

# Initiation à la pratique de l'électronique

## MONTAGES ASTABLES ET BISTABLES

### MONTAGE BISTABLE

Reprenons les deux transistors en commutation branchés en cascade dont nous avons parlé le mois dernier (fig. 1).

Lorsque le bouton-poussoir n'est pas actionné, la base de  $T_1$  est positive (à travers  $R_{B1}$ ). Ce transistor est passant, sa tension collecteur est sensiblement égale à 0 V, ce qui entraîne le blocage du transistor  $T_2$ . La tension collecteur de celui-ci a alors pour valeur celle de l'alimentation.

Le bouton-poussoir est ensuite actionné.  $T_1$  est alors bloqué et  $T_2$  devient passant.

On remarque que, dans les deux cas, la tension collecteur de  $T_2$  et la tension base de  $T_1$  ont toujours la même valeur. Dans le premier cas : tension positive ; dans le second : tension nulle. En reliant ces deux points à travers la résistance  $R_{B1}$ , nous obtenons un circuit bouclé ayant des propriétés intéressantes (fig. 2).

Nous constatons en premier lieu qu'en relâchant le bouton-poussoir, le transistor  $T_1$  ne revient pas à l'état passant. Il y a en quelque sorte un « verrouillage ». Nous remarquons également que si nous coupons et rétablissons la tension d'alimentation, c'est généralement toujours le même transistor qui est passant. Ceci est dû aux

Ces montages sont parmi les plus simples qui existent dans les circuits électroniques. Ils sont constitués par deux transistors associés à quelques résistances et condensateurs.

Le montage astable est un générateur de signaux rectangulaires dont la fréquence est déterminée par deux constantes de temps, et dont l'amplitude est pratiquement égale à la tension d'alimentation.

Le montage bistable trouve de nombreuses applications parmi les circuits digitaux : dans les compteurs ou pour mettre en mémoire une information binaire. Déclenché par des impulsions régulièrement espacées, le bistable donne en sortie des signaux rigoureusement symétriques.

La compréhension du fonctionnement et le calcul des éléments de ces circuits sont d'une grande simplicité. Le lecteur débutant pourra réaliser sans problème quelques montages qu'il pourra ensuite utiliser pour actionner une lumière (clignotant), ou encore pour émettre un signal sonore. En commutant plusieurs résistances afin de faire varier les constantes de temps, il pourra réaliser un petit orgue électronique.

différences entre les deux transistors qui n'ont pas forcément les mêmes caractéristiques, bien qu'étant du même type.

Le montage que nous venons de décrire est un bistable, il est le plus souvent représenté comme sur la figure 3. Les va-

leurs choisies sont les suivantes :  $R_{C1} = R_{C2} = 470 \Omega$ ,  $R_{B1} = R_{B2} = 1 \text{ k}\Omega$ . Les transistors sont des BC140 et la tension  $U$  est de 4,5 V.

L'état des transistors n'étant pas connu avant la mise sous tension, la conduction de  $T_1$  ou

de  $T_2$  est commandée en reliant momentanément une des bases au 0 V. Comme le montre la figure 3, il suffit de relier alternativement à la masse les points a et b pour faire basculer le bistable. Admettons que  $T_2$  soit passant, le bistable basculera si on relie à la masse le point b du montage.

Dans sa version intégrée, le bistable, appelé aussi « bascule », est utilisé pour mettre en mémoire un signal binaire. Cette mémoire devant être vidée lorsque cela est nécessaire, la remise à zéro peut s'effectuer à l'aide d'un autre bouton-poussoir ( $B_2$  de la figure 4). En actionnant celui-ci,  $T_2$  se bloque et  $T_1$  devient passant ; le montage retrouve son état initial comme l'indiquerait un voltmètre placé au point S.

Le bouton  $B_1$  pourrait être appelé « Commande » et  $B_2$  « Remise à zéro ». Dans la littérature technique anglaise, les termes consacrés sont « Set » et « Reset ».

Dans les circuits informatiques, une bascule est plus couramment constituée de portes logiques. Nous en reparlerons plus tard.

### VARIANTES DU MONTAGE

Certains bistables ont une résistance commune d'émetteur ( $R_E$  de la figure 5) permettant un blocage plus sûr.

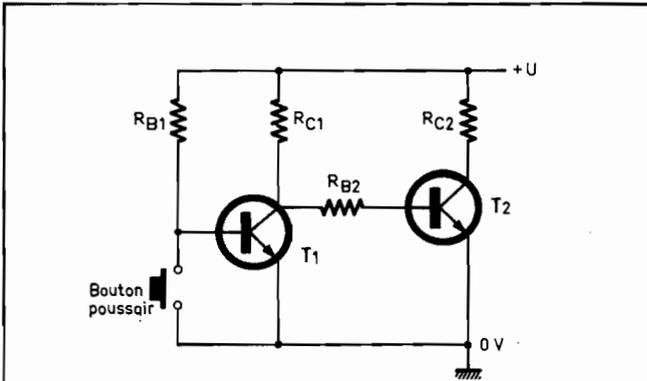


Fig. 1. - Transistors de commutation en cascade. Lorsque T<sub>1</sub> est passant, T<sub>2</sub> est bloqué et inversement.

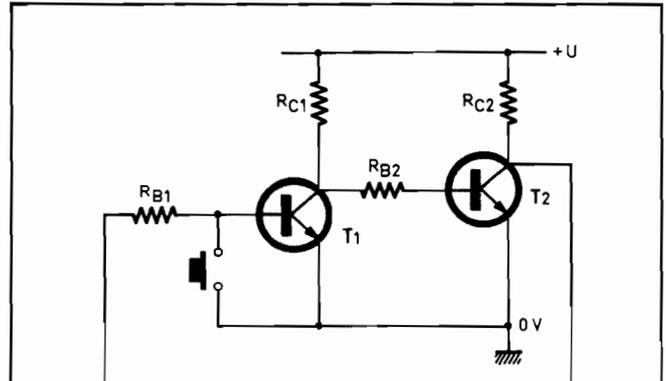


Fig. 2. - Circuit bouclé (montage bistable).

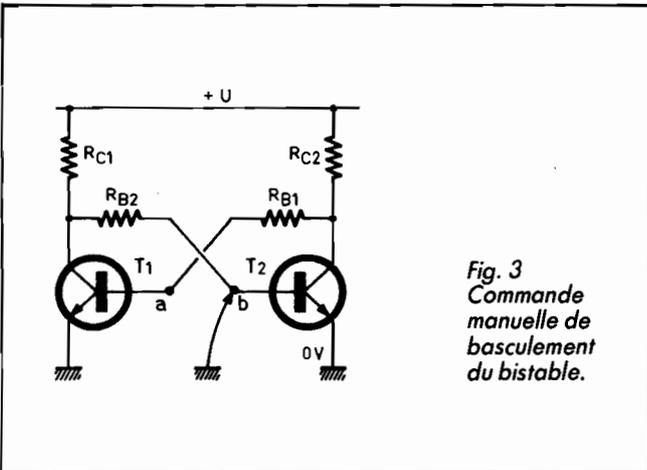


Fig. 3. Commande manuelle de basculement du bistable.

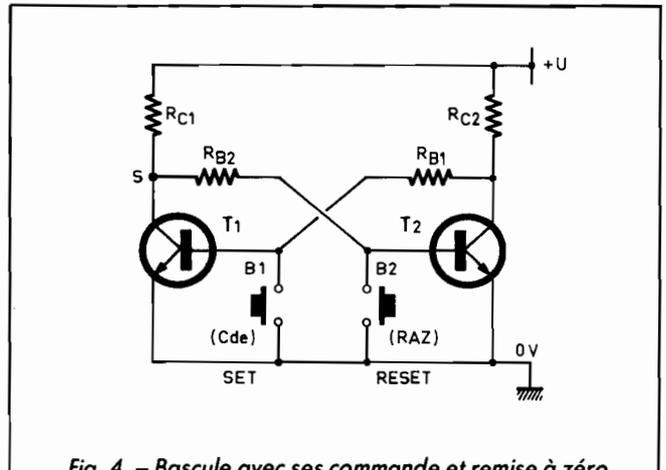


Fig. 4. - Bascule avec ses commande et remise à zéro.

En supposant qu'à l'état initial T<sub>1</sub> est passant et T<sub>2</sub> bloqué, le courant traversant la résistance R<sub>E</sub> crée aux bornes de celle-ci une tension V<sub>E</sub>. La chute de tension interne d'un transistor à l'état passant étant très faible, on peut dire que la tension entre collecteur de T<sub>1</sub> et la masse est égale à V<sub>E</sub>.

Quant à la tension sur le collecteur de l'autre transistor, elle est sensiblement égale à la tension d'alimentation U.

Quelles sont alors les tensions sur les bases ? Sur celle de T<sub>2</sub>, le diviseur de tension R<sub>2</sub> R<sub>3</sub> applique une valeur égale à :

$$V_E \times \frac{R_3}{R_2 + R_3}$$

Ce potentiel entre base et masse est forcément plus faible

que V<sub>E</sub>. Le transistor T<sub>2</sub> est donc bien bloqué.

Quant à l'autre transistor, la valeur sur sa base est environ :

$$U \times \frac{R_1}{R_1 + R_4}$$

Cette tension est supérieure à V<sub>E</sub>, le transistor T<sub>1</sub> est bien passant.

### BASCULEMENT

Une tension négative appliquée un court instant, ou encore mieux une impulsion négative appliquée simultanément sur les deux bases, va faire basculer le montage. Ce « top » extérieur va bloquer T<sub>1</sub>. La tension collecteur de

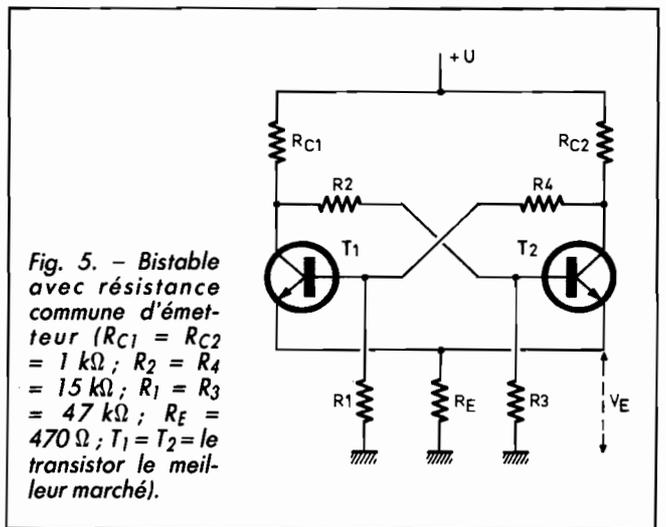


Fig. 5. - Bistable avec résistance commune d'émetteur (R<sub>C1</sub> = R<sub>C2</sub> = 1 kΩ ; R<sub>2</sub> = R<sub>4</sub> = 15 kΩ ; R<sub>1</sub> = R<sub>3</sub> = 47 kΩ ; R<sub>E</sub> = 470 Ω ; T<sub>1</sub> = T<sub>2</sub> = le transistor le meilleur marché).

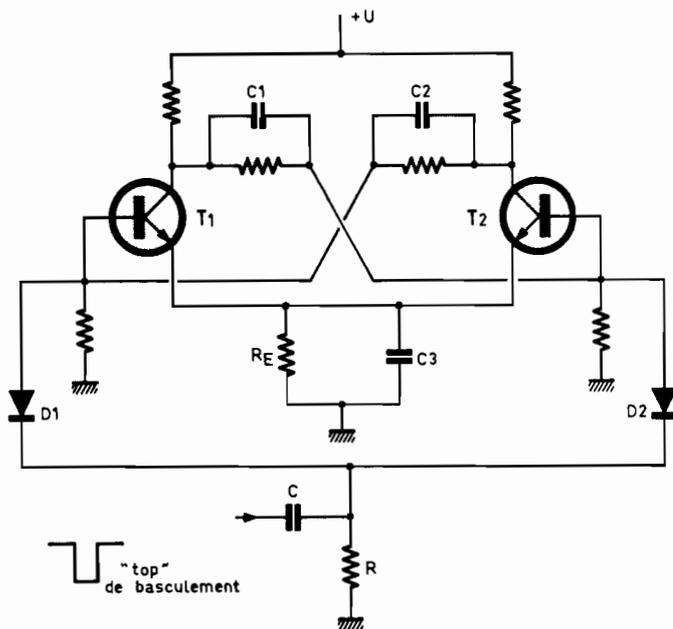


Fig. 6. - Bistable et son circuit de basculement ( $R = 10 \text{ k}\Omega$ ;  $C = 10 \text{ pF}$ ;  $D_1 = D_2 = 1N4148$ ).

celui-ci qui était faible va croître subitement, et cette variation positive est transmise instantanément à la base de  $T_2$  à travers le pont de résistances (fig. 6).

La base du transistor  $T_2$  reçoit donc d'une part le top négatif provenant de l'extérieur et, d'autre part, le flanc positif venant du collecteur de  $T_1$ . Si ce dernier a une amplitude plus élevée que le top négatif,  $T_2$  devient passant. Son potentiel collecteur chute rapidement, cette variation négative rapide est transmise instantanément à la base de  $T_1$ , qui reste alors dans son nouvel état bloqué.

Il faut dire que ce basculement est puissamment aidé par les condensateurs  $C_1$  et  $C_2$  (ordre de grandeur :  $100 \text{ pF}$ ). Un condensateur soumis à un flanc bref se comporte comme un court-circuit.

L'impulsion de déclenchement n'arrive pas directement sur les bases, mais à travers des diodes. Celles-ci jouent le rôle d'interrupteur. En l'absence

de signaux extérieurs, elles sont bloquées et le bistable se trouve isolé du circuit de déclenchement. Elles ne sont passantes que pendant la durée de l'impulsion négative.

Pour effectuer le basculement, le même résultat est obtenu en appliquant une impulsion positive sur les collecteurs, l'ex-

trémité de la résistance  $R$  doit être reliée alors, non plus à la masse, mais au  $+U$ .

On remarque que  $R_E$  est shuntée par un condensateur. De cette façon la tension entre base et masse reste constante pendant le basculement. La constante de temps  $R_E C_E$  est généralement de l'ordre de la

milliseconde pour un temps de basculement d'une microseconde.

## MONTAGE AVEC SOURCE DE POLARISATION

Dans ce circuit la résistance  $R_E$  disparaît. La polarisation des bases est effectuée par une deuxième source de tension (fig. 7). Cette tension  $U_{pol}$  peut être égale à celle de l'alimentation  $U$  ( $U = +12 \text{ V}$ ,  $U_{pol} = -12 \text{ V}$ ).

## BASCULEMENT PAR AIGUILLAGE

Les résistances  $R$  ( $10 \text{ k}\Omega$ ) ne reviennent pas à la masse, mais sur le collecteur des transistors (fig. 8). Lorsque  $T_1$  est conducteur et  $T_2$  bloqué, la diode  $D_1$  est passante, puisque son anode est positive par rapport à sa cathode ; l'autre diode  $D_2$  est bloquée (cathode positive par rapport à son anode). Autrement dit, la résistance interne de  $D_1$  est faible, tandis que celle de  $D_2$  est très élevée. L'impulsion négative de déclenchement traverse alors  $D_1$  et bloque  $T_1$ , ce qui va provoquer le basculement du bistable.

## LE MONTAGE ASTABLE

Ce montage, également appelé « multivibrateur », est un dérivé du bistable. C'est un générateur de signaux rectangulaires dont la fréquence dépend des valeurs capacitives et résistives de son circuit. Sa représentation habituelle est donnée figure 9. En comparant avec le schéma du bistable, nous constatons que la liaison collecteur-base ne se fait pas par une résistance mais par un condensateur.

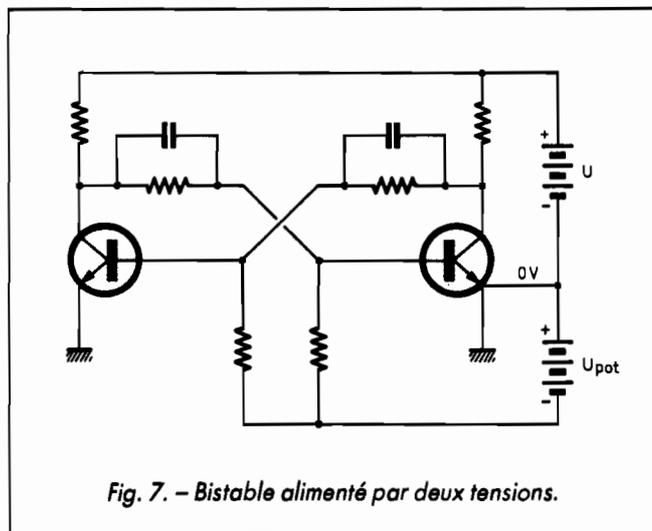


Fig. 7. - Bistable alimenté par deux tensions.

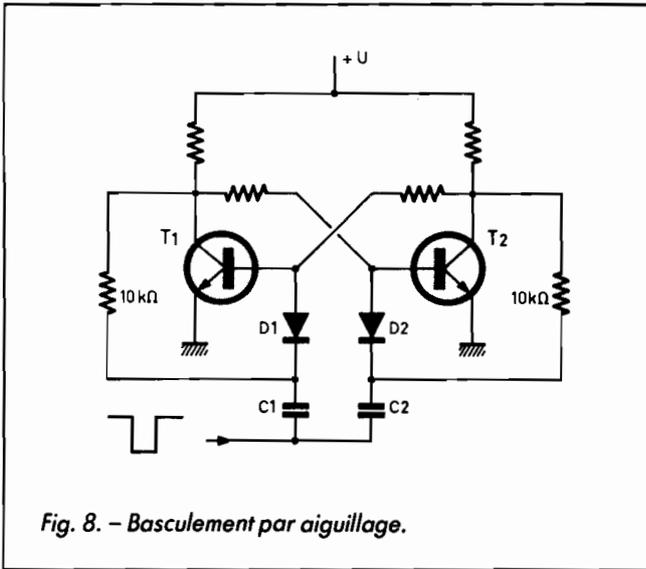


Fig. 8. - Basculement par aiguillage.

**FONCTIONNEMENT DE L'ASTABLE**

Voyons maintenant le fonctionnement de ce circuit, et commençons par donner une valeur à chacun des composants. Les deux transistors sont des BC108 A,  $R_{C1} = R_{C2} = 470 \Omega$ ,  $R_{B1} = R_{B2} = 47 \text{ k}\Omega$  et  $C_1 = C_2 = 10 \mu\text{F}$ . Le montage est alimenté par 9 V.

Dès que l'alimentation est connectée, un des transistors devient passant et l'autre bloqué. Est-ce  $T_1$  ou est-ce  $T_2$ , qui est saturé dès la mise sous tension? Cela dépend des caractéristiques des deux transistors. En effet, il existe une forte dispersion de gain pour un même type de transistor. De même, la valeur réelle des résistances et des condensateurs ne correspond pas rigoureusement à la valeur marquée.

Imaginons que  $T_1$  soit passant à la mise sous tension, son courant n'est limité que par  $R_{C1}$  ( $I_c = 9/470$ , soit 20 mA environ).

Cette montée subite de courant se traduit par une forte chute de tension aux bornes de  $R_{C1}$ . Autrement dit, un flanc négatif (de + 9 V à 0 V) est

apparu sur le collecteur de  $T_1$ . Cette brusque variation négative est transmise, à travers  $C_2$ , sur la base de  $T_2$ , qui se trouve ainsi bloqué.

Donc le courant  $I_c$  de  $T_2$  tombe à zéro, et la tension collecteur de ce transistor devient égale à la tension d'alimentation (9 V).

En résumé, à la mise sous tension, la tension collecteur de  $T_1$  est subitement égale à 0 V, celle de  $T_2$  est égale à 9 V.

Cet état initial ne dure pas longtemps puisque  $C_1$  et  $C_2$ , dont la charge initiale était nulle, commencent à se char-

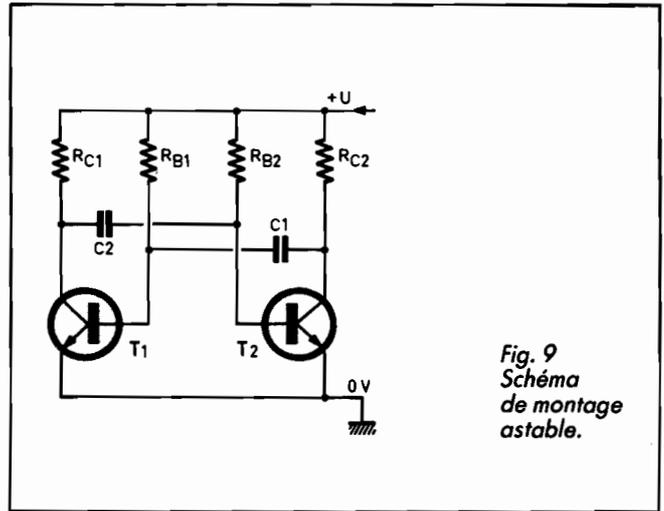


Fig. 9 Schéma de montage astable.

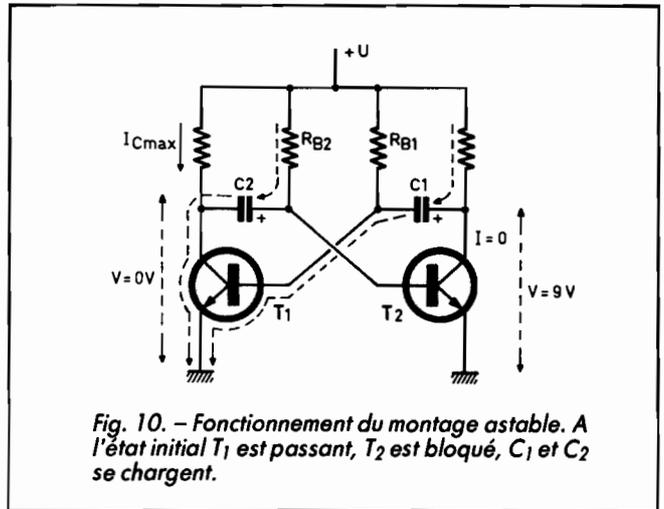


Fig. 10. - Fonctionnement du montage astable. A l'état initial  $T_1$  est passant,  $T_2$  est bloqué,  $C_1$  et  $C_2$  se chargent.

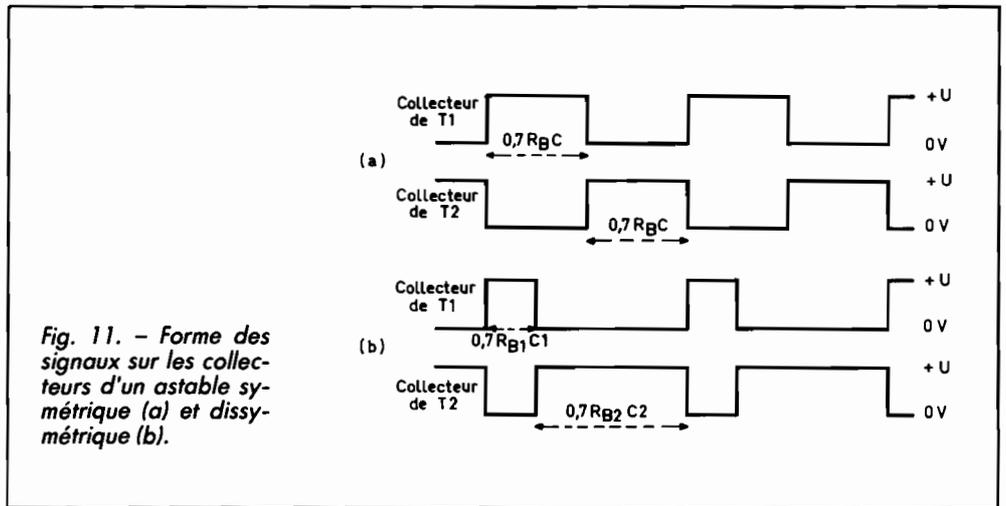


Fig. 11. - Forme des signaux sur les collecteurs d'un astable symétrique (a) et dissymétrique (b).

ger. La tension aux bornes de  $C_1$  monte progressivement de 0 V à la tension  $U$  (moins la chute de tension de la jonction émetteur-base). La polarité « moins » est du côté de la base de  $T_1$  (fig. 10). De même, pendant de temps, le condensateur  $C_2$  se charge de 0 à 9 V à travers la résistance  $R_{B2}$ , la polarité « plus » du côté de la base de  $T_2$ . Au bout d'une durée qui est fonction de la constante de temps  $R_{B2} C_2$ , le transistor  $T_2$  se sature, ce qui entraîne le blocage de  $T_1$ . Celui-ci se maintient au cut-off à cause de la polarité de  $C_1$  chargé, mais cet état ne va pas durer indéfiniment, puisque son armature négative est connectée à la tension  $+U$  à travers  $R_{B1}$ . Au bout d'une durée fonction de  $R_{B1} C_1$ ,  $T_1$  va redevenir passant, et  $T_2$  va se bloquer.

Sur les collecteurs, la tension est alternativement  $+9V$  et  $0V$ , ce qui nous donne un signal de forme rectangulaire symétrique si les deux constantes de temps sont égales ( $R_{B1} \times C_1 = R_{B2} \times C_2$ ), ou dissymétrique si les constantes de temps sont différentes (fig. 11).

En effectuant la transformation, nous obtenons :

$$C = \frac{T}{1,4 R_B}$$

(avec  $C$  en farads), ou bien la formule pratique :

$$C = \frac{T \times 10^6}{1,4 \times R_B}$$

(avec  $C$  en microfarads). Ceci nous donne :

$$C = \frac{1,4 \times 47 \times 10^3}{1 \times 10^6} = 15 \mu F$$

Le circuit réalisé avec les éléments calculés fournira, fort probablement, une période supérieure à celle souhaitée. La raison en est que les condensateurs chimiques présentent une capacité généralement plus élevée que la valeur marquée sur le boîtier. S'il était absolument nécessaire d'obtenir une période plus précise, on pourrait remplacer les résistances  $R_B$  par

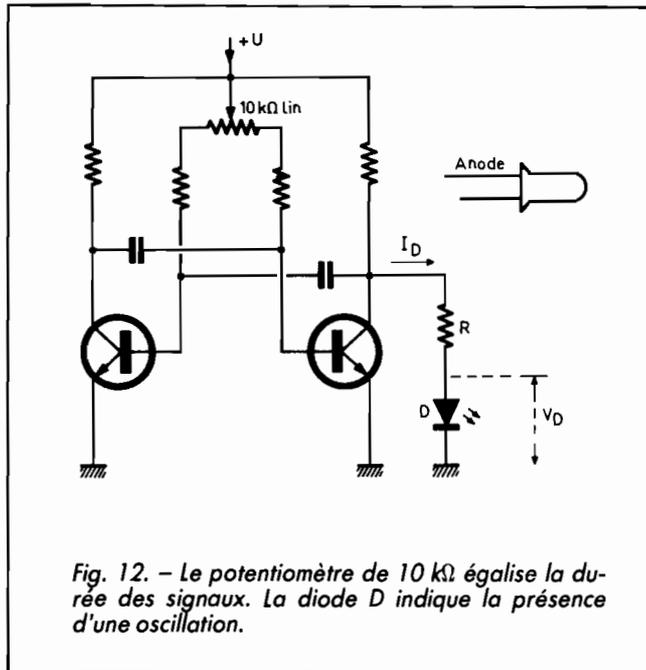


Fig. 12. - Le potentiomètre de 10 k $\Omega$  égalise la durée des signaux. La diode  $D$  indique la présence d'une oscillation.

des potentiomètres montés en résistance variable, ou encore en jouant sur la tension d'alimentation. La période du signal est non seulement fonction de  $R_B C$ , mais également de la tension d'alimentation. Lorsque la tension est plus élevée, la décharge de  $C$  est plus longue, d'où une période de signal plus grande et une fréquence plus basse.

Au cas où la durée des impulsions n'est pas rigoureusement identique, un potentiomètre peut être employé pour égaliser (fig. 12).

## VISUALISATION DU SIGNAL

L'observation du signal généré se fait à l'oscilloscope. La présence du signal peut aussi être contrôlée par des diodes électroluminescentes connectées sur un des collecteurs (fig. 12). La diode devient lumineuse quand son courant direct  $I_D$  est de l'ordre de 10 mA. Sa tension directe  $V_D$  dépend du modèle de diode, elle est de 2,7 V pour le vert et 1,6 V pour le rouge.

La formule pour trouver  $R$  est :

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

Dans notre exemple ( $U = 9V$ ),  $R = 560 \Omega$  si la diode émet en vert.

## REALISATION D'UN CLIGNOTANT

L'astable que nous venons de réaliser peut, sans problème, commander l'allumage et l'extinction d'une ampoule de lampe de poche (4 V/0,04 A). Pour cela nous abaisserons la tension d'alimentation à 4,5 V afin de ne pas survolter l'ampoule. De même, il est également primordial de penser au courant maximal ( $I_{Cmax}$ ) que peut supporter le transistor. Étant donné l'appel de courant dans le filament froid, et si nous voulons utiliser une ampoule de 0,1 ou 0,3 A, un transistor BC 140 ( $I_{Cmax} = 1A$ ) est à conseiller.

On pourrait penser insérer l'ampoule directement dans le circuit collecteur d'un des transistors de l'astable, à la place de la 470  $\Omega$ . On s'apercevrait que l'allumage n'est pas net, car ce changement perturbe le fonctionnement du montage. Une meilleure solution consiste à laisser la 470  $\Omega$  et à utiliser un autre transistor monté en commutation (fig. 13). Le calcul de la résistance  $R$  commandant ce tran-

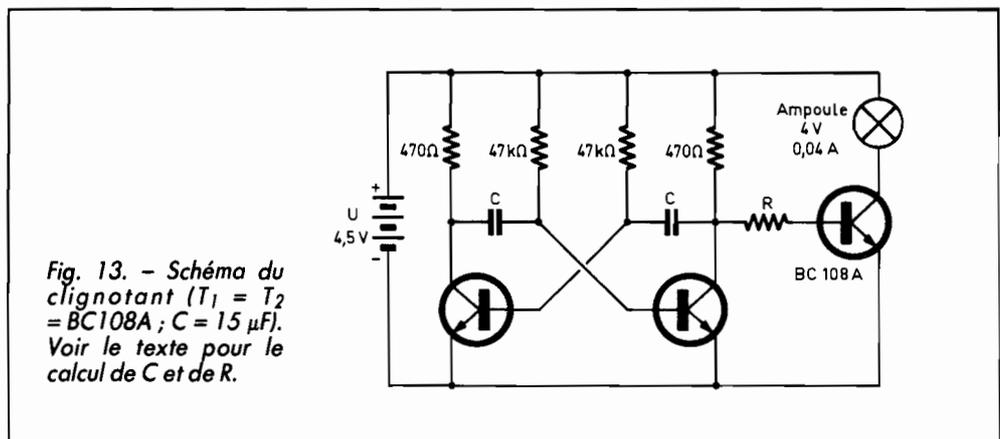


Fig. 13. - Schéma du clignotant ( $T_1 = T_2 = BC108A$ ;  $C = 15 \mu F$ ). Voir le texte pour le calcul de  $C$  et de  $R$ .

istor a été donné dans l'article précédent. Sur le schéma donné, le transistor est un BC 108A ( $I_{Cmax} = 0,2$  A). En tablant sur un gain de 125,  $I_B$  est égal au courant traversant l'ampoule (40 mA) divisé par 125, soit 0,3 mA. Cela nous donne une valeur de R égale à 12 k $\Omega$ .

## CALCUL DES ELEMENTS

La durée de blocage d'un des transistors du multivibrateur est sensiblement égale à  $0,7 R_B C_B$ . Cette durée est chiffrée en secondes, si  $R_B$  est en ohms et  $C_B$  en farads.

Dans l'exemple ci-dessus, avec  $R_B = 47$  k $\Omega$  et  $C = 10$   $\mu$ F, cela donne un temps d'une durée de :  $0,7 \times 47 \times 10^3 \times 10 \times 10^{-6}$ , soit 0,33 s.

La période complète est donnée par les formules suivantes :

$$T = 0,7 (R_{B1} C_1 + R_{B2} C_2)$$

si les deux constantes de temps sont différentes, ou par :

$$T = 1,4 R_B C$$

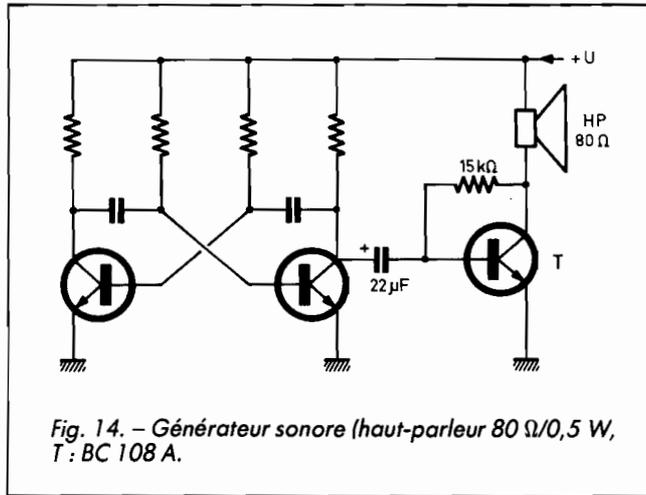


Fig. 14. - Générateur sonore (haut-parleur 80  $\Omega$ /0,5 W, T : BC 108 A).

si les deux constantes de temps sont identiques. La fréquence étant l'inverse de la période, on a respectivement :

$$F = \frac{1,4}{R_{B1} C_1 + R_{B2} C_2} \text{ et } F = \frac{0,7}{R_B C}$$

avec F en hertz.

D'autre part, la valeur de  $R_B$  ne doit pas être choisie au hasard : il est nécessaire que  $R_B$  soit assez faible pour que le transistor correspondant soit

bien saturé lorsqu'il doit l'être. La formule à appliquer est :

$$R_B = 0,8 h_{FE} R_C$$

$h_{FE}$  (ou B) est le gain de courant du transistor.

## APPLICATION PRATIQUE

Appliquons ces formules pour réaliser un multivibrateur fournissant un signal symétrique de période égale à 1 s.

Nous disposons d'une alimentation continue de 9 V et de deux transistors BC 108 dont le gain minimal est de 125.

Nous choisissons d'abord la valeur de  $R_C$ . Le gain maximal d'un BC 108 étant situé entre 10 et 20 mA, nous prenons  $R_C = 470$   $\Omega$ . La valeur des autres composants nous est donnée par les formules.

Premièrement, les résistances  $R_B$  auront comme valeur :  $0,8 \times 125 \times 470$ , soit 47 k $\Omega$ . La période étant d'une seconde, nous appliquons ensuite la formule :  $T = 1,4 R_B C$ . Pour éviter les surintensités à froid, ou peut ajouter une résistance de protection  $R_P$ , comme cela a été expliqué le mois dernier.

## REALISATION D'UN GENERATEUR SONORE

Un étage amplificateur basse fréquence de petite puissance chargé par un haut-parleur et connecté sur un des collecteurs de l'astable constitue un ensemble générateur sonore. Les composants RC sont calculés pour une fréquence de la gamme audible (fig. 14). Ainsi, pour 1 000 Hz, nous choisissons 33 k $\Omega$  et 22 nF.

Un petit instrument de musique, très élémentaire, à clavier est obtenu avec un jeu de résistances ajustables et de boutons-poussoirs. A chaque note de la gamme correspond une constante de temps différente d'un des transistors du multivibrateur. C'est une des résistances  $R_B$  qui est réglable pour donner la note exacte. En se basant sur le LA<sub>3</sub> qui est de 440 Hz, on choisit  $C = 22$  nF et  $R_B = 10$  k $\Omega$ . Le jeu de résistances se compose de sept résistances ajustables de 10 k $\Omega$  en série avec une résistance commune de protection de 2 k $\Omega$  (fig. 15).

J.-B. P.

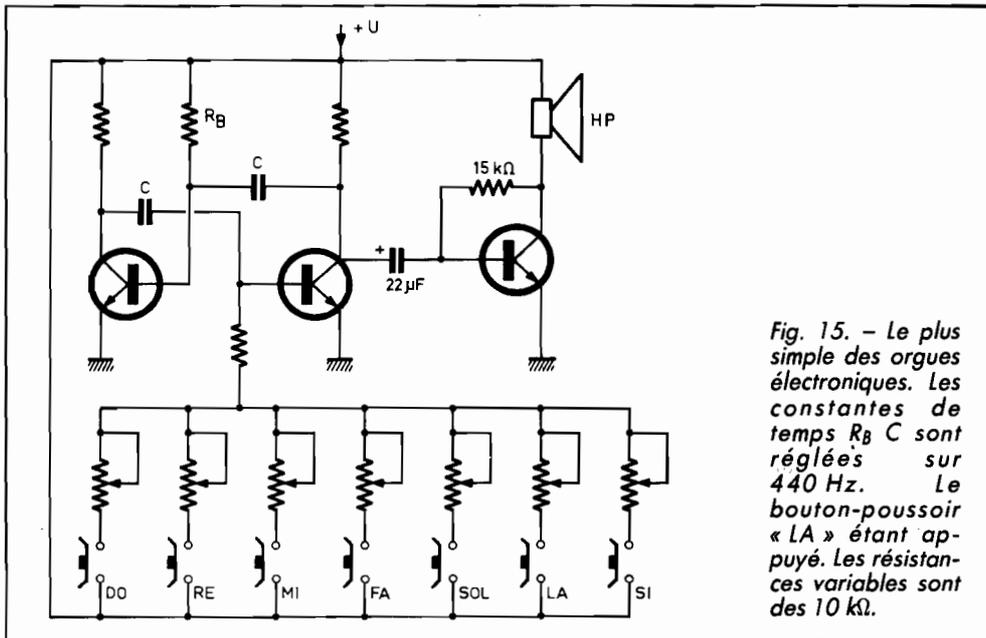


Fig. 15. - Le plus simple des orgues électroniques. Les constantes de temps  $R_B C$  sont réglées sur 440 Hz. Le bouton-poussoir « LA » étant appuyé. Les résistances variables sont des 10 k $\Omega$ .