

INITIATION A LA PRATIQUE DE L'ELECTRONIQUE

GENERATION D'IMPULSIONS

En résumé, les impulsions peuvent s'obtenir de très nombreuses façons : avec un montage astable, avec un trigger de Schmitt associé à un circuit RC, ou encore avec un relaxateur suivi d'un circuit de mise en forme (comme un transistor ou une bascule monostable).

Le relaxateur le plus simple est constitué par un transistor unijonction (UJT) et d'un circuit résistance-condensateur. L'UJT n'amplifie pas, il est employé seulement en commutation. On utilise sa caractéristique de résistance négative pour décharger un condensateur. La période

de des impulsions est fonction du produit RC. Le 555 est un circuit universel que l'on utilise pour générer des impulsions. On peut l'employer en monostable à la suite d'un relaxateur à UJT pour avoir des impulsions bien nettes. On peut aussi l'employer seul, en montage astable.

Pour ces circuits, on utilise de préférence des condensateurs de type polystyrène (film plastique) quand il s'agit de temporisations courtes, sinon les modèles au tantale sont conseillés pour les plus longues durées.

Les impulsions peuvent s'obtenir par différents moyens : avec un astable, avec un trigger de Schmitt et un circuit RC (voir l'exposé du mois dernier). On peut également employer un relaxateur suivi d'un circuit de mise en forme, tel qu'un monostable. Enfin il existe un circuit intégré, le 555, d'applications très diverses, dont nous allons parler un peu plus loin.

Ces circuits nous fourniront des impulsions qui trouveront de très nombreuses applications en logique séquentielle.

Les relaxateurs

Ce sont des générateurs d'impulsions dont le fonctionnement est basé sur la charge et la décharge d'un condensateur. Pour la commande de cette charge et de cette décharge, plusieurs procédés sont à notre disposition. Le plus simple est sans doute le transistor unijonction (UJT).

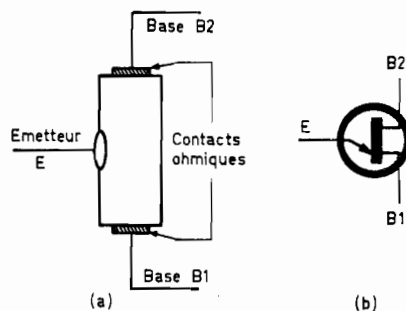


FIGURE 1. — Représentation graphique (a) et schématique (b) de l'unijonction. La pointe de la flèche indique la base B₁.

Le transistor unijonction

Comme son nom l'indique, ce type de transistor ne possède qu'une seule jonction. C'est donc un transistor un peu spécial. Il est utilisé dans les cir-

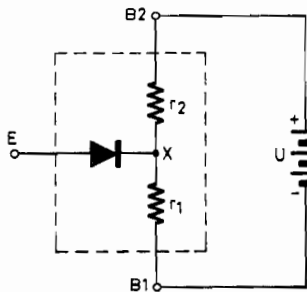
cuits de commutation, et non pour amplifier des signaux.

Sa construction est simple. Imaginons un barreau de silicium dopé N aux extrémités duquel sont soudés deux contacts ohmiques appelés « bases ». Environ à mi-chemin de ces deux bases se trouve l'unique jonction (zone P) dont la connexion de sortie s'appelle « émetteur » (fig. 1). La résistance ohmique de ce barreau est généralement de l'ordre de 5 à 10 kΩ. La base B₁ est reliée à l'extrémité négative de l'alimentation, et B₂ au côté positif.

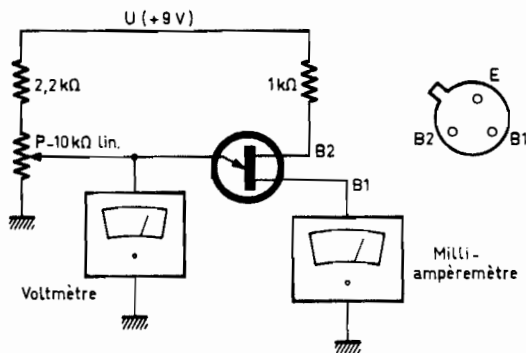
L'émetteur étant « en l'air », le barreau est équivalent à un diviseur de tension de rapport η (fig. 2). Cette lettre grecque « éta » se trouve dans les catalogues de semiconducteurs sous la dénomination « rapport intrinsèque ». Ainsi la tension à la liaison des résistances (point X) est-elle égale à la tension d'alimentation U multipliée par η

$$U \times \frac{r_1}{r_1 + r_2} = U \times \eta$$

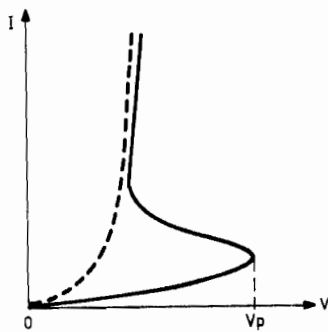
La diode ne peut conduire que si la tension sur son anode est supérieure à



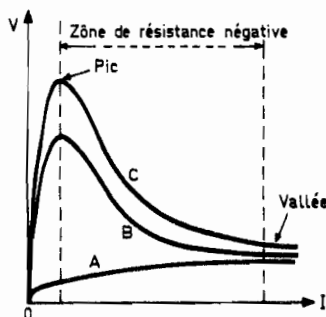
◀ FIGURE 2.
Schéma équivalent
d'un unijonction.



▲ FIGURE 3. – Montage mettant en évidence
la courbe caractéristique de l'unijonction
et branchement de 2N2646 (vue de dessus).



◀ FIGURE 4.
Courbe
caractéristique
de l'unijonction.



◀ FIGURE 5.
Présentation
plus courante
de la courbe
caractéristique
du transistor
unijonction.

la tension en X, à laquelle il faut ajouter la chute de tension interne directe de la diode (0,7 V). On obtient donc la relation :

$$V_{\text{émetteur}} = \eta U + 0,7 \text{ V}$$

La tension d'alimentation U est connectée entre B₁ et B₂. Si on applique progressivement sur E une tension qui soit positive par rapport à B₁, il arrive qu'à un certain niveau de tension la résistance r₁ voit sa valeur diminuer subitement. A partir d'un certain seuil égal à $\eta U + 0,7$, il y a diminution de tension entre E et B₁, et il en résulte un fort courant entre ces deux points (phénomène de résistance négative).

Expérimentation de l'UJT

Un modèle d'UJT très courant est le 2N2646 dont la tension U_{max} est de 30 V et le rapport intrinsèque situé entre 0,5 et 0,8.

La figure 3 nous montre un schéma pour mettre en évidence la courbe caractéristique de l'UJT. Si on ne dispose pas d'un milliampèremètre pour mesurer le courant dans le transistor, on insérera une résistance de 100 Ω entre B₁ et la masse et on en mesurera la tension à ses bornes.

Avant la mise sous tension (9 V) le curseur du potentiomètre P est placé du côté masse. En tournant lentement l'axe du potentiomètre, nous notons que le courant I ne bouge pratiquement pas. Puis, d'un seul coup, I prend une valeur nettement plus élevée. En continuant à tourner le potentiomètre, le courant continue à augmenter.

En notant les valeurs de la tension sur l'émetteur et du courant sortant de B₁, et en les traçant sur une feuille, nous obtenons une courbe semblable à celle de la figure 4. Le point critique est le point V_p (tension de « pic »). Au-delà de ce point, la variation suit le tracé en pointillé qui n'est autre que la caractéristique en sens direct de la diode D (jonction unique de l'UJT).

Une deuxième expérience est de refaire le même relevé, mais avec cette fois l'électrode B₂ reliée à la masse. La caractéristique obtenue est celle du tracé en pointillé. L'UJT se comporte comme une diode.

La même courbe caractéristique est souvent donnée d'une façon différente, V représenté verticalement comme sur

la figure 5. La courbe A est celle de la jonction de l'UJT (B_1 et B_2 reliés au même potentiel). Les deux autres courbes B et C correspondent à deux valeurs différentes de tension d'alimentation U. Les termes « courant de pic » et « courant de vallée » sont souvent employés dans les recueils de caractéristiques.

Pour le 2N2646, le courant de vallée I_V est de 4 mA, et le courant de pic I_P est de 5 μ A.

La résistance de 1 k Ω placée entre B_2 et la tension d'alimentation est souvent rencontrée dans les montages. Son but est de réduire l'influence de la température sur la fréquence de fonctionnement du montage. Sa valeur peut varier d'un circuit à l'autre.

Constante de temps dans les circuits capacitifs

Le fonctionnement des relaxateurs étant basé sur la charge et la décharge d'un condensateur, il est bon de faire un bref rappel sur ce qu'est une constante de temps et, au besoin, d'effectuer quelques manipulations. Les non-débutants passeront directement au chapitre suivant.

Un condensateur C placé aux bornes d'une source de tension U à travers une résistance R ne reçoit pas instantanément toute la tension de cette source (fig. 6). La variation de tension V_C se fait d'abord très rapidement, puis de plus en plus lentement. Cette variation est représentée par la courbe 1 de la figure 7.

La constante de temps d'un circuit résistance-condensateur détermine l'accroissement et la diminution de la tension aux bornes du condensateur C. La valeur, en secondes, de la constante de temps est égale au produit de la valeur de la résistance R (en ohms) par celle de la capacité C (en farads) du condensateur.

$$\text{Constante de temps} = R \times C$$

Mais en électronique l'ohm étant une valeur très faible, et le farad une valeur jamais rencontrée, on préfère choisir des multiples ou des sous-multiples de ces unités : pour une constante de temps exprimée en secondes, R sera en mégohms et C en microfarads, tout au moins si nous utilisons des circuits

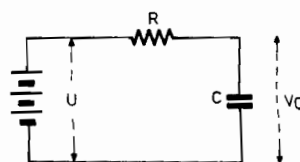


FIGURE 6. La tension V_C met un certain temps à s'établir, dépendant des valeurs de R et de C.

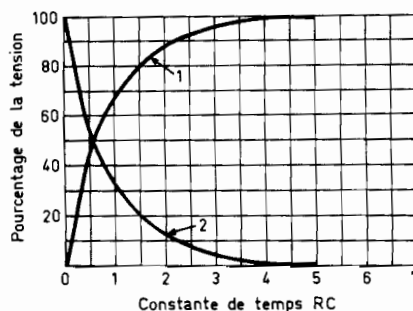


FIGURE 7. — Pourcentage de variation de la tension aux bornes de C en fonction de la constante de temps du circuit (1 : charge, 2 : décharge).

généralisant des signaux de période de l'ordre de la seconde.

Pour mieux saisir ce qu'est une constante de temps, nous placerons sur notre plaque de connexions une résistance de 1 M Ω en série avec un condensateur de 10 μ F, le tout placé aux bornes de deux piles de 4,5 V, comme sur la figure 6.

Le calcul de la constante de temps donne 10 secondes.

Ce qu'il faut savoir, c'est que la valeur de la constante de temps nous indique combien de temps, après la mise sous tension, la tension aux bornes de C atteint 63 % de la valeur maximale en fin de charge (tension de la source).

Ainsi pour notre circuit, au bout de 10 secondes, la tension aux bornes de C doit être de 9 V \times 0,63, soit de l'ordre de 5,7 V. Un chronomètre peut être déclenché au moment où nous appliquons la tension V au circuit, et stoppé au moment où l'aiguille du voltmètre placé aux bornes de C indique 5,7 V. Le temps lu sur le chronomètre est de 10 secondes si la valeur réelle des composants correspond bien à la valeur inscrite.

Notons que la valeur des condensateurs est donnée avec de très larges tolérances, de telle sorte qu'un condensateur de 10 μ F peut très bien avoir quelques microfarads en plus.

La mesure de la constante de temps avec un chronomètre permet de déterminer la valeur inconnue de C si nous connaissons avec précision celle de R et de U :

$$C = \frac{0,63 U}{R}$$

On admet que le condensateur est pratiquement chargé au bout d'un temps égal à cinq fois la constante de temps, ce qui donne, dans notre exemple, un temps de 50 secondes.

Il est à remarquer que la résistance interne du voltmètre utilisé doit être élevée par rapport à la valeur de R (qui est déjà assez grande). Ces deux résistances forment un diviseur de tension, ce qui fait que C n'atteindra pas la tension U, mais une valeur un peu inférieure, qui est égale à :

$$U \times \frac{R_{int}}{R_{int} + R}$$

La décharge d'un condensateur dans une résistance suit la même courbe — mais inversée — que celle de

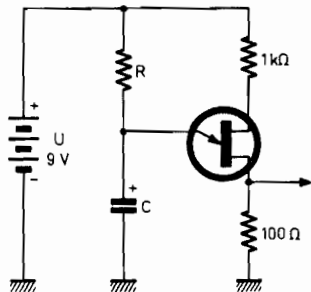


FIGURE 8.
Schéma d'un relaxateur à UJT ($R = 22 \text{ k}\Omega$, $C = 100 \mu\text{F}/25 \text{ V}$). La résistance de $1 \text{ k}\Omega$ limite le courant dans l'unijonction, la résistance de 100Ω le courant dans la jonction.

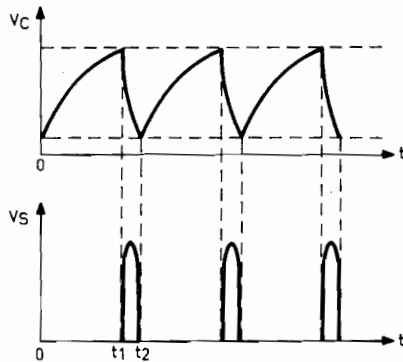


FIGURE 9.
Forme des signaux du relaxateur. Le temps t_1 t_2 est très court (de l'épaisseur d'une aiguille sur l'écran de l'oscilloscope).

la charge (voir la courbe 2 de la figure 7). La décharge est très rapide au début, puis devient de plus en plus lente. Au bout d'un temps égal à cinq fois la constante de temps, on considère que le condensateur est complètement déchargé.

Dans le cas d'une décharge d'un condensateur dans une résistance, la constante de temps indique au bout de combien de temps la tension initiale diminue jusqu'à 37 % de cette valeur.

Choix du condensateur

Une question qui se pose souvent est le choix du condensateur devant être utilisé dans le circuit RC déterminant la constante de temps d'un relaxateur ou d'un temporisateur.

Pour les temps courts, le condensateur doit avoir une capacité faible (de 50 pF à 100 nF) ; on utilisera de préférence un modèle à diélectrique en polystyrène, appelé aussi condensateur à film plastique.

Si la capacité doit être assez élevée ($1 \mu\text{F}$ jusqu'à $2\,000 \mu\text{F}$), on prendra alors un modèle électrolytique au tantale. Ce dernier est polarisé.

Ces deux sortes de condensateurs supportent des tensions inférieures à 50 V, ce qui convient parfaitement aux circuits électroniques que nous utilisons. Leur coefficient de température est très faible.

Relaxateur à unijonction

Un relaxateur est obtenu en assemblant un UJT et un circuit RC. Il suffit de placer un condensateur entre l'émetteur et la base B_1 et de charger ce condensateur à travers une résistance R (fig. 8). Lorsque la tension du condensateur atteint la tension de déclenchement de l'UJT, le condensateur se décharge très rapidement à travers l'espace E- B_1 (résistance r_1) du transistor. Il en résulte un fort courant I de

durée très brève, fonction du temps de décharge du condensateur (constante de temps $C \times r_1$). Une fois le condensateur déchargé, la résistance r_1 retrouve sa valeur élevée. Le condensateur se recharge à nouveau à travers R . Il se déchargera à nouveau quand sa tension aura atteint la valeur critique. On obtient donc un signal périodique, ayant la forme de dents de scie si nous considérons la tension aux bornes de C .

Remarquons que le temps de charge est fonction du produit $R \times C$, et que le temps de décharge pour le montage donné dépend de $C \times (r_1 + 100 \Omega)$. La période de relaxation T est ainsi égale à $C \times (R + r_1 + 100)$, T en secondes, R et r_1 en ohms.

Un relaxateur à période réglable est obtenu en remplaçant R par un potentiomètre linéaire ($220 \text{ k}\Omega$ par exemple) monté en résistance variable en série avec une résistance fixe ($22 \text{ k}\Omega$).

Les impulsions de courant, fortes et brèves, créent des impulsions de tension aux bornes de la résistance de 100Ω . Elles sont positives. On en recueille des négatives si on se branche sur la base de B_2 .

La forme des signaux est donnée sur la figure 9.

L'impulsion de tension aux bornes d'une des résistances pourra attaquer un monostable si on veut obtenir un signal bien carré, d'une amplitude de 5 V et de durée bien définie (voir article précédent). Une mise en forme peut également être réalisée avec un transistor (fig. 10).

Le 555

Etant donné son prix intéressant, sa facilité d'emploi et ses nombreuses applications, le 555 est devenu un circuit intégré tout à fait courant dans les circuits électroniques lorsqu'il s'agit de génération d'impulsions ou de temporisation. Il fut commercialisé en 1972 par la firme Signetics. Un autre circuit intégré, le 556, comporte dans le même boîtier deux circuits identiques au 555.

Si nous jetons un coup d'œil sur le schéma synoptique (fig. 11), nous voyons que le circuit est constitué de deux comparateurs commandant les entrées d'une bascule RS (avec remise à zéro), d'un inverseur amplificateur (« driver » en anglais), d'un transistor dit « de décharge » et de trois résistan-

ces de valeur égale ($R_i = 5 \text{ k}\Omega$) formant un diviseur de tension.

Le 555 est alimenté sous une tension pouvant aller de 4,5 à 18 V et sa consommation varie de 3 à 15 mA selon sa charge et sa tension d'alimentation.

Le 555 en monostable

Pour bien faire comprendre le fonctionnement de ce circuit, notre premier exemple d'application est le monostable (fig. 12).

Les sorties 6 et 7 sont reliées ensemble. Le condensateur C_1 et la résistance R_1 sont en série et branchés entre +U et la masse. La durée de l'impulsion de sortie du monostable dépend de la valeur de ces deux composants. Cette impulsion est disponible sur la résistance de charge connectée à la sortie 3.

La sortie 4 de remise à zéro est reliée à +U. Cette commande est active lorsqu'elle est portée à un potentiel négatif (tension continue ou impulsion).

À la mise sous tension, la bascule est à l'état repos ($Q = 0, \bar{Q} = 1$). La base du NPN étant polarisée par une tension positive ($\bar{Q} = 1 \cong +U$), ce transistor est donc saturé; sa résistance de sortie est très faible et court-circuite de ce fait le condensateur extérieur C_1 . Également, à cet instant, la sortie (broche n° 3) est au niveau bas.

Si on applique une impulsion négative sur la broche n° 2 (« déclenchement »), la sortie du comparateur n° 2 est positive et met la bascule RS à l'état travail ($\bar{Q} = 0$). Le transistor se trouve ainsi bloqué, sa résistance de sortie est très élevée, et la sortie du 555 (broche 3) se trouve au niveau haut (tension légèrement inférieure à +U).

Le lecteur désirant quelques précisions sur le fonctionnement d'un comparateur se reportera à l'encadré.

La tension V_c aux bornes de C_1 peut maintenant croître; elle augmente donc de façon exponentielle et atteindrait la valeur de la tension d'alimentation si le 555 le permettait. Mais lorsque cette tension atteint $2U/3$, le comparateur 1 sort une tension positive qui remet la bascule à l'état repos, entraînant la saturation du transistor et la décharge de C. La tension de sortie retombe pratiquement à zéro (0,4 V en-

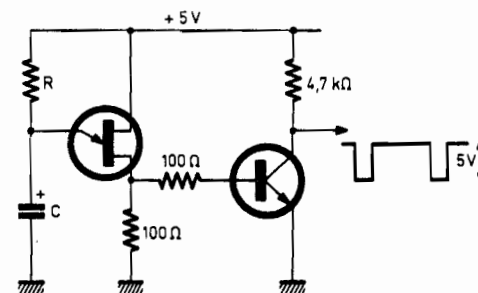


FIGURE 10. – Schéma d'un UJT avec circuit de mise en forme (signal pour circuits TTL).

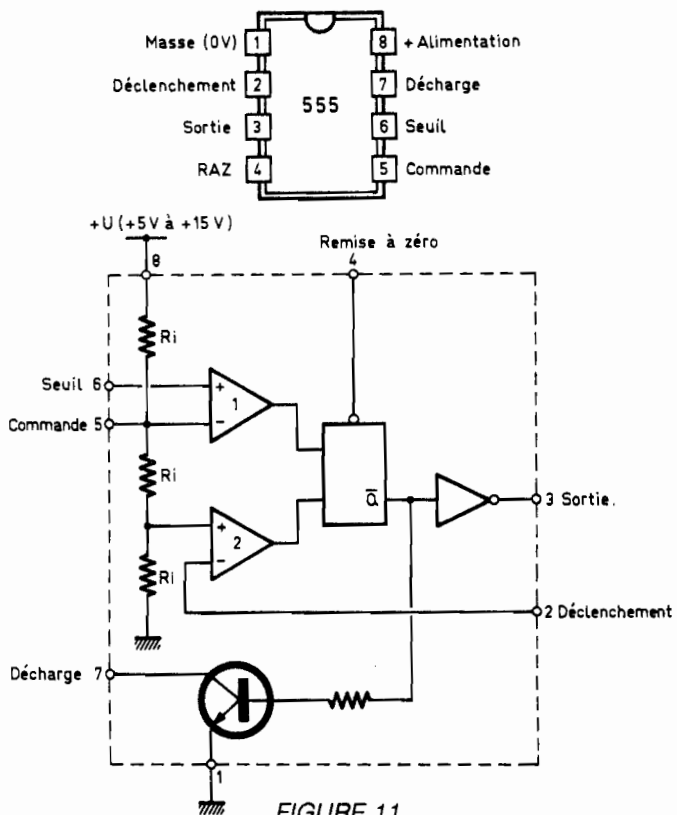


FIGURE 11. Schéma de branchement et schéma synoptique du 555.

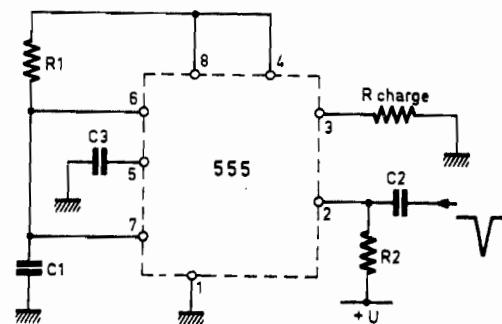


FIGURE 12. Schéma de branchement du monostable ($C_3 = 10 \text{ nF}$).

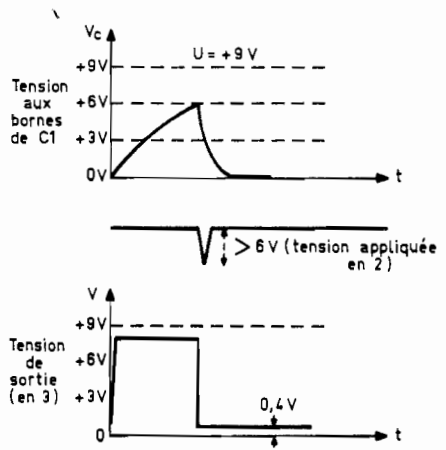


FIGURE 13. - Forme des signaux du monostable (les temps de montée et de descente du signal de sortie sont de l'ordre de 100 ns).

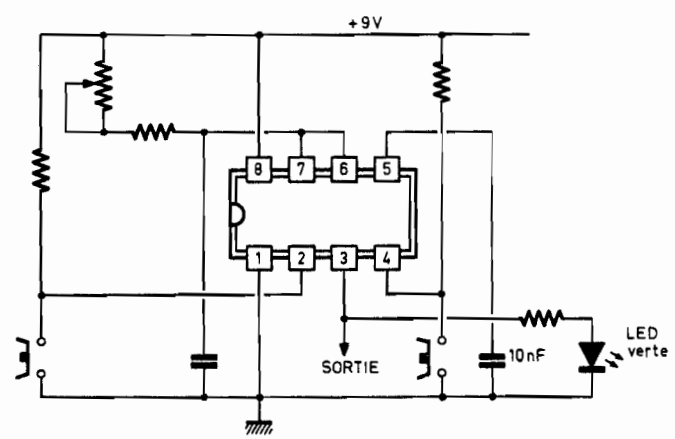


FIGURE 14. - Schéma d'un temporisateur à temps variable.

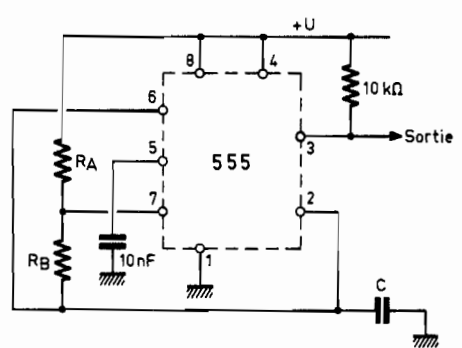


FIGURE 15. - Schéma de branchement de l'astable (impulsions à partir de 1 Hz ; R_A = potentiomètre de 1 M Ω ; R_B = 100 k Ω ; C = 1 μ F).

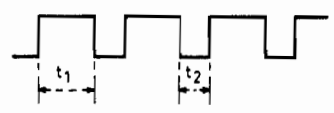


FIGURE 16. Forme des signaux à la sortie de l'astable.

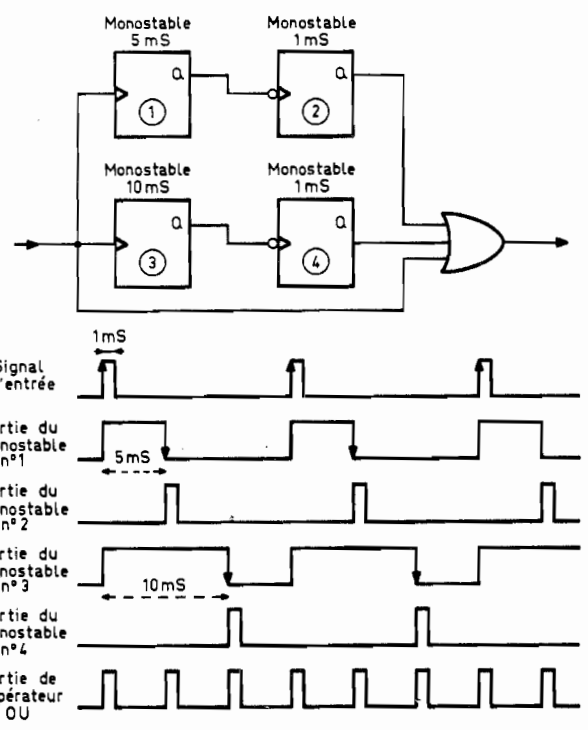


FIGURE 17. - Schéma d'un multiplicateur d'impulsions.

viron). (Voir la forme des signaux sur la figure 13.)

Ainsi, en choisissant la valeur de R_1 et de C_1 , il est possible d'avoir des impulsions plus ou moins longues. La formule approximative est :

$$t = 1,1 R \cdot C$$

(t en secondes, R en ohms et C en farads).

Il y a une limite en ce qui concerne le choix de R : sa valeur doit être comprise entre 50 k Ω et 1 M Ω .

On remarque que la borne 5 est reliée à la masse à travers un condensateur C_3 de 10 nF. Cette sortie permet de moduler la durée des impulsions de sortie pour des applications professionnelles.

Le schéma donné en exemple pour le monostable peut être utilisé pour la réalisation d'un temporisateur à temps variable, par exemple allant de 1 seconde à quelques minutes. Le schéma pratique est donné sur la figure 14, le lecteur pourra en calculer les éléments. Le même schéma avec la valeur des composants sera donné le mois pro-

chain, cela en guise d'exercice (alimentation : 9 V, temporisation de 1 à 30 secondes).

Le 555 en astable

Le schéma est tiré d'une documentation de National Semiconductor. Il pourra être utilisé comme générateur d'horloge dans les montages que nous étudierons par la suite.

On voit sur la figure 15 que C se charge à travers R_A et R_B en série. Quand V_c atteint les $2/3$ de U, C se décharge à travers R_B . La dent de scie aux bornes de C varie en tension entre les valeurs $U/3$ et $2U/3$, et en sortie le signal a la forme de celui donné sur la figure 16. Les temps sont donnés par les formules suivantes :

$$t_1 = 0,7 (R_A + R_B) C$$

$$t_2 = 0,7 R_B C$$

La fréquence F est égale à :

$$\frac{1}{t_1 + t_2}$$

Une forme symétrique est obtenue si R_B est égal à au moins 50 fois R_A .

Exercices d'application

Le mois dernier, nous vous avons proposé deux exercices d'applications avec le monostable.

Le premier consistait à calculer les éléments d'un circuit RC pour un monostable non redéclenchable afin d'obtenir une temporisation réglable entre 3 et 20 secondes. Le monostable est du type 74121, sa formule est :

$$t = 0,7 RC$$

La résistance R doit être située entre 1 400 Ω et 40 k Ω , et le condensateur C doit avoir une valeur inférieure à 1 000 μF .

Choisissons une résistance de 4,7 k Ω pour un temps t de 3 secondes et calculons la valeur de C.

$$C = \frac{t}{0,7 R} = \frac{3}{0,7 \times 4,7 \times 10^3} \approx 900 \mu F$$

Recherchons maintenant la valeur de R pour obtenir 20 secondes avec un condensateur de 900 μF .

$$R = \frac{t}{0,7 C} = \frac{20}{0,7 \times 900 \times 10^{-6}} \approx 30 k\Omega$$

La variation de 3 à 20 secondes sera obtenue avec un condensateur de

900 μF et un potentiomètre de 27 k Ω monté en résistance variable, branché en série avec une résistance de 4,7 k Ω .

Quant au deuxième exercice, il s'agissait d'obtenir des impulsions

toutes les 5 millisecondes, à partir d'une série d'impulsions dont la période de répétition est de 15 ms. La solution est donnée sur la figure 17.

J.-B.P.

Un **comparateur** est un circuit qui compare deux signaux et qui donne en sortie le résultat de cette comparaison.

Dans les schémas synoptiques, un comparateur se présente sous la forme d'un triangle avec deux entrées (+ et -) et une sortie (fig. a).

Le comparateur est alimenté par une tension continue dont + U est la valeur maximale et - U la valeur minimale.

Les tensions à comparer sont dénommées e_1 et e_2 , la tension de sortie v_s est égale à $(e_1 - e_2)$.

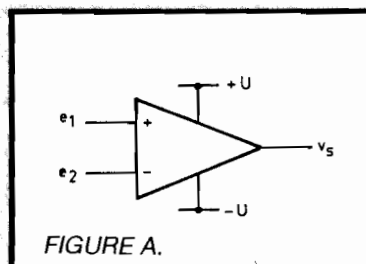


FIGURE A.

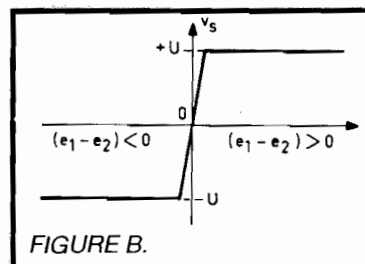


FIGURE B.

Le gain du comparateur est très grand, tellement élevé que sa tension de sortie ne peut prendre que deux valeurs : approximativement + U et - U (fig. b).

La transition entre les deux valeurs est très courte.

1° En supposant que la tension d'alimentation soit de ± 15 V, que C_1 soit relié au zéro volt, et qu'une tension de + 5 V soit appliquée en e_2 , la tension de sortie v_s sera - 15 V puisque : $e_1 - e_2 = |0 V| - | + 5 V| = - 5 V$ multiplié par le gain, ce qui donne en sortie la valeur négative la plus élevée, c'est-à-dire ici - 15 V (fig. c).

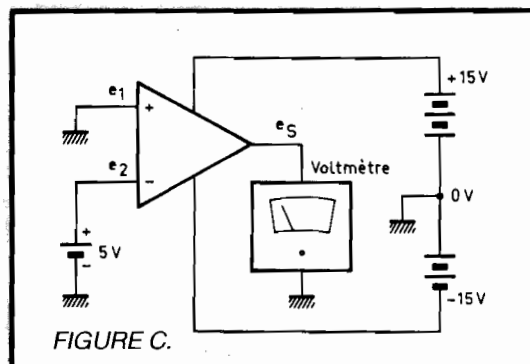


FIGURE C.

2° Si nous portons e_1 à + 5 V et e_2 à + 1 V, $e_1 - e_2 = | + 5 V| - | + 1 V| = + 4 V$ multiplié par le gain, ce qui donne + 15 V en sortie.

3° Au cas où les deux tensions d'entrée seraient rigoureusement égales, v_s serait nulle (cas purement théorique).

4° Revenons au 555 alimenté sous + 15 V. Nous avons dans ce cas + 5 V sur l'entrée « + » du comparateur n° 2. En appliquant + 15 V sur l'autre entrée, le niveau logique à la sortie de ce comparateur nous sera indiqué en faisant l'opération : $| + 5 V| - | + 15 V|$; le résultat est négatif et correspond à un niveau zéro logique.

5° Sur l'entrée « - » du comparateur n° 2, nous avons en permanence + 10 V. Si nous injectons sur l'autre entrée + 12 V, nous avons $| + 12 V| - | + 10 V|$, ce qui donne une tension positive, soit un niveau haut logique.