

Initiation à la pratique de l'électronique

QUELQUES MONTAGES SIMPLES D'OSCILLATEURS

Le lecteur qui a suivi régulièrement cette série d'articles est maintenant en mesure de réaliser des montages pratiques. Nous commencerons par les plus simples.

Ce sera d'abord un oscillateur basse fréquence. Cet oscillateur sera utile pour la mise au point d'un amplificateur basse fréquence. Il sera à réseau déphaseur (appelé également oscillateur RC ou « phase-shift »).

Mais avant de donner le schéma, il est souhaitable d'en comprendre le fonctionnement et de connaître le rôle de chacun de ses composants. Et avant de parler de réseau déphaseur, il est préférable de savoir ce qu'est la phase, le déphasage, comme celui qui existe entre la tension et le courant dans un circuit capacitif.

Ensuite nous passerons au calcul et à la réalisation de cet oscillateur.

phase avec celui qui l'a engendré.

Représentons le schéma de principe d'un oscillateur (fig. 1). Il comprend trois éléments : l'amplificateur, le filtre et le circuit de couplage. Il faut remarquer que le signal, à l'entrée de l'amplificateur, ne provient pas d'un générateur, mais uniquement de la sortie de l'oscillateur. Dès la mise sous tension, le passage de zéro volt à la valeur nominale de l'alimentation en-

gendre une variation dans l'amplificateur, cette variation, amplifiée et ramenée à l'entrée, fait démarrer l'oscillation.

Autre remarque : le but de l'amplificateur est de compenser l'atténuation due au filtre et au circuit de couplage.

Passons à un montage avec des composants bien connus (fig. 2). L'amplificateur est constitué par le transistor polarisé par R_B ; le circuit de réaction positive et le filtre sont formés par le transformateur accordé LC favorisant une fréquence F

$$F = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Une version améliorée est représentée sur la figure 3. On y reconnaît les résistances habituelles R_1 , R_2 et R_E . Le circuit est alimenté à travers une prise sur le bobinage L , ce qui a l'avantage de moins amortir le circuit oscillant par le transistor. L'oscillation est recueillie sur le collecteur, ou par un troisième enroulement couplé au C.O. Ce circuit est le montage de base des oscillateurs utilisés en haute fréquence et dont certains schémas sont donnés sur le tableau I ci-contre. Mais avant d'aller

L'oscillateur

Un oscillateur est un dispositif fournissant une tension alternative. Il est composé principalement d'un amplificateur et d'un dispositif (de réaction positive) couplant la sortie de cet amplificateur à son entrée. Et puisqu'il y a oscillation, il faut forcément parler de fréquence... L'oscillateur comporte donc aussi un circuit favorisant une fréquence, c'est-à-dire un filtre du type « passe-bande sélectif », ou encore un circuit à réseau déphaseur, comme nous allons l'expliquer plus loin.

Ce qui est primordial pour un oscillateur, c'est que le signal de sortie ramené à l'entrée, soit en

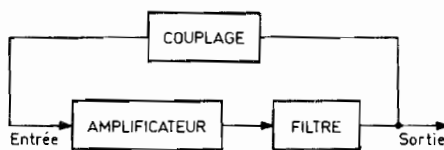


Fig. 1. — Schéma de principe d'un oscillateur.

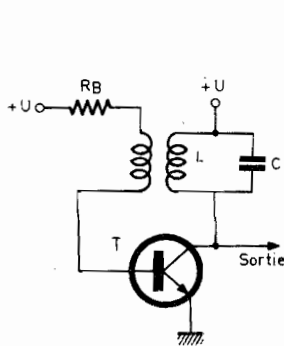


Fig. 2. — Schéma de principe d'un oscillateur sinusoïdal. Le circuit oscillant LC favorise une fréquence.

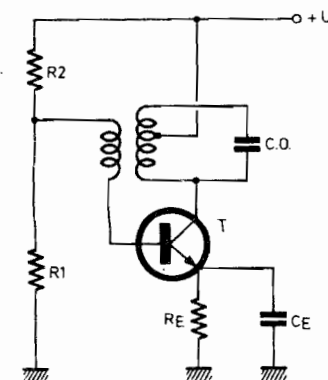


Fig. 3. — Version améliorée de l'oscillateur.

Tabl. I. - Oscillateurs LC les plus courants.

<p>FRANKLIN</p>		<p>- La fréquence est définie par le circuit LC. Les transistors apportent le gain et le déphasage nécessaire.</p>
<p>HARTLEY</p>		<p>- Le plus connu des oscillateurs LC. La réaction positive est réglée par le rapport L_B/L_E.</p>
<p>COLPITTS</p>		<p>- La bobine L est accordée par C_1 et C_2 en série. La réaction positive est réglée par le rapport C_1/C_2. La base est découplée par le condensateur C_B (montage base commune). Le taux d'harmonique est faible en sortie.</p>
<p>CLAPP</p>		<p>- Variante du montage Colpitts. Le circuit oscillant est constitué par la bobine L et le condensateur C en série. Les valeurs de C_1 et C_2 doivent être élevées par rapport à la capacité d'accord C. Oscillateur davantage utilisé avec les transistors à effet de champ.</p>
<p>PIERCE</p>		<p>- Le circuit oscillant est remplacé par un cristal de quartz. La stabilité en fréquence est excellente. La réaction positive est obtenue par la capacité interne collecteur/base. La charge oscillateur (LC) peut être accordée sur un harmonique.</p>

plus en détail dans les montages oscillateurs, parlons un peu de la phase.

La phase

La phase est assez difficile à définir en quelques mots. Mieux que des explications longues et fastidieuses, nous avons dessiné plusieurs signaux sur la figure 4 afin de montrer ce qu'est la phase d'un signal.

D'abord en (a) les deux signaux n'ont pas la même amplitude, mais ils commencent au même moment, croissent et décroissent en même temps, atteignent leur maximum au même instant. On dit alors qu'ils sont en phase.

En (b) ils sont en opposition de phase : à la croissance de l'un, correspond la décroissance de l'autre. Au moment où l'un atteint son amplitude maximale, l'autre est justement à son minimum.

Enfin en (c) les signaux sont déphasés. Lorsque le premier est arrivé à sa valeur maximale, l'autre est encore croissant. On dit que l'un est en avance par rapport à l'autre. Le seul point commun entre ces deux signaux sinusoïdaux est que leur fréquence est la même.

Une question se pose : quel est le signal qui est en avance sur l'autre ? Sur la figure, c'est le signal V_1 parce que dans le déroulement chronologique, c'est-à-dire en suivant l'échelle des temps de gauche à droite, l'alternance positive de V_1 apparaît avant l'alternance positive de V_2 .

Comment exprime-t-on le déphasage ? Bien qu'il y ait un décalage dans le temps entre les deux signaux, le déphasage ne s'exprime pas par un temps, mais par une fraction de période. Du point

de vue trigonométrique, la variation d'une période complète s'effectue sur 360°, ou 2π radians, ou encore 400 grades. Ainsi le déphasage de V₁ par rapport à V₂ (fig. 4c) est de 90° ou de π/2. En b, les deux signaux en opposition de phase sont déphasés de 180° ou de π.

Déphasage entre le courant et la tension

Lorsqu'une source alternative alimente une résistance, le courant la traversant

est en phase avec la tension aux bornes (tableau II).

Si cette source alimente un condensateur seul, le courant est en avance de 90° sur la tension.

En insérant une résistance en série avec ce condensateur, l'effet combiné de ces deux composants apporte un déphasage dont la valeur dépend du rapport entre X_c (réactance capacitive du condensateur) et la valeur ohmique R.

Si X_c est très grand par rapport à R, le déphasage entre courant et tension est

très voisin de 90°. En revanche, si c'est R, qui est très élevé par rapport à X_c, le déphasage est presque nul.

Le déphasage est donné par la formule :

$$\text{tg } \varphi = \frac{X_c}{R}$$

$$\text{avec } X_c = \frac{10^6}{C \times 6,28 \times F}$$

la capacité C est exprimée en microfarad et F en hertz, X_c étant en ohm. Prenons l'exemple du circuit de la figure 5, la valeur de X_c est de

$$\frac{10^6}{1 \times 6,28 \times 10^3}$$

soit environ 160 Ω à 1 kHz. La valeur du déphasage X_c/R est 1,6. En utilisant une calculatrice de poche « scientifique », la valeur de l'angle est rapidement calculée (arc tg 1,6 ≈ 60°).

Ce déphasage représente donc le déphasage entre I et U de la figure 6, le courant I étant en avance sur U. Il est intéressant de

remarquer que ce courant I traversant la résistance R, crée une tension aux bornes de celle-ci, qui sera donc en avance par rapport à la tension appliquée U.

Le principal avantage de représenter un signal en fonction du temps est de voir la forme de ce signal. Mais représenter deux signaux sinusoïdaux en fonction du temps complique un peu les choses, surtout lorsque le déphasage est faible. On préfère supposer que ces deux sinusoïdes sont parfaites, et on les représente par des vecteurs ayant même origine. La longueur de ces vecteurs est fonction de l'amplitude, et l'angle de l'un par rapport à l'autre représente la phase (tableau II). Mais n'insistons pas trop sur ces notions de calcul vectoriel, le désir du lecteur étant de comprendre le fonctionnement et de réaliser un oscilateur RC.

Circuits	Forme des courants et des tensions	Représentation vectorielle

Tabl. II. - Relation entre le courant et la tension dans un circuit alternatif.

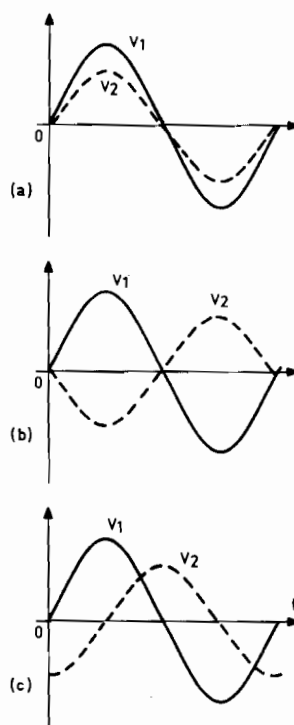


Fig. 4. - Signaux en phase (a), en opposition de phase (b), et déphasé (c).

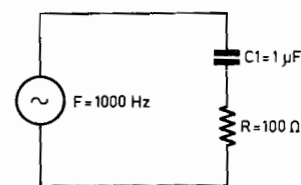


Fig. 5. - Le déphasage entre I et U est de 60° seulement pour F = 1000 Hz.

Déphasage dans un oscillateur RC

Dans un amplificateur constitué par un transistor monté en émetteur commun, la tension V_e appliquée à l'entrée est représentée par une petite flèche (un vecteur) dirigée vers la gauche (fig. 7a). La tension V_s recueillie en sortie, amplifiée et en opposition de phase avec V_e , est représentée par un vecteur plus grand (à cause de l'amplification) et pointée dans la direction opposée (à cause de la phase).

Une cellule RC est placée à la sortie de cet amplificateur, apportant un déphasage de 60° pour une fréquence déterminée. Le vecteur se déplace donc de 60° (fig. 7b). Remarquons que l'amplitude à la sortie de la cellule est atténuée, l'ensemble RC étant un cir-

cuit passif diviseur de tension.

Une deuxième cellule identique à la première introduit un deuxième déphasage de 60° (fig. 6c). Une troisième cellule présentera à sa sortie une tension déphasée de 180° par rapport à la tension sur le collecteur du transistor, ou, ce qui revient au même, une tension en phase avec la tension d'entrée V_e .

En reliant la sortie de cette troisième cellule avec l'entrée de l'amplificateur, nous obtenons un oscillateur RC oscillant sur la fréquence pour laquelle les trois cellules RC déphasent de 180° .

Il faut en effet bien savoir que : premièrement, le déphasage total doit être de 180° pour la fréquence désirée. Si nous changeons la valeur de C ou de R des cellules, le déphasage total

de 180° ne se fait plus sur cette fréquence, mais sur une autre. D'autre part, l'atténuation apportée par les trois cellules doit être compensée par le gain de tension du transistor. Ce gain ne devra pas être trop important afin de ne pas apporter de distorsions au signal.

Réalisation de l'oscillateur RC

Le premier schéma de réalisation est donné sur la figure 8.

Une formule pratique pour le calcul des éléments d'un tel oscillateur est la suivante :

$$C = \frac{1}{\sqrt{6 \times 6,28 \times F \times R}}$$

soit en simplifiant :

$$C(\mu F) = \frac{65}{F(\text{Hz}) \times R(\text{k}\Omega)}$$

La résistance R_B de $82 \text{ k}\Omega$ est la résistance de base polarisant au mieux le transistor afin qu'il fonctionne en classe A (Tension sur le collecteur égal à la moitié de la tension d'alimentation afin d'avoir un signal de sortie sans distorsion). Cette valeur de $82 \text{ k}\Omega$ sera choisie pour la valeur de R des cellules. Si la fréquence désirée est de $1\,000 \text{ Hz}$, le choix de C est (d'après la formule ci-dessus) de $0,8 \text{ nF}$.

On remarquera que la fréquence obtenue expérimentalement est différente de celle qui était désirée. En effet, la résistance interne d'entrée du transistor est plutôt faible par rapport à $82 \text{ k}\Omega$.

Une amélioration du montage (fig. 9) consiste à ajouter un transistor en collecteur commun dans la chaîne afin d'adapter la

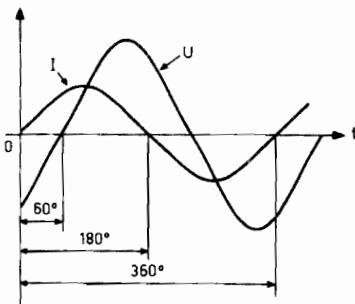


Fig. 6. - Le courant I est en avance de 60° par rapport à U.

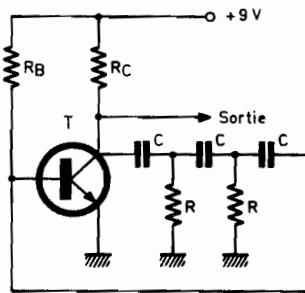


Fig. 8. - Schéma de l'oscillateur RC ($T = \text{BC140}$, $R_C = 470 \Omega$, $R = R_B = 82 \text{ k}\Omega$).

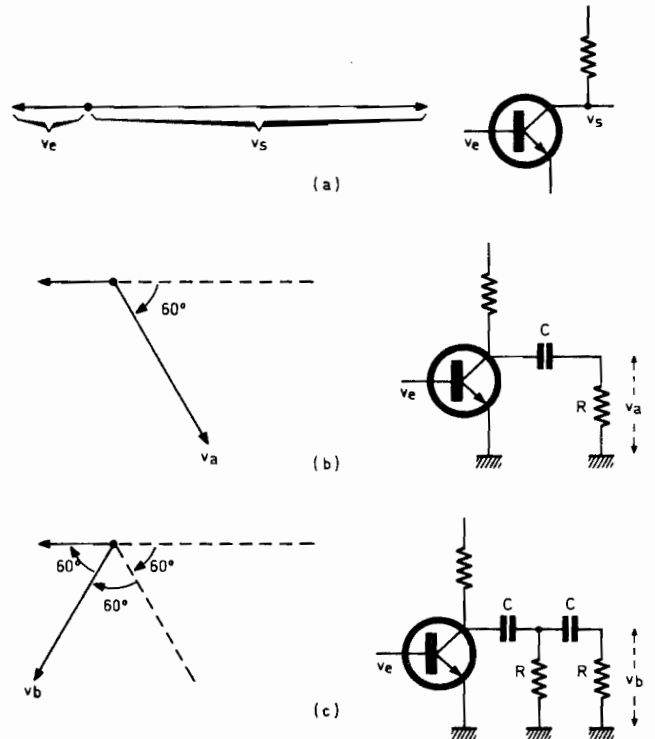


Fig. 7. - Comment s'effectue le déphasage de 180° dans un oscillateur RC.

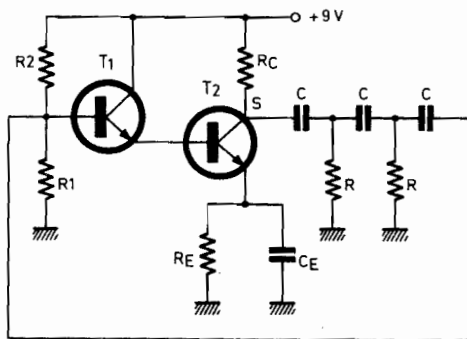


Fig. 9. - Version améliorée de l'oscillateur RC ($T_1 = T_2 = \text{BC140}$; $R_C = 1 \text{ k}\Omega$; $R_1 = R_2 = 20 \text{ k}\Omega$; $R_E = 2,2 \text{ k}\Omega$; $C_E = 100 \mu F$).

sortie du filtre à l'entrée du transistor. La résistance du dernier filtre est réalisée par l'ensemble de R_1 et R_2 (en parallèle du point de vue alternatif). Le calcul des éléments de l'amplificateur ne présente pas de difficultés. L'amplificateur étant équivalent à un générateur de résistance interne à peu près égale à la valeur de R_c , cette résistance doit être faible par rapport à la valeur de R .

Une autre version est représentée sur la figure 10. La disposition des résistances et des condensateurs du filtre est différente. Le courant de polarisation de base traverse les trois résistances R . L'ensemble des deux transistors ayant un gain très élevé (égal au produit du gain de chacun), le courant I_B est très faible,

d'où une chute de tension négligeable aux bornes des résistances R . L'ensemble R_1 et R_2 (en parallèle en alternatif) doit avoir une valeur élevée pour ne pas court-circuiter les composants du réseau. La formule pour le calcul des éléments du filtre de ce montage est un peu différente de la première :

$$C = \frac{\sqrt{6}}{6,28 \times F \times R}$$

soit la formule pratique :

$$C (\mu F) = \frac{390}{F(\text{Hz}) \times R(\text{k}\Omega)}$$

Oscillateur RC à fréquence variable

Ce type d'oscillateur présente un intérêt certain pour obtenir des tensions

BF de fréquence fixe sans distorsion. Le circuit se complique un peu si l'on veut une variation continue de la fréquence. Plusieurs solutions sont possibles, comme par exemple en utilisant trois potentiomètres disposés sur le même axe, ou encore un condensateur variable à trois cages pour le schéma représenté figure 10.

La plage de variation est toutefois étroite, et l'amplitude des oscillations n'est pas constante en fonction de la fréquence.

On peut également penser à remplacer les condensateurs par des diodes varicap dont on ferait varier la polarisation, mais le schéma se complique quelque peu. La figure 11 montre le réseau RC dans un tel

oscillateur. Les condensateurs C_D de découplage doivent avoir une forte valeur par rapport à la capacité de la varicap. Les résistances R_p de polarisation auront également une valeur élevée. Les diodes varicap sont polarisées en inverse (tension positive sur leur cathode) et leur variation de capacité est assez faible.

Une autre possibilité, pour faire varier la fréquence, est de placer en série avec chaque résistance R du filtre une diode dont on fait varier la polarisation (fig. 12). En effet, la résistance interne de la diode varie d'une valeur très élevée (pour une tension de polarisation voisine de zéro) à une valeur faible (lorsque la tension est proche de 0,6 V).

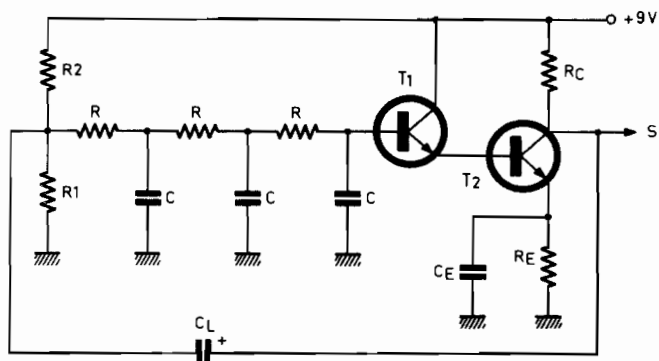


Fig. 10. — Autre version de l'oscillateur RC ($R_1 = R_2 = 100 \text{ k}\Omega$). Le condensateur de liaison C_L doit avoir une forte valeur par rapport à C .

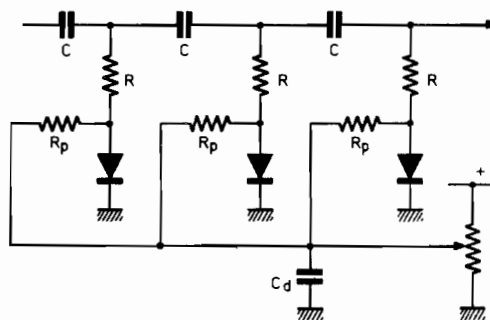


Fig. 12. — La résistance directe des diodes modifie la fréquence du filtre.

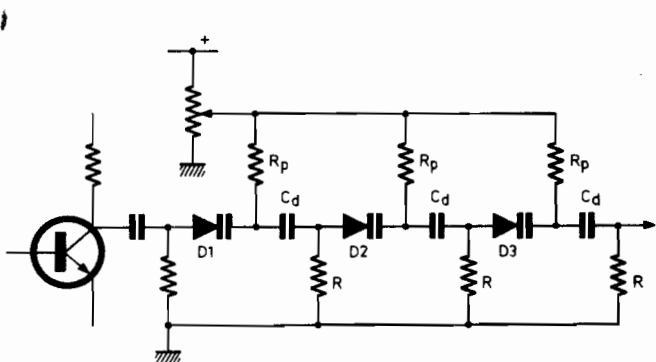


Fig. 11. — Les trois condensateurs de réseau sont remplacés par des varicaps.

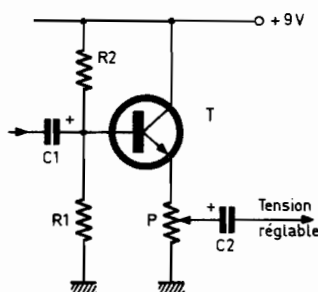


Fig. 13. — Câblé à la sortie de l'oscillateur, le montage CC permet de se servir du signal généré sans le perturber ($T = \text{BC140}$ ou similaire ; $P = 1 \text{ k}\Omega$; $R_1 = R_2 = 33 \text{ k}\Omega$; $C_1 = 2 \mu\text{F}$; $C_2 = 22 \mu\text{F}$).

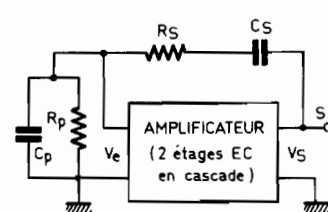


Fig. 14. — Schéma de principe de l'oscillateur Pont de Wien.

Tension de sortie réglable

Connecté au point S des schémas des figures 9 et 10, un transistor monté en collecteur commun permet d'utiliser l'oscillateur comme générateur basse fréquence. Le transistor est un circuit tampon, de telle sorte que l'utilisation n'a pas d'influence sur l'oscillation. Le niveau de sortie est réglable à l'aide du potentiomètre P (fig. 13).

Oscillateur Pont de Wien

C'est un oscillateur RC basé sur un autre principe et dont l'avantage est que sa variation de fréquence est plus facilement obtenue. L'oscillateur Pont de Wien se compose essentiellement de deux étages à transistor (l'un est amplificateur, le second ramène le déphasage total à 0°) et d'un réseau résistance-capacité reliant la sortie à l'entrée, tout en favorisant une certaine fréquence (schéma de la fig. 14).

Ce réseau RC est un diviseur de tension dont le rapport varie avec la fréquence. En regardant la figure 15, on s'aperçoit que pour une fréquence très

basse, proche du continu, la tension V_e ramenée à l'entrée est vraiment très faible (C_s ayant une réactance très élevée). Pour les fréquences beaucoup plus hautes, la tension V_e a également une petite amplitude, puisque C_p agit comme un court-circuit à ces fréquences.

Entre ces deux cas extrêmes, la transmission de la sortie vers l'entrée est favorisée pour une fréquence F égale à :

$$\frac{1}{6,28 \times R \times C}$$

(avec $R = R_p = R_s$ et $C = C_p = C_s$). On imagine que cette fréquence doit être assez floue. Pour qu'il y ait entretien de l'oscillation, les calculs donnent une valeur de gain égale à 3. La partie amplificatrice de cet oscillateur devra donc avoir cette valeur, sans trop la dépasser, afin d'éviter les distorsions. Un schéma est donné figure 16. On remarque un circuit apportant une réaction négative de la sortie vers l'entrée : un potentiomètre, monté en résistance variable, relie le collecteur du dernier étage à l'émetteur du premier. Le réglage du potentiomètre a pour rôle de doser le gain pour être à la limite de l'accrochage. Le circuit RC étant

peu sélectif, un fort taux de réaction positive amènerait, non seulement une forte distorsion du signal d'oscillation, mais également une fréquence d'oscillation assez loin de la valeur recherchée. Certains schémas comportent une thermistance en série avec le potentiomètre de contre-réaction. Ce composant a pour but d'obtenir une tension d'amplitude constante en sortie. Une thermistance a comme caractéristique de changer de valeur ohmique avec la température. La variation de celle-ci peut être due, soit à un changement de l'environnement, soit au courant la traversant. Les thermistances peuvent être de deux types : à coefficient de température positive (CTP) ou à coefficient de température négatif (CTN). Ainsi dans le schéma, une augmentation du niveau de sortie crée un accroissement de courant dans la thermistance, d'où diminution de la résistance de celle-ci et augmentation de la contre-réaction négative, ce qui entraîne une diminution du gain global. Ces thermistances nécessitent un fort courant pour être efficaces. On préfère plutôt la remplacer par une petite ampoule pour lampe de poche (3,5-0,2 W) dont la

résistance augmente avec le courant. On la place alors en série avec la résistance d'émetteur du premier étage.

La variation de fréquence se fait en utilisant pour R_p et R_s un potentiomètre double sur même axe. On prendra comme valeur 10 k Ω , quant aux condensateurs C_p et C_s leur valeur est la même, elle est donnée par la formule :

$$C = \frac{10^6}{6,28 \times R \times F}$$

C étant en microfarad et F en Hertz.

Nous l'avons dit, l'amplification totale doit être faible. Les résistances d'émetteurs n'étant pas découplées, le gain de tension de chaque étage est égal à :

$$\frac{R_c}{R_e}$$

On pourra prendre $R_{E1} = R_{E2} = 1,5 \text{ k}\Omega$ et $R_{C1} = R_{C2} = 4,7 \text{ k}\Omega$, l'excès de gain sera réduit par réglage de la résistance variable de 20 k Ω .

J.-B.P.

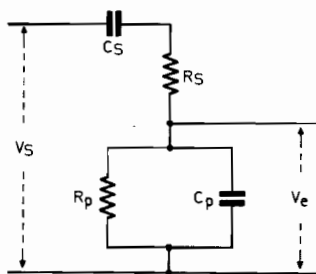


Fig. 15. - Circuit diviseur de l'oscillateur Pont de Wien.

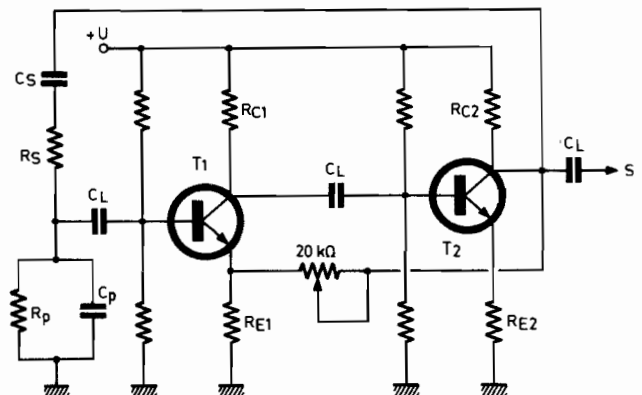


Fig. 16. - Schéma pratique d'un oscillateur Pont de Wien.