

## INITIATION A LA PRATIQUE DE L'ELECTRONIQUE

# Montages monostables et astables

Après avoir défini et conçu des monostables, nous pouvons découvrir quelques applications et définir, intuitivement, ce qu'est une intégrale.

Enfin, la description de l'astable montrera certaines similitudes de conception avec le monostable.

## Un fréquencemètre analogique

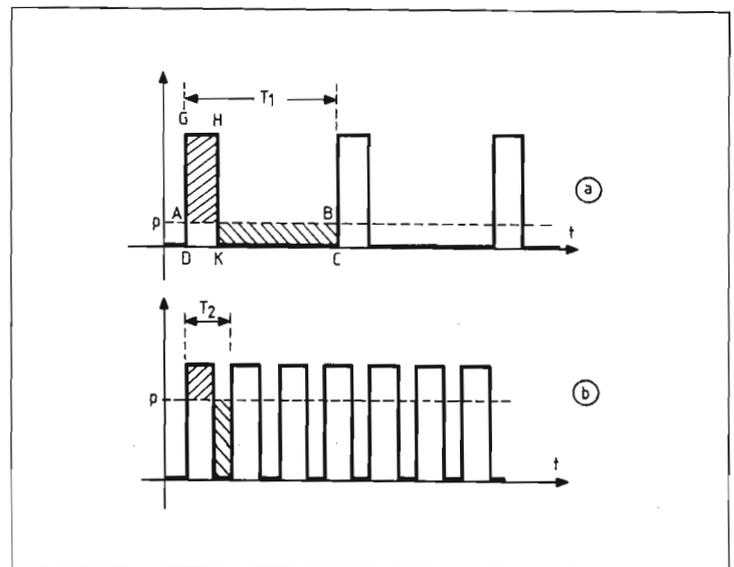
Quand on parle de fréquencemètre, tout le monde imagine un groupe de compteurs décimaux, une base de temps à quartz, des mémoires et des afficheurs. Cette solution, excellente dans bien des cas, est celle du fréquencemètre numérique. Mais il y a des occasions où l'on souhaite lire la valeur de fréquence sur une aiguille plutôt que sur des afficheurs numériques. Un tel fréquencemètre est dit « analogique ».

C'est un instrument de ce genre qui sert de tachymètre sur les motocyclettes, car le motard veut savoir d'un coup d'œil rapide le régime de son moteur, pour en tirer le maximum sans risquer de l'endommager.

La réalisation d'un tel fréquencemètre est très simple. Il suffit, à partir du signal dont on veut connaître la fréquence, après l'avoir transformé en signaux carrés, de commander un monostable.

A chaque période du signal, le monostable fournit une impulsion rectangulaire de longueur constante  $T$ . La figure 7 (a) montre la forme d'onde sur le collecteur de  $T_1$  dans le cas d'une fréquence faible, et, en (b), on voit ce que cela de-

Fig. 7. - Un monostable déclenché par un signal périodique de période  $T_1$  (très supérieure à la période propre  $T$  du monostable) donne une tension moyenne de sortie  $p$  faible (a). Si, au contraire, la période  $T_2$  de déclenchement est peu supérieure à la période  $T$  du monostable (b), le signal de sortie de ce dernier a une valeur moyenne  $p$  élevée.



vient si la fréquence du signal est élevée. Notre fréquencemètre est presque complet : pour avoir une lecture proportionnelle à la fréquence, il nous suffira de lire avec un voltmètre continu à grande inertie la « valeur moyenne » du signal apparaissant sur le collecteur de  $T_1$ .

## Un problème de moyenne

C'est peut-être ce dernier point qui semblera le moins clair aux lecteurs. Prendre la « moyenne arithmétique » de  $n$  valeurs est facile : on divise par  $n$  la somme de ces valeurs. Par exemple, la moyenne des quatre nombres 7, 8, 6 et 9 sera le quart ( $n = 4$ ) de la somme  $7 + 8 + 6 + 9 = 30$ , soit 7,5.

Pour prendre la valeur moyenne d'une grandeur  $V$ , fonction du temps et continuellement variable, entre l'instant  $t_0$  et l'instant  $t_1$ , on procède comme suit. L'intervalle  $t_0-t_1$  est divisé en  $n$  intervalles partiels, égaux chacun à

$h = (t_1 - t_0)/n$  (fig. 8), et l'on prend les valeurs successives de  $V$  dans chaque milieu de ces intervalles.

Nous aurons donc une première valeur  $V_1$ , au milieu du premier intervalle, entre  $t_0$  et  $t_0 + h$ , autrement dit la valeur de  $V$  à l'instant  $t_0 + h/2$  (pour être au milieu de cet intervalle). La seconde valeur de  $V$ ,  $V_2$ , correspondra à l'instant  $t_0 + h + h/2$  (pour être au milieu du second intervalle, celui qui va de  $t_0 + h$  à  $t_0 + 2h$ ). Nous aurons ainsi  $n$  valeurs de  $V$ , la dernière étant relative à l'instant  $t_1 - h/2$ .

Si nous prenons la moyenne arithmétique de ces  $n$  valeurs (en faisant la somme  $\Sigma$  des valeurs de  $V$  trouvées, et en divisant cette somme par  $n$ ), nous aurons ainsi une première expression de la « valeur moyenne »  $M$  de  $V$  dans l'intervalle  $t_0-t_1$ , qui sera donc :

$$M = \Sigma V/n$$

On remarque, sur la figure 8, que, en multipliant chaque valeur de  $V$  par la largeur  $h$  de chaque intervalle, on a la surface du rectangle de largeur  $h$ , des-

siné sur la figure en trait gras. La somme des aires de tous ces rectangles est donc  $\Sigma h$ , or, puisque  $h = (t_1 - t_0)/n$ , on a :

$$\Sigma h = \Sigma (t_1 - t_0)/n = M (t_1 - t_0).$$

Donc, nous aurons la valeur moyenne  $M$  en considérant la surface totale des rectangles (celle qui, dans la figure 8 est bordée à droite par la verticale d'abscisse  $t_1$ , à gauche par la verticale d'abscisse  $t_0$ , en bas par la partie de l'axe des temps comprise entre  $t_0$  et  $t_1$ , et, en haut, par une sorte d'« escalier ».

Si nous appelons  $s$  cette surface totale, qui est égale à  $\Sigma h$ , nous voyons que la valeur moyenne  $M$  de  $V$ , prise avec  $n$  points, est égale à :

$$M = s/t_1 - t_0.$$

### On fonce dans l'infiniment petit !

On conçoit que prendre la valeur moyenne de  $V$  en ne découpant l'intervalle  $t_0-t_1$  qu'en quatre parties (comme sur la figure 8) est assez approximatif. On aura donc une moyenne « meilleure » en augmentant le nombre de valeurs de  $V$ , correspondant toujours à des temps en progression arithmétique. Alors, à la limite, pourquoi ne pas faire tendre le nombre  $n$  vers... l'infini, chaque intervalle partiel  $h$  tendant donc vers zéro ? Allons-y donc carrément.

La surface  $s$  deviendra alors  $S$ , celle qui est comprise entre les deux verticales d'abscisses  $t_0$  et  $t_1$ , la partie de l'axe des temps comprise entre  $t_0$  et  $t_1$ , et la courbe elle-même (car l'« escalier » dont nous avons parlé plus haut comprendra tellement de marches si petites qu'il se confondra avec la courbe elle-même).

Si l'auteur ne craignait pas de terrifier les lecteurs, il leur dirait que cette surface  $S$  est l'intégrale définie de  $V$  entre  $t_0$  et  $t_1$  (comme quoi, les intégrales, ce n'est pas si sorcier, n'est-ce pas ?).

Donc, la valeur moyenne  $M$  de  $V$  est tout simplement ce que l'on obtient en divisant la surface  $S$  par la différence  $t_1 - t_0$ . La figure 9 montre comment cette valeur est représentée. En effet, si cette valeur moyenne est  $M$ , le rectangle de hauteur  $M$  et de largeur  $t_1 - t_0$ , soit le rectangle ABCD doit avoir la même

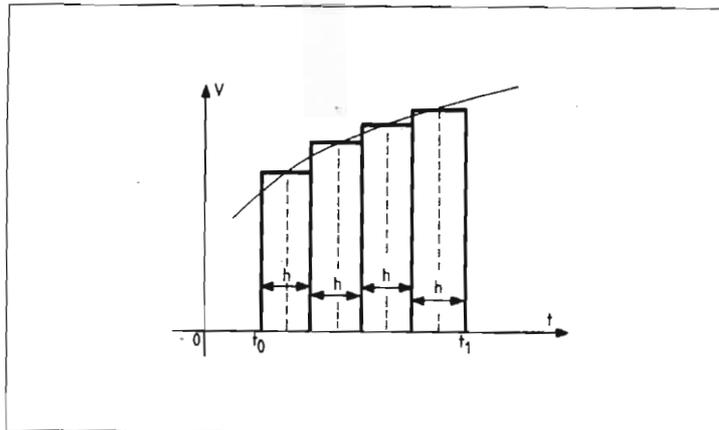


Fig. 8. – Ayant découpé l'intervalle  $t_0-t_1$ , en quatre intervalles de largeur  $h$ , nous avons considéré les valeurs de  $V$  à des instants situés au milieu de chaque intervalle. Nous voulons prendre la moyenne de ces valeurs.

surface que  $S$  (comprise entre les segments de droite HA, AB, BG et la courbe).

Cela implique que les surfaces remplies en pointillé et en hachures doivent être égales. Si la valeur  $V$  était constante, sa valeur moyenne serait... elle-même.

Si la variable  $V$  était l'intensité d'un courant variable, la surface  $S$  indiquée plus haut représenterait la quantité d'électricité véhiculée par ce courant entre les instants  $t_0$  et  $t_1$ . En effet, pendant chaque milliseconde (nous utilisons  $h = 1 \text{ ms} = 0,001 \text{ s}$  à titre d'exemple), le nombre de coulombs transportés par une intensité  $i$  est  $i \times 0,001$  (on multiplie l'intensité instantanée  $i$  en ampères par le temps  $t$  en secondes, soit 0,001).

Pendant 0,2 s, par exemple, si c'est la durée écoulée entre  $t_0$  et  $t_1$ , nous aurons deux cents quantités d'électricité, chacune étant  $i \times 0,001$  ( $i$  étant l'intensité instantanée à chaque instant). La quantité totale d'électricité transportée,  $Q$ , sera donc très voisine de la surface entre la courbe, les droites verticales d'abscisse  $t_0$  et  $t_1$  et la partie de l'axe des temps entre ces deux valeurs. Elle s'en rapprochera encore plus si nous prenons  $h = 0,0001 \text{ s}$  (il y aura donc 2 000 petits rectangles côte à côte).

Un courant constant, d'intensité  $M$ , transporterait entre  $t_0$  et  $t_1$  la même quantité totale d'électricité  $Q$  s'il a la valeur  $M$  telle que  $M \times (t_1 - t_0) = Q$ .

### Revenons au fréquencemètre

Dans le cas de la figure 7, la valeur moyenne de la tension sera très facile à

trouver : elle aura la valeur  $p$ , telle que la surface du rectangle DABC, de hauteur  $p$  et ayant pour largeur une période (soit  $T_1$ ), soit égale à celle du rectangle DGHK. Sur la figure (b), où la période du signal,  $T_2$ , est plus petite que ne l'était  $T_1$  en (a), la valeur  $p$  est plus élevée qu'en (a).

Du fait de l'utilisation du monostable, l'amplitude maximale des signaux sortant du collecteur de  $T_1$  est constante, ainsi que la durée de ces signaux. La surface du rectangle DGHK est constante, donc la valeur  $p$  est inversement proportionnelle à la période du signal commandant le monostable, soit  $T_1$  en (a) et  $T_2$  en (b).

Cette valeur  $p$ , inversement proportionnelle à la période du signal, est donc proportionnelle à sa fréquence.

### Oui, mais comment prendre la moyenne ?

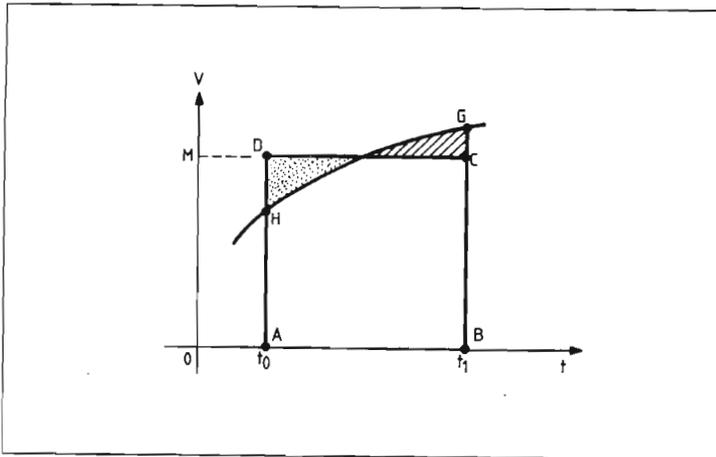
Nous avons parlé de « valeur moyenne » en lui donnant une définition plutôt mathématique. Si l'on veut passer à une valeur facile à déterminer, il faudra réaliser un circuit pour cela.

Or c'est infiniment plus facile que vous ne croyez. La figure 10 représente un signal périodique (en trait gras) et sa valeur moyenne,  $M$  (en pointillé). Ce qui montre que  $M$  est sa valeur moyenne est l'égalité des surfaces hachurées de part et d'autre de la droite horizontale d'ordonnée  $M$ .

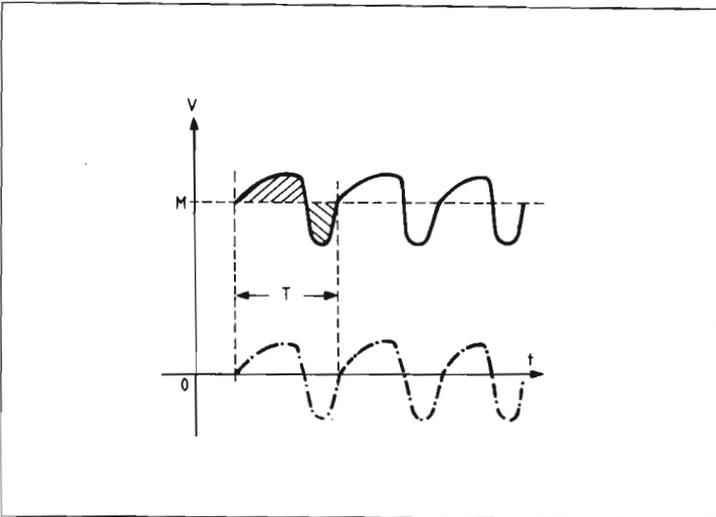
On peut considérer que le signal est, en fait, la somme de deux signaux :

- un signal continu  $M$  ;
- un signal « alternatif pur », tel que le représente la courbe en traits mixtes de

**Fig. 9.** – Si l'on prend des intervalles  $h$  de plus en plus petits, en nombre de plus en plus grand, la valeur moyenne de  $V$  entre  $t_0$  et  $t_1$  est  $M$ , telle que les aires hachurées et ponctuées soient égales.



**Fig. 10.** – Une tension périodique de période  $T$ , ayant une valeur moyenne  $M$ , peut être considérée comme la somme d'une composante continue  $M$  et d'une composante alternative pure (en traits mixtes).



la figure 10. Il est bien alternatif, car il correspond à une valeur moyenne nulle. Nous dirons donc que le signal  $V$  de la figure 10 comporte une « composante continue »  $M$  et une « composante alternative », qui est le signal dessiné en traits mixtes.

Alors, supposons que nous appliquions ce signal complet à un filtre passe-bas, que se passera-t-il ? Un tel filtre transmet intégralement la composante continue d'un signal, puisqu'elle est à fréquence nulle. En revanche, la composante alternative sera fortement atténuée, d'autant plus qu'elle est à fréquence élevée par rapport à la fréquence de coupure du filtre.

Si nous choisissons cette dernière suffisamment basse, il ne restera, en sortie du filtre, que la composante continue, c'est-à-dire la valeur moyenne. On voit donc que, pour prendre la moyenne d'une valeur périodique, il suffit de

l'appliquer à un filtre passe-bas. En fait, le filtre est souvent réalisé sans qu'on le sache.

Si nous connectons un voltmètre continu à aiguille entre le collecteur de  $T_1$  et la masse, l'inertie de l'aiguille jouera le rôle de filtre passe-bas : nous lirons alors sur l'aiguille la composante continue de la tension, c'est-à-dire la fréquence que nous voulions mesurer. Il faudra simplement que cette fréquence ne descende pas trop bas, sinon l'aiguille sera agitée de soubresauts.

### Où intervient une ambiguïté

Un fréquencemètre à monostable est un très bon instrument, mais il se peut qu'il nous induise en erreur. Nous avons vu que le monostable classique peut très bien « ignorer » une impulsion de déclenchement, si cette dernière

intervient pendant sa « période ». Supposons donc que nous ayons réalisé un fréquencemètre prévu pour monter jusqu'à 10 kHz maximum.

Pour laisser, dans le cas de la fréquence maximale, un temps de récupération au monostable, nous choisirons, par exemple, une période de 80  $\mu$ s. Ainsi, lors du fonctionnement à la fréquence maximale de 10 kHz, soit une période de 100  $\mu$ s, il y aura toujours 20  $\mu$ s prévus pour le temps de récupération.

Supposons que nous appliquions à notre montage un signal de fréquence 16 kHz, ce qui correspond à une période de 62,5  $\mu$ s. Un top va déclencher le monostable, qui produira un signal de 80  $\mu$ s. Donc, le suivant arrivera pendant la période, et ne sera pas actif. Autrement dit, un top sur deux agira, et notre fréquencemètre nous donnera la même valeur lue que si la fréquence était 8 kHz.

Pour éliminer cette ambiguïté, un seul moyen, l'utilisation d'un « monostable redéclenchable », dont nous verrons la structure plus loin. Mais il y a bien des cas où une telle ambiguïté ne peut intervenir. Par exemple, pour le tachymètre des moteurs de motocyclette dont nous avons parlé plus haut, on prévoit de ne pas arriver au régime d'ambiguïté avant 10 000 tr/min, et, comme le moteur ne dépassera jamais cette valeur, on peut être sûr de ce que l'on lit.

### Utilisation en « retardateur de signal »

Nous avons vu que, déclenché par une impulsion au temps  $t_0$ , un monostable revient spontanément à son état d'origine au temps  $t_1$ , soit avec un retard connu,  $T$  (la période du monostable), après le déclenchement.

Il est facile d'obtenir une impulsion au moment du rebasculement, par exemple en dérivant le signal collecteur de  $T_1$  et en ne conservant que l'impulsion négative.

Cette impulsion sera donc retardée de  $T$  par rapport à celle qui a déclenché le monostable. Ce dernier peut donc servir de retardateur d'impulsion. On utilise souvent une telle fonction de retard, par exemple pour échelonner des opérations dans un processus. On peut,

entre autres, commander la remise à zéro d'un compteur un peu après le moment où le résultat du comptage a été transféré dans une mémoire. On peut aussi retarder, avec un monostable, une impulsion fournie par un phénomène donné, pour disposer d'une commande de lampe flash, donnant une photographie du phénomène avec un retard connu par rapport à l'impulsion. C'est ainsi que, si l'on veut photographier la dispersion des morceaux de verre d'une ampoule que vient de traverser une balle de fusil, on utilise le signal donné par la rupture du filament (ou par un microphone ayant « entendu » le coup de feu), et on le retarde du nombre de millisecondes souhaité pour commander l'éclair.

### Passons à plus complexe

Abordons maintenant la description de l'authentique multivibrateur, l'astable type.

Son schéma est celui de la figure 10. En fait, il présente de nombreuses analogies de structure avec un monostable, mais la liaison entre le collecteur de  $T_1$  et la base de  $T_2$ , au lieu d'être faite par un pont de résisteurs, est réalisée par un condensateur, la base de  $T_2$  étant reliée au + par un résistor. Il s'agit maintenant d'un montage symétrique, du moins dans sa structure, car les résistances des résisteurs symétriques peuvent être différentes, ainsi que les capacités des deux condensateurs.

L'explication du fonctionnement peut présenter une difficulté : le circuit « se mord la queue », puisque  $T_1$  commande  $T_2$  et que  $T_2$  commande  $T_1$ . On pourrait même se demander si ce montage ne serait pas susceptible d'avoir un état parfaitement stable : les deux transistors seraient saturés en même temps. On a raison de se poser cette question, car un tel état peut se rencontrer. Comme ce n'est pas cela que l'on cherche, nous verrons plus loin qu'il y a un moyen pour empêcher le montage de rester ainsi « bêtement » dans cet état « anormal ».

Mais ce ne sera pas le cas si nous prenons les valeurs indiquées pour les ré-

sistants, et surtout si, au début, nous bloquons  $T_1$ , par exemple. Comment le bloquer ? Tout simplement en connectant sa base, via le poussoir P', à un point porté au potentiel de  $-2\text{ V}$  (connecter cette base à la masse aurait suffi, mais l'explication sera plus claire ainsi).

### Le poussoir est maintenu appuyé...

... et nous allons voir ce qui se passe. Comme  $T_1$  est bloqué, son collecteur est au potentiel  $+6\text{ V}$ . Pendant ce temps,  $T_2$  est saturé, sa base est à  $+0,6\text{ V}$ , son collecteur à 0 ou presque. Donc le condensateur  $C_1$  est chargé à  $5,4\text{ V}$ , son armature de gauche (collecteur de  $T_1$ ) étant positive par rapport à celle de droite (base de  $T_2$ ). Nous supposons que nous avons laissé le poussoir P' appuyé assez longtemps pour que la charge de  $C_1$  à travers  $R_1$  et la jonction base-émetteur de  $T_2$  soient complètes.

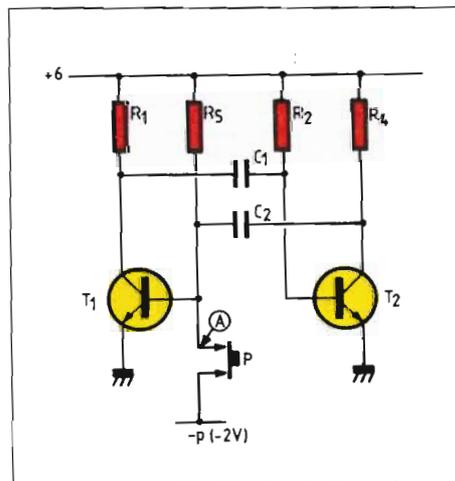


Fig. 11. - Pour ce multivibrateur astable, afin de rendre le fonctionnement plus clair, nous supposons que, jusqu'au temps zéro, le potentiel du point (A) est maintenu négatif (à - p) par le poussoir P.

### Lâchez tout !

A l'instant zéro, nous laissons le poussoir P' se rouvrir, et, alors, il va se passer beaucoup de choses. Les courbes de la figure 11 vont nous permettre de les détailler, et le lecteur n'aura pas de peine à suivre le déroulement des phé-

nomènes, du fait de ses expériences avec le montage à un transistor bloqué temporairement (voir la fig. 1, que nous reproduisons ci-contre), et avec le monostable.

La courbe du haut, indiquant la variation en fonction du temps du potentiel de la base de  $T_1$ , nous montre une remontée de ce potentiel, depuis  $-2\text{ V}$  (valeur initiale) jusqu'à  $+0,6\text{ V}$ , valeur atteinte au temps  $t_1$ .

A ce moment,  $T_1$  commençant à débiter, le potentiel de son collecteur baisse, comme on l'avait vu au temps zéro dans la figure 2, mais, ici, le phénomène est bien plus brusque, car nous sommes en présence de ce que l'on nomme un « processus cumulatif » (action réagissant sur elle-même de façon telle qu'elle s'auto-amplifie), que nous avons déjà rencontré dans le fonctionnement du monostable.

Comment intervient-il ici ? Tout simplement parce que, quand  $T_1$  commence à se débloquer, le potentiel de son collecteur descend. Le condensateur  $C_1$  transmet cette descente à la base de  $T_2$ , ce qui fait que ce dernier commence à se bloquer.

Il en résulte une montée du potentiel du collecteur de  $T_2$  qui, retransmise par  $C_2$  à la base de  $T_1$ , fait monter encore plus le potentiel de cette dernière. Donc,  $T_1$  se débloque encore plus, précipitant la baisse de potentiel de son collecteur, qui fait encore plus baisser celui de la base de  $T_2$ , qui se bloque encore plus...

Le processus cumulatif est enclenché, et le déblocage de  $T_1$  ainsi que le blocage de  $T_2$  seront extrêmement rapides.

### Suivez les flèches !

Pour rendre la suite des événements plus facile à suivre, nous avons représenté, sur la figure 11, plusieurs flèches. Chacune indique comment une variation de potentiel d'un point du montage agit sur celle d'un autre point.

En  $t_1$ , sur la courbe du haut, la flèche a un gros point rond. Il est là pour préciser que c'est l'arrivée du potentiel base de  $T_1$  à  $0,6\text{ V}$  qui est la cause de tout. A côté de cette flèche figure la mention «  $T_1$  », indiquant que c'est l'action amplificatrice du transistor  $T_1$  qui fait que

la montée de son potentiel base entraîne la descente de son potentiel collecteur.

Depuis le flanc descendant du potentiel collecteur en  $t_1$  part une autre flèche descendante, à côté de laquelle est écrit  $C_1$ , pour rappeler que c'est par  $C_1$  que la descente du potentiel collecteur de  $T_1$  fait baisser le potentiel base de  $T_2$ .

De cette baisse résulte (flèche marquée  $T_2$ ) une montée du potentiel collecteur de  $T_2$ , puisque c'est l'action de  $T_2$  qui fait que la baisse de son potentiel base entraîne une montée de son potentiel collecteur.

Cette montée est renvoyée sur la base de  $T_1$ , comme l'indique la longue flèche montante, bordée de la mention «  $C_2$  », puisque c'est ce dernier condensateur qui répercute sur la base de  $T_1$  la montée du potentiel collecteur de  $T_2$ , bouclant ainsi le « cycle infernal » du processus cumulatif.

### Vers un second « basculement »

Ce qui vient de se passer au temps  $t_1$  est nommé « basculement ». Le transistor  $T_1$ , qui était bloqué, vient de passer en saturation, alors que  $T_2$ , qui était saturé, vient de se bloquer. On remarquera que la descente du potentiel collecteur de  $T_1$  est très rapide, alors que la montée du potentiel collecteur de  $T_2$  est ralentie, parce qu'il faut prévoir le temps nécessaire pour que  $C_2$  se charge, à travers  $R_4$  et la jonction base-émetteur de  $T_1$ .

Tout de suite après ce basculement, la base de  $T_2$  est arrivée au potentiel  $-5,4$ , et son potentiel commence aussitôt à remonter, comme nous l'avons vu sur la figure 2. Si rien ne venait limiter ce potentiel, il remonterait jusqu'à  $+6$  V, mais, exactement comme cela s'était passé dans le cas de notre montage simplifié de la figure 1, ce potentiel ne dépassera pas  $0,6$  V.

En effet, au temps  $t_2$ , comme la base de  $T_2$  arrive à  $+0,6$  V,  $T_2$  commence à se débloquent. C'est ce déblocage qui va être, maintenant, à l'origine d'un nouveau processus cumulatif, comme le montre le gros point rond à côté de la

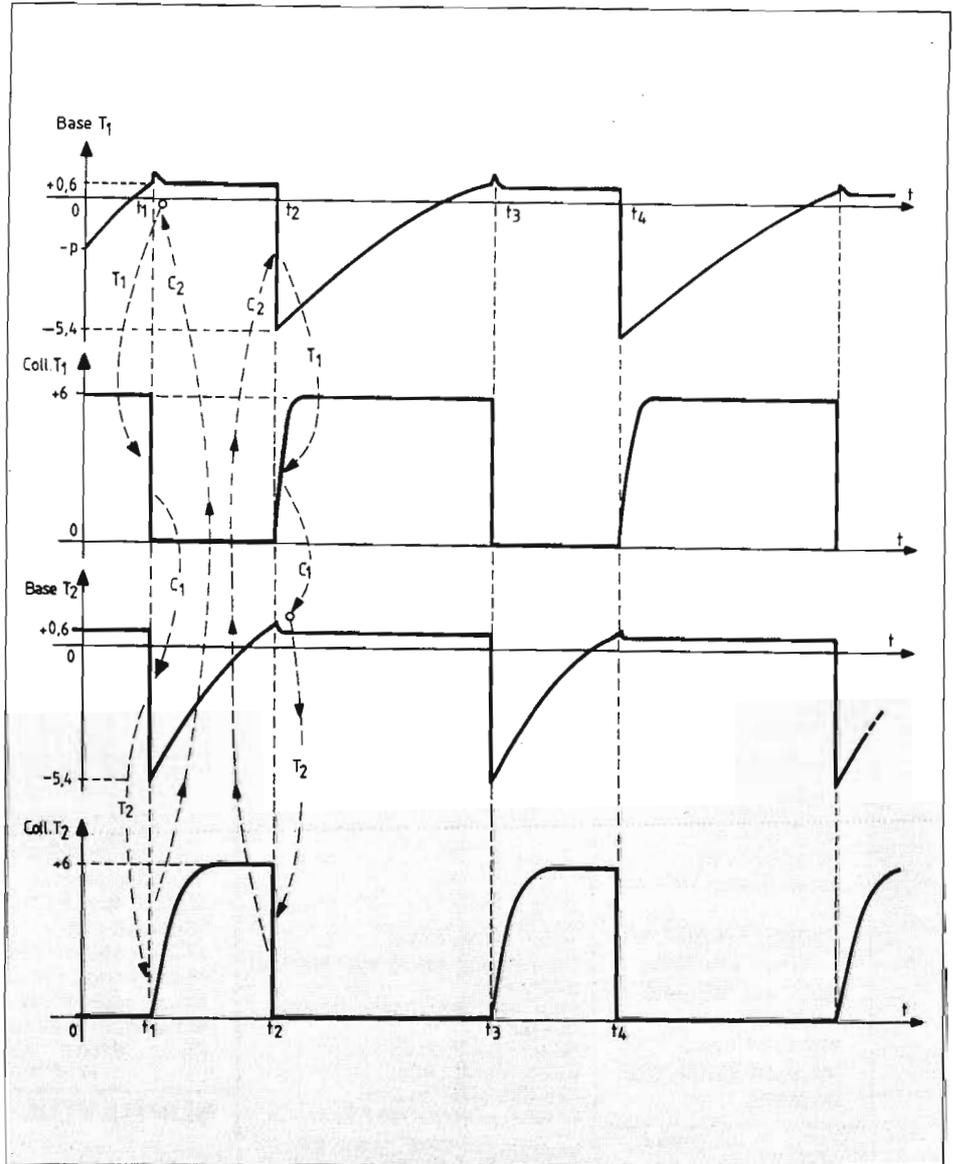


Fig. 12. - Formes d'ondes du multivibrateur de la figure 11. Les flèches en pointillés indiquent comment les potentiels des différentes électrodes agissent sur d'autres potentiels.

flèche descendante marquée «  $T_2$  » (action amplificatrice de  $T_2$ ), arrivant sur la courbe qui montre la montée du potentiel collecteur de  $T_2$ .

### Un second basculement

La longue flèche montante, marquée «  $C_2$  », montre que la descente du potentiel collecteur de  $T_2$ , transmise par  $C_2$ , provoque la baisse du potentiel base de  $T_1$ . Depuis la ligne représentant cette baisse, au temps  $t_2$ , une flèche portant la mention  $T_1$  arrive sur la courbe du

potentiel collecteur de  $T_1$ . On voit que ce potentiel remonte, et, comme le montre la flèche portant la mention  $C_1$ , cette remontée, transmise à la base de  $T_2$ , referme la boucle du processus cumulatif.

Comme le montrent les gros points ronds sur les flèches, au temps  $t_1$ , c'est l'arrivée du potentiel de base de  $T_1$  à  $0,6$  qui déclenche tout, alors que, au temps  $t_2$ , c'est lors de l'arrivée à  $0,6$  V du potentiel de base de  $T_2$  que le processus cumulatif du second basculement s'amorce.

J.-P. OEHMICHEN