

INITIATION A LA PRATIQUE DE L'ELECTRONIQUE

LES COMPTEURS BINAIRES

Nous allons voir aujourd'hui que les compteurs binaires sont des circuits séquentiels composés d'une suite de bascules.

Les compteurs électroniques ainsi constitués ne peuvent compter qu'en binaire, puisque ces bascules ne possèdent que deux états (repos et travail).

Par certains artifices, ils peuvent être transformés en compteurs décimaux (convertisseurs binaire-décimal).

Le circuit de base d'un compteur décimal électronique compte les impulsions qu'il reçoit, et, toutes les dix impulsions comptées, il donne une

impulsion en sortie (division par 10). Le circuit de base d'un compteur binaire donne une impulsion en sortie pour deux reçues à l'entrée (division par 2).

Un compteur binaire de N étages (ou bascules) ne peut compter que jusqu'à deux à la puissance N. Pour nos essais, nous utiliserons des bascules du type T que nous actionnerons par des impulsions produites de façon manuelle (à travers un circuit antirebonds) ou automatiquement (par un relaxateur très basse fréquence).

Le mois prochain, nous continuerons cette étude sur les bascules binaires et décimales.

Les compteurs binaires

On rencontre des compteurs dans de très nombreux domaines de l'électronique : dans les ordinateurs, dans l'industrie, pour compter des objets qui défilent devant une cellule photoélectrique... En métrologie, les fréquences-mètres de précision possèdent un compteur dont l'entrée est commutée pendant une seconde afin de compter les périodes du signal à mesurer.

Les compteurs binaires sont des circuits logiques séquentiels composés d'une suite de bistables. Ceux-ci peuvent être de différents types : JK, RS, D, etc. Et puisque les bistables ne fonctionnent qu'en tout ou rien, ces compteurs ne peuvent compter qu'en binaire. Mais par la suite, ce nombre binaire peut être converti en décimal.

Système décimal et système binaire

Pour commencer, faisons un bref rappel sur le système décimal et le sys-

tème binaire. Il peut paraître un peu futile de parler du système décimal que nous utilisons tous les jours... d'une façon machinale.

Ce système de numération, également appelé système à base 10, utilise 10 symboles allant de 0 à 9. Nous avons appris à l'école qu'un nombre est constitué par plusieurs rangs : le rang des unités, des dizaines, des centaines...

Et lorsque nous comptons, nous partons du rang des unités. En arrivant au dernier chiffre des unités, c'est-à-dire 9, nous plaçons un 1 dans le rang des dizaines et continuons à compter dans le rang des unités en repartant de zéro. Ce « 1 » que nous plaçons dans la colonne des dizaines a une forte valeur, un « poids » dix fois plus grand que le 1 de la colonne des unités.

Pour cette raison, on peut l'écrire : 1×10 ou, d'une façon plus courante en mathématiques : 1×10^1 . Chaque fois que, dans la colonne des unités, nous avons épuisé les dix chiffres, la

colonne des dizaines acquiert une valeur supérieure, et on repart de zéro dans la colonne des unités. Et puis, quand la colonne des dizaines atteint 9×10^1 , un « 1 » passe dans la colonne des centaines, tandis que le contenu des dizaines revient à zéro. Ce « 1 » passant dans la colonne des centaines a la valeur 1×100 ou 1×10^2 . Ainsi, en exprimant un nombre comme 1985, nous pouvons l'écrire : $1\ 000 + 900 + 80 + 5$, soit encore : $(1 \times 10^3) + (9 \times 10^2) + (8 \times 10^1) + (5 \times 10^0)$ ou : 1 millier + 9 centaines + 8 dizaines + 1 unité.

Dans le système binaire, ou système à base 2, il n'y a que deux symboles : 0 et 1.

De façon analogue au système décimal, la colonne de droite ne prend que deux valeurs : 0×2^0 et 1×2^0 , soit 0 et 1. La deuxième colonne ne peut prendre que deux valeurs, à savoir : 0×2^1 et 1×2^1 , soit l'équivalent en décimal : 0 et 2. La troisième colonne ne prend également que deux valeurs : 0 et 1×2^2 (en décimal : 0 et 4).

Compteur décimal et compteur binaire

Considérons un compteur décimal, comme celui d'une pompe à essence, dont l'affichage se compose de tambours.

Avant le comptage, l'affichage indique 000, ce qui signifie que la remise à zéro est faite. C'est évidemment le tambour des unités qui tourne en premier lieu. Celui-ci ayant effectué un tour complet, il transmet, en passant de 9 à 0 une **impulsion mécanique** au tambour des dizaines qui affiche alors 1...

Un compteur électronique fonctionne de façon analogue ; chaque fois que le nombre compté dépasse le nombre de symboles du système de numération employé, une **impulsion électrique** est transmise à l'étage suivant.

Passons maintenant au compteur binaire. Supposons que nous ayons à compter des objets. Au départ, bien sûr, le compteur affiche zéro. Pour le premier objet à compter, il passe de 0 à 1. Puis, pour le suivant, les deux symboles étant épuisés, une impulsion est donnée au rang supérieur (qui passe de 0 à 1) tandis que le rang en question repasse à zéro. On lit donc la valeur 10 (« un-zéro »).

Résumons sur la figure 1 le comptage des six premiers objets. Nous remarquons que, chaque fois que le compteur binaire passe de 1 à 0, il transmet au rang supérieur une impulsion afin qu'il augmente d'un cran.

	2^2	2^1	2^0
1 ^{er} objet	0	0	1
2 ^e objet	0	1	0
3 ^e objet	0	1	1
4 ^e objet	1	0	0
5 ^e objet	1	0	1
6 ^e objet	1	1	0

FIGURE 1. — Comptage d'objets par le système binaire.

Nous remarquons également qu'il risque d'y avoir confusion quand on manipule des nombres binaires et des nombres décimaux composés de 0 et de 1. Pour le sixième objet compté de notre exemple, l'affichage du compteur binaire donne : 110 que l'on écrit entre parenthèses avec l'indice 2, puisque nous sommes en système binaire :

$(110)_2$. De cette façon, il n'y a pas de risque d'erreur, et on ne le mélangera pas avec le « cent dix » décimal. On écrira de préférence ce dernier : $(110)_{10}$.

Comment interpréter un nombre binaire

Pour le sixième objet, nous l'avons vu, la visualisation affiche $(110)_2$. Quelle sera la valeur en décimal ?

Il suffit de donner à chaque 1 sa valeur décimale, comme nous l'avons fait plus haut pour le nombre 1985.

$$(110)_2 = (1 \times 2^2) + (1 \times 2^1) + (0 \times 2^0)$$

soit :

$$(1 \times 4) + (1 \times 2) + (0 \times 1)$$

ou :

$$(4) + (2) + (0) = (6)_{10}$$

Schéma synoptique d'un compteur

Un compteur décimal devant compter les centaines pourra être représenté par trois rectangles, un pour les unités, un autre pour les dizaines et le dernier pour les centaines (fig. 2).

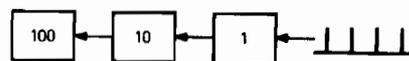


FIGURE 2. — Représentation schématique d'un compteur décimal.

Les impulsions à compter sont représentées à l'entrée du compteur des unités. Ces impulsions peuvent provenir d'un capteur photoélectrique devant lequel défilent des objets.

D'une façon analogue, un compteur binaire peut se représenter par des rectangles (fig. 3).

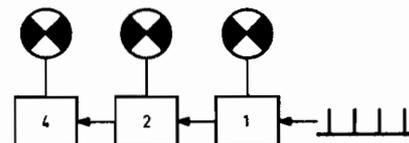


FIGURE 3. — Représentation schématique d'un compteur binaire avec sa visualisation.

Le premier rectangle en partant de la droite ne compte que jusqu'à 2^0 soit 1. Les deux premiers rectangles ne comptent que jusqu'à trois ($2^1 + 2^0$), et l'ensemble ne compte que jusqu'à 7.

L'affichage d'un tel compteur peut se réaliser avec des témoins lumineux, par exemple des diodes LED.

Si le voyant est allumé, cela signifie que l'étage en question est à l'état « 1 ». Ainsi le compteur est à zéro si tous les voyants sont éteints. Si tous les voyants sont allumés, nous savons que le nombre d'objets comptés est 7 :

$$(1 \times 2^2) + (1 \times 2^1) + (1 \times 2^0) = 4 + 2 + 1 = 7$$

Pour lire directement la valeur en décimal, les trois étages du compteur seront reliés à un convertisseur binaire-décimal, lui-même commandant par exemple un afficheur à sept segments.

Notre prochaine étape maintenant est de savoir comment est constitué un étage de compteur binaire.

Le circuit de base du compteur

Lorsque vous avez fait fonctionner une bascule, vous avez, sans le savoir, utilisé un compteur binaire. Pour former une impulsion à la sortie de la bascule, deux impulsions sont nécessaires à son entrée.

Le circuit de base d'un compteur décimal donne une impulsion de sortie pour dix impulsions à l'entrée. Le circuit de base d'un compteur binaire donne une impulsion de sortie pour deux impulsions à l'entrée (fig. 4).

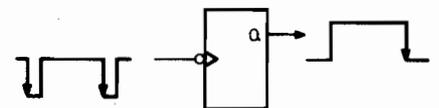


FIGURE 4. — Le circuit de base d'un compteur est une bascule divisant par deux le nombre d'impulsions à l'entrée.

Pour nos explications, nous utiliserons la bascule du type T dont l'intérêt est d'avoir une commande unique (une seule entrée appelée « T »). Nous avons déjà parlé de ce type de bascule dans le *Haut-Parleur* n° 1714 de mars 1985.

Ce type de bascule peut être réalisé sans difficulté avec un modèle JK en reliant les entrées J et K au niveau logi-

que « 1 », l'attaque de la bascule se faisant par l'entrée dénommée CK ou T. On utilisera par exemple le circuit TTL du type 7476 (double JK maître-esclave). Son schéma de branchement a été donné dans l'article mentionné plus haut.

Une bascule T peut également s'obtenir avec un modèle D dont on a préalablement relié la sortie Q à l'entrée D, l'injection des signaux à compter se faisant par l'entrée CK. Le circuit intégré du type 7474 pourra être utilisé. Il comporte deux bascules D, comme l'indique le schéma de branchement donné également dans le numéro de mars dernier.

Comment est constitué un compteur binaire

Un compteur binaire est constitué par une suite de bascules changeant d'état chaque fois qu'une impulsion se présente à l'entrée (fig. 5).

En appuyant sur le bouton-poussoir de remise à zéro, les quatre bascules sont à l'état repos ($Q = 0$) et les quatre voyants lumineux sont éteints. Dès l'apparition d'une impulsion, la première bascule (celle la plus à droite), passe à l'état travail ($Q = 1$), ce qui est mis en évidence par le premier voyant lumineux. A l'impulsion suivante, cette première bascule retourne à son état initial. Le flanc négatif de sa sortie reliée à l'entrée de la bascule suivante change l'état de celle-ci. A la troisième impulsion, les deux premières bascules sont à l'état travail...

Plus le nombre de bascules constituant un compteur est élevé, d'autant plus grande pourra être la quantité à compter.

Reportez-vous à la figure 6 sur laquelle sont représentées des impulsions à compter, numérotées de 1 à 8. Au-dessous, nous voyons les signaux à la sortie des trois premières bascules.

Au moment t_1 , la sortie des trois bascules est au niveau zéro. En t_2 , au bout de quatre impulsions, le niveau des sorties est le suivant :

$$Q_1 = 0, Q_2 = 0, Q_3 = 1, \text{ soit : } (100)_2 \text{ ou } (1 \times 2^2) + (0 \times 2^1) + (0 \times 2^0) = 4.$$

Après la huitième impulsion (temps t_3), les trois sorties sont toutes à zéro. D'où la conclusion qu'un compteur de N étages (ou bascules) ne peut compter que jusqu'à 2^N .

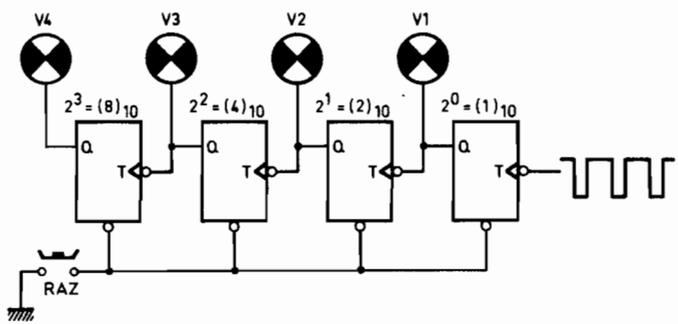


FIGURE 5. - Schéma de principe d'un compteur binaire.

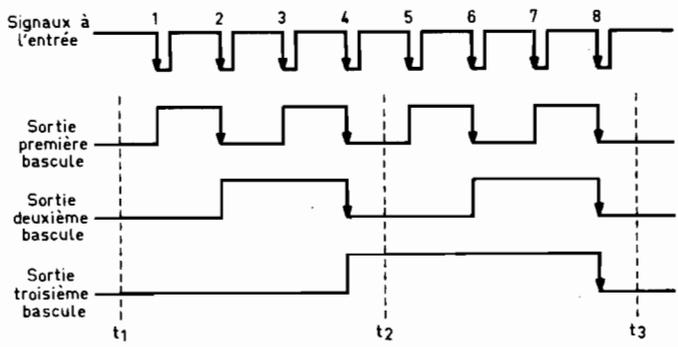


FIGURE 6. - Signaux à l'entrée et à la sortie des trois premières bascules du compteur binaire.

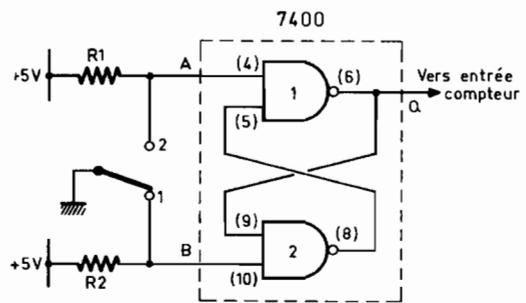


FIGURE 7. - Circuit antirebonds réalisé avec deux NAND d'un 7400.

Dans notre exemple, le compteur à trois étages ne comptera que jusqu'à $2 \times 2 \times 2$, soit huit impulsions.

En utilisant les quatre bascules D de deux circuits 7474, il est possible de compter jusqu'à 16. Par des artifices, comme nous le verrons plus tard, il est concevable de transformer ce compteur binaire en compteur décimal en le faisant compter de 0 à 9.

Circuit de commande

La mise en évidence du bon fonctionnement du compteur peut être faite en comptant les impulsions, soit provenant d'un générateur, soit produites manuellement.

Un déclenchement manuel, par commutateur, est réalisable à la condition d'insérer entre celui-ci et le compteur

un monostable non-redéclenchable ou un montage dit « antirebonds », interdisant aux pointes de tensions parasites de redéclencher involontairement le compteur.

Ce circuit « antirebonds » n'est autre qu'une bascule RS utilisant deux portes provenant par exemple d'un 7400 (fig. 7). Sur la position 1 du commutateur, le montage est à l'état repos, et la sortie Q est au niveau bas, car l'entrée B est reliée à la masse et l'entrée A au + 5 V à travers une résistance de 4,7 kΩ. Cette résistance a été placée là pour qu'il n'y ait pas de court-circuit de la source à travers le commutateur. Cette résistance ne doit pas être trop faible pour qu'elle soit efficace et ne

dissipe pas trop de puissance. Avec le commutateur sur la position 1, les résistances dissipent chacune $(5 \text{ V})^2 / 4,7 \text{ k}\Omega$ soit environ 5 mW, ce qui est acceptable. Cette résistance ne doit pas non plus être trop grande pour la raison suivante : comme l'entrée du NAND n'a pas une résistance infinie, il y a consommation d'un certain courant, certes faible, mais qui, en passant à travers R₂, crée une chute de tension. La tension en A n'est plus 5 V, mais 5 V moins cette chute de tension, et il est impératif que A ne soit pas trop différent de 5 V.

Revenons au fonctionnement de ce circuit antirebonds. En passant momentanément le commutateur de 1 à 2,

la sortie Q passe de 0 à 1, puis repasse à zéro quand le commutateur revient sur 1, créant de ce fait une seule impulsion bien nette qui sera comptée par le compteur.

Pour l'expérimentation de ce compteur binaire, nous pouvons également monter un générateur d'impulsions, dont la période de répétition sera assez longue pour pouvoir en vérifier le bon fonctionnement.

Un premier projet de schéma pourrait comporter le relaxateur à transistor unijonction décrit précédemment. Le signal de sortie devrait être alors mis en forme par un monostable ou un transistor.

Une autre solution consisterait à utiliser un 555 (voir numéro du mois dernier).

On peut aussi employer un montage astable pour obtenir un signal périodique de durée et de répétition déterminées. Le plus simple n'utilise que deux portes NAND et un circuit RC (fig. 8).

En mettant le montage sous tension, l'une des sorties sera à l'état haut tandis que l'autre sera à l'état bas. La liaison capacitive par C₁ et C₂ fait que, d'une façon continue, il y a charge et décharge de ces condensateurs, et il en résulte des impulsions dont l'amplitude est d'environ 5 V et dont la fréquence est déterminée par la constante de temps des résistances et des condensateurs.

La fréquence est :

$$F = \frac{1,4}{R_1 C_1 + R_2 C_2}$$

soit une période :

$$T = 0,7 (R_1 C_1 + R_2 C_2).$$

Les unités sont le hertz, l'ohm, le farad et la seconde. Au cas où on souhaiterait des signaux carrés, R₁ = R₂ = R et C₁ = C₂ = C, ce qui entraîne la simplification des formules :

$$F = \frac{0,7}{RC} \text{ et } T = 1,4 RC.$$

Si nous désirons des impulsions de l'ordre de la seconde avec R = 1 kΩ, les condensateurs devront avoir une valeur de plusieurs centaines de microfarads. Une période d'une seconde est suffisamment basse pour observer le fonctionnement du compteur. Une diode LED est placée à la sortie de l'astable pour en contrôler le fonctionnement.

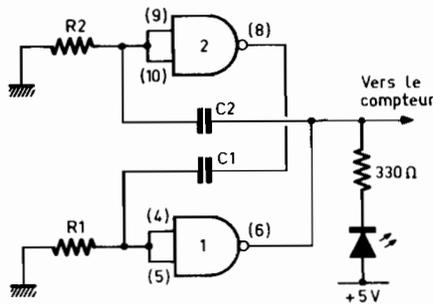


FIGURE 8. – Montage astable fournissant des impulsions au compteur, réalisé avec deux NAND d'un 7400.

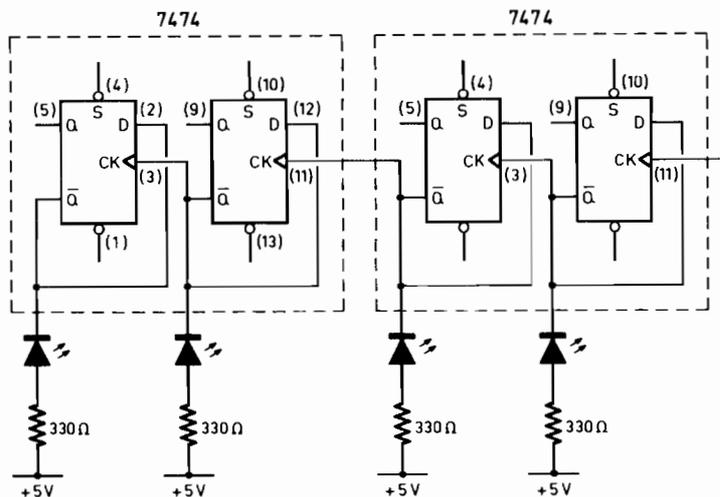


FIGURE 9. – Schéma du compteur binaire composé de deux circuits 7474 et de quatre diodes LED pour la visualisation.

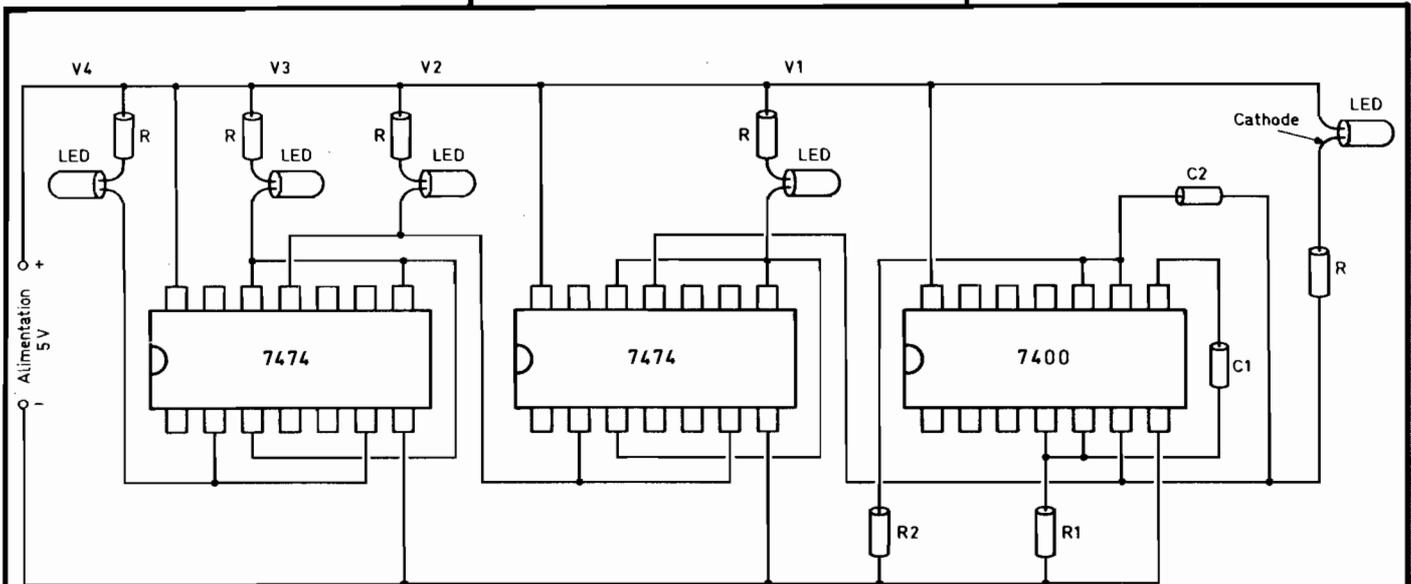


FIGURE 10. – Schéma pratique du compteur binaire (2 x 7474) et du générateur d'impulsions (7400).

Réalisation pratique

Nous avons représenté sur la figure 9 le schéma pratique du compteur à base 2. On remarque la simplicité du circuit. L'entrée, située à droite, reçoit les impulsions à compter. Celles-ci proviennent du montage astable à deux opérateurs NAND. La liaison est directe entre la sortie d'une de ces portes et l'entrée CK (ou T) de la première bascule. Les bascules étant munies de commandes de remise à zéro (R) et de mise en position travail (S), il est facile, avant tout comptage, de mettre à zéro le compteur. Il suffit pour cela de brancher ensemble les sorties R (broches 1 et 13) et de les connecter temporairement au niveau zéro logique (0 V).

On remarquera sur le schéma le branchement des diodes électroluminescentes. Elles sont connectées en série avec une résistance de protection de $330\ \Omega$ et branchées entre la sortie \bar{Q} et le + 5 V. Lorsque la bascule est à l'état travail, le potentiel de sortie \bar{Q} est alors égal à celui de la masse ; la diode, alimentée normalement, s'allumera. En alignant les LED sur la plaque de connexions (fig. 10), il est facile de traduire mentalement en quantité décimale le nombre binaire affiché.

La forme des signaux à la sortie de chaque bascule est donnée figure 11. Chaque étage du compteur se comporte comme un diviseur de fréquence par deux.

Le compteur peut également être monté avec des bascules JK, à condition seulement de connecter les entrées J et K au + 5 V, l'attaque se faisant sur l'entrée CK.

Avant de mettre en exécution le montage d'un compteur, il y a lieu de

tenir compte du mode d'attaque de cette entrée CK. Certaines bascules peuvent être commandées par le flanc descendant (de 1 à 0) d'une impulsion. Ceci est le cas des bascules du compteur de la figure 5. Ce mode de commande est repéré par le petit cercle placé à l'entrée T (ou CK). L'attaque de la bascule suivante se fait par la sortie Q de la bascule considérée. La figure 6 montre les signaux à la sortie des bascules.

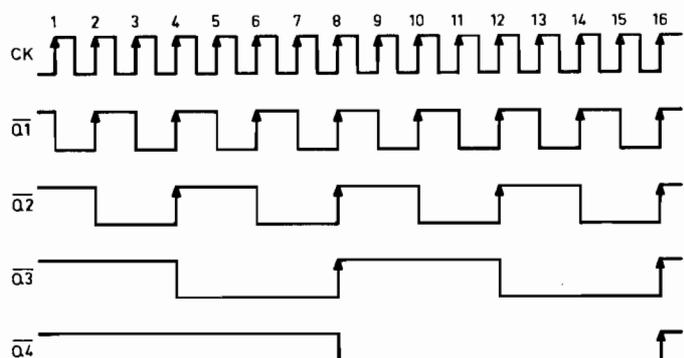


FIGURE 11. – Signal à l'entrée (CK) et à la sortie (\bar{Q}) des quatre bascules.

La commande d'autres bascules, comme le type 7474 que nous avons utilisé, se fait par le front montant du signal d'attaque. La liaison avec la suivante se fait par la sortie \bar{Q} .

Quelques exercices

Nous vous demandons de convertir en décimal les nombres binaires suivants :

- a) 1 0 1 0 0
- b) 1 1 0 1 1

- c) 1 1 1 0 0 1
- d) 1 1 0 1 1 0 1

Solution de l'exercice du mois dernier

Il s'agissait de dessiner le schéma avec les valeurs d'un temporisateur à temps variable (1 seconde à 20 secondes). (Voir fig. 12.)

On sait que la durée de la temporisation est égale à $1,1 \times R \times C$. La résistance R peut varier de 1 kΩ à 10 MΩ

bien que, pratiquement, les valeurs courantes se situent entre 50 kΩ et 1 MΩ. Le rapport des temps étant de 30, nous choisisons une valeur inférieure à 50 kΩ pour 1 seconde, soit $R_{min} = 10 \text{ k}\Omega$. A partir de cette valeur nous calculons celle du condensateur C :

$$C = \frac{t}{1,1 \times R} = \frac{1}{1,1 \times 10^4} = 90 \mu\text{F}$$

La valeur de R pour 30 secondes sera donc $R_{max} = R_{min} \times 30$ soit 300 kΩ. Nous choisisons donc un potentiomètre de 300 kΩ linéaire. Il sera câblé en série avec une résistance de 10 kΩ, et nous serons sûrs d'avoir une variation de temps allant de 1 à 30 secondes.

Le calcul des composants est grandement simplifié si on utilise l'abaque reproduit sur la figure 13.

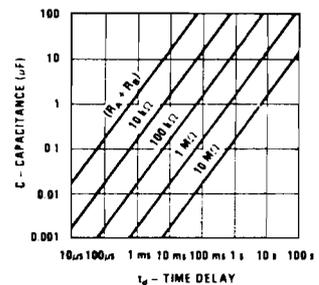


FIGURE 13. - Abaque donnant la relation entre le temps t_d et les composants C, R_A et R_B (doc. National Semiconductor).

La résistance en série avec les boutons-poussoirs permet de ne pas court-circuiter la tension d'alimentation lorsque ceux-ci sont actionnés. Cette résistance sera au moins égale à 10 kΩ.

Quant à la résistance en série avec la diode LED, elle est obtenue par la formule :

$$R = \frac{U - V_D}{I_D}$$

La tension U étant l'amplitude de la tension à la sortie du circuit intégré (tension d'alimentation moins 1 V environ, soit ici 8 V), V_D est la tension directe de la diode. Elle dépend de la couleur de celle-ci (1,5 V pour une rouge ou 2,5 V pour une verte ou une jaune). Le courant I_D dans la LED varie aussi suivant la couleur (10 mA pour une rouge ou 20 mA pour les autres), ce qui donne :

$$r = \frac{8 - 2,5}{20 \text{ mA}} = \frac{5,5}{20} \text{ soit } 270 \Omega$$

(valeur normalisée). Puissance dissipée

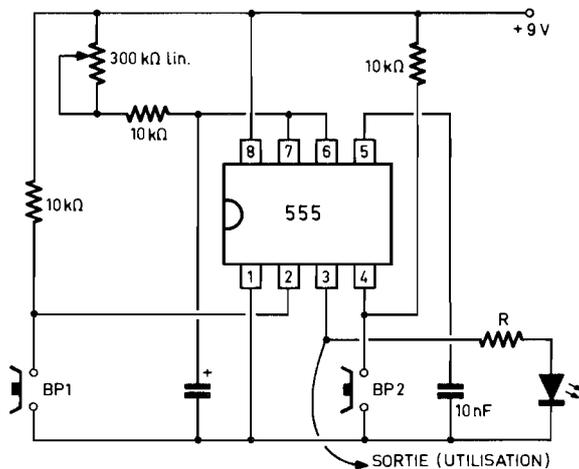


FIGURE 12. - Schéma complet du temporisateur.

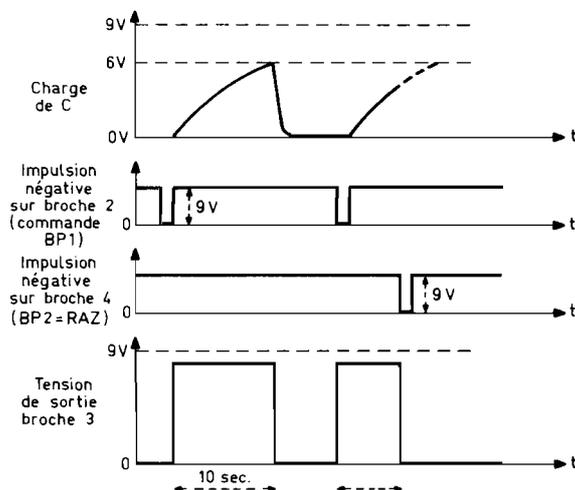


FIGURE 14. - Forme des signaux du temporisateur.

dans la résistance :

$$RI^2 = 270 \times (0,02)^2 \approx 0,1 \text{ W.}$$

Nous donnons figure 14 le diagramme des temps avec une temporisation de 10 s, et une autre, interrompue par l'action de BP₂ (bouton-poussoir de remise à zéro de la bascule).

Outre sa simplicité, un temporisateur utilisant un 555 possède l'avantage de donner des signaux de durée indépendante des variations de la tension d'alimentation.

Schéma d'un générateur de signaux rectangulaires

Nous avons donné le mois dernier le schéma d'un 555 connecté en astable. Ce montage peut donner des impulsions de 5 V d'amplitude convenant aux circuits TTL. Le signal est dissymétrique, sauf si R_B est très supérieur à R_A. Il est possible d'obtenir une variation de t₁ et t₂ par l'adjonction de deux

diodes (D_A et D_B) et en rendant variables les résistances R_A et R_B. Le condensateur C se charge donc à travers R_A et D_A, et son courant de décharge passe à travers D_B et les résistances R_A et R_B en série. La tension de sortie peut être réglable si on remplace

la résistance de 10 kΩ par un potentiomètre. L'adjonction d'un transistor monté en collecteur commun permet d'isoler le 555 du circuit d'utilisation.

Le schéma complet est donné figure 15.

J.-B. P.

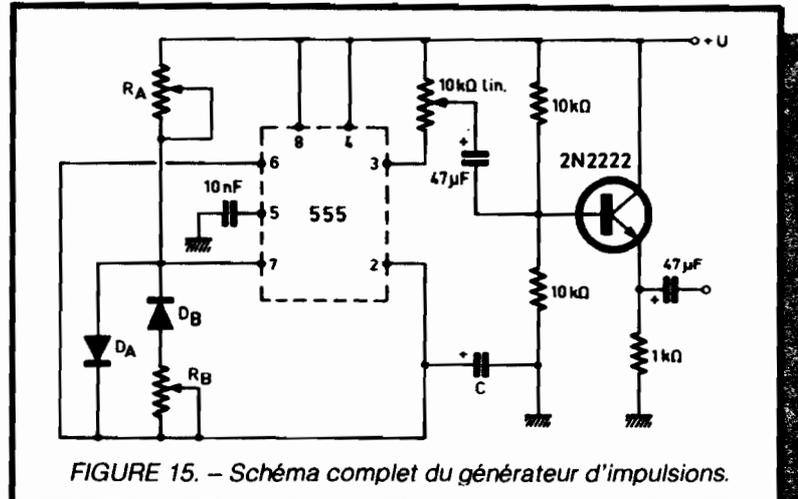


FIGURE 15. – Schéma complet du générateur d'impulsions.