

Initiation à la pratique de l'électronique

LE MULTIVIBRATEUR

A PRES les oscillateurs sinusoïdaux, les générateurs de signaux rectangulaires, voici le multivibrateur, un montage d'une grande simplicité, puisqu'il ne se compose que de deux transistors associés à quelques résistances et condensateurs. Son calcul est également très simple. L'amplitude des signaux qu'il génère a sensiblement l'amplitude de sa tension d'alimentation. Quant à leur fréquence — que ces signaux soient symétriques ou dissymétriques —, elle est déterminée par deux constantes de temps.

Le lecteur apprendra à réaliser aisément ce circuit qu'il pourra ensuite utiliser pour actionner une lumière (clignotant), ou encore pour émettre un signal sonore (buzzer). En commutant plusieurs résistances, afin de faire varier les constantes de temps, il pourra réaliser un petit orgue électronique.

Qu'est-ce qu'un multivibrateur ?

Le multivibrateur, également appelé « astable », est donc un oscillateur fournissant des signaux rectangulaires. Il se compose de deux étages à transistors montés en cascade, la sortie du deuxième transistor étant reliée à l'entrée du premier. Nous avons vu que ce montage ne peut qu'osciller, puisque la phase à la sortie est la même qu'à l'entrée (réaction positive). Si un circuit oscillant est inclus dans le

montage, celui-ci oscillera sur la fréquence d'accord de ce circuit LC. C'est le principe de l'oscillateur Franklin (voir le Haut-Parleur du mois dernier). Le multivibrateur ne comporte pas de bobines, la fréquence de ses signaux dépendant principalement des valeurs capacitives et résistives de son circuit.

Sa représentation est généralement donnée comme sur la figure 1. On reconnaît deux transistors montés en émetteur commun. Le collecteur du premier (T_1) est connecté à la base du second à travers

un condensateur de liaison (C_2) tout comme dans un amplificateur classique à deux étages. Mais ce qui différencie un multivibrateur d'un ampli, c'est la présence de l'autre condensateur (C_1) qui ramène à l'entrée toute la tension de sortie.

Fonctionnement du multivibrateur

Voyons maintenant plus en détail le fonctionnement de ce circuit astable, et pour être pratique, donnons une valeur à chacun des composants. Choisissons comme transistors deux

BC 108 A et, pour simplifier, prenons

$R_{C1} = R_{C2} = 470 \Omega$,
 $R_{B1} = R_{B2} = 47 \text{ k}\Omega$,
ainsi que $C_1 = C_2 = 10 \mu\text{F}$.

L'alimentation est constituée par deux piles de 4,5 V en série.

Dès que le circuit est branché sur son alimentation, la variation de celle-ci (de 0 à 9 V) est amplifiée fortement par le circuit. Le premier transistor sera vite saturé par la tension provenant du second. Ainsi T_1 devient passant, et son courant ne sera limité que par sa résistance R_C (ce courant sera donc de 9 V / 470 Ω soit environ 20 mA)

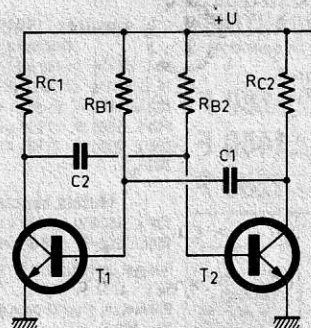


Fig. 1. — Schéma d'un multivibrateur.

Condensateur dans un circuit à courant continu

Un condensateur est un ensemble de deux conducteurs (armatures) séparés par un isolant (diélectrique). Cet isolant peut être l'air, du mica, de la céramique, un film plastique...

Un condensateur est caractérisé par sa capacité, exprimée en farads et sa tension de service qu'il ne faut pas dépasser. Certains condensateurs ont une polarité à respecter (condensateurs chimiques).

En alternatif, l'opposition plus ou moins élevée au passage du courant à travers un condensateur est appelée réactance capacitive X_C (voir le numéro 1691 du Haut-Parleur).

En continu, l'opposition est totale au passage du courant. Seul un courant de charge ou de décharge peut être observé à la mise sous tension, ou en fonctionnement.

Une caractéristique intéressante est qu'un condensateur branché à une source de tension continue, puis débranché, peut garder cette charge indéfiniment (si son diélectrique est vraiment un isolant parfait).

Etant donné la forte chute de tension dans R_{C1} , la tension sur le collecteur de T_1 est nulle (ou presque, la tension V_{CE} d'un transistor saturé étant très faible). De cette façon, une brusque variation s'est opérée sur le collecteur de T_1 (flanc négatif de $+9\text{ V}$ à 0 V). Cette brusque variation est transmise sur la base du deuxième transistor qui se trouve ainsi bloqué. Le courant collecteur de T_2 est alors nul, et la tension sur son collecteur est égale à 9 V (valeur de la tension d'alimentation). Le condensateur C_1 se charge alors rapidement à travers R_{C2} et l'espace base-émetteur de T_1 , avec la polarité indiquée

sur la figure 2a. La tension aux bornes de C_1 est très proche de celle de l'alimentation.

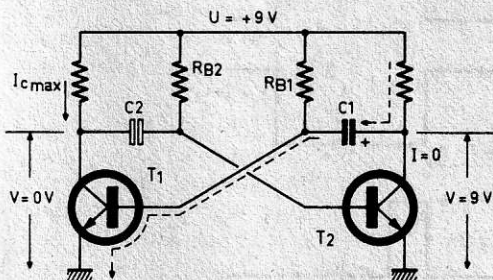
Cet état initial ne va pas durer longtemps. La base de T_2 devient progressivement positive à cause de C_2 qui se charge à travers R_{B2} . Le transistor T_2 devient passant. La tension de son collecteur change brusquement de $+9\text{ V}$ à 0 V . Le condensateur C_1 qui est chargé à environ 9 V , avec la polarité « moins » côté base de T_1 , bloque T_1 .

Le premier changement d'état a eu lieu : T_2 est passant et T_1 est bloqué. On pourrait représenter la condition de T_1 par la figure 3. Un condensateur chargé négativement se trouve aux bornes de l'entrée de T_1 . Le point A est en fait le collecteur de T_2 , momentanément à un potentiel proche de celui de la masse. Le condensateur ne va pas rester chargé indéfiniment. Il est connecté à la tension d'alimentation de $+9\text{ V}$ à travers R_{B1} : sa décharge va suivre la courbe de la figure 4. Il pourrait se charger en sens inverse (pointillé) si rien ne se passait avant...

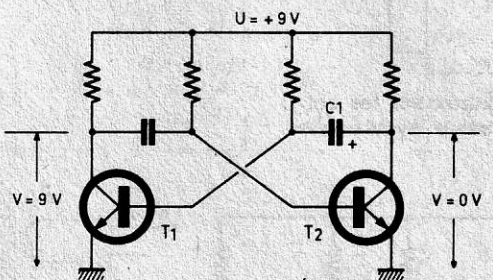
Mais pendant que nous parlons de C_1 , que se passe-t-il en ce moment pour C_2 ? Il s'est chargé rapidement à travers R_{C1} et l'espace base-émetteur de T_2 , avec la polarité négative côté base.

Revenons maintenant à C_2 . La tension à ses bornes n'est plus négative, ce qui rend T_1 passant, tandis que T_2 est bloqué. Les deux états sont à nouveau inversés : C_2 se décharge dans R_{B2} et C_1 se recharge à nouveau.

Sur les collecteurs, la tension est alternativement $+9\text{ V}$ et 0 V , ce qui nous donne un signal de forme carrée si les deux constantes de temps sont égales



(a) État initial (T_1 passant, T_2 bloqué). C_1 se charge



(b) Premier changement d'état : la charge de C_1 bloque T_1

Fonctionnement du multivibrateur.

Fig. 2a. — État initial (T_1 passant, T_2 bloqué) C_1 se charge.

Fig. 2b. — Premier changement d'état, la charge de C_1 bloque T_1 .

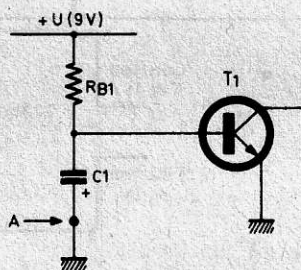


Fig. 3. — Le condensateur C_1 , chargé négativement, bloque T_1 .

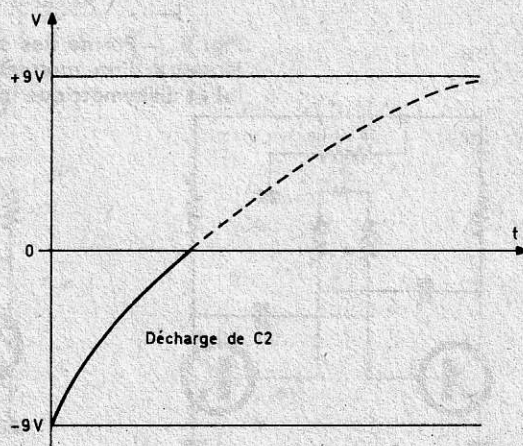


Fig. 4. — Variation de la tension aux bornes de C_1 en fonction du temps.

($R_{B1} \times C_1 = R_{B2} \times C_2$) ou de forme rectangulaire si les constantes de temps sont différentes.

Calcul des éléments

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 en farads.

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

La période complète est donnée par les formules suivantes :

$t = 0,7 (R_{B1} \cdot C_1 + R_{B2} \cdot C_2)$ si les deux constantes de temps sont différentes, ou par :

$$t = 1,4 R_B \cdot C$$

si les deux constantes de temps sont identiques (fig. 5). La fréquence étant l'inverse de la période, on aura respectivement :

$$F = \frac{1,4}{R_{B1} \cdot C_1 + R_{B2} \cdot C_2}$$

et

$$F = \frac{0,7}{R_B \cdot C} \text{ avec } F \text{ en Hertz}$$

D'autre part, la valeur de R_B ne doit pas être choisie au hasard : il faut que R_B soit assez faible pour que le transistor correspondant soit bien saturé lorsqu'il doit l'être. On appliquera alors la formule :

$$R_B = 0,8 \beta \cdot R_C$$

β étant le gain de courant du transistor (voir encadré).

Application pratique

Appliquons ces formules pour réaliser un multivibrateur ayant une période de 1 seconde.

Nous avons à notre disposition une tension d'alimentation de 9 V et deux transistors BC 108 A dont le $\beta_{\min}$ est de 125.

Nous choisissons d'abord pour R_C la valeur de 470Ω . La valeur des autres composants nous sera donnée par les formules.

Premièrement, les valeurs des résistances R_B auront pour valeur :

$$R_B = 0,8 \beta \cdot R_C \text{ soit : } 0,8 \times 125 \times 470$$

c'est-à-dire : $47 \text{ k}\Omega$. La période étant d'une seconde, nous appliquons ensuite la formule

$t = 1,4 R_B \cdot C$ pour obtenir C. En faisant la transformation, nous obtenons :

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

avec C en farads, ou la formule pratique :

$$C (\mu\text{F}) = \frac{t \times 10^6}{1,4 \times R_B}$$

avec C en microfarads.

Ceci nous donne :

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

Le circuit monté avec les composants calculés, il est fort probable que la période du multivibrateur soit supérieure à la valeur souhaitée. La raison en est que les condensateurs chimiques ont une capacité plus élevée que la valeur marquée sur le boîtier. S'il était absolument nécessaire d'avoir une période plus précise, on pourrait soit remplacer les résistances R_B par des potentiomètres montés en résistance variable, soit en-

core utiliser le schéma de la figure 6.

La période d'oscillation du multivibrateur est non seulement fonction de la constante de temps $R_B C$, mais aussi de la tension, comme on peut le deviner en regardant la figure 4. Si la tension est plus grande, la décharge de C_2 sera plus longue, d'où une période du signal plus grande et une fréquence plus basse.

L'observation du signal généré par le multivibrateur se fait à l'oscilloscope. La présence de ce signal peut être contrôlée avec une diode électroluminescente que l'on branchera, en série avec une résistance, sur l'un des collecteurs (fig. 7). La diode devient lumineuse si son courant direct I_D est de l'ordre de 10 mA ; sa

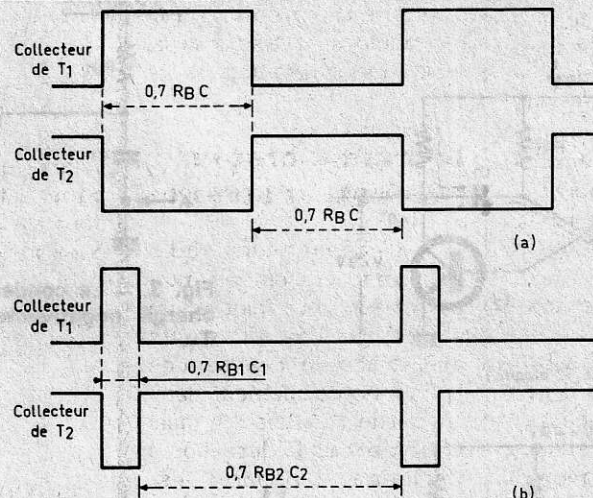


Fig. 5. — Forme des signaux sur les collecteurs d'un multivibrateur symétrique (a) et dissymétrique (b).

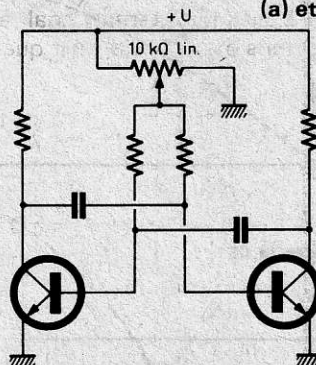


Fig. 6. — Le potentiomètre égalise les impulsions recueillies sur les collecteurs.

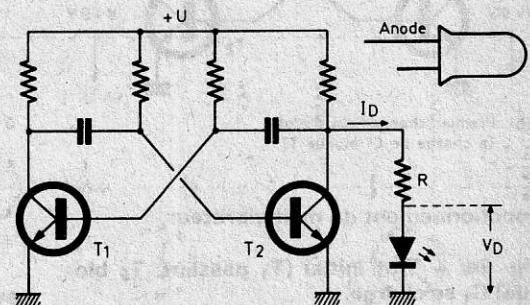


Fig. 7. — Si la fréquence est assez basse, le contrôle du fonctionnement peut se faire avec une LED.

tension directe V_D dépend de la couleur émise : 2,7 V pour le vert, 2,4 V pour le jaune, 2,2 V pour l'orange et 1,6 V pour le rouge. La formule pour calculer R est :

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

soit dans notre cas : 560 Ω si la tension d'alimentation du montage est de 9 V et si la LED est verte.

Réalisation d'un clignotant

Le clignotant peut, sans problème, commander l'allumage et l'extinction d'une ampoule de lampe de poche (4 V, 0,04 A). Pour cela, il est nécessaire que la tension d'alimentation soit de 4,5 V pour ne pas griller l'ampoule. De même, il faut aussi penser au courant maximal du transistor alimentant cette ampoule. Le BC 108 A que nous utilisons peut supporter 100 mA. Si on a l'intention d'employer une ampoule de 0,1 ou 0,3 A, un transistor BC 140 ($I_{Cmax} = 1$ A) est à conseiller.

On pourrait penser insérer l'ampoule dans l'un des collecteurs du multivibrateur, à la place d'une 470 Ω . 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 Ω et à utiliser un autre transistor monté en commutation (fig. 8). Le calcul de la résistance commandant ce transistor de commutation est semblable à celui que nous avons utilisé pour la LED :

$$R = \frac{U - V_{BE}}{I_B}$$

En tablant sur un β de 125, I_B est égal au courant traversant l'ampoule (40 mA) divisé par 125, soit 0,3 mA, ce qui nous donne une valeur de R égale à 12 k Ω .

On sait que la résistance à froid d'une ampoule à incandescence est assez faible par rapport à sa valeur à chaud. Pour éviter les sur-intensités au départ, on ajoute une résistance laissant passer un courant permanent, préchauffant l'ampoule sans toutefois la rendre lumineuse (fig. 9).

Le multivibrateur générateur sonore

Les dépanneurs radio emploient souvent un multivibrateur pour injecter un signal sur les différents étages afin de localiser une panne, non seulement dans la partie « audio », mais également de la détection à l'antenne. L'appareil est appelé « signal tracer » ; il n'est composé que d'un multivibrateur dissymétri-

Qu'est-ce qu'une constante de temps ?

Deux formules régissent la charge d'un condensateur :

$$Q = C.V \text{ et } Q = I.t$$

La première nous indique que, plus la capacité C est élevée et plus la tension V appliquée est élevée, plus grande est la charge Q emmagasinée.

Si $C = 5 \mu\text{F}$ et $V = 100$ V, $Q = 5 \times 10^{-4}$ coulombs(C).

En ce qui concerne la deuxième formule, on sait que le courant électrique passant dans un certain point d'un conducteur est égal à la quantité d'électricité Q traversant ce point pendant un temps t. S'il passe une quantité de 1 coulomb pendant 1 seconde, on dit que le circuit est traversé par 1 ampère.

Dans un circuit capacitif, s'il passe 0,1 ampère pour charger un condensateur pendant un temps de charge nécessaire de 10 s, le condensateur est chargé par 1 coulomb :

$$0,1 \text{ A} \times 10 \text{ s} = 1 \text{ coulomb.}$$

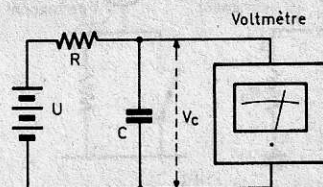
Utilisons les deux formules ci-dessus pour indiquer ce qu'est la constante de temps. Si nous les égalons, nous avons $CV = It$ d'où :

$$t = \frac{CV}{I}$$

ou encore $t = CR$ (par application de la loi d'Ohm).

La résistance (inévitabile) du circuit est représentée par R. Dans un circuit comportant une source U (100 V), un condensateur (5 μF) en série avec une résistance (200 Ω), le temps t est égal à $5 \times 10^{-6} \times 200$ soit 10^{-3} s ou 1 ms.

Il est important de savoir que la formule $t = CR$ donnant la charge **complète** de C au bout d'un temps t n'est valable que si le condensateur est chargé par un **courant constant**. En pratique, C est souvent chargé par une source de tension constante à travers une résistance R, comme cela est schématisé ci-dessous.



La tension U étant fixe, et la tension V_C augmentant progressivement, le courant de charge dans R n'est pas constant et diminue au fur et à mesure que C se charge. Au bout d'un temps égal à la constante de temps RC, la tension V_C n'a atteint que 63 % de la tension U.

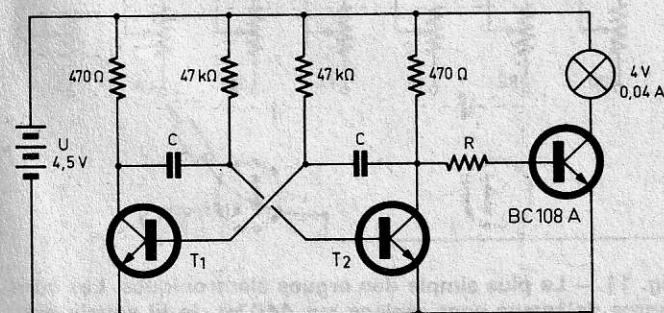
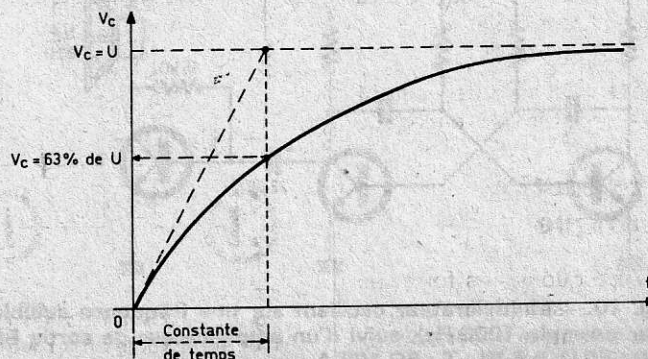


Fig. 8. - Schéma du clignotant ($T_1 = T_2 = \text{BC 108 A}$, $C = 15 \mu\text{F}$), voir le texte pour le calcul de C et de R).

que (1 ms et 0,1 ms) dont l'un des collecteurs est relié à la pointe de touche par l'intermédiaire d'un condensateur de l'ordre de 1 nF. Les transistors sont des modèles HF (BF 198 ou similaires) afin que les flancs de montée soient bien raides et que le multivibrateur rayonne sur une grande plage de fréquence : de 1 000 Hz pour la BF jusqu'à plusieurs centaines de kilohertz pour les étages FI et HF.

Un étage de petite puissance branché sur un des collecteurs du multivibrateur (symétrique cette fois-ci) forme un ensemble générateur sonore, si les composants RC sont calculés pour une fréquence de la gamme audible. On peut ainsi réaliser facilement un « buzzer » (fig. 10), ou même un petit orgue électronique (fig. 11). Le premier est réglé sur 1 000 Hz avec $R_B = 33 \text{ k}\Omega$ et $C = 22 \text{ nF}$. A chaque note

correspond une constante de temps différente d'un des transistors du multi. C'est une des résistances R_B qui sera réglable pour donner la note exacte. Pour nous fixer une valeur, basons-nous sur le LA_3 qui est de 440 Hz. On pourrait alors choisir $C = 22 \text{ nF}$ et $R_B = 10 \text{ k}\Omega$, plus six autres résistances variables de $10 \text{ k}\Omega$ en série avec une résistance commune de protection de $2 \text{ k}\Omega$.

J.-B. P.

Pourquoi $R_B = 0,8 \beta R_C$?

Pour un bon fonctionnement du multivibrateur, les deux transistors doivent être alternativement bloqués et passants, et cela d'une façon nette.

Le transistor sera bloqué si la tension entre base et émetteur est inférieure à 0,6 V (transistor silicium).

Pour que le transistor soit passant, il est impératif que I_B soit assez fort afin d'obtenir un I_C élevé et que la tension sur le collecteur tombe à zéro. Si on néglige la tension V_{BE} , la valeur de I_B est égale à :

$$\frac{U}{R_B}$$

Il en résulte un courant $I_C = I_B \times \beta$ ou encore, en combinant les deux expressions :

$$I_C = \frac{U \times \beta}{R_B}$$

que l'on peut aussi présenter de la façon suivante :

$$R_B = \frac{U \times \beta}{I_C}$$

Pour que la tension collecteur chute à zéro volt, la variation de tension aux bornes de R_C doit être égale à U , soit $R_C \times I_C = U$.

Dans la formule de R_B , en remplaçant U par $R_C I_C$, on obtient :

$$R_B = \frac{R_C \times I_C \times \beta}{I_C}$$

d'où la relation : $R_B = R_C \times \beta$. Pour être sûr de bien saturer le transistor on multiplie l'expression par le coefficient 0,8 soit la formule :

$$R_B = 0,8 \cdot \beta \cdot R_C$$

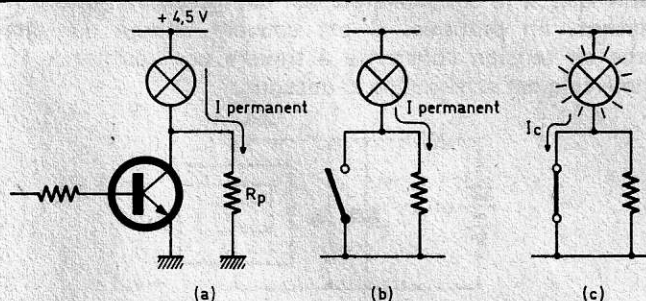


Fig. 9a. — La résistance de protection laisse passer un courant permanent.

Fig. 9b. — Montage équivalent au transistor bloqué.

Fig. 9c. — Montage équivalent au transistor passant.

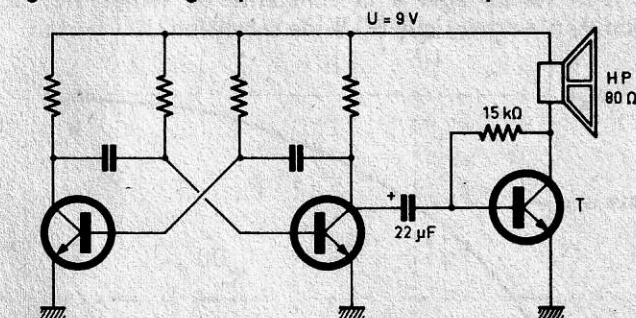


Fig. 10. — Multivibrateur oscillant sur une fréquence audible (par exemple 1000 Hz), suivi d'un amplificateur de sortie BF (HP : 80 Ω, 0,5 W ; T : BC 108 A).

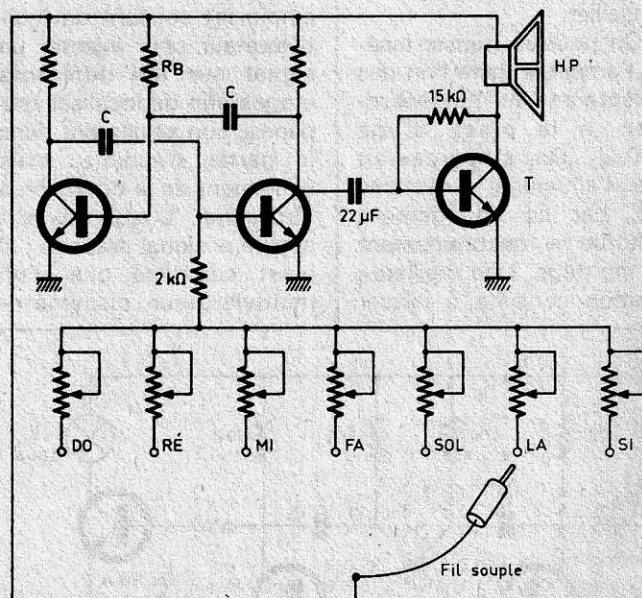


Fig. 11. — Le plus simple des orgues électroniques. Les constantes de temps sont réglées sur 440 Hz, le fil souple étant posé sur la touche « LA ». Les 6 résistances variables sont des $10 \text{ k}\Omega$