

## 4.2. Principe d'un oscillateur à résistance négative

Le principe est de connecter une résistance négative à un circuit oscillant (LC, le cristal, ou résonateur à cavité) pour éliminer sa résistance équivalente des pertes, et créer un oscillateur sans pertes et sans amortissement. La condition d'oscillation est  $R=R_n$ .

A l'opposition d'une résistance positive, une résistance négative fournit de l'énergie.

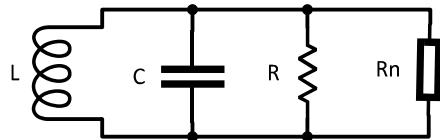


Figure 20 : Oscillation libre d'un circuit LC réel, où  $r$  représente les pertes dans le circuit.

Les oscillateurs à très haute fréquence sont souvent conçus en utilisant cette technique.

## 4.3. Réalisation d'une résistance négative

La caractéristique courant-tension de la diode tunnel présente une zone ( $V_1, V_2$ ) où l'augmentation de la tension aux bornes de la diode entraîne une diminution du courant la traversant. Ce qui correspond à une résistance différentielle négative.

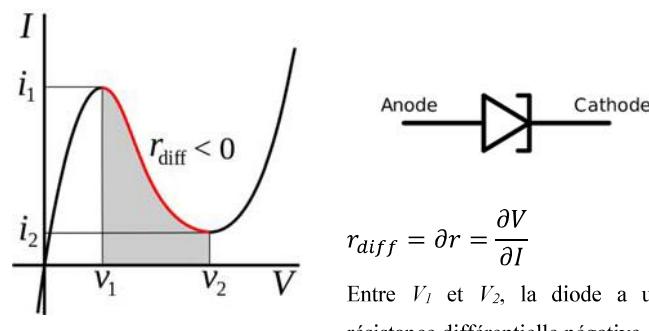


Figure 21 : Courbe caractéristique de la diode tunnel.

D'autres dispositifs actifs peuvent être utilisées pour réaliser une résistance négative comme : la diode gunn, l'amplificateur opérationnel, et les transistors dans certaines configurations en HF peuvent retourner de la puissance vers l'entrée en raison de la rétroaction interne, et donc présenter une résistance négative.

## 4.4. Exemple d'un oscillateur à diode tunnel

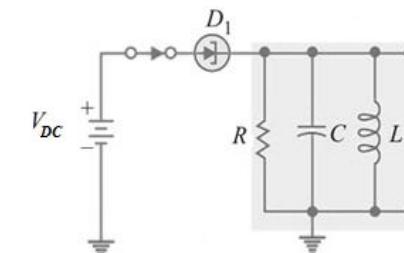


Figure 22 : Courbe caractéristique de la diode tunnel. Entre les tensions  $V_1$  et  $V_2$ .

Le circuit résonant est le circuit RLC parallèle. La résistance R inclut les pertes dans la capacité et la self. Elle sert à fixer le point de fonctionnement de la diode tunnel dans la région de résistance  $r_d$  négative.

En mode de fonctionnement dynamique, R devient en parallèle avec la résistance négative de la diode  $r_d$ .

On choisit  $R > |r_d|$ , ainsi la résistance équivalente ( $R/r_d$ ) est négative, ce qui va amplifier les oscillations avec une fréquence  $f_0 = 1/2\pi\sqrt{LC}$ , à partir d'un faible bruit.

L'amplitude des oscillations se stabilise quand elle atteint la limite de la région de résistance négative délimitée par ( $V_1, V_2$ ) sur la figure 22.

## 5. Oscillateur contrôlé en tension

### 5.1. Définition

L'oscillateur contrôlé en tension ou VCO (pour Voltage Controlled Oscillator) est un oscillateur électronique avec la possibilité de contrôler la fréquence de fonctionnement à l'aide d'une tension appliquée à son entrée.

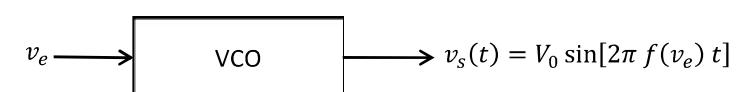


Figure 23 : Un bloc VCO.

Pour faire varier la fréquence d'oscillation en fonction d'une tension de commande, il suffit de faire varier la valeur d'un des composants dont dépend la fréquence.

## 5.2. La caractéristique fréquence/tension d'un VCO

Ci-dessous on donne la caractéristique de la fréquence de signal sinusoïdale de la sortie du VCO, en fonction de la tension appliquée à son entrée.

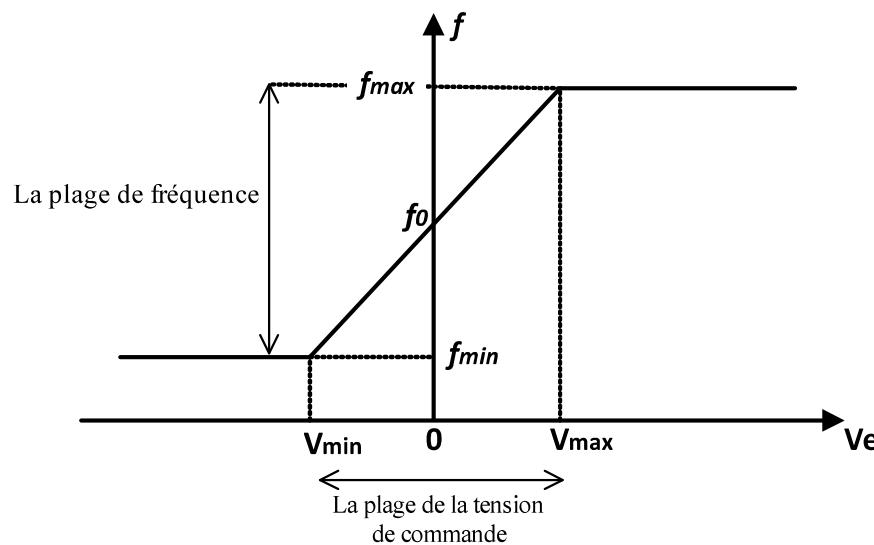


Figure 24 : La caractéristique fréquence/tension d'un VCO.

À partir de cette caractéristique, on exprime de la fréquence instantanée :

$$f(t) = f_0 + K \cdot V_e(t) \quad \text{Avec : } K = \frac{\partial f}{\partial V}$$

On définit :

**Fréquence centrale (de repos) :** C'est la fréquence de fonctionnement du VCO quand aucune tension n'est appliquée à son entrée ou si  $V_e=0$ .

**Fréquence minimale ( $f_{min}$ ) :** Correspond au minimum possible de tension  $V_e$ .

**Fréquence maximum ( $f_{max}$ ) :** Correspond au maximum possible de tension  $V_e$ .

**La plage de fonctionnement en fréquence :** C'est la plage délimitée par  $f_{max}$  et  $f_{min}$ . Cette plage correspond à la plage de commande en tension.

**La linéarité du VCO :** On dit que le VCO est linéaire si sa fréquence de sortie varie linéairement avec  $V_e$  dans la plage de fonctionnement. Donc si  $K$  est constant.

## 5.3. La diode à capacité variable

Une diode à capacité variable ou diode varicap est un type de diode qui présente la particularité de se comporter comme une capacité dont la valeur varie avec la tension inverse appliquée à ses bornes.

L'ordre de grandeur de la capacité est de l'ordre de 10 à quelque 100pF.



Figure 25 : Symbole de la diode varicap.

Lorsque la diode varicap est polarisée en inverse (sens bloqué), elle fonctionne comme un condensateur dont la capacité est ajustable en fonction de la tension inverse (négative) appliquée sur la diode.

La relation entre la capacité de la diode et la tension inverse est donnée par :

$$C(V) = \frac{C_0}{(1 + V/V_0)^n}$$

Avec :

- $C(V)$  : la capacité de la diode, quand une tension  $V$  est appliquée sur ses bornes.
- $V$  : la tension externe appliquée en inverse sur la diode.
- $C_0$  : la capacité de la diode quand la tension appliquée est nulle.
- $V_0$  : la tension interne de la jonction quand la tension appliquée est nulle.
- $n$  : donné par le constructeur.

## 5.4. Exemple d'un VCO à diode varicap

Il est possible d'utiliser la diode varicap comme capacité commandée dans le circuit de réaction d'un oscillateur. Ce qui rend la fréquence d'oscillation contrôlable par la tension appliquée sur la diode, d'où un VCO.

Dans le circuit de la figure 26, La diode varicap est polarisé en inverse par une source de courant continu.

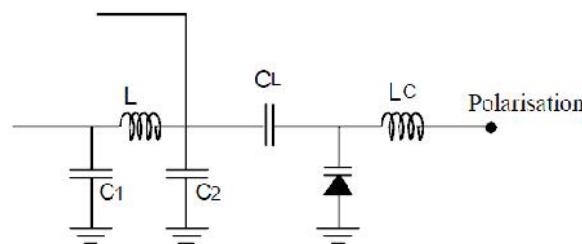


Figure 26 : L'utilisation de la diode varicap dans le circuit de réaction.

La capacité  $C_L$  sert à isoler l'oscillateur du courant continu de l'alimentation de la diode. La self  $LC$  est une self d'arrêt qui isole la source de tension du signal à haute fréquence de l'oscillateur.

Dans ce cas, la capacité de la diode  $C_d$  est en parallèle avec  $C_2$ , donc la capacité équivalente totale est  $C_1/(C_1 + C_d)$ . On prend  $C_1 = C_2$  et on considère que  $C_d \ll C_1$

$$C_{eq} = \frac{C_1(C_1 + C_d)}{C_1 + C_1 + C_d} \approx \frac{(C_1 + C_d)}{2}$$

La fréquence d'oscillation s'écrit alors :

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_{eq}}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{0.5L(C_1 + C_d)}}$$

En utilisant l'approximation  $(1 + x)^n \approx 1 + nx$ , pour  $x \ll 1$ . L'expression de la capacité de la diode varicap en fonction de la tension s'écrit :  $C_d(V) = C_0(1 - nV/V_0)$

On remplace  $C_d$  dans l'expression de la fréquence d'oscillation, on obtient :

$$f(V) = \frac{1}{2\pi\sqrt{0.5L[C_1 + C_0(1 - nV/V_0)]}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{0.5L(C_1 + C_0 - nC_0V/V_0)}}$$

$$f(V) = \frac{1}{2\pi\sqrt{0.5L(C_1 + C_0)\left(1 - \frac{nC_0}{V_0(C_1 + C_0)}V\right)}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{0.5L(C_1 + C_0)}} \left(1 - \frac{nC_0}{V_0(C_1 + C_0)}V\right)^{-0.5}$$

$$f(V) \approx \frac{1}{2\pi\sqrt{0.5L(C_1 + C_0)}} \left(1 + \frac{nC_0}{2V_0(C_1 + C_0)}V\right)$$

Donc la fréquence d'oscillation est de la forme :  $f(t) = f_0 + K \cdot V(t)$

$$\text{Avec : } f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{0.5L(C_1 + C_0)}} \quad \text{et} \quad K = \frac{nC_0f_0}{2V_0(C_1 + C_0)}$$

## 6. Simulation d'un oscillateur avec logiciels

Il est possible d'utiliser des logiciels pour simuler le fonctionnement des circuits électroniques en temps réel. Ça permet de tester et de vérifier le fonctionnement de circuit avant de passer à la réalisation.

« Proteus Design Suite » est un logiciel de conception assistée par ordinateur, il permet de faire la simulation de fonctionnement des circuits électroniques et le tracer des circuits imprimés.

La figure 27 présente un oscillateur Colpitts réalisé sur Proteus, en utilisant le transistor bipolaire (BC107).

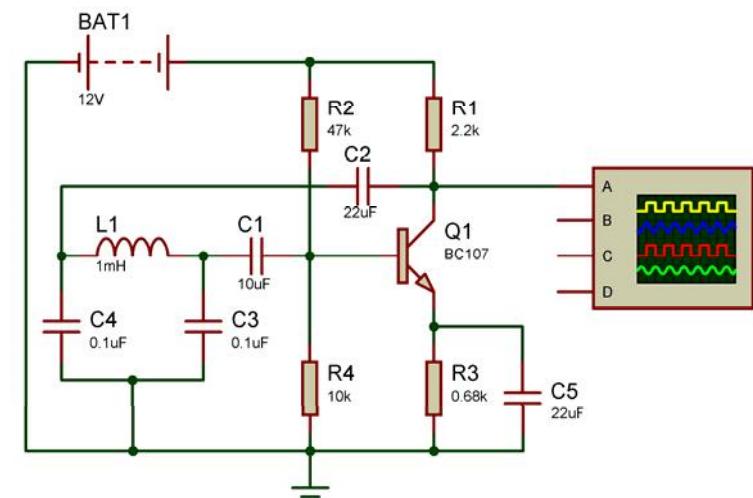


Figure 27 : La simulation d'un oscillateur Colpitts sur Proteus.

Le résultat de simulation de la sortie sur l'oscilloscope est montré sur la figure 28. On voit bien que le signal est sinusoïdal. Il est possible d'utiliser la base de temps de l'oscilloscope pour mesurer la fréquence de fonctionnement de circuit.



Figure 28 : Le résultat de simulation de l'oscillateur sur l'oscilloscope de Proteus.