

# LES CIRCUITS FONDAMENTAUX DE L'ELECTRONIQUE

**M**ALGRÉ leur extrême diversité, due à des interconnexions plus ou moins nombreuses et complexes de circuits élémentaires, tous les montages de l'électronique peuvent, après analyse, se décomposer en un groupement de sous-ensembles, dont chacun remplit une fonction élémentaire.

Pour un technicien, l'étude, ou la conception, d'un schéma, suppose donc la connaissance de ces divers circuits de base. C'est à quoi vise la série d'articles commencée dans ce numéro, et où seront examinés les « circuits fondamentaux de l'électronique ».

On peut, dans une première approche de classement, distinguer quelques objectifs simples aux montages constituant l'arsenal de l'électronicien. Il s'agit toujours, en effet, de satisfaire à l'un des buts énumérés ci-dessous :

- produire des signaux ; là, s'inscriront tous les oscillateurs, appelés à engendrer directement différentes formes d'ondes : sinusoïdes, signaux rectangulaires ou triangulaires, dents de scie, etc.
- amplifier ces signaux ; par amplification, nous entendons soit une augmentation de l'amplitude des tensions, soit une augmentation de la puissance délivrée, avec un maximum de fidélité dans le respect de la forme initiale.
- transformer des signaux ; sous cette rubrique, on pourra ranger tous les circuits capables, à partir d'une forme d'onde

appliquée sur leur entrée, de donner une autre forme d'onde. Un exemple classique en est la bascule de Schmitt, convertissant un signal quelconque en créneaux rectangulaires à faibles temps de montée et de descente.

Il resterait, enfin, certaines fonctions qui échappent, en première analyse, à la tentative de classement précédente. Nous y incorporerons, par exemple, les circuits de stabilisation, âmes des alimentations stabilisées.

L'angle sous lequel nous aborderons ces études se situe à la frontière de l'analyse théorique et d'une schémathèque intelligente, donc raisonnée. Le but final, en effet, n'est pas d'élaborer un catalogue de recettes, nécessairement stérile, mais de donner au lecteur les moyens de comprendre, et de concevoir lui-même, tel ou tel type de schéma. Les exemples « pratiques » illustrant ces pages ne seront donc considérés que comme supports d'une technique de calcul, et non comme des réalisations sur lesquelles précipiter aveuglément le fer à souder.

Le premier exemple proposé, appartient à la classe des oscillateurs. Il s'agit de circuits applicables au domaine de la basse fréquence. D'autres suivront, qui se rangent aussi dans la catégorie des oscillateurs. Nous traiterons ensuite des alimentations stabilisées, car il n'est guère de réalisations ou le besoin ne s'en fasse sentir, avant de passer aux circuits de transformation des formes d'ondes.

## OSCILLATEURS A DEPHASAGE

Les oscillateurs à déphasage, objets de la présente étude, et les oscillateurs à pont de Wien, que nous examinerons dans un prochain numéro, s'apparentent tous à la catégorie des oscillateurs sinusoïdaux à résistances et condensateurs. Leur schéma général, comme nous le verrons pour commencer, comporte l'association d'un amplificateur et d'un réseau de réaction.

Rarement appliqués à la fabrication des générateurs de laboratoire, les oscillateurs à

déphasage se prêtent bien à la réalisation de générateurs à fréquence fixe, pour lesquels sont appréciées tant la simplicité de leur schéma, que la facilité de la régulation d'amplitude. Le technicien leur accordera son attention chaque fois qu'il souhaite disposer d'un signal sinusoïdal de fréquence constante, dans les domaines allant de quelques hertz à quelques centaines de kilohertz : générateur d'essai, sonde d'injection de signal, oscillateur d'un pont de mesures, etc.

### I - STRUCTURE D'ENSEMBLE D'UN OSCILLATEUR À RÉACTION

Nous supposerons que l'amplificateur de la figure 1 fonctionne en régime linéaire : à tout signal sinusoïdal appliqué sur son entrée, correspond un autre signal, lui aussi sinusoïdal, recueilli sur la sortie. Si  $v_e$  et  $v_s$  sont les amplitudes respectives de ces tensions, on

appelle « gain, en tension » de l'amplificateur, le rapport :

$$A = \frac{v_s}{v_e}$$

Généralement, l'amplificateur introduit non seulement un gain, mais aussi un déphasage entre les deux sinusoïdes, que nous noterons  $\varphi_1$ .

Ces mêmes notions peuvent s'appliquer à un réseau passif, composé de résistances et de condensateurs (fig. 2). Quelle que soit la structure interne du

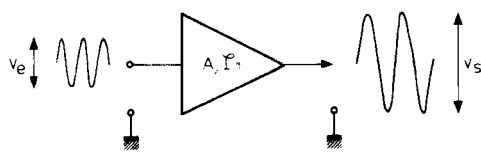


Fig. 1

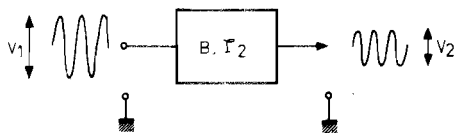


Fig. 2

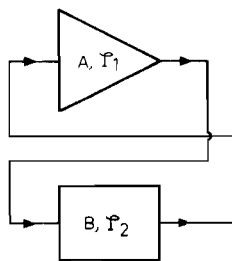


Fig. 3

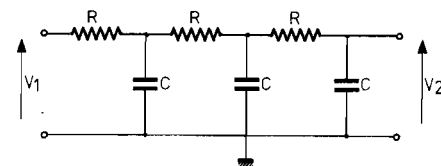


Fig. 4

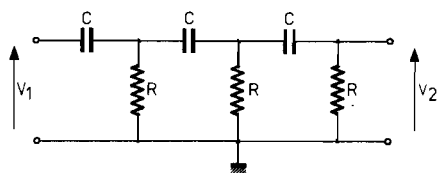


Fig. 5

réseau, on peut définir son gain, rapport des amplitudes  $v_1$  à l'entrée, et  $v_2$  à la sortie :

$$B = \frac{v_2}{v_1}$$

Composé uniquement de résistances et de condensateurs, le réseau envisagé ne peut qu'atténuer, et son « gain » B est donc inférieur à 1.

De même, ce réseau introduit un déphasage, que nous noterons  $\varphi_2$ . Dans les cas qui nous intéressent ici,  $\varphi_2$ , comme d'ailleurs B, dépendent de la fréquence.

Associés alors les éléments des figures 1 et 2, dans le montage de la figure 3 : la sortie de l'amplificateur attaque l'entrée du réseau passif, et la sortie de ce dernier se referme sur l'entrée de l'amplificateur. Ce branchement implique, évidemment, que le signal de sortie du réseau passif est identique, en amplitude et en phase, au signal d'entrée de l'amplificateur. Mathématiquement, on aboutit alors aux deux conditions :

$$A \cdot B = 1 \quad (1)$$

$$\varphi_1 + \varphi_2 = 0 \text{ ou } 360^\circ \quad (2)$$

Dans la pratique, et si on se cantonne au domaine usuel des basses fréquences, A et  $\varphi_1$  demeurent constants. Il existe alors une fréquence, et une seule, qui vérifie la condition (2). Le montage devient un oscillateur si, pour cette même fréquence, on peut aussi lui faire respecter la condition (1).

## II - LES RÉSEAUX DÉPHASEURS RC

Nous n'examinerons que le cas des réseaux à trois résistances et trois condensateurs, seuls utilisés en pratique, et où, les trois résistances d'une part, et les trois condensateurs de l'autre, ont la même valeur. Selon la place respective des composants, ils peuvent prendre les formes des figures 4 ou 5. Pour limiter le volume de nos calculs, nous n'examinerons que la configuration de la figure 5.

Pour celle-ci, la figure 6 représente, en fonction de la fréquence, les variations du déphasage  $\varphi_2$  (courbe a) et du gain B (courbe b) introduits par le réseau.  $\varphi_2$  croissant de 0 à  $360^\circ$ , il existe une fréquence  $f_0$ ,

pour laquelle ce déphasage passe par la valeur  $180^\circ$ . Cette fréquence est liée aux résistances R et aux capacités C du réseau, par la relation :

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{6}RC}$$

Pour cette même fréquence, le gain, qui croît de 0 à 1, prend la valeur

$$B = \frac{1}{29}$$

## III - OSCILLATEUR À DÉPHASAGE

Aux fréquences moyennes, un unique transistor, monté en émetteur commun, constitue un amplificateur déphasant de

$180^\circ$ . Le plus simple des oscillateurs à déphasage, prendra donc la configuration de la figure 7.

Le courant de repos du transistor T dépend à la fois des résistances  $R_1$  et  $R_2$ , déterminant le potentiel de la base, et de la somme de la résistance  $R_3$  et de celle du potentiomètre P, constituant, vis-à-vis du continu, la charge d'émetteur. Le choix des valeurs R et C du réseau, fixe la fréquence  $f_0$  d'oscillation, pour laquelle on sait que le gain B prend la valeur  $1/29$ . Il faut alors imposer à l'amplificateur un gain  $A = 29$ . Au-dessous de cette valeur, il n'y aurait pas d'oscillations ; au-dessus, les tensions de sortie seraient distordues par suramplification et écrêtage. Comme il est pratiquement impossible d'accéder, par construction, à cette valeur exacte de A, on règle l'entrée en oscillations à l'aide du potentiomètre P, grâce auquel le condensateur  $C_1$  découple une fraction variable de la résistance d'émetteur.

Le schéma de la figure 7 appelle certains commentaires. D'abord, on y remarque que la dernière résistance R du réseau déphaseur, vient en parallèle sur les résistances de base  $R_2$  et  $R_1$  : il faudrait donc modifier sa valeur pour tenir compte de ce groupement.

D'autre part, la sortie s'effectue directement sur le collecteur de T : la charge d'utilisation, ainsi branchée en parallèle sur  $R_4$ , modifie le gain de l'amplification, donc les

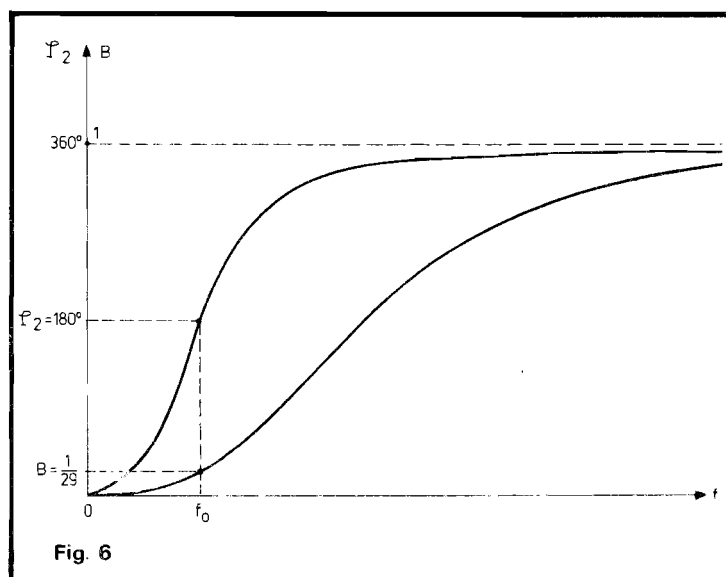


Fig. 6

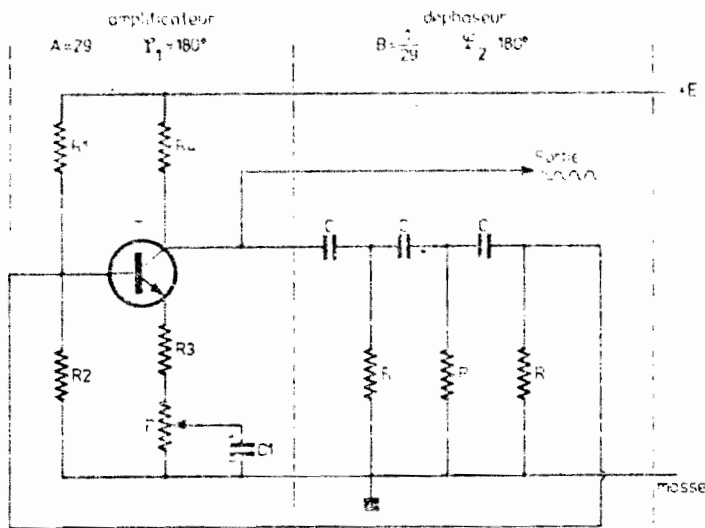


Fig. 7

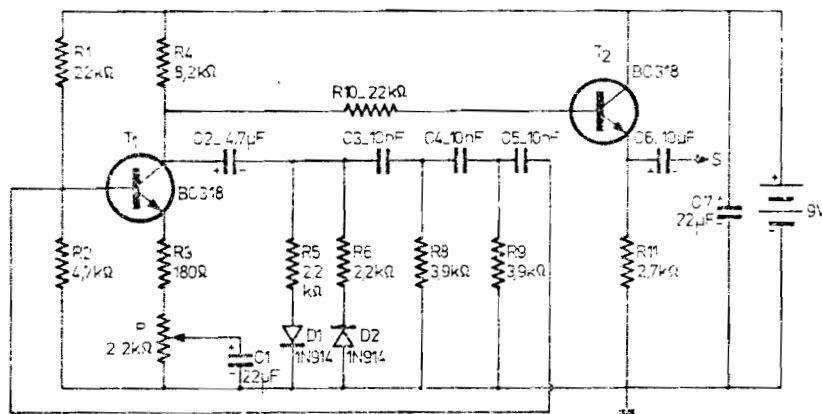


Fig. 8

conditions d'oscillation. Nous verrons qu'on peut éliminer ce problème en prévoyant un étage adaptateur d'impédance.

Enfin, même après avoir réglé P à la limite de l'accrochage, on souffrira d'une instabilité du montage, à cause des nombreux facteurs susceptibles de modifier le gain : température de fonctionnement, fluctuations de la tension d'alimentation, etc. La solution, à ce dernier problème, réside dans l'emploi d'un circuit régulateur d'amplitude, auquel nous consacrerons le paragraphe suivant.

#### IV - LA RÉGULATION D'AMPLITUDE

Comme annoncé dès l'introduction, les oscillateurs à déphasage s'accrochent de

méthodes très simples de régulation de l'amplitude, procédant par écrêtage. L'exemple pratique d'oscillateur schématisé à la figure 8, servira de support à nos explications.

Le dispositif régulateur met en jeu les diodes D<sub>1</sub> et D<sub>2</sub>, associées aux résistances R<sub>5</sub> et R<sub>6</sub>. L'ensemble ne reçoit que la composante alternative en provenance du collecteur de T<sub>1</sub>, grâce au condensateur d'isolement C<sub>2</sub>. Tant que ni les alternances positives, ni les alternances négatives, n'atteignent 0,6 V environ, aucune des deux diodes ne conduit, et tout se passe comme si le dispositif régulateur d'amplitude n'existait pas : le gain est celui de l'amplificateur seul, construit autour du transistor T<sub>1</sub>.

Par contre, pour toute amplitude supérieure à cette valeur, D<sub>1</sub> conduit lors des crêtes positives, et D<sub>2</sub> lors des crêtes négatives. En parallèle sur R<sub>4</sub>,

se branchent alors les résistances R<sub>5</sub> ou R<sub>6</sub>, augmentées d'ailleurs de la résistance dynamique des diodes : le gain de l'amplificateur diminue, ce qui ramène le montage aux conditions limites d'accrochage. L'effet de filtre du réseau déphaseur, limite les distorsions ainsi créées, à un taux voisin de 1 %, acceptable dans la majorité des applications.

#### V - ÉTUDE COMPLÈTE DE L'OSCILLATEUR

Reprenons l'examen du schéma de la figure 8. Compte tenu des composants choisis dans le réseau déphaseur, et en nous reportant à la relation donnée plus haut on voit que la fréquence d'oscillation est voisine de 1000 Hz. Il serait

facile de la modifier par exemple en sélectionnant d'autres condensateurs C<sub>3</sub>, C<sub>4</sub> et C<sub>5</sub>. Un réglage fin de f<sub>0</sub> est même possible en remplaçant l'une des résistances fixes R<sub>8</sub> ou R<sub>9</sub> par une résistance ajustable.

On remarquera que la dernière résistance du réseau déphaseur, résulte de la mise en parallèle des résistances de polarisation R<sub>7</sub> et R<sub>2</sub>, ce qui donne à peu près 3,9 kΩ.

Enfin l'étage séparateur annoncé plus haut, met en œuvre le transistor T<sub>2</sub>, qui travaille en collecteur commun. L'alimentation peut être une simple pile de 9 volts, découpée en alternatif par le condensateur C<sub>7</sub>. Compte tenu de la limitation introduite par D<sub>1</sub> et D<sub>2</sub> on dispose d'une tension de sortie voisine de 1,4 volt crête à crête.

La mise au point pratique d'un tel montage est extrêmement simple. Après avoir choisi la fréquence, on ajuste le potentiomètre P pour l'entrée en oscillation, en dépassant très légèrement la limite d'accrochage. Un oscilloscope constitue le moyen de contrôle idéal, mais il est éventuellement possible de brancher, sur la sortie, un simple écouteur (à haute impédance pour ne pas influencer sur la charge).

#### VI - POUR NOUS RÉSUMER :

Dans la famille des oscillateurs sinusoïdaux à basse fréquence, les oscillateurs à déphasage donnent lieu aux montages les plus simples, et de mise au point aisée.

Ils se prêtent aisément à la réalisation de générateurs à fréquence fixe, réalisables sous de faibles volumes (sondes).