

LES CIRCUITS FONDAMENTAUX DE L'ELECTRONIQUE: LES OSCILLATEURS

OSCILLATEURS TYPE L.C.

Alors que, pour l'oscillateur à déphasage (« Phase shift ») et l'oscillateur en pont de Wien*, le quadripôle de réaction était constitué de composants résistifs et capacitifs, les oscillateurs de type LC ne font appel qu'à des éléments réactifs – capacités et inductances –, lesquels peuvent être assortis d'une inductance mutuelle. La configuration du circuit de réaction est précisée par son appellation, comme le montre la figure 1 qui représente divers quadripôles avec leur dénomination habi-

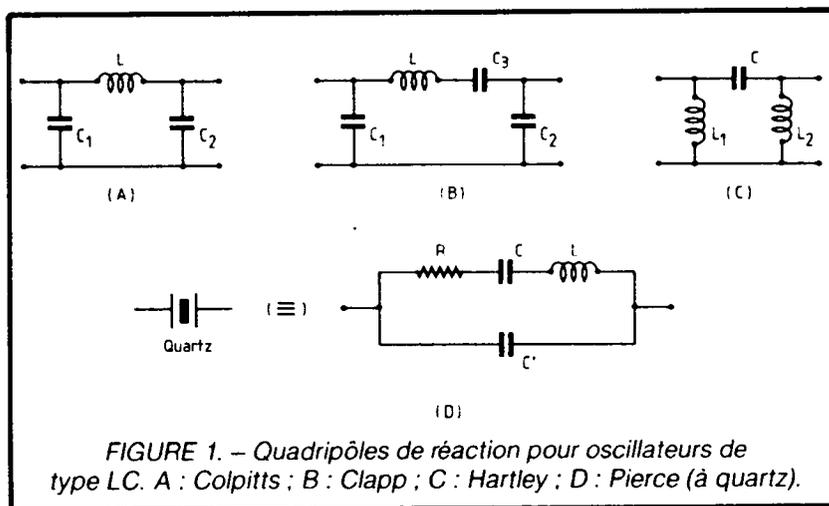


FIGURE 1. – Quadripôles de réaction pour oscillateurs de type LC. A : Colpitts ; B : Clapp ; C : Hartley ; D : Pierce (à quartz).

tuelle. Dans le cas de l'oscillateur à quartz – ou oscillateur Pierce –, on a toutefois affaire à un simple dipôle (figure 1D); par ailleurs, si le schéma fait état d'une résistance R, ce qui semble a priori en contradiction avec ce qui a été dit sur les oscillateurs de type LC, il faut bien comprendre que R

figure dans ce schéma équivalent au même titre que celles des résistances de fuite d'un condensateur ou d'une inductance. Nous nous intéresserons d'abord aux oscillateurs Colpitts et Hartley.

L'oscillateur Colpitts : principe

Une de ses représentations possibles est donnée figure 2. Le circuit utilisé est celui de la figure 1A qui constitue un circuit antirésonant; une fraction du courant circulant dans ce circuit est renvoyée vers la base du transistor au

travers de la capacité Γ (d'impédance négligeable) pour y provoquer une réaction positive.

En considérant la résistance d'émetteur R_e comme parfaitement découplée (C d'impédance négligeable, tout comme Γ) et, pour la self de choc, une impédance infinie, nous aboutissons au schéma simplifié de la figure 3 où C_1 , C_2 et L sont représentées par les impédances Z_1 , Z_2 et Z_3 respectivement.

L'oscillateur Hartley : principe

Le principe est celui de la figure 4. Nous avons ici encore un circuit antirésonant, et une fraction du courant cir-

* Numéros 1715 d'avril et 1716 de mai 1985.

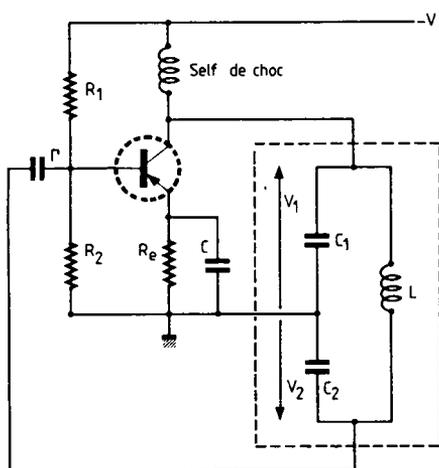


FIGURE 2. - Oscillateur Colpitts.

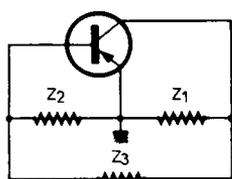


FIGURE 3
Oscillateur Colpitts :
schéma simplifié.

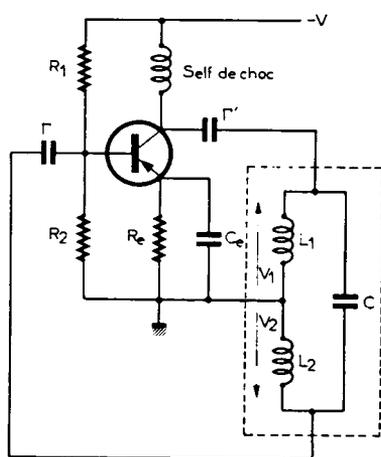


FIGURE 4. - Oscillateur Hartley.

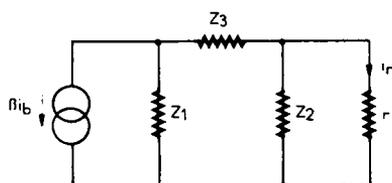


FIGURE 5
Schéma équivalent correspondant à la figure 3.

culant dans ce circuit est renvoyée vers la base du transistor à travers une capacité d'impédance négligeable (I') pour y provoquer une réaction positive.

Ici encore, on considérera la résistance d'émetteur comme parfaitement découplée, pour la self de choc une impédance infinie ; ajoutons pour I' une impédance nulle. On remarquera la similitude entre les figures 2 et 4 et, si nous désignons L_1 , L_2 et C par Z_1 , Z_2 et Z_3 , une identité parfaite avec le schéma simplifié de la figure 3.

Nous pourrions donc traiter l'oscillateur Colpitts et l'oscillateur Hartley à partir du même schéma équivalent.

Le schéma équivalent

Il prend l'aspect de la figure 5 en faisant les simplifications :

$$h_{12} = 0 ; h_{22} = 1/\rho = 0$$

et en posant :

$$h_{21} = \beta ; h_{11} = r$$

(R_1 et R_2 étant supposés beaucoup plus grands que r).

Nous appliquons le théorème de Thévenin à ce schéma équivalent pour transformer le générateur de courant (βi_b , Z_1) en générateur de tension ($-\beta i_b Z_1$, Z_1), ce qui conduit au schéma de la figure 6.

Une nouvelle transformation à gauche du pointillé de la figure 6 conduit à un autre générateur de tension (fig. 7) de f.e.m. e :

$$e = -\beta i_b Z_1 \cdot Z_2 / (Z_1 + Z_3 + Z_2) \quad (1)$$

et de résistance interne :

$$Z = Z_2(Z_1 + Z_3) / (Z_1 + Z_3 + Z_2) \quad (2)$$

Dans ces conditions, le courant i_r , qui circule dans r a pour valeur :

$$i_r = \frac{e}{Z + r}$$

soit, compte tenu de (1) et (2) :

$$i_r = \frac{-\beta i_b \cdot \frac{Z_1 Z_2}{Z_1 + Z_3 + Z_2}}{\frac{Z_2(Z_1 + Z_3)}{Z_1 + Z_3 + Z_2} + r}$$

$$i_r = \frac{-\beta i_b \cdot Z_1 Z_2}{Z_2(Z_1 + Z_3) + r(Z_1 + Z_3 + Z_2)} \quad (3)$$

Si Z_1 , Z_2 et Z_3 sont des réactances pures, nous pouvons poser :

$$Z_1 = jX_1 ; Z_2 = jX_2 ; Z_3 = jX_3$$

et (3) devient :

$$\frac{i_r}{i_b} = \frac{\beta X_1 X_2}{-X_2(X_1 + X_3) + j(X_1 + X_2 + X_3)r} \quad (4)$$

Pour que le système puisse osciller (critère de Barkhausen), il faut et il suffit :

1. que le terme imaginaire de (4) soit nul, soit :

$$X_1 + X_2 + X_3 = 0 \quad (5)$$

2. que $(i_r/i_b) \geq 1$, ce qui entraîne pour (4), en prenant (5) en compte :

$$\frac{\beta X_1 X_2}{-X_2(X_1 + X_3)} = \frac{\beta X_1}{-(X_1 + X_3)}$$

$$= \beta \cdot \frac{X_1}{X_2} \geq 1 \quad (6)$$

(6) ne peut se concevoir que si X_1 et X_2 sont de même signe.

● Si X_1 et X_2 sont toutes deux positives, ce sont donc des inductances et, puisque d'après (5) :

$$X_3 = -(X_1 + X_2)$$

X_3 est négative : c'est une capacité, et nous avons affaire au montage Hartley.

● Si X_1 et X_2 sont toutes deux négatives, ce sont alors des capacités et, d'après (5), X_3 est alors positive : c'est une inductance, et le montage est du type Colpitts.

La fréquence d'oscillation est obtenue à partir de (5) :

● Pour le montage Hartley,

$$L_1\omega + L_2\omega - \frac{1}{C\omega} = 0$$

soit :

$$\omega^2 = \frac{1}{C(L_1 + L_2)} \text{ et } f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{C(L_1 + L_2)}}$$

● Pour le montage Colpitts :

$$L\omega = \frac{1}{C_1\omega} + \frac{1}{C_2\omega}$$

soit :

$$\omega^2 = \frac{C_1 + C_2}{LC_1C_2} \text{ et } f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{C_1 + C_2}{LC_1C_2}}$$

L'oscillateur Clapp

C'est une variante de l'oscillateur Colpitts, l'inductance L faisant place à une inductance L en série avec une capacité C . La réactance X_3 de ce circuit doit rester positive :

$$X_3 = L\omega - \frac{1}{C\omega}$$

même si l'on adopte pour C une valeur bien plus petite que C_1 et C_2 , ce qui est

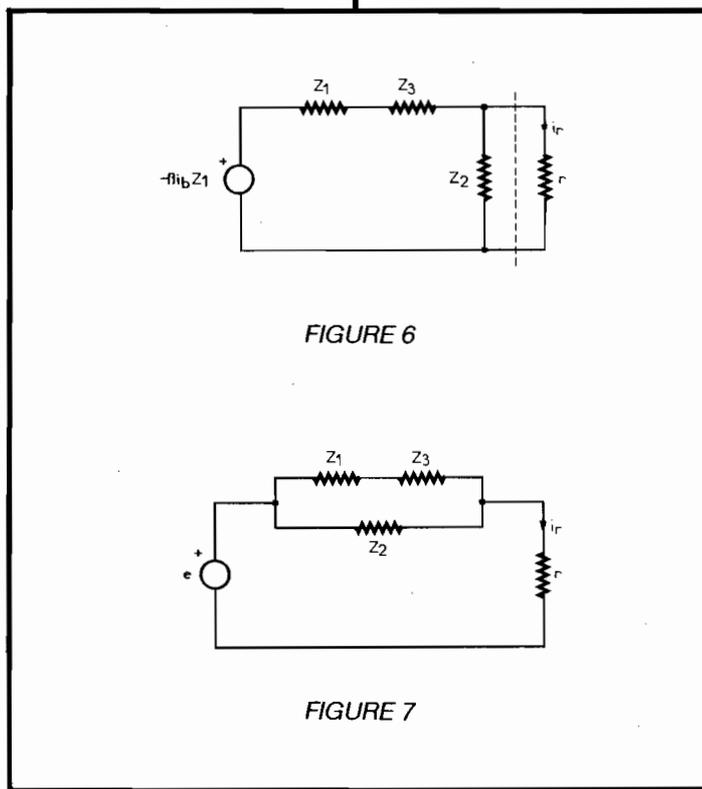


FIGURE 6

FIGURE 7

l'usage. Dans ces conditions, d'après (5) :

$$L\omega - \frac{1}{C\omega} = \frac{1}{C_1\omega} + \frac{1}{C_2\omega}$$

$$L\omega = \frac{1}{C_1\omega} + \frac{1}{C_2\omega} + \frac{1}{C\omega} \approx \frac{1}{C\omega}$$

ce qui signifie que, puisque $C \ll C_1$ et $C \ll C_2$, c'est essentiellement C qui contrôle la fréquence de l'oscillation, et les valeurs de C_1 et C_2 - qui fixent le taux de réaction - peuvent s'écarter de plusieurs dizaines de % de leur valeur nominale avec un effet négligeable sur f .

fréquences, il est tout à fait concevable de les utiliser avec des FET. Nous en verrons un exemple dans le prochain numéro, à propos de l'oscillateur à quartz.

C. PANNEL

Remarques

● S'agissant de l'oscillateur Hartley, les inductances L_1 et L_2 peuvent être constituées par un enroulement unique à prise avec couplage mutuel entre les deux fractions du bobinage.

● Ces types d'oscillateur étant en général utilisés dans le domaine des radio-

Bibliographie

- J. Millman : « Microelectronics ». 1979, MacGraw Hill éditeur.
- J. Fagot : « Emploi des tubes électroniques et des transistors ». 1964, Masson éditeur.
- A. Pelat : « Pratique de l'amplificateur opérationnel ». 1983, Masson éditeur.