compteur représenté sur la figure 11 est réalisé avec deux circuits intégrés 7474 et un circuit 7400 pour l'opérateur NAND.

## Remarques pratiques

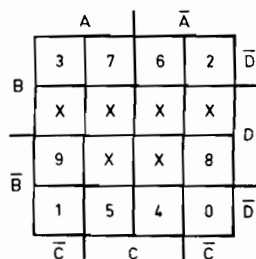
Quelques précautions sont à prendre pour le bon fonctionnement de ce compteur. Tout d'abord l'alimentation

Q <sub>n</sub>	J	K	Q <sub>n+1</sub>	
0	0	X	0	Bascule restant à l'état 0
0	1	X	1	Passage de 0 à 1
1	X	0	1	Bascule restant à l'état 1
1	X	1	0	Passage de 1 à 0

**FIGURE 14.**  
Table de vérité d'une bascule JK.

	Q <sub>D</sub>	Q <sub>C</sub>	Q <sub>B</sub>	Q <sub>A</sub>	J <sub>D</sub>	K <sub>D</sub>	J <sub>C</sub>	K <sub>C</sub>	J <sub>B</sub>	K <sub>B</sub>	J <sub>A</sub>	K <sub>A</sub>
0	0	0	0	0	0	X	0	X	0	X	1	X
1	0	0	0	1	0	X	0	X	1	X	X	1
2	0	0	1	0	0	X	0	X	X	0	1	X
3	0	0	1	1	0	X	1	X	X	1	X	1
4	0	1	0	0	0	X	X	0	0	X	1	X
5	0	1	0	1	0	X	X	0	1	X	X	1
6	0	1	1	0	0	X	X	0	X	0	1	X
7	0	1	1	1	1	X	X	1	X	1	X	1
8	1	0	0	0	X	0	0	X	0	X	1	X
9	1	0	0	1	X	1	0	X	0	X	X	1
10	0	0	0	0								

**FIGURE 15.**  
Table de vérité du compteur décimal utilisant des bascules JK.



**FIGURE 16.** – Diagramme de Karnaugh.  
Le numéro correspond au numéro des lignes de la table de vérité de la figure 15.

5 V doit être bien découplée : la sortie en « totem pole » des circuits TTL provoque parfois des impulsions brèves et intempestives qui peuvent déclencher une bascule involontairement.

D'autre part, il est conseillé de brancher à un potentiel fixe les entrées non utilisées. Pour le schéma du compteur, les 4 entrées S sont reliées au + 5 V afin d'éviter des basculements indésirés.

La mise en évidence du bon fonctionnement du compteur peut être faite en comptant les impulsions produites soit par un multivibrateur astable, soit par déclenchement manuel à travers un

montage « anti-rebonds » comme nous le préconisons pour le compteur binaire du mois dernier.

## Calcul des éléments d'un compteur

Un compteur peut être constitué non pas seulement avec des bascules du type T, mais également avec une JK, RS, D, etc. La remise à zéro après 9, transformant un compteur binaire en décimal, peut se faire non pas seule-

ment en agissant sur RESET, mais aussi en agissant sur les entrées J, K, D, etc.

Comme nous allons le voir, le calcul des éléments d'un compteur ne présente rien de compliqué. Il suffit d'utiliser la table de vérité des bascules en question et de simplifier les circuits logiques d'attaque par la méthode du diagramme de Karnaugh.

Nous prendrons comme exemple d'application le calcul d'un compteur décimal comprenant 4 bascules JK.

La table de vérité de la bascule JK a été donnée dans le *Haut-Parleur* n° 1714 de mars 1985. Nous la reproduisons sur la figure 14 car elle va nous être indispensable pour le calcul. Tout d'abord, rappelons que la première ligne de cette table concerne le cas de la bascule restant à l'état zéro. La deuxième ligne le passage de zéro à un. A la troisième ligne, la bascule reste à l'état un, tandis qu'à la dernière elle passe de un à zéro.

Sur le tableau de la figure 15 nous avons sur la colonne de gauche le numéro des impulsions à compter. Puis l'état des sorties de 4 bascules (Q<sub>A</sub>, Q<sub>B</sub>, Q<sub>C</sub>, Q<sub>D</sub>), et enfin l'état des entrées J et K de ces 4 bascules réalisant ou non le basculement de ces dernières.

Voyons d'abord la première ligne. La sortie des 4 bascules sont à l'état zéro. Lorsque la première impulsion arrivera, l'état de ces bascules devra être comme indiqué sur la deuxième ligne du tableau. C'est-à-dire qu'il faudra :

- premièrement, que les bascules B, C et D restent à l'état zéro ;
- deuxièmement, que la bascule A passe de 0 à 1.

En consultant la table de vérité de la bascule JK, nous voyons :

- premièrement, que si la bascule doit rester à l'état zéro, il faut que l'entrée J soit au niveau bas et que son entrée K soit indifféremment à 0 ou à 1. Soit : J<sub>B</sub> = J<sub>C</sub> = J<sub>D</sub> = 0 et K<sub>B</sub> = K<sub>C</sub> = K<sub>D</sub> = X.
- deuxièmement, que si la bascule A doit passer de 0 à 1, il faut que J<sub>A</sub> = 1 et K<sub>A</sub> = X.

Ainsi obtenons-nous la première ligne du tableau.

Avant l'apparition de la deuxième impulsion, nous voyons qu'il ne doit y avoir rien de changé pour les bascules B, C et D, tandis que seule la bascule A doit revenir à zéro, soit : J<sub>A</sub> = X et K<sub>A</sub> = 1 (quatrième ligne de la table de vérité).

Par le même raisonnement nous

pouvons remplir les colonnes de J et de K de toutes les bascules.

L'étape suivante consiste à rechercher l'équation logique simplifiée pour chaque entrée J et K des 4 bascules. Nous utilisons pour cela le diagramme de Karnaugh dont nous avons développé le sujet dans le *Haut-Parleur* n° 1712 de janvier 1985.

Puisqu'il y a 4 bascules, donc 4 variables, ce diagramme doit comporter 16 cases. Nous les reproduisons sur la figure 16. Les cases correspondant aux états 10 à 15 sont marquées par X puisque ces états ne sont pas utilisés par le compteur décimal.

Quelle est l'équation logique des entrées  $J_A$  et  $K_A$  ? Si nous faisons attention, nous remarquons que ces deux colonnes n'étant remplies que par des 1 et des X, nous pouvons écrire :  $J_A = 1$  et  $K_A = 1$ . Physiquement, ceci se traduit par une liaison pure et simple de  $J_A$  et de  $K_A$  au + 5 volts.

Passons à la colonne  $J_B$ . Nous placerons les 1, 0 et X dans les cases correspondantes du diagramme de Karnaugh (figure 17). Nous n'avons que deux « 1 » (lignes 1 et 5) et nous pouvons isoler 4 cases, ce qui donne la formule pour cette entrée :  $J_B = AD$ . Pratiquement, il en résulte que la sortie  $Q_A$  ET la sortie  $Q_D$  doivent être reliées à l'entrée  $J_B$ , ce qui nécessite une porte ET à deux entrées.

En opérant de même avec les autres entrées, nous obtenons toutes les équations pour le choix des opérateurs nécessaires pour le compteur. Le schéma définitif est donné sur la figure 18.

Le raisonnement est le même si les bascules sont du type RS ou D... et on peut aussi, par la même méthode, cal-

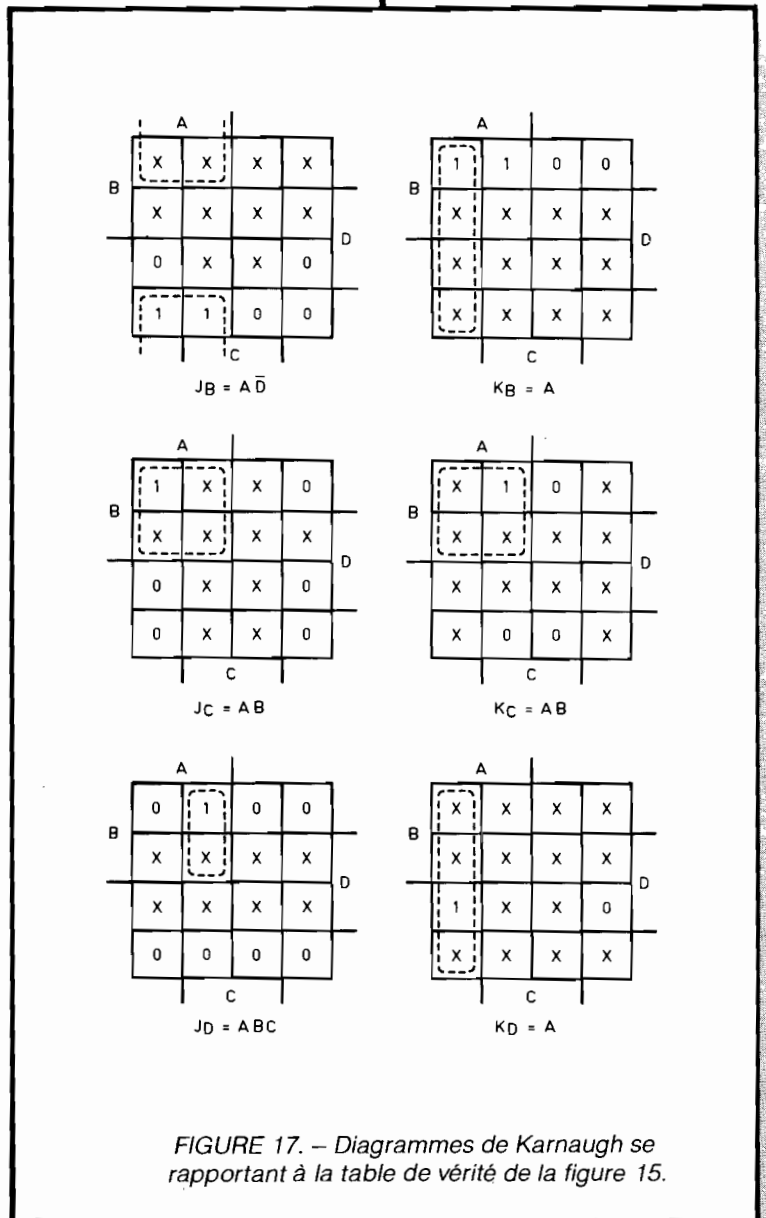


FIGURE 17. – Diagrammes de Karnaugh se rapportant à la table de vérité de la figure 15.

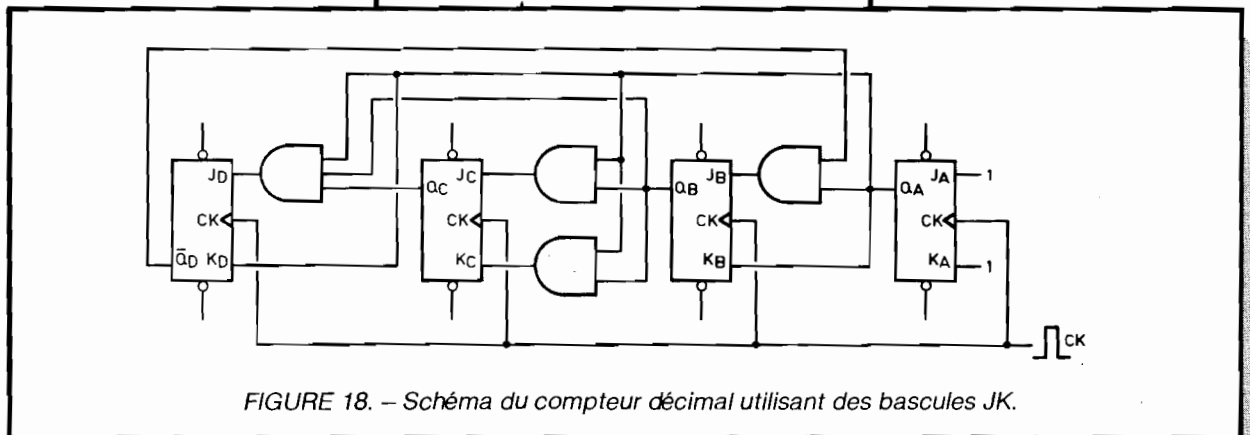


FIGURE 18. – Schéma du compteur décimal utilisant des bascules JK.



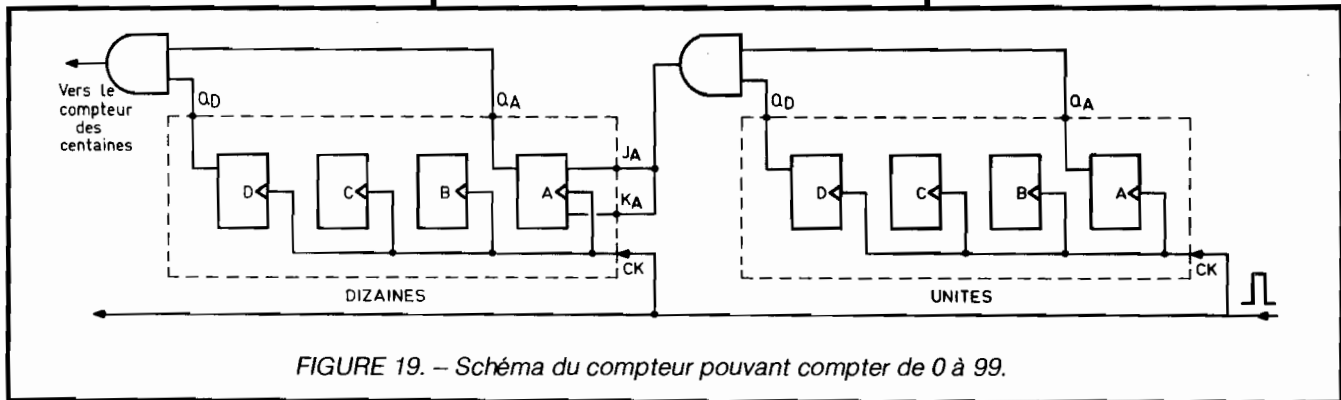


FIGURE 19. – Schéma du compteur pouvant compter de 0 à 99.

culer un compteur par 5 ou par 12, ou tout autre circuit séquentiel.

Maintenant que nous avons un compteur décimal comptant de 1 à 10, il n'y a encore rien de plus facile pour compter jusqu'à 100 ou jusqu'à un nombre plus élevé. En effet, il suffit de mettre en cascade plusieurs compteurs identiques à celui que nous venons d'étudier.

Nous voyons sur le tableau de la figure 15 que lorsque le compteur vient de compter 9, l'état de ses sorties est le suivant :

$$\begin{aligned} Q_A &= 1 \\ Q_B &= 0 \\ Q_C &= 0 \\ Q_D &= 1 \end{aligned}$$

On connectera donc  $Q_A$  et  $Q_D$  à l'entrée d'un opérateur ET afin d'obtenir une seule impulsion (celle des dizaines), qui sera comptée par le compteur suivant. La sortie de cette porte ET est reliée à l'entrée  $J_A$  et  $K_A$  de la première bascule de ce compteur des dizaines (figure 19). A la sortie de ce dernier, la même opération peut être effectuée pour l'attaque du compteur des centaines.

### Exercices d'application

Le mois dernier, nous vous demandions de convertir en décimal 4 nombres binaires. La réponse est donnée ci-dessous :

- a) 10110 = 22
- b) 11011 = 27
- c) 111001 = 57
- d) 1101101 = 109

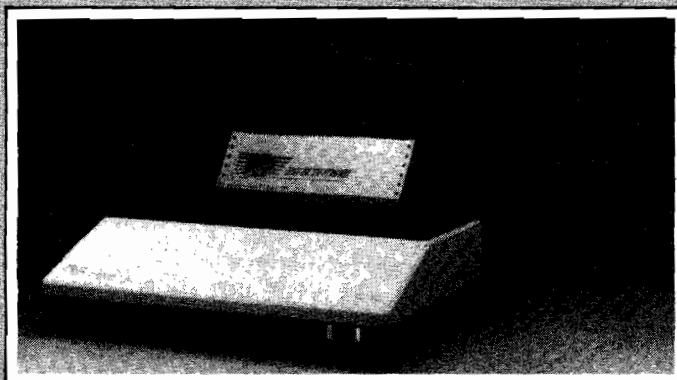
Pour le mois prochain, nous vous proposons de calculer les éléments d'un compteur modulé 6 constitué de bascules J..

**J.-B. P.**

## BLOC-NOTES

### SECONDE IMPRIMANTE FRANCAISE

La gamme d'imprimantes EXL-80 s'enrichit d'un second modèle, l'EXL-80-PC qui, comme son nom l'indique, est compatible avec les micro-ordinateurs type PC. Cette imprimante française possède une rapidité de 100 cps et un niveau de bruit inférieur à 58 dB. L'EXL-80-PC est une imprimante matricielle à impact, bidirectionnelle optimisée, qui dispose de 256 caractères alphanumériques et semi-graphiques (80 et 132 caractères



par ligne) et qui, en mode graphique, offre des résolutions de 60, 72, 80, 90, 120 et 240 x 72 et 144 points/pouce. Equipée en standard d'une interface parallèle type Centronics, elle peut être complétée en option par des sorties vidéotex, série V24 et boucle de courant, RS 422/RS 485 et IEEE 488.

**Distributeur :**  
Euroterminal, 82, rue des Gêmeaux, Silic 182, 94563 Rungis Cedex.