Cours

FONCTIONS ELECTRONIQUES

email : nasser_baghdad @ yahoo.fr

FONCTIONS ELECTRONIQUES

Sommaire

Chapitre. IV

Les oscillateurs

Chapitre IV : Les oscillateurs

I. Généralités sur les oscillateurs sinusoïdaux

Chapitre IV : Les oscillateurs

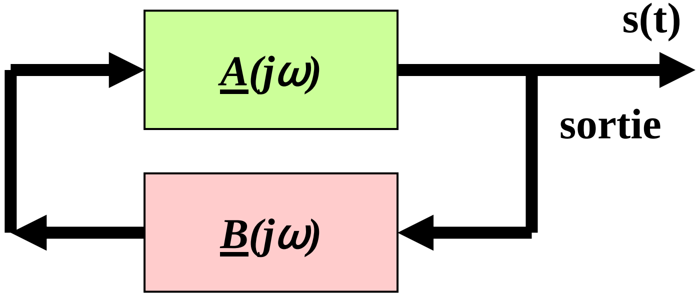
1°) Fonctionnement d'un oscillateur sinusoïdal

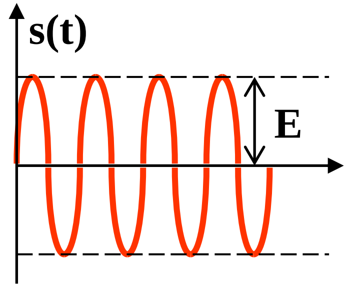
2°) Condition d'oscillation

3°) Démarrage et stabilisation de l'oscillation

Chapitre IV : Les oscillateurs

1°) Fonctionnement d'un oscillateur sinusoïdal

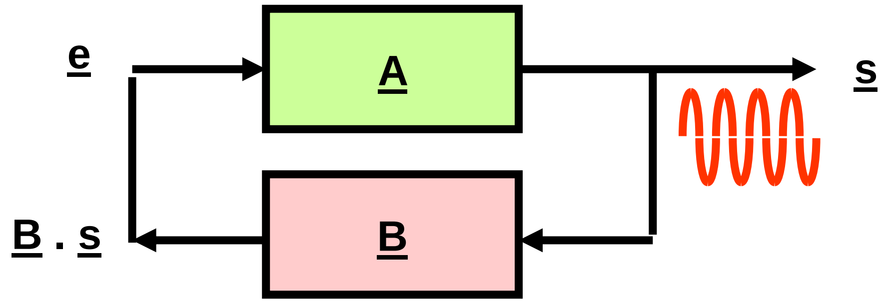




$$s(t) = E.\, \sin(\omega_0\, t)\ ,\ \omega_0 = 2\,\pi\, f_0$$

A est un circuit actif : amplificateur (milieu de gain)

B est un circuit passif : filtre (milieu de perte)



$$\underline{s} = \underline{A} \cdot \underline{e}$$

$$\underline{s} = \underline{A} \cdot \underline{B} \cdot \underline{S}$$

$$\underline{A} \cdot \underline{B} = 1$$

$\underline{A} \cdot \underline{B} = 1$ est la condition d'oscillation

Chapitre IV : Les oscillateurs

Discussion

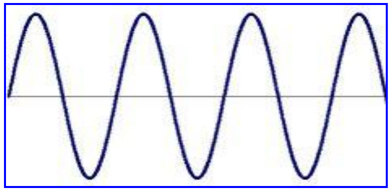
► Trois cas qui se présentent en général :

■ Le gain du circuit d'action compense les pertes du circuit de réaction ➔ oscillation. Cette condition ne peut être satisfaite que pour une seule f_0.

$$\underline{1^{er}\ cas}: \quad si \quad \underline{A}\cdot\underline{B}\cdot\underline{s}=\underline{s} \quad alors \quad \underline{A}\cdot\underline{B}=1$$

La compensation des pertes est exacte.

Oscillation sinusoïdale

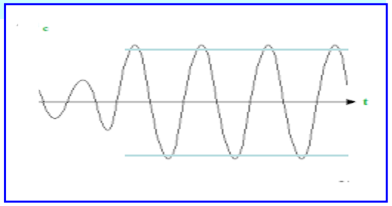


■ Un gain plus élevé entraînerait l'oscillation vers une saturation

$$\underline{2^{ème}\ cas}: \quad si \quad \underline{A}\cdot\underline{B}\cdot\underline{s}>\underline{s} \quad alors \quad \underline{A}\cdot\underline{B}>1$$

La compensation des pertes est plus que suffisante.

Oscillation qui tend vers la saturation

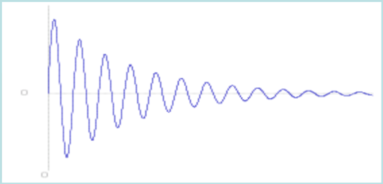


■ Un gain plus faible provoquerait l'arrêt des oscillations.

$$\underline{3^{ème}\ cas}: \quad si \quad \underline{A}\cdot\underline{B}\cdot\underline{s}<\underline{s} \quad alors \quad \underline{A}\cdot\underline{B}<1$$

La compensation des pertes est insuffisante.

Oscillation qui s'amortie



Chapitre IV : Les oscillateurs

2°) Condition d'oscillation

► Pour qu'un système bouclé oscille, il faut qu'il existe une fréquence f_0 ou une pulsation ω_0 pour laquelle le gain de boucle soit égal à 1:

$$\underline{T}(j\,\omega_0) = \underline{A}(j\,\omega_0)\,.\,\underline{B}(j\,\omega_0) = 1$$

C'est la condition d'entretien des oscillations
ou
Condition de Barkhausen

► Cette condition se traduit en pratique par deux conditions :

- sur la **phase** : $\phi_A + \phi_B = 0$

  La condition de phase permet le calcul de la fréquence d'oscillation

- sur le **module** : $A\,.\,B = 1$

  La condition de module assure l'entretien et la stabilisation de l'oscillation

Attention : ce n'est pas une condition d'amplitude

Chapitre IV : Les oscillateurs

3°) Démarrage et stabilisation de l'oscillation

Condition de démarrage : $A . B > 1$

A la mise sous tension l'oscillation se sature.

Contrôle manuel du gain : stabilisation fragile

Passage de : $A . B > 1$ à $A . B = 1$

Après réglage du gain, on obtient une sinusoïde dont la stabilité est fragile.

Moyen de contrôle manuel : Résistance

Thermistance :

- **CTP** Résistance à coefficient de température positif — $Si \quad T\uparrow \quad alors \quad R\uparrow$
- **CTN** Résistance à coefficient de température négatif — $Si \quad T\uparrow \quad alors \quad R\downarrow$

Potentiomètre : Résistance variable — $R\ variable \qquad R\downarrow ou\ R\uparrow$

Chapitre IV : Les oscillateurs

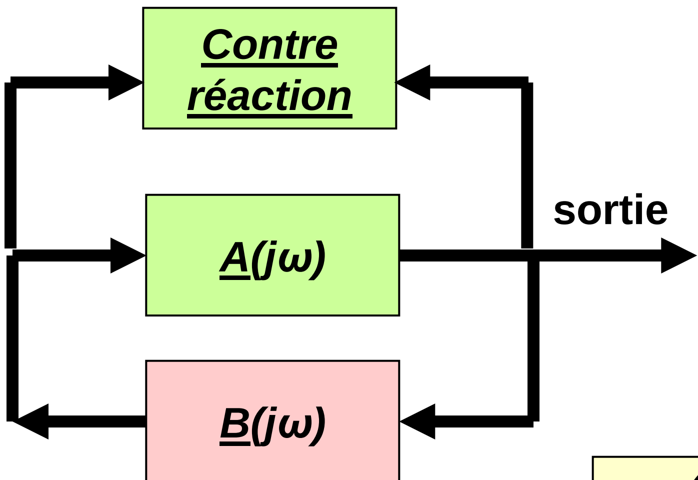
Contrôle automatique du gain : stabilisation

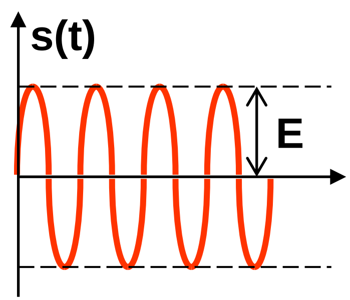
Passage de : $A \cdot B > 1$ à $A \cdot B = 1$

A la mise sous tension, si le montage est bien conçu, on obtient une jolie sinusoïde.

Il n'y a aucun réglage à faire, le signal sinusoïdal est propre et stable du premier coup.

Moyen de contrôle automatique : contre réaction





$$s(t) = E \cdot \cos(\omega_0 t) \ , \ \omega_0 = 2 \pi f_0$$

Satisfaction directe de : $A \cdot B = 1$

II. Oscillateurs à réaction BF

Chapitre IV : Les oscillateurs

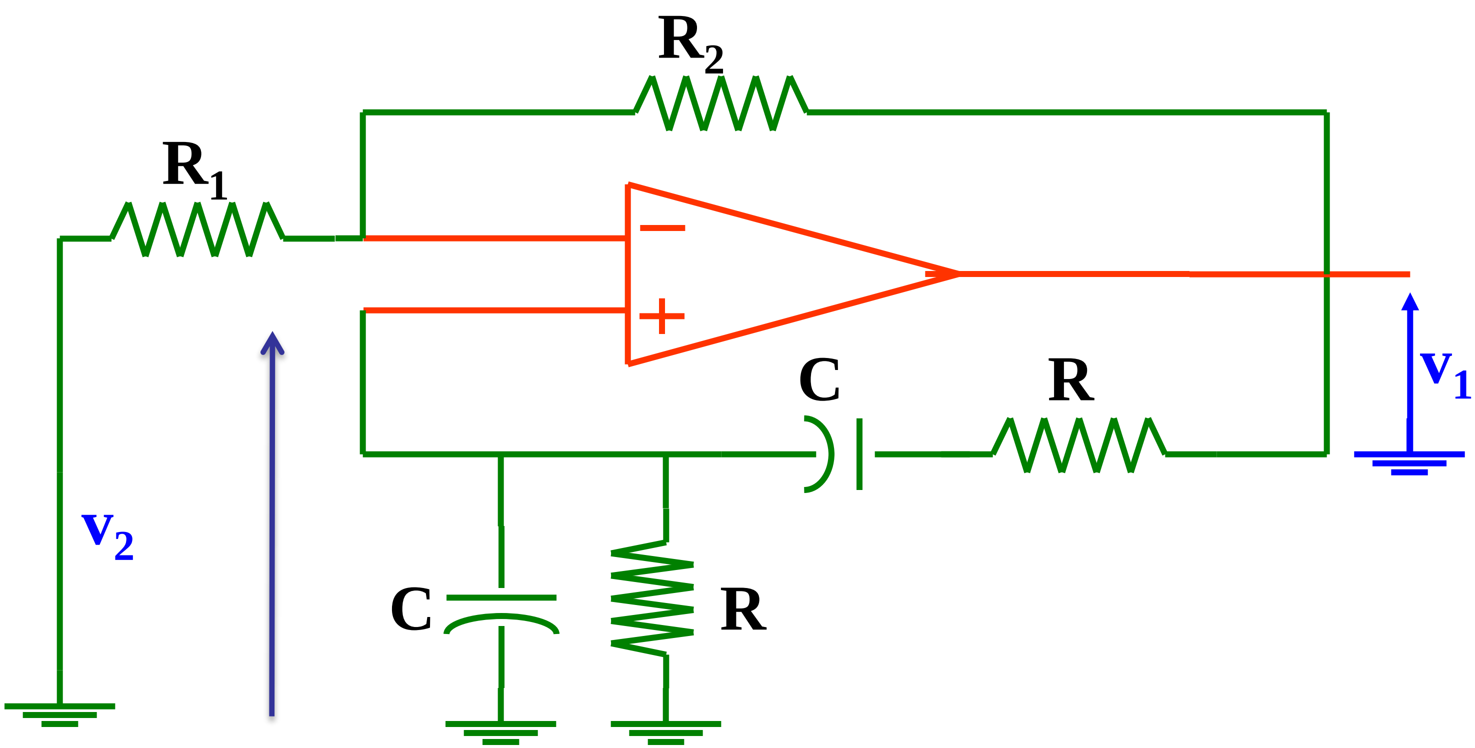
1°) Oscillateur à pont de Wien

2°) Oscillateur à réseau déphaseur

Chapitre IV : Les oscillateurs

1°) Oscillateur à pont de Wien

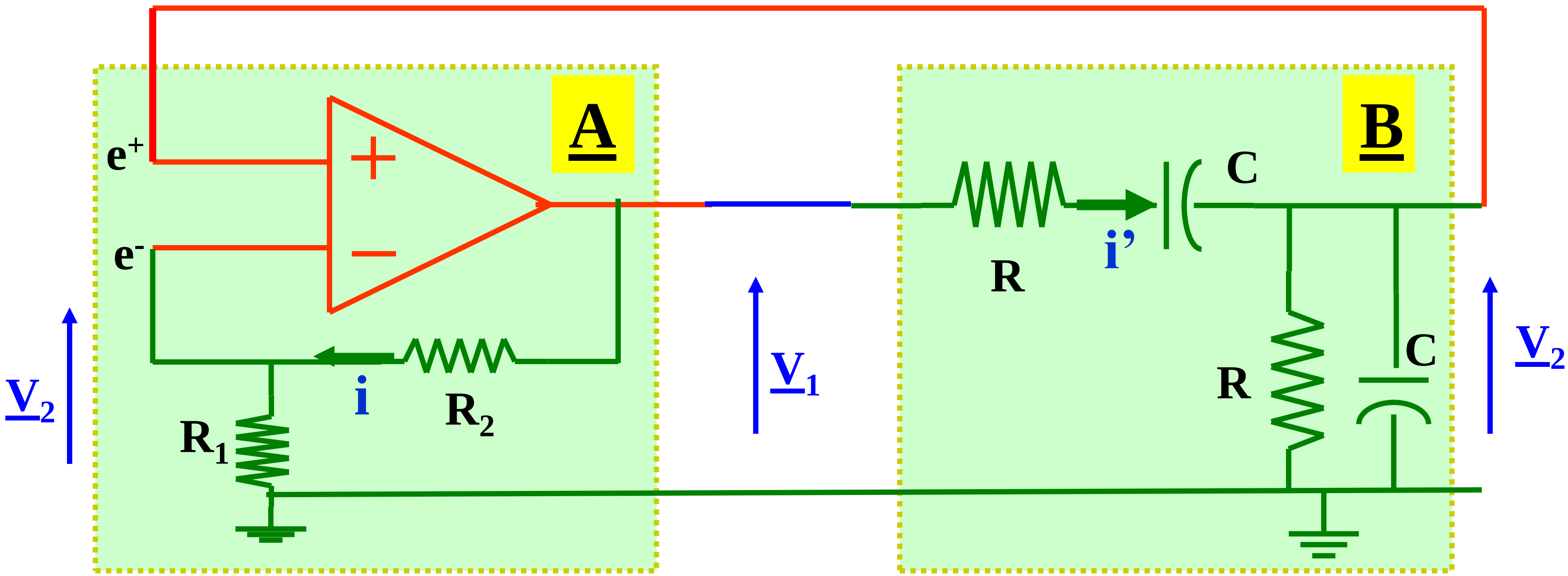
Montage oscillateur



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

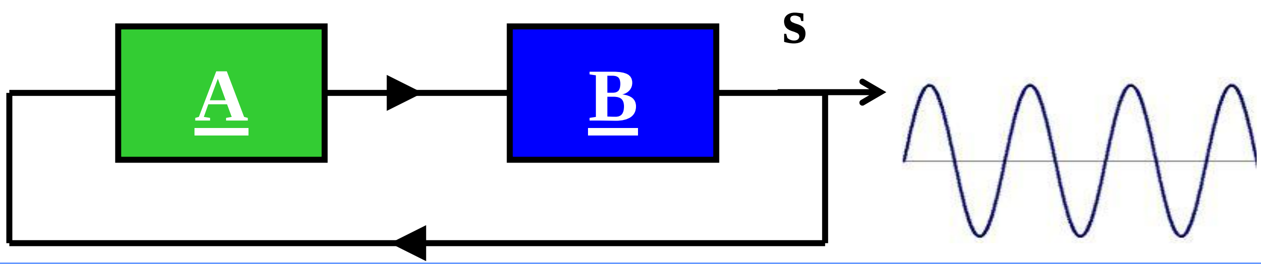
Chapitre IV : Les oscillateurs

Mise en évidence de la boucle de réaction



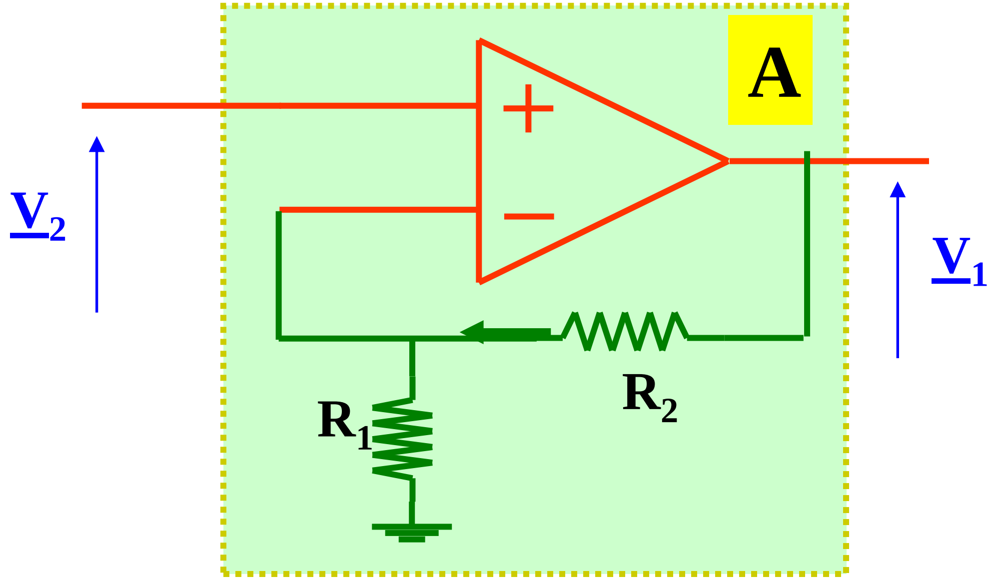
Amplificateur non inverseur

Filtre passif passe bande



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

Calcul de A de l'amplificateur

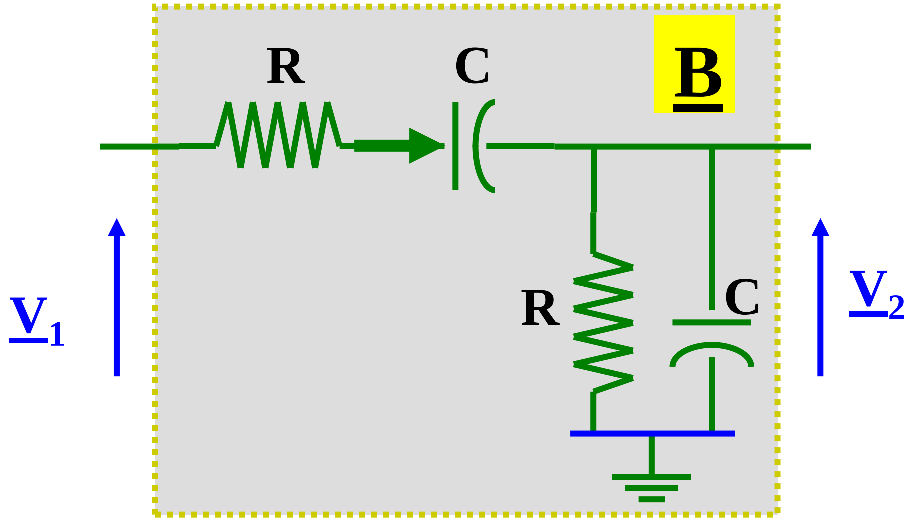


$$\underline{A} = \frac{\underline{v}_1}{\underline{v}_2} = A = 1 + \frac{R_2}{R_1} = G \cdot e^{j\varphi}$$

$$G = 1 + \frac{R_2}{R_1} \quad et \quad \varphi_A = 0 \quad \forall \ fréquence$$

Chapitre IV : Les oscillateurs

Calcul de B du filtre



$$\underline{v}_2 = \underline{v}_1 \frac{1}{1+\underline{y}_2 \cdot \underline{z}_1} = \underline{v}_1 \frac{1}{1+\left(\frac{1}{R}+jC\omega\right)\left(R+\frac{1}{jC\omega}\right)}$$

$$\underline{H} = \frac{\underline{v}_2}{\underline{v}_1} = \frac{1/3}{1+j\left(\frac{RC\omega}{3}-\frac{1}{3RC\omega}\right)} = \frac{H_0}{1+jQ\left(\frac{\omega}{\omega_0}-\frac{\omega_0}{\omega}\right)} = G' e^{j\varphi'}$$

$$G' = \frac{1/3}{\sqrt{1+\left(\frac{RC\omega}{3}-\frac{1}{3RC\omega}\right)^2}} = \frac{H_0}{\sqrt{1+Q^2\cdot\left(\frac{\omega}{\omega_0}-\frac{\omega_0}{\omega}\right)^2}}$$

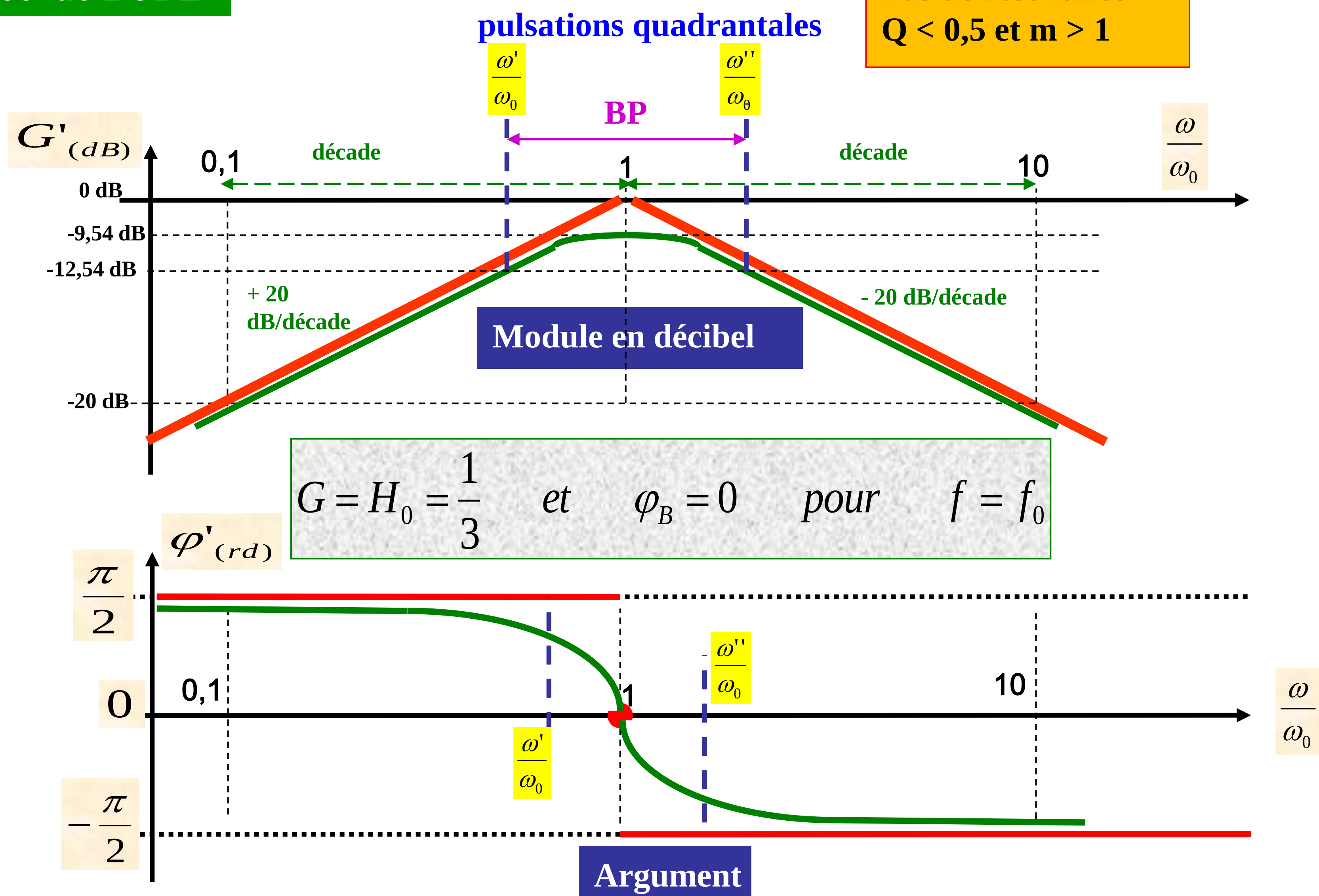
$$\varphi' = -arctg\left(\frac{RC\omega}{3}-\frac{1}{3RC\omega}\right) = -arctg\left(Q\cdot\left(\frac{\omega}{\omega_0}-\frac{\omega_0}{\omega}\right)\right)$$

$$H_0 = 1/3 \qquad \underbrace{Q = 1/3 < 0{,}5}_{pas\ de\ résonance} \qquad \underbrace{m = 3/2 > 1}_{pas\ de\ résonance} \qquad \omega_0 = \frac{1}{RC} \qquad f_0 = \frac{1}{2\pi RC}$$

Chapitre IV : Les oscillateurs

Tracé de BODE

Pas de résonance
Q < 0,5 et m > 1

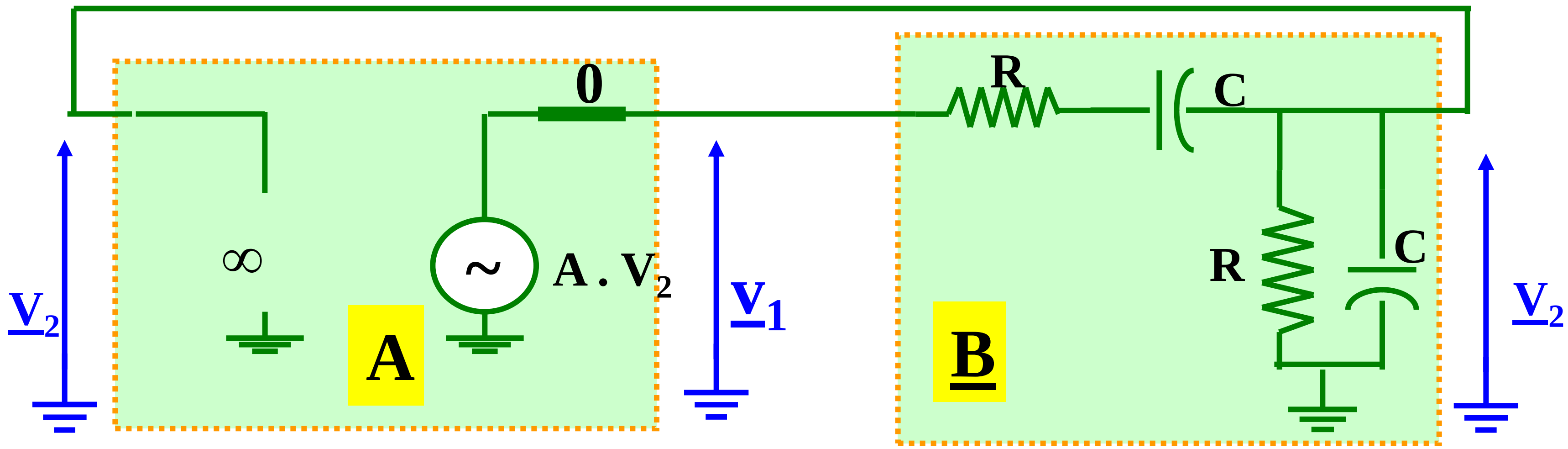


$$G = H_0 = \frac{1}{3} \quad et \quad \varphi_B = 0 \quad pour \quad f = f_0$$

Chapitre IV : Les oscillateurs

Mise en évidence de l'effet de couplage entre l'amplificateur et le filtre

Prise en compte des conditions de connexion et mise en évidence de l'effet de Z_E et Z_S sur la chaine de réaction



Amplificateur non inverseur

Réaction - Filtre de Wien

$$\underline{A} = \frac{\underline{v}_1}{\underline{v}_2} = 1 + \frac{R_2}{R_1} = A$$

$$\underline{B} = \frac{\underline{v}_2}{\underline{v}_1} = \frac{\frac{1}{3}}{1 + j\left(\frac{RC\omega}{3} - \frac{1}{3RC\omega}\right)}$$

Chapitre IV : Les oscillateurs

Transmit tance de la boucle : $\underline{T} = A \, . \, \underline{B}$

$$\underline{T} = \frac{\underline{v}_1}{\underline{v}_1} \qquad car \quad c'est\ une\ boucle$$

$$\underline{T} = \frac{\underline{v}_1}{\underline{v}_1} = \frac{\underline{v}_1}{\underline{v}_2} \cdot \frac{\underline{v}_2}{\underline{v}_1} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot \frac{1}{3 + j\left(R\,C\,\omega - \dfrac{1}{R\,C\,\omega}\right)} = A \cdot \underline{B}$$

$$\underline{T} = \frac{\underline{v}_2}{\underline{v}_2} \qquad car \quad c'est\ une\ boucle$$

$$\underline{T} = \frac{\underline{v}_2}{\underline{v}_2} = \frac{\underline{v}_2}{\underline{v}_1} \cdot \frac{\underline{v}_1}{\underline{v}_2} = \frac{1}{3 + j\left(R\,C\,\omega - \dfrac{1}{R\,C\,\omega}\right)} \cdot \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) = \underline{B} \cdot A$$

$$\boxed{\underline{T} = A \cdot \underline{B} = \underline{B} \cdot A}$$

Chapitre IV : Les oscillateurs

Critère de Barkhausen ou critère d'entretien

$$\underline{T} = 1 \quad \Leftrightarrow \quad \underline{A} \cdot \underline{B} = 1$$

Condition sur la phase :

$$\varphi_{\underline{T}}(f_0) = 0 \quad \Leftrightarrow \quad \varphi_A(f_0) + \varphi_{\underline{B}}(f_0) = 0$$

$$\varphi_{\underline{T}}(\omega_0) = 0 \quad si \quad partie\ imaginaire\ de\ \underline{T}\ est\ nulle \quad \Rightarrow \quad R\,C\,\omega_0 - \frac{1}{R\,C\,\omega_0} = 0$$

$$Soit : f_0 = \frac{1}{2\,\pi\,R\,C} \qquad alors : \quad \underline{T} = T = A \cdot B = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot \frac{1}{3} \qquad \begin{cases} A = 1 + \dfrac{R_2}{R_1} = cte\ \forall f \\ B(f_0) = \dfrac{1}{3} \end{cases}$$

Condition sur le module :

$$|\underline{T}| = T(f_0) = 1 \quad \Leftrightarrow \quad A(f_0) \cdot B(f_0) = 1$$

$$|\underline{T}| = T(f_0) = 1 \quad \Leftrightarrow \quad \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot \frac{1}{3} = 1 \quad \Rightarrow \quad A = 3 \quad et \quad 1 + \frac{R_2}{R_1} = 3$$

Chapitre IV : Les oscillateurs

$$1+\frac{R_2}{R_1}=3 \quad c-à-d \quad \frac{R_2}{R_1}=2$$

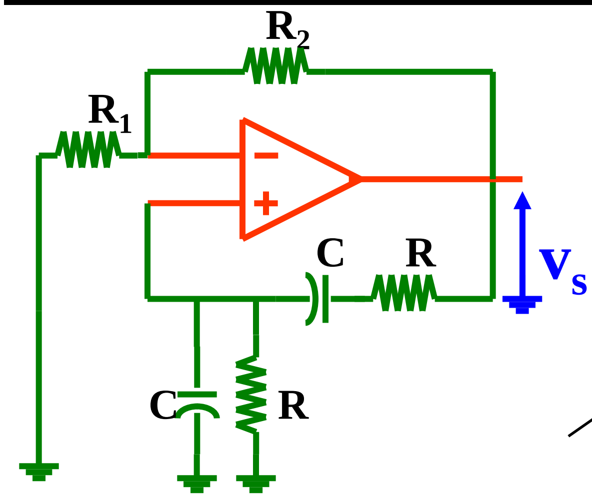
Condition de démarrage des oscillations :

$$Il\ \ faut\ que: \quad \Rightarrow \quad A_{\min}=3 \quad et \quad \left(\frac{R_2}{R_1}\right)_{\min}=2$$

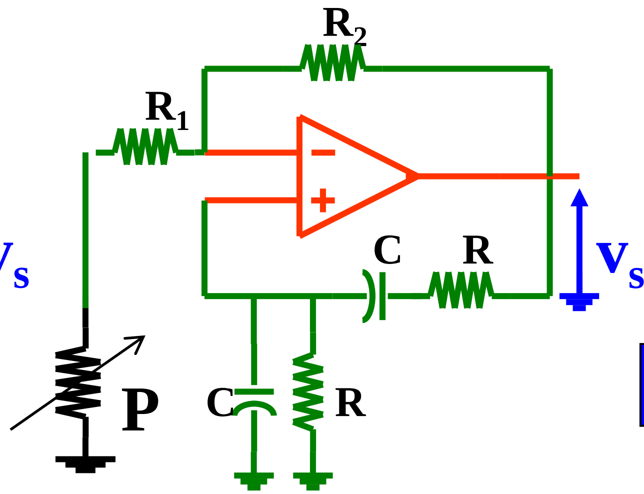
$$A>3 \quad soit \quad \frac{R_2}{R_1}\rangle 2$$

Chapitre IV : Les oscillateurs

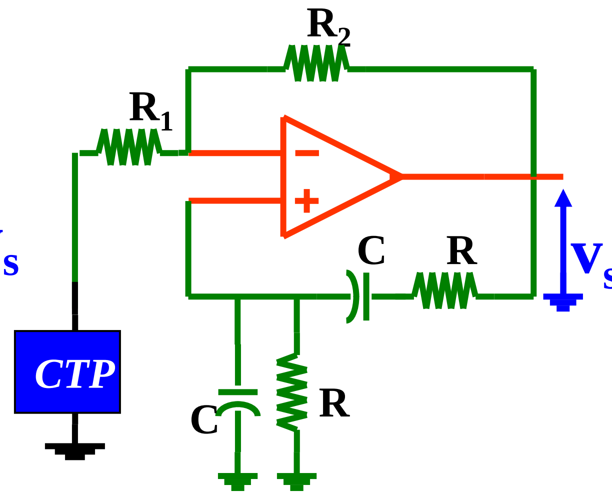
Contrôle manuel du gain



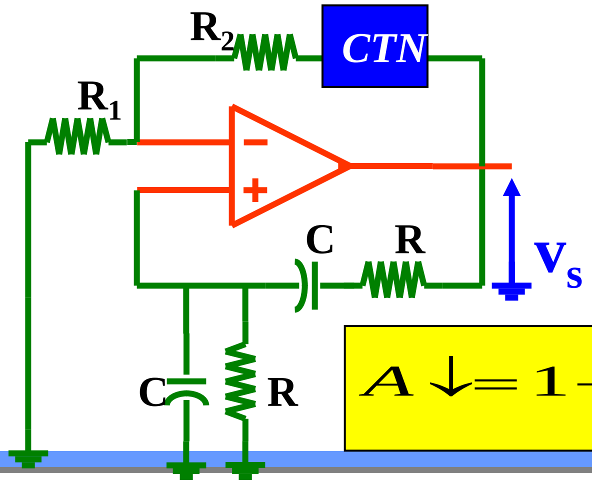
$$A = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$



$$A \uparrow ou \downarrow = 1 + \frac{R_2}{P + R_1}$$



$$A \downarrow = 1 + \frac{R_2}{CTP + R_1}$$



$$A \downarrow = 1 + \frac{R_2 + CTN}{R_1}$$

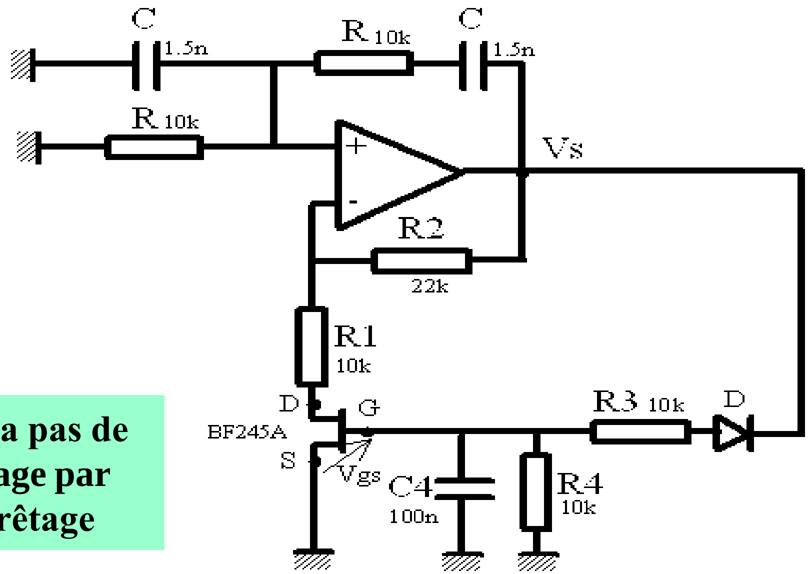
Contrôle automatique du gain

Régulation : CAG

- **la diode D associée à R3, R4 et C4 produit une tension grille négative qui augmente avec l'amplitude du signal de sortie: Vgs = K Vs**

- **la résistance Drain - Source du TEC dépend, dans la zone ohmique, de la tension grille Vgs et de la tension de pincement Vp selon la relation :**

$$R_{ds} = \frac{R_{ds_0}}{1 - \left|\frac{V_{gs}}{V_p}\right|} \quad \Rightarrow \quad \begin{cases} canal\ \ pincé : R_{ds} \approx \infty \\ canal\ ouvert : R_{ds} \approx R_{ds_0} \end{cases}$$



- **l'amplification s'écrit :**

$$A = 1 + \frac{R_2}{R_1 + R_{ds}}$$

Il n'y a pas de passage par l'écrêtage

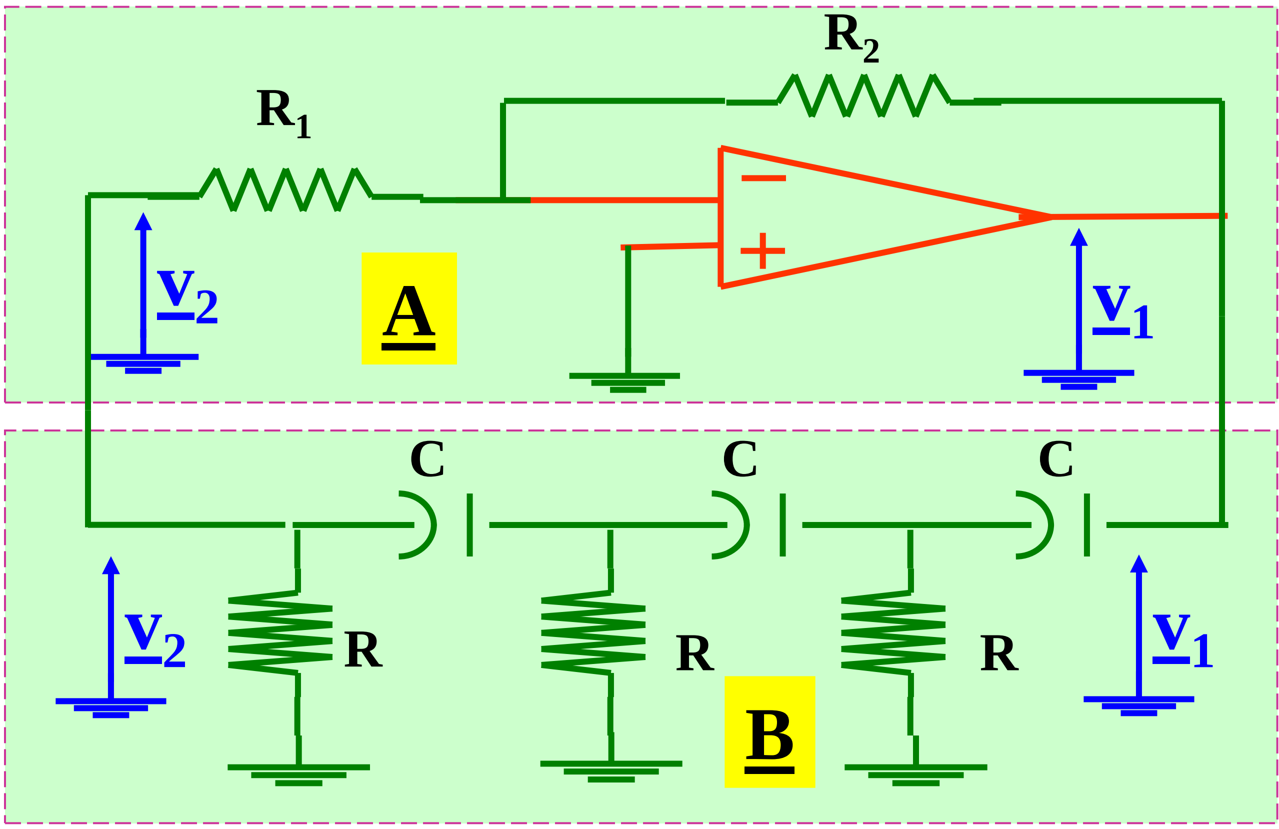
- **l'amplification diminue si le niveau de la tension de sortie Vs augmente car Rds augmente**
- **l'amplification augmente si le niveau de la tension de sortie Vs diminue car Rds diminue**

$$\underline{A}.\underline{B} > 1 \quad ou \quad \underline{A}.\underline{B} < 1 \quad \Rightarrow \quad \underline{A}.\underline{B} = 1$$

Chapitre IV : Les oscillateurs

2°) Oscillateur à réseau déphaseur

Montage oscillateur



Amplificateur inverseur

$R_1 // R \simeq R$

Réaction réseau déphaseur

$$f_0 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C \cdot \sqrt{6}}$$

Chapitre IV : Les oscillateurs

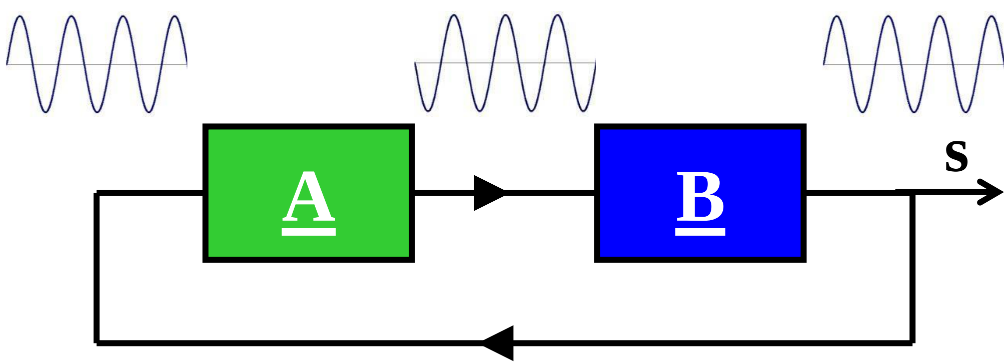
- Le <u>**réseau déphaseur**</u> constitué de 3 cellules RC introduit un déphasage de 180 °entre l'entrée et la sortie à la fréquence :

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

- L'atténuation du filtre vaut alors :

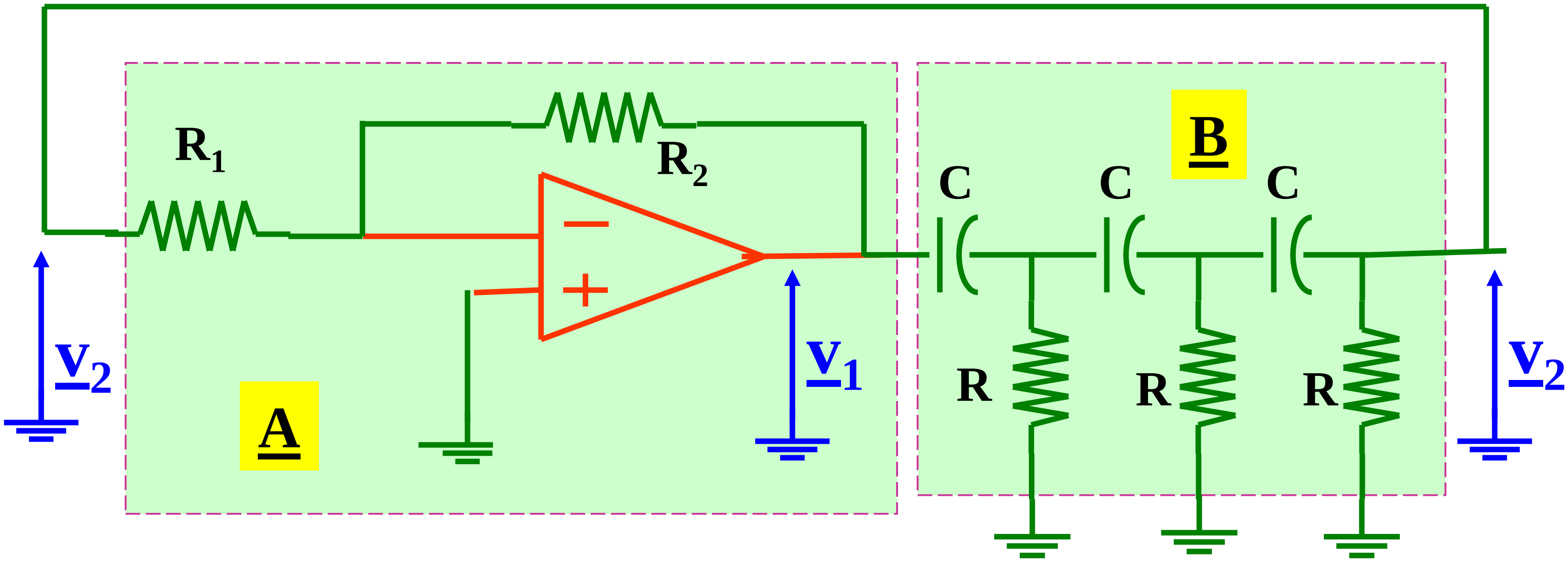
$$\underline{B}(f_0) = -\frac{1}{29} \quad \Rightarrow \quad B = \frac{1}{29}$$

- On pourra donc réaliser un oscillateur en associant ce réseau déphaseur à un amplificateur inverseur.

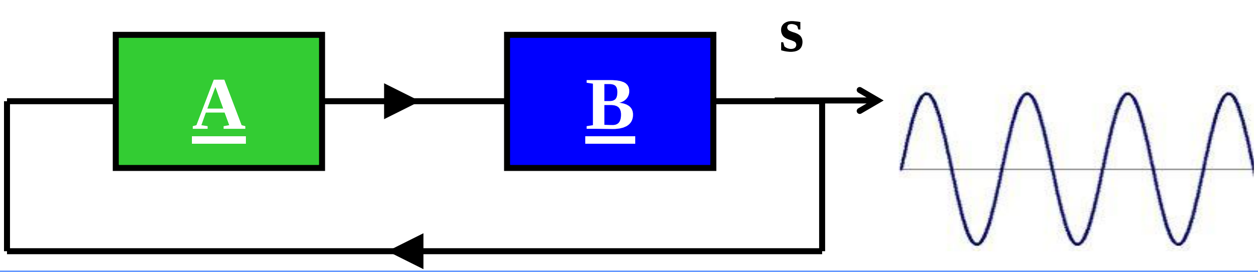


Chapitre IV : Les oscillateurs

Mise en évidence de la boucle de réaction

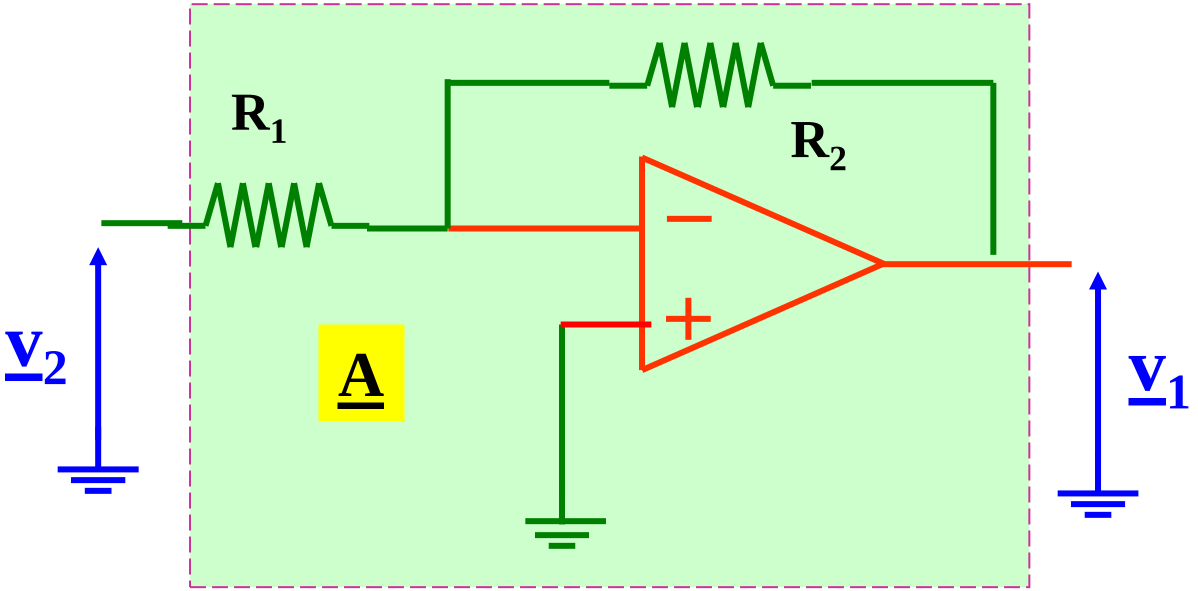


Oscillateur à réseau déphaseur



$$f_0 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C \cdot \sqrt{6}}$$

Calcul de A de l'amplificateur

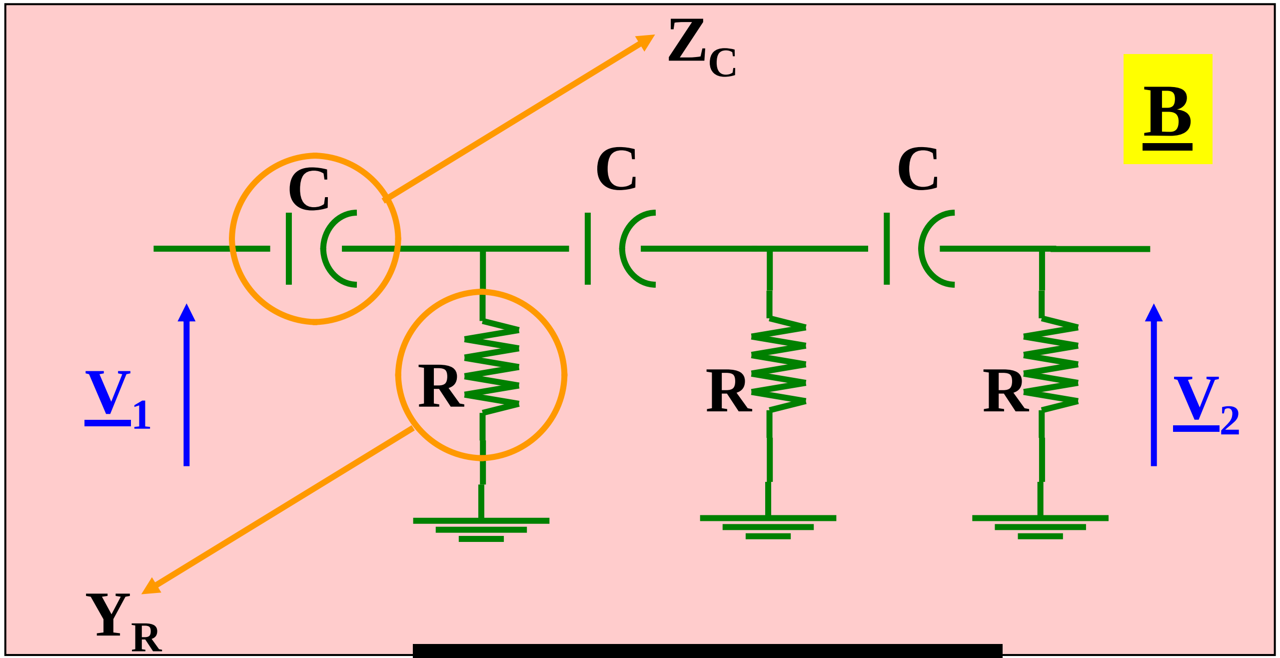


$$\underline{A} = \frac{\underline{v}_1}{\underline{v}_2} = -\frac{R_2}{R_1} = G \cdot e^{j\varphi}$$

$$G = \frac{R_2}{R_1} \qquad et \qquad \varphi = \pi \qquad \forall \;\; fréquence$$

Chapitre IV : Les oscillateurs

Calcul de B du filtre



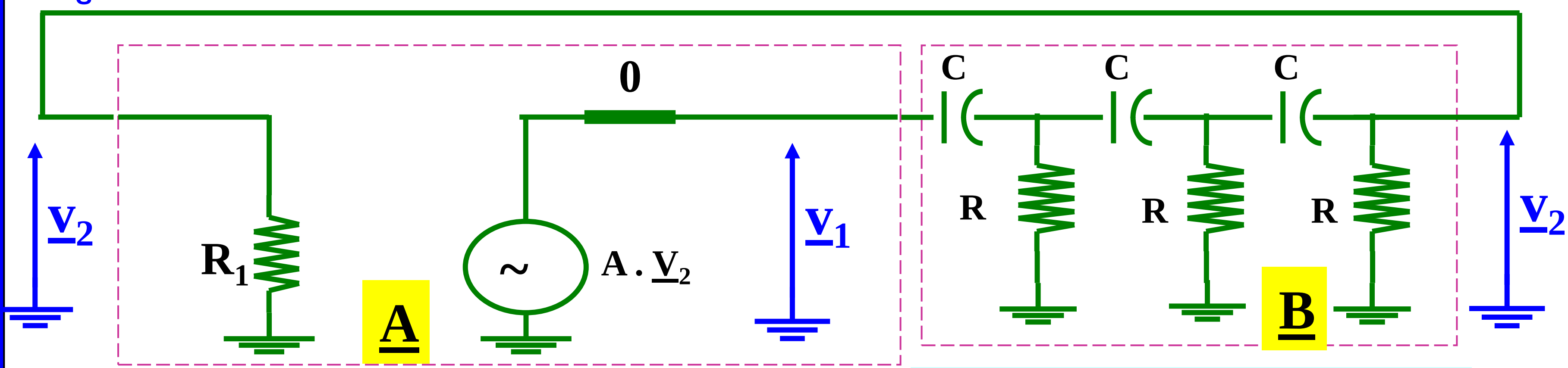
Réseau déphaseur

$$\underline{B} = \frac{\underline{v}_2}{\underline{v}_1} = \frac{1}{\underline{T}_{22}} = \frac{1}{1+6x+5x^2+x^3} \qquad avec \qquad x = Y_R \cdot Z_C = \frac{1}{jRC\omega}$$

Chapitre IV : Les oscillateurs

Mise en évidence de l'effet du couplage entre l'amplificateur et le filtre

Prise en compte des conditions de connexion et mise en évidence de l'effet dz Z_E et Z_S sur la chaine de réaction



Amplificateur inverseur

$$\underline{A} = \frac{\underline{v}_1}{\underline{v}_2} = -\frac{R_2}{R_1}$$

Réaction - Réseau déphaseur

$$\underline{B} = \frac{\underline{v}_2}{\underline{v}_1} = \frac{1}{1+5x^2+x\left(6+x^2\right)}$$

R_1 // R $\underline{\sim}$ R

prise en compte du couplage

<u>Hypothèse :</u> Prise en compte de l'effet de R_1
$\underline{B}$ reste donc inchangé

R = 1,3 kΩ et R_1 = 13kΩ

Chapitre IV : Les oscillateurs

Transmit tance de la boucle : T = A . B

$$\underline{T} = \frac{\underline{v}_1}{\underline{v}_1} = \underline{A} \cdot \underline{B} \quad ou \quad \underline{T} = \frac{\underline{v}_2}{\underline{v}_2} = \underline{B} \cdot \underline{A} \quad car \quad c'est\ une\ boucle$$

$$\underline{T} = -\frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{1}{1+5x^2+x\left(6+x^2\right)} = \underline{A} \cdot \underline{B} \quad avec \quad x = \frac{1}{jRC\omega}$$

$$\underline{T} = -\frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{1}{1-5\frac{1}{(RC\omega)^2} - j\frac{1}{RC\omega}\left(6-\frac{1}{(RC\omega)^2}\right)}$$

Chapitre IV : Les oscillateurs

Critère de Barkhausen ou critère d'entretien

$$\underline{T} = 1 \quad \Leftrightarrow \quad \underline{A} \cdot \underline{B} = 1$$

Condition sur la phase : $\varphi_{\underline{T}}(f_0) = 0 \quad \Leftrightarrow \quad \varphi_A(f_0) + \varphi_{\underline{B}}(f_0) = 0$

$$\varphi_{\underline{T}}(\omega_0) = 0 \quad si \quad \text{partie imaginaire de } \underline{T} \text{ est nulle} \quad \Rightarrow \quad 6 - \frac{1}{(R\,C\,\omega_0)^2} = 0$$

$$Soit : f_0 = \frac{1}{2\,\pi\,R\,C\,\sqrt{6}} \quad alors \quad \underline{T} = \underline{A} \cdot \underline{B} = \left(-\frac{R_2}{R_1}\right) \cdot \left(-\frac{1}{29}\right) = \frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{1}{29} = T \quad \begin{cases} \underline{A} = -\frac{R_2}{R_1} = cte \ \forall f \\ \underline{B}(f_0) = -\frac{1}{29} \end{cases}$$

Condition sur le module : $|\underline{T}| = T(f_0) = 1 \quad \Leftrightarrow \quad A(f_0) \cdot B(f_0) = 1$

$$|\underline{T}| = T(f_0) = 1 \quad \Leftrightarrow \quad \left(\frac{R_2}{R_1}\right) \cdot \frac{1}{29} = 1 \quad \Rightarrow \quad A = 29 \quad et \quad \left(\frac{R_2}{R_1}\right) = 29$$

Chapitre IV : Les oscillateurs

Condition de démarrage

$$Il\ \ faut\ que: \quad \Rightarrow \quad A_{\min} = 29 \quad et \quad \left(\frac{R_2}{R_1}\right)_{\min} = 29$$

$$A > 29 \quad soit \quad \frac{R_2}{R_1} > 29$$

III. Oscillateurs à réaction HF

Chapitre IV : Les oscillateurs

1°) Montage du principe de l'oscillateur HF

2°) Différentes structures d'oscillateurs HF

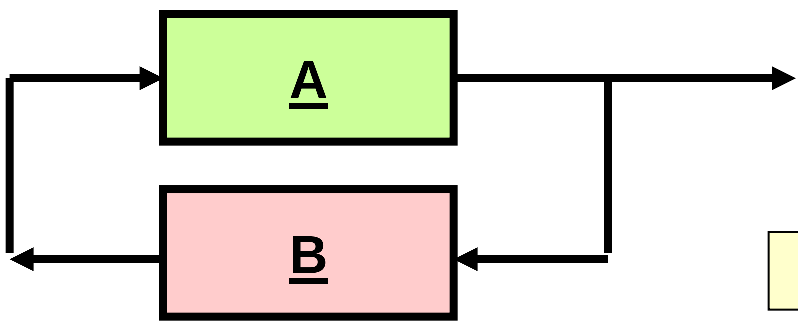
Chapitre IV : Les oscillateurs

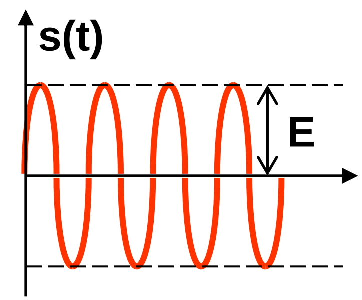
1°) Montage du principe de l'oscillateur HF

Principe de conception

► Oscillateurs HF à **réaction :**

- Amplificateur : Transistor TB ou TEC
- Filtre : cellules LC

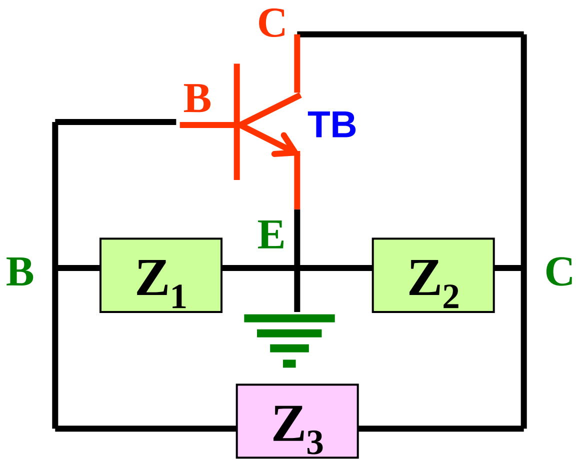




$$s(t) = E.\ \sin(\omega_0\ t)\ ,\ \omega_0 = 2\ \pi\ f_0$$

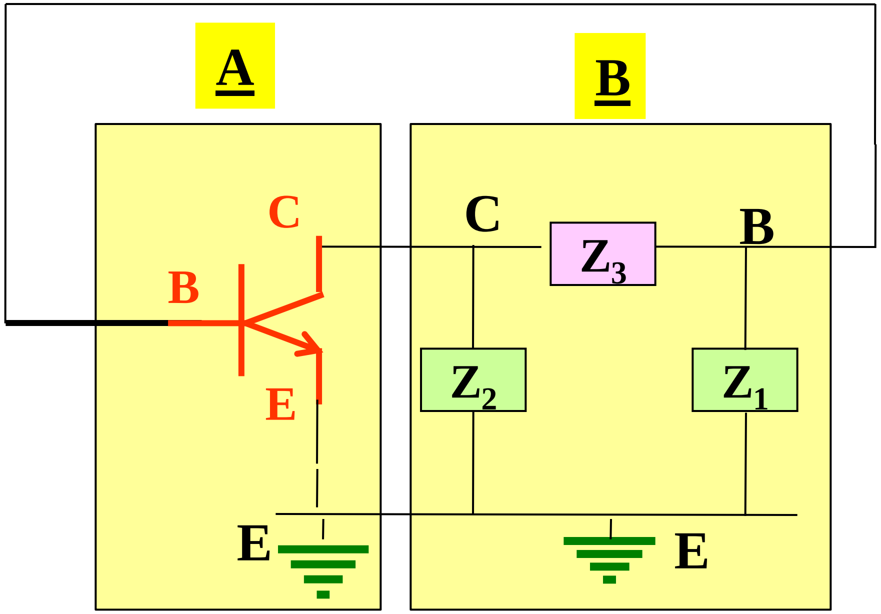
Chapitre IV : Les oscillateurs

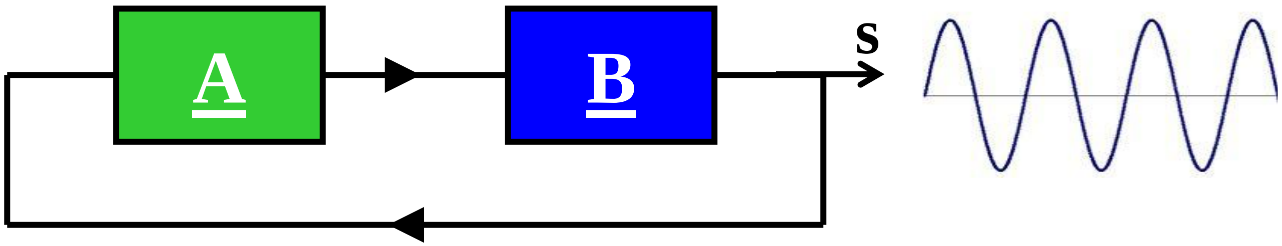
Structure de base



Oscillateur HF simplifié « sans polarisation »

Mise en évidence de la boucle

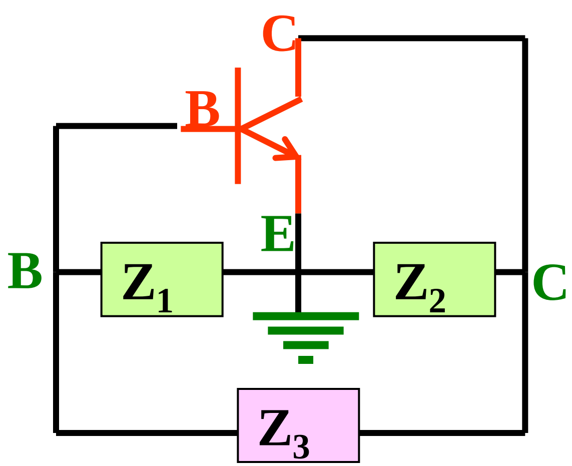




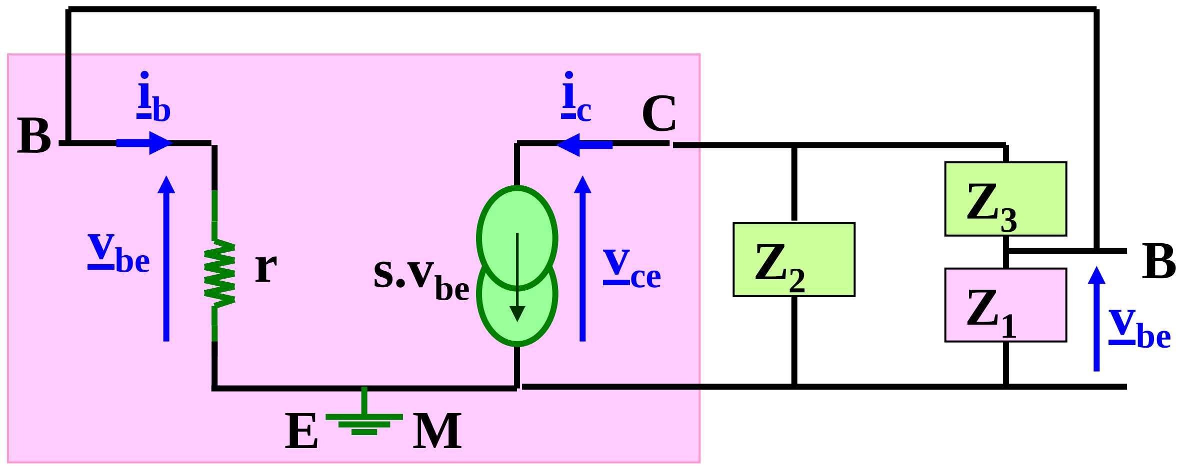
$$f_0 = ???$$

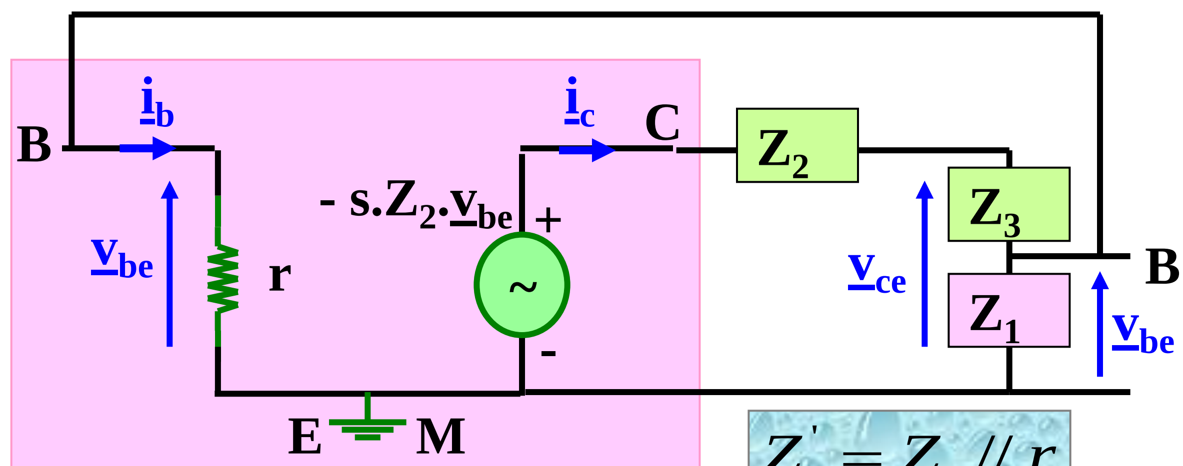
Chapitre IV : Les oscillateurs

Mise en évidence de couplage



Oscillateur HF à base du TB



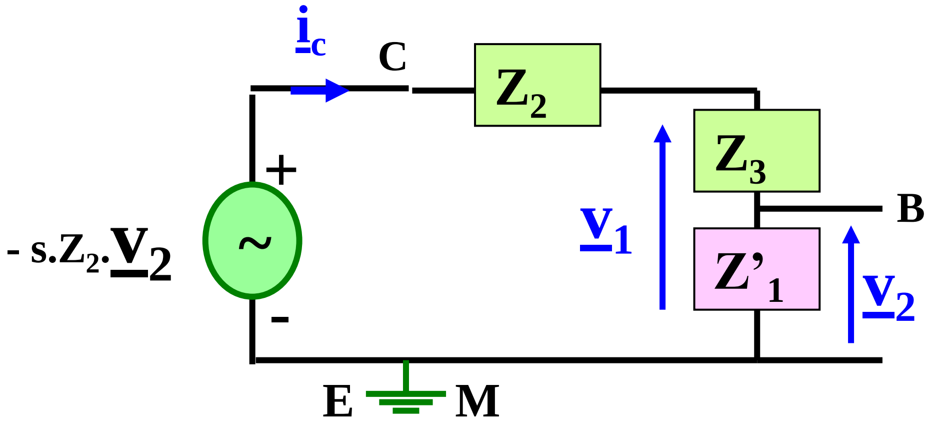


$$Z_1^{'} = Z_1 // r$$

prise en compte du couplage

Chapitre IV : Les oscillateurs

Transmit tance de la boucle : $\underline{T} = \underline{A} \cdot \underline{B}$



On pose :

$$\underline{v}_{be} = \underline{v}_2 \qquad et \qquad \underline{v}_{ce} = \underline{v}_1$$

$$\underline{T} = \frac{\underline{v}_1}{\underline{v}_1} = \frac{\underline{v}_2}{\underline{v}_2} \qquad et \qquad \underline{v}_2 = -s \cdot Z_2 \cdot \underline{v}_2 \frac{Z_1^{'}}{Z_1^{'} + Z_2 + Z_3} \qquad avec \qquad Z_1^{'} = Z_1 // r$$

$$\underline{T} = -\frac{s \cdot Z_2 \cdot Z_1^{'}}{Z_1^{'} + Z_2 + Z_3} = -\frac{s \cdot Z_2 \cdot (Z_1 // r)}{(Z_1 // r) + Z_2 + Z_3} = -\frac{s \cdot Z_2 \cdot Z_1 \cdot r}{Z_1 \cdot r + (Z_2 + Z_3) \cdot (r + Z_1)} = -\frac{s \cdot Z_2 \cdot Z_1 \cdot r}{(Z_2 + Z_3) \cdot Z_1 + r \cdot (Z_1 + Z_2 + Z_3)}$$

► Si les impédances Z_1, Z_2, Z_3 sont des éléments purs (inductances L ou capacités C), on peut poser : $Z_1 = j X_1$, $Z_2 = j X_2$, $Z_3 = j X_3$. On a :

$$\underline{T} = \frac{s \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot r}{-(X_2 + X_3) \cdot X_1 + j \cdot r \cdot (X_1 + X_2 + X_3)}$$

Chapitre IV : Les oscillateurs

Critère de Barkhausen ou critère d'entretien

$$\underline{T} = 1 \quad \Leftrightarrow \quad \underline{A} \cdot \underline{B} = 1$$

Condition sur la phase : $\varphi_{\underline{T}}(f_0) = 0 \quad \Leftrightarrow \quad \varphi_A(f_0) + \varphi_{\underline{B}}(f_0) = 0$

$$\varphi_{\underline{T}}(f_0) = 0 \quad si \quad \textit{partie imaginaire de } \underline{T} \textit{ est nulle} \quad \Rightarrow \quad X_1 + X_2 + X_3 = 0$$

$$-X_1 = X_2 + X_3 \quad \Rightarrow \quad \underline{T} = \frac{s \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot r}{-(X_2 + X_3) \cdot X_1} = \frac{s \cdot X_2 \cdot r}{X_1}$$

Condition sur le module : $|\underline{T}| = T(f_0) = 1 \quad \Leftrightarrow \quad A(f_0) \cdot B(f_0) = 1$

$$|\underline{T}| = T(f_0) = 1 \quad \Leftrightarrow \quad \left| \frac{r \cdot X_2 \cdot S}{X_1} \right| = 1 \quad \underbrace{autrement}_{\text{le module étant oté}} \quad r \cdot S \left(\frac{X_2}{X_1} \right) = 1 \quad \textit{à condition que} \quad \frac{X_2}{X_1} > 0$$

$$Alors \quad \underbrace{X_1 \text{ et } X_2 \text{ sont de même signe (ou de même nature)}}_{X_3 \text{ de signe opposé car } X_1 + X_2 = -X_3}$$

$$|\underline{T}| = T(f_0) = 1 \quad \Leftrightarrow \quad \left|\frac{r \cdot X_2 \cdot S}{X_1}\right| = 1 \quad \underbrace{autrement}_{le\ module\ étant\ oté} \quad r \cdot S\left(\frac{X_2}{X_1}\right) = 1 \quad à\ condition\ que \quad \frac{X_2}{X_1} > 0$$

$$Alors \qquad \underbrace{X_1\ et\ X_2\ sont\ de\ même\ signe\ (ou\ de\ même\ nature)}_{X_3\ de\ signe\ opposé\ car\quad X_1 + X_2 = -X_3}$$

Condition de démarrage :

$$T > 1 \quad soit \quad r\left|\frac{X_2}{X_1}\right| S > 1 \quad ou \quad r\,\frac{X_2}{X_1} S > 1 \quad si \quad \frac{X_2}{X_1} > 0$$

Chapitre IV : Les oscillateurs

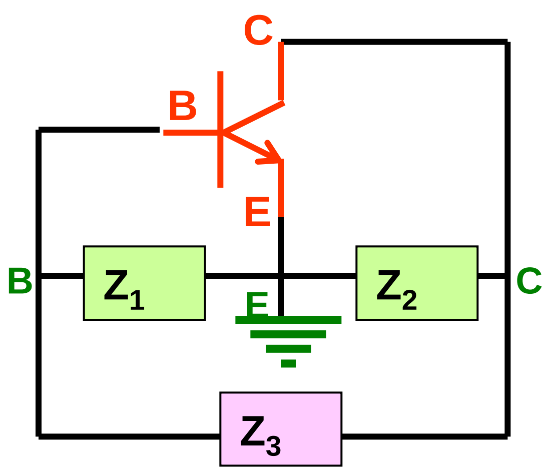
2°) Différentes structures d'oscillateurs HF

► Cette dernière condition $X_2/X_1 > 0$ a pour conséquence que les réactances X_1 et X_2 sont de **mêmes signes**.

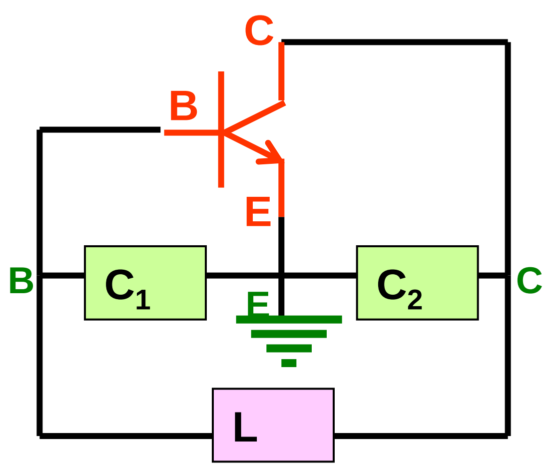
► Comme d'après la première condition de phase $X_3 = -(X_1 + X_2)$ on a deux solutions possibles :

▪ Les réactances X_1 et X_2 sont toutes les deux négatives, ce sont donc des condensateurs, X_3 est alors positive c'est une inductance, c'est le montage Pièrce.

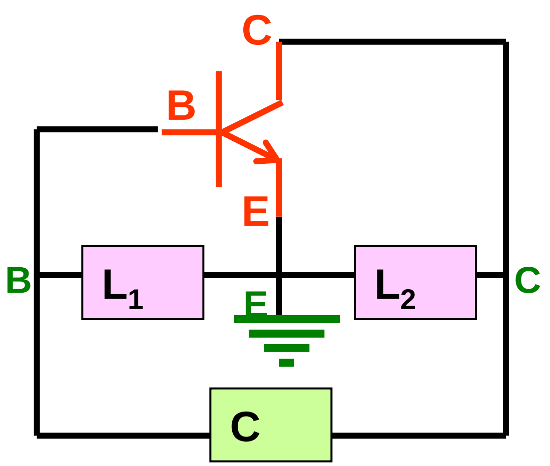
• Les réactances X_1 et X_2 sont toutes les deux positives, ce sont donc des inductances, X_3 est alors négative c'est un condensateur, c'est le montage Hartley.



Montage du principe



Oscillateur de Pièrce



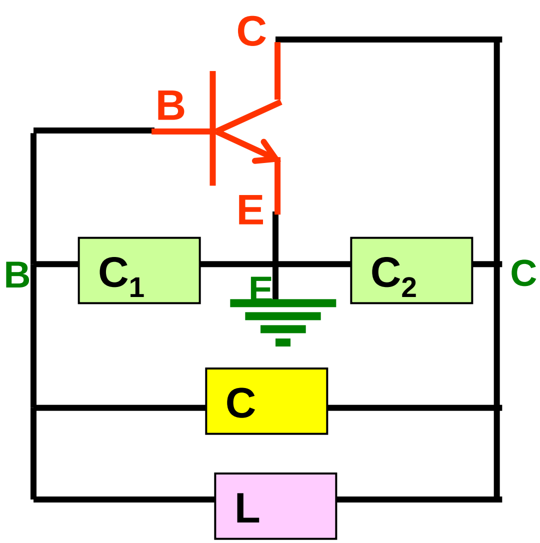
Oscillateur de Hartley

Chapitre IV : Les oscillateurs

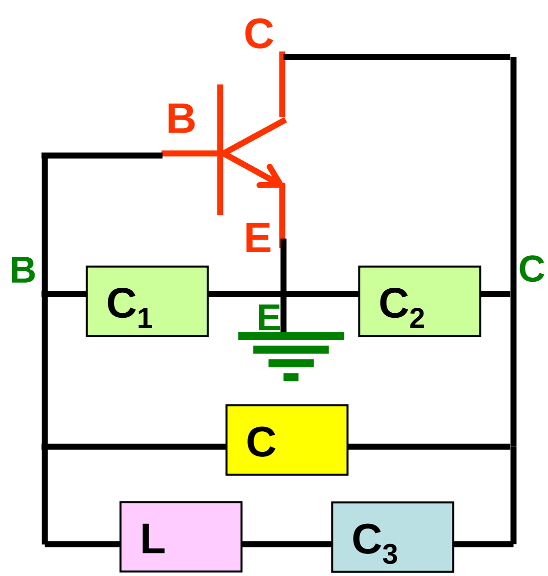
- On utilise également l'oscillateur Colpitts qui est comparable à l'oscillateur Pièrce puisque l'inductance L, est alors remplacée par un circuit <u>résonant parallèle</u> L C.

- On utilise également l'oscillateur Clapp qui est comparable à l'oscillateur Colpitts puisque l'inductance L, est alors remplacée par un circuit <u>résonant série</u> L C_3.

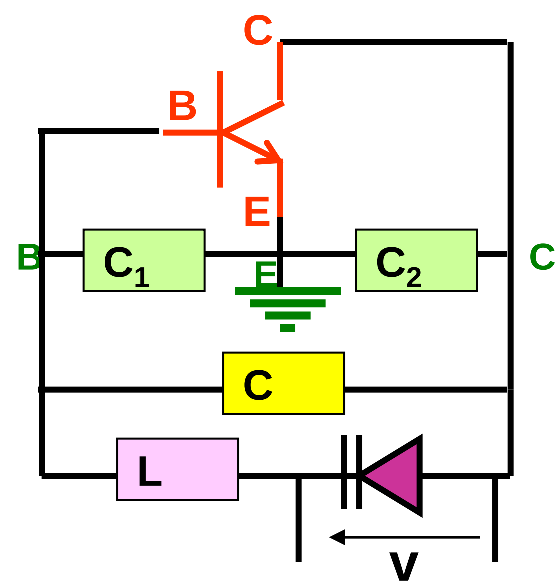
- On utilise également l'oscillateur VCO qui est comparable à l'oscillateur Clapp puisque le condensateur C_3, est alors remplacée par <u>diode varicap</u>.



Oscillateur de Collpits



Oscillateur de Clapp



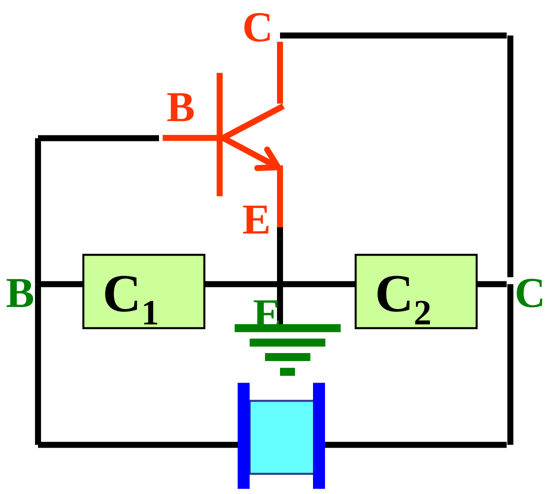
Oscillateur commandé par une tension : VCO

Chapitre IV : Les oscillateurs

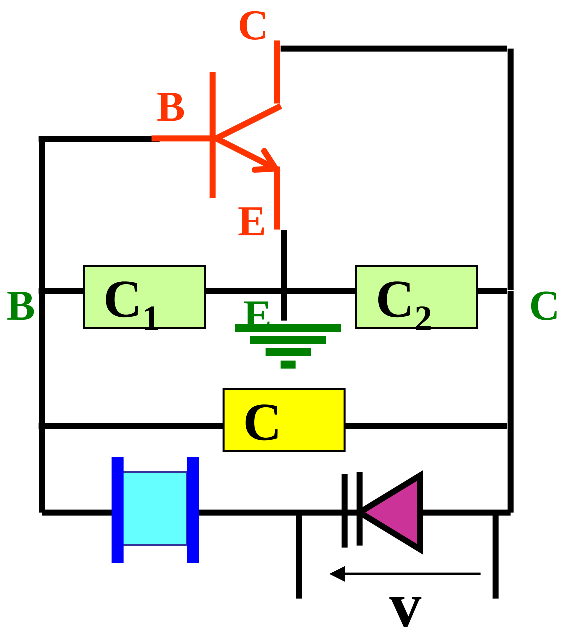
Pour une meilleure stabilité de l'oscillateur :

- On utilise également l'oscillateur à quartz qui est comparable à l'oscillateur Pièrce puisque l'inductance L, est alors remplacée par un cristal de quartz.

- On utilise également l'oscillateur VCXO qui est comparable à l'oscillateur VCO puisque l'inductance L, est alors remplacée par un cristal de quartz.



Oscillateur à quartz



Oscillateur à quartz commandé par une tension : VCXO

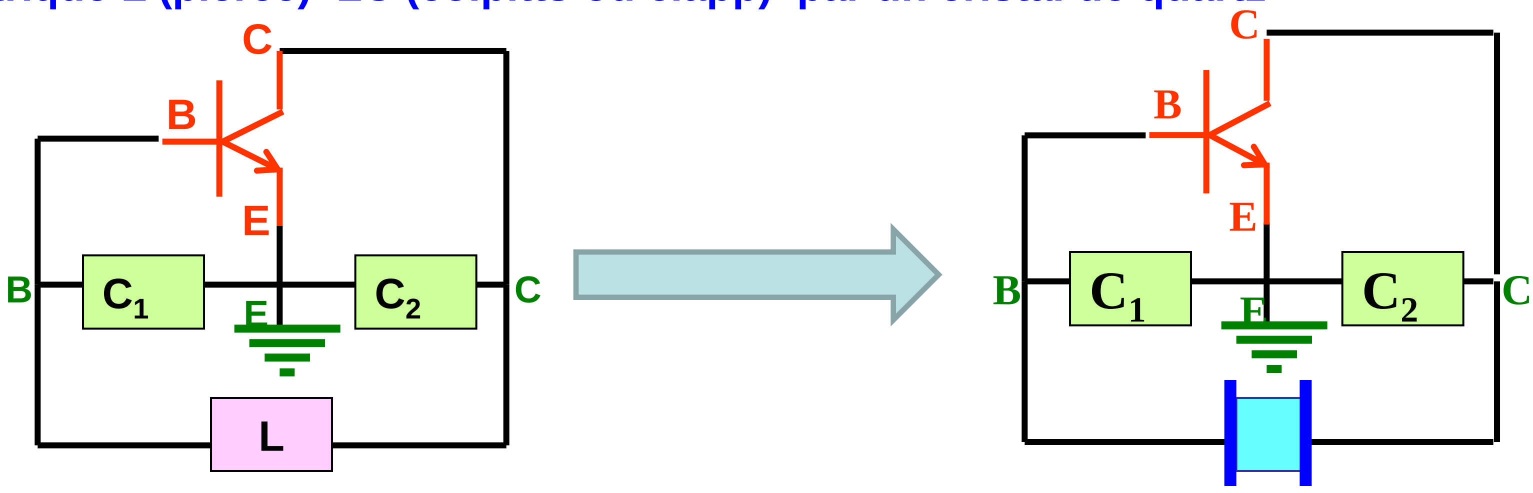
Principe de la stabilisation des oscillateurs :

► En général les applications des oscillateurs réclament une grande stabilité.

► Pour qu'un oscillateur soit stable, il faut que les éléments utilisés dépendent le moins possible de la <u>température</u>.

► Ainsi la stabilité sera –t-elle d'autant plus grande que le <u>coefficient de qualité</u> du cristal résonnant sera <u>plus élevé</u>.

► pour obtenir ce résultat, il est particulièrement intéressant de remplacer le circuit électrique L (pièrce) LC (colpitts ou clapp) par un cristal de quartz



Oscillateur de Pièrce

Oscillateur à quartz

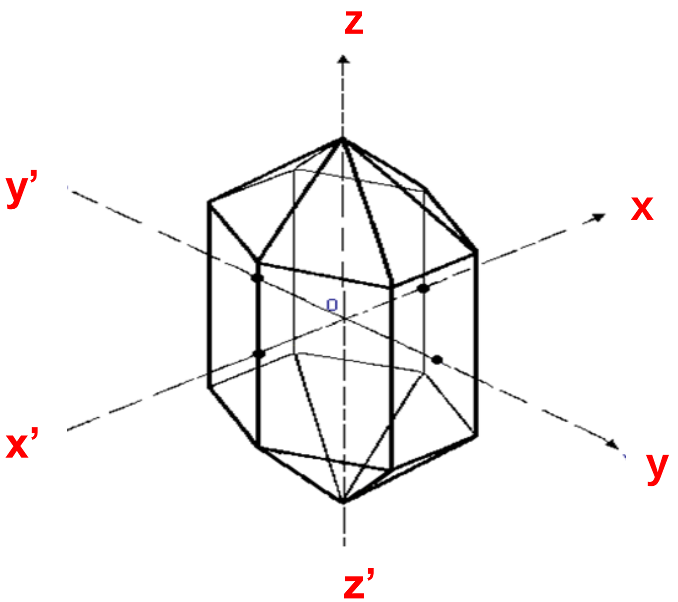
Chapitre IV : Les oscillateurs

Principe du Quartz :

► Le quartz est de la silice (SiO_2) cristallisée dans le système hexagonal.

► Il existe trois axes de symétrie dans la structure cristalline du quartz comme le montre la figure.

- ✓ l'axe **optique** ZZ' passant par les sommets.
- ✓ l'axe **mécanique** XX' passant par les arêtes.
- ✓ l'axe **électrique** YY' perpendiculaire aux faces de l'hexagone.



Axes de symétrie du quartz

Chapitre IV : Les oscillateurs

► **Des oscillateurs à quartz sont utilisés quand une stabilité élevée est requise pour un montage.**

► **La stabilité en fréquence est directement liée au coefficient de qualité du filtre déphaseur utilisé dans le quadripôle de réaction ou quelquefois dans la chaîne directe.**

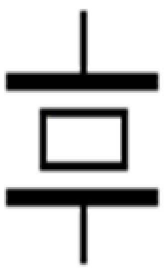
□ **avec un circuit résonant LC, le coefficient de qualité ne dépasse guère Q = 80 à cause des pertes dans la bobine**

□ **les résonateurs, mettant à profit des résonances mécaniques ou EM, permettent d'atteindre des valeurs Q = 500 et plus**

□ **dans le cas du quartz est une résonance mécanique**

<u>Règle</u>: pour une bonne stabilité en fréquence, l'oscillateur doit être construit autour de filtres déphaseurs à fort coefficient de qualité.

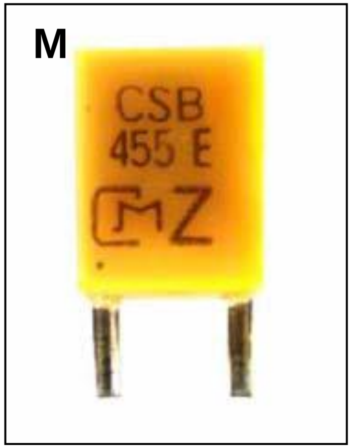
symbole électronique du quartz

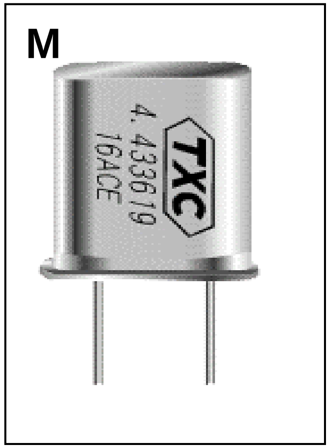


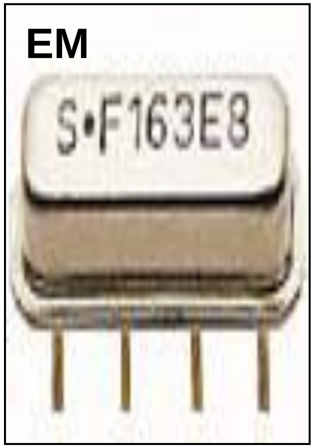
Aspect du boîtier couramment utilisé pour les quartz

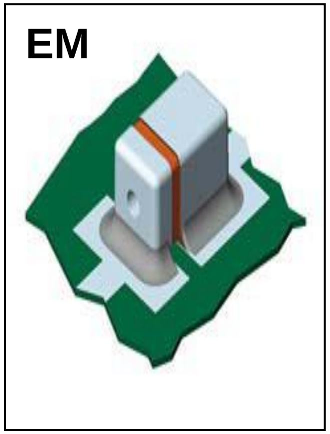
Chapitre IV : Les oscillateurs

Quelques exemples d'oscillateurs sinusoïdaux

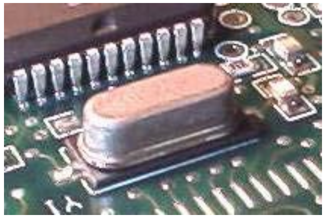


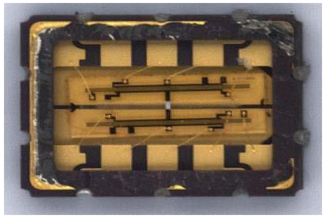


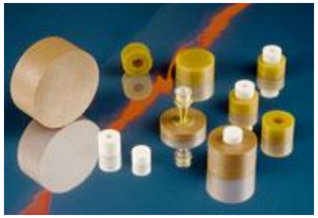




Résonateur céramique	Quartz piézoélectrique	Résonateur à onde de surface	Résonateur céramique coaxial	Résonateurs diélectriques
de 32 kHz à 10 MHz	de 1 MHz à 100 MHz	de 100 MHz à 1 GHz	de 500 MHz à 5 GHz	au delà de 1 GHz



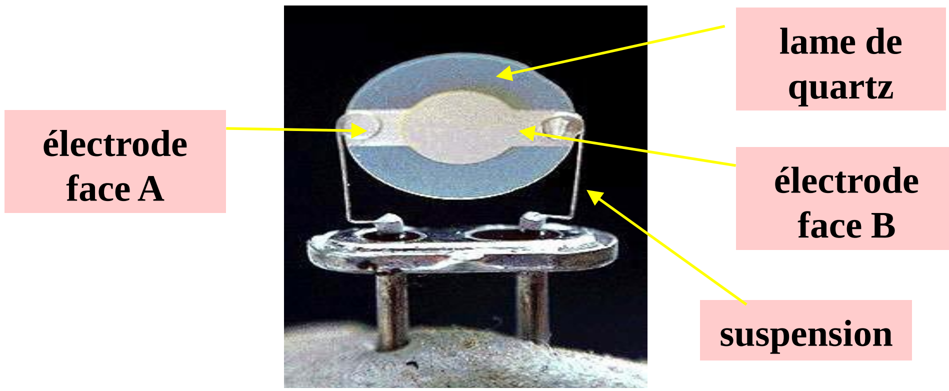


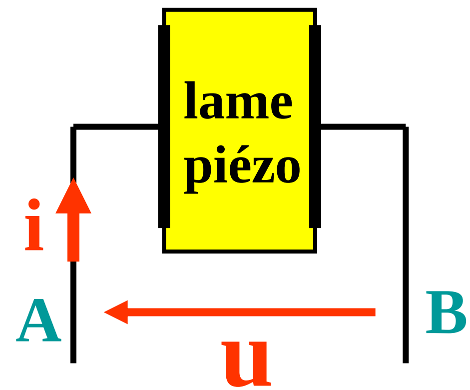


Q = 500 et plus

Chapitre IV : Les oscillateurs

► **Le quartz est constitué d'une lame de matériau piézoélectrique prise entre deux électrodes :**





- **Sous l'action de la tension alternative u, la lame vibre à la même fréquence**

- **Comme tout système mécanique, la lame possède des fréquences de vibrations propres**

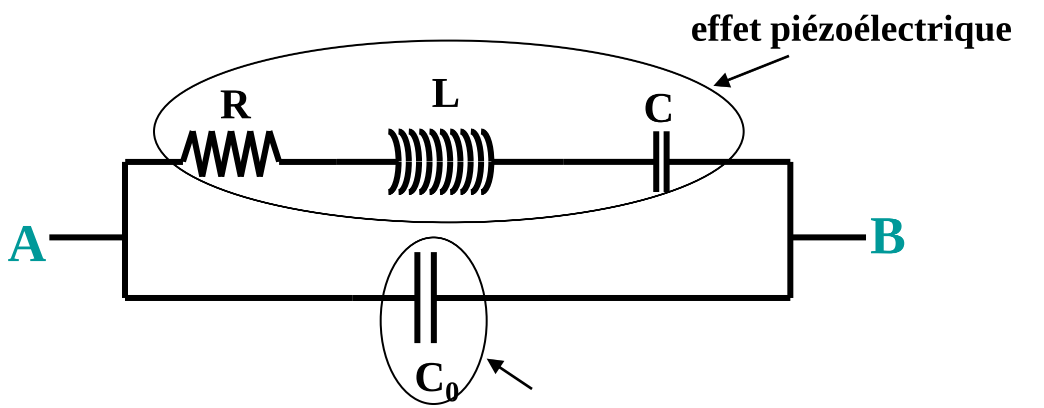
- **Suivant la coupe et les dimensions du cristal, les fréquences de résonance (vibration) réalisables sont de 4 KHz à 50 MHz.**

- **Les cristaux de fréquences basses sont lourds et encombrants tandis qu'ils sont très fins et fragiles aux fréquences élevées.**

Chapitre IV : Les oscillateurs

► **La résonance mécanique du quartz se traduit par une variation de l'impédance entre les deux électrodes qui peut être modélisée par le schéma électrique suivant :**

Les propriétés électriques du dipôle sont liées aux vibrations de la lame



- Les fils de liaison
- Élément actif branché aux bornes du quartz

- **C_0 : capacité entre les électrodes (de 10 pF à 200 pF)**
- **R : vient des pertes dans le cristal (0,01 à 1 kohms)**
- **L : traduit l'existence de l'inertie mécanique (10 mH à 10 H)**
- **C : traduit l'existence des forces de rappel (0,01 à1 pF)**

Chapitre IV : Les oscillateurs

► Pour le calcul de l'impédance équivalente, on peut négliger la résistance R qui est toujours très petite :

$$Y=\frac{1}{Z}=\frac{1}{jL\omega+\frac{1}{jC\omega}}+jC_0\omega=\frac{jC\omega}{1-LC\omega^2}+jC_0\omega=\frac{jC\omega}{1-LC\omega^2}+jC_0\omega\left(\frac{1-LC\omega^2}{1-LC\omega^2}\right)$$

$$Y=\frac{1}{Z}=\frac{jC\omega+jC_0\omega\left(1-LC\omega^2\right)}{1-LC\omega^2}=\frac{jC\omega+jC_0\omega-jLCC_0\omega^3}{1-LC\omega^2}$$

$$Y=\frac{1}{Z}=j\omega\frac{C+C_0-LCC_0\omega^2}{1-LC\omega^2}=\frac{1}{jX}\quad\Rightarrow\quad X=-\frac{1-LC\omega^2}{\omega\left(C+C_0-LCC_0\omega^2\right)}$$

► On pose : Z = j X

- X <u>positif</u> si le cristal se comporte comme une <u>inductance</u>
- X <u>négatif</u> si le cristal se comporte comme une <u>capacité</u>

$$X=-\frac{1-LC\omega^2}{\omega\left(C+C_0-LCC_0\omega^2\right)}$$

$$\omega_S=\frac{1}{\sqrt{L\,C}}\quad\Rightarrow\quad X=0$$

$$\omega_p=\frac{1}{\sqrt{L\,\Gamma}}\quad avec\quad \Gamma=\frac{C\,C_0}{C+C_0}\quad\Rightarrow\quad X=\infty$$

Chapitre IV : Les oscillateurs

► **Ces composants sont caractérisés par les pulsations de résonance série et parallèle appelées aussi résonance et antirésonance, très proches l'une de l'autre**

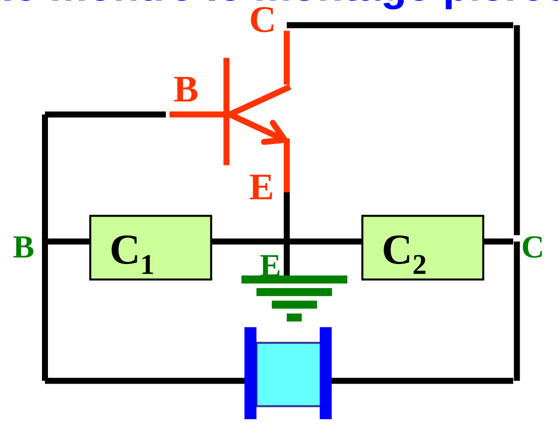
► **Il en résulte que :**

$$\frac{\omega_p}{\omega_S} = \frac{f_p}{f_S} = \frac{\sqrt{LC}}{\sqrt{L\frac{C\,C_0}{C+C_0}}} = \left(1+\frac{C}{C_0}\right)^{\frac{1}{2}} \approx 1+\frac{C}{2C_0}$$

► **Comme la capacité C_0 est beaucoup plus élevée que la capacité C ($C_0 \simeq 1000$ C), l'écart relatif entre les deux fréquences f_s et f_p est alors faible.**

► **Ainsi dans une bande très étroite de fréquence ($\Delta f = f_p - f_s$), le quartz est –il inductif, sa réactance variant très rapidement de zéro à une valeur très élevée.**

► **C'est dans ces conditions que les quartz sont utilisés pour stabiliser la fréquence d'auto-oscillateurs comme le montre le montage pièrce à quartz (sans alimentations).**

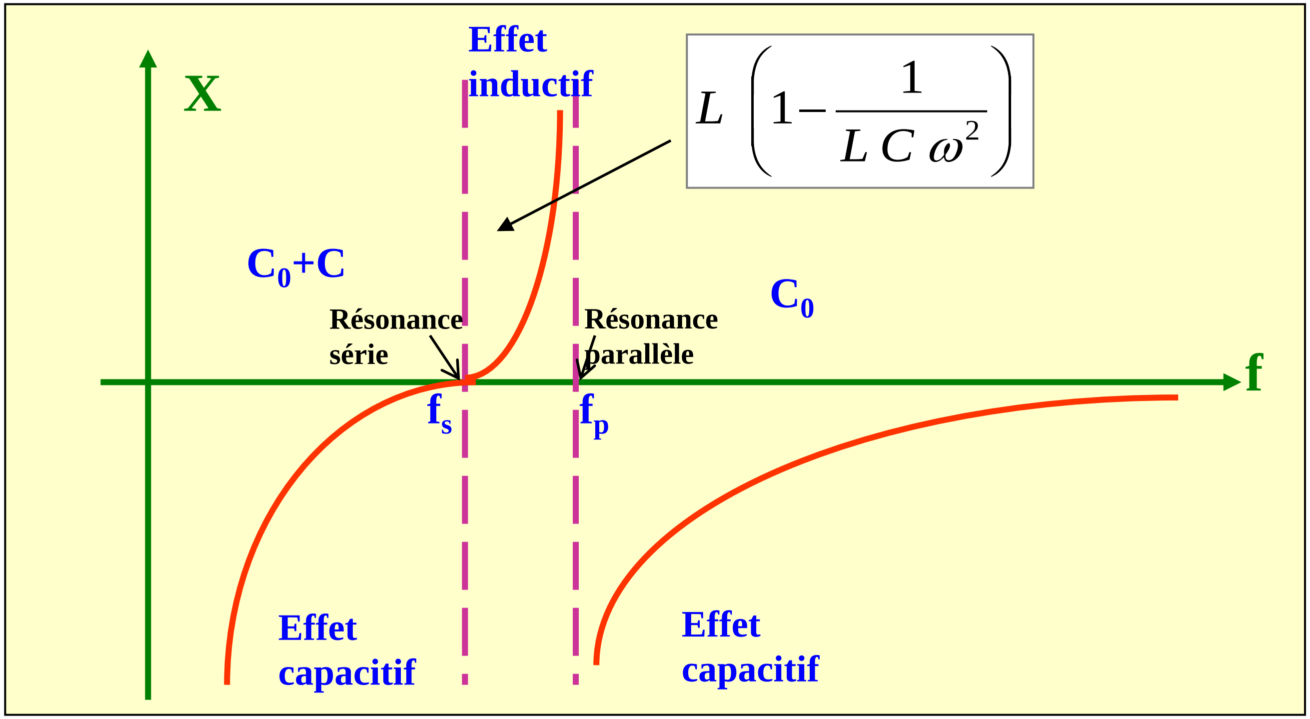


Chapitre IV : Les oscillateurs

► **Si on néglige l'influence de R, l'impédance du composant s'écrit :**

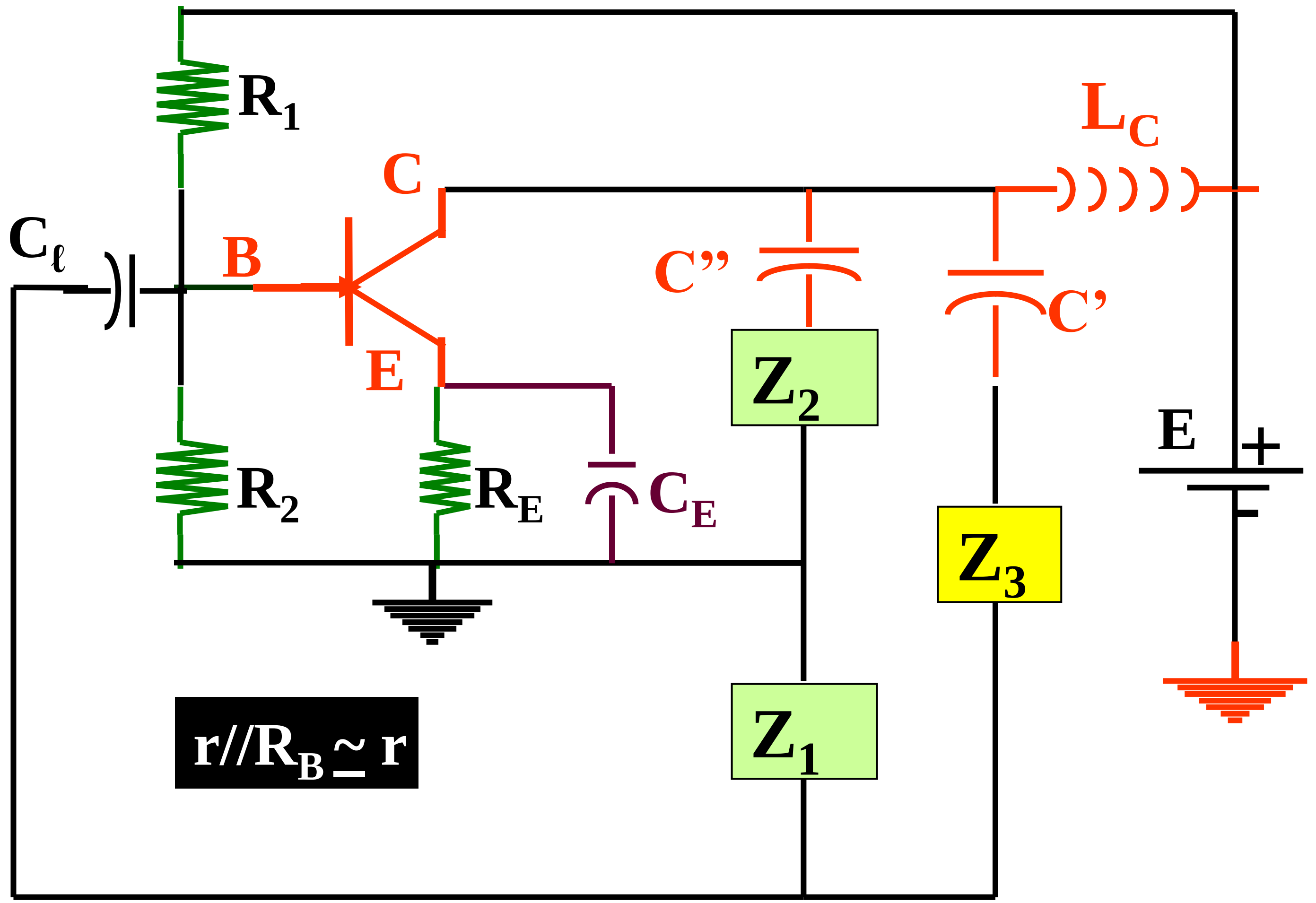
$$Z = jX = \frac{1}{j\left(C + C_0\right)\omega} \cdot \frac{1 - \frac{\omega^2}{\omega_S^2}}{1 - \frac{\omega^2}{\omega_p^2}}$$

$$X = -\frac{1}{\omega\left(C + C_0\right)} \cdot \frac{1 - \frac{\omega^2}{\omega_s^2}}{\left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_p^2}\right)}$$



AN: si L = 9,2 mH, C = 0,028 pF et C = 20 pF on a f_s = 9,916 MHz et f_p = 9,923 MHz.

Montage pratique



$r//R_B \simeq r$

Oscillateur HF à base du TB

IV. Oscillateurs à résistance négative BF et HF

Chapitre IV : Les oscillateurs

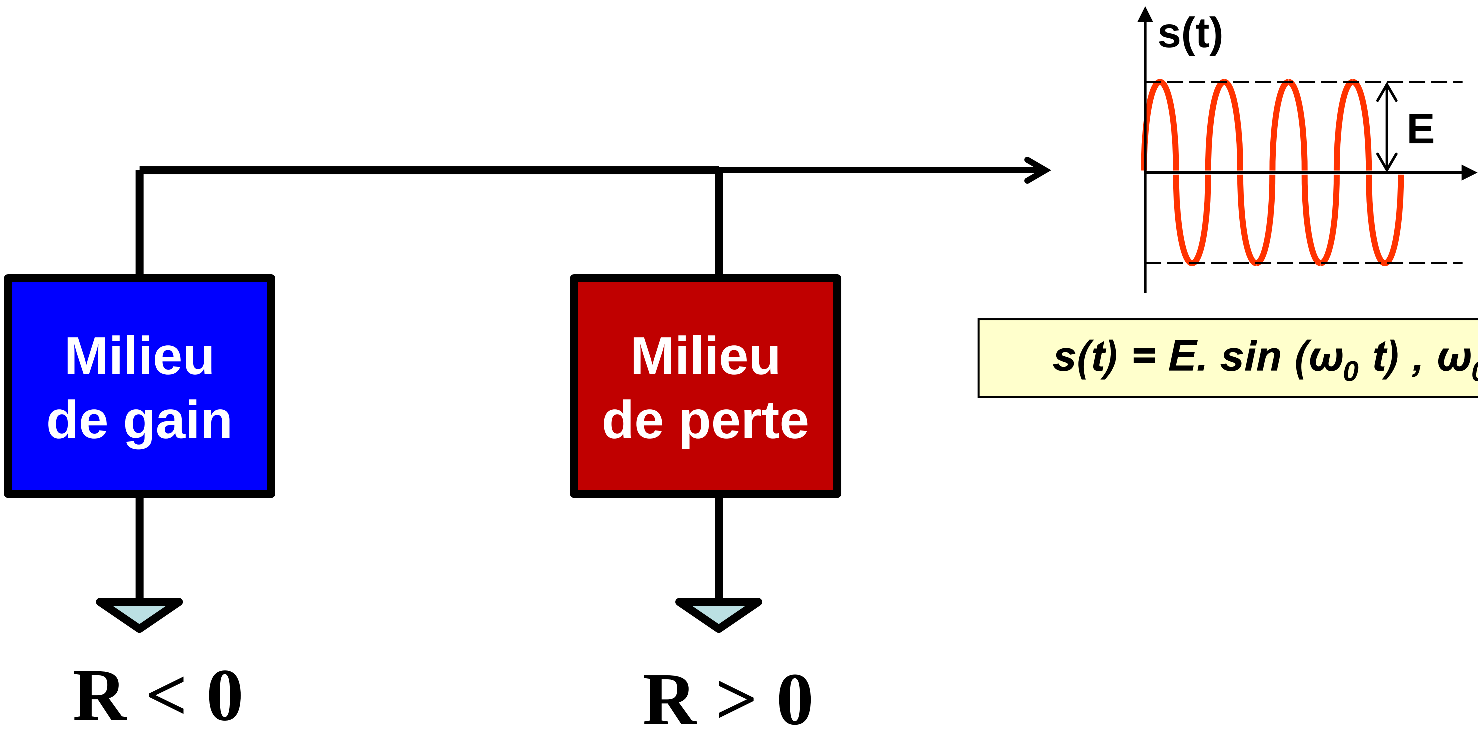
1°) Principe d'un oscillateur à résistance négative

2°) Oscillateur à résistance négative BF

3°) Oscillateur à résistance négative HF

Chapitre IV : Les oscillateurs

1°) Principe d'un oscillateur à résistance négative

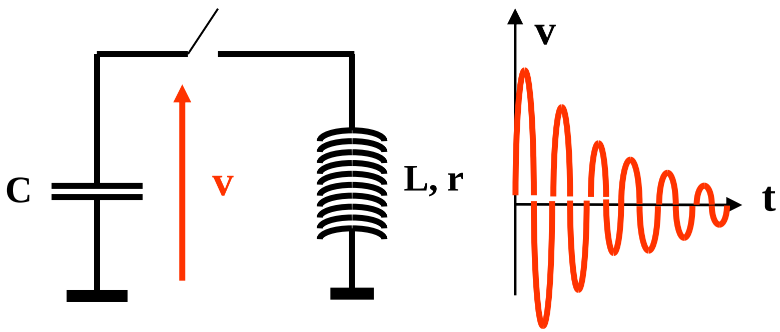


$s(t) = E.\sin(\omega_0\, t)\ ,\ \omega_0 = 2\,\pi\, f_0$

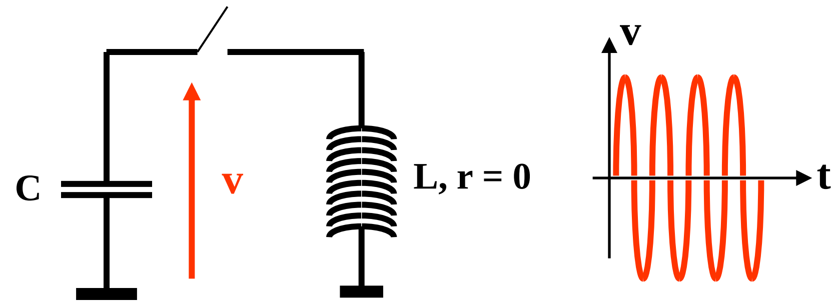
Chapitre IV : Les oscillateurs

2°) Oscillateur à résistance négative BF

► En déchargeant un condensateur dans une bobine L de résistance r faible, la tension à ses bornes est une sinusoïde amortie:



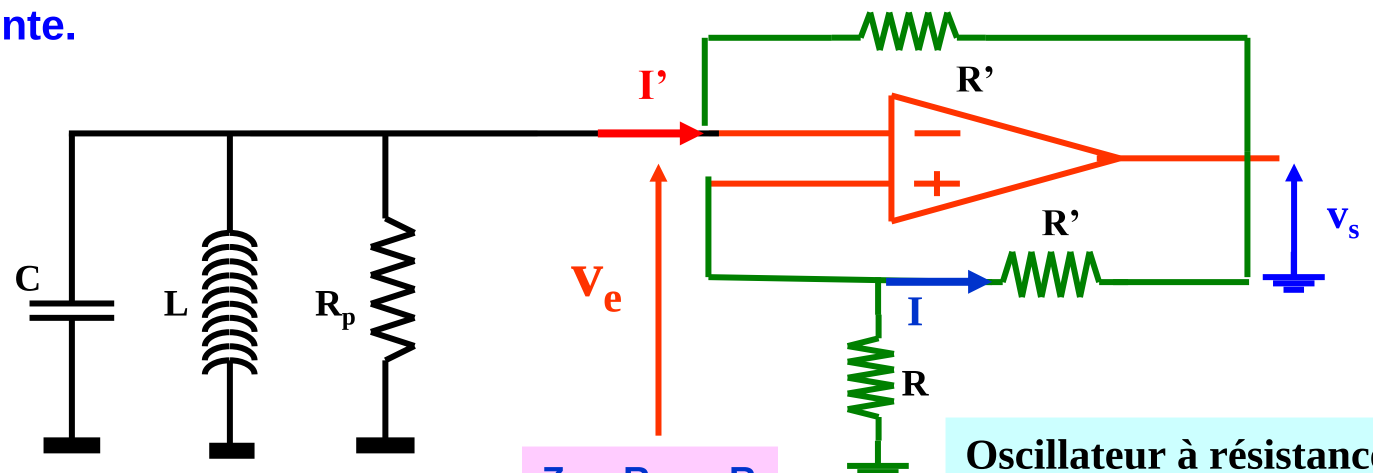
Oscillation amortie



Oscillation entretenue

► Si on annule la résistance r de la bobine, l'oscillation est alors entretenue et permanente.

$$R_p = \frac{LC}{r}$$

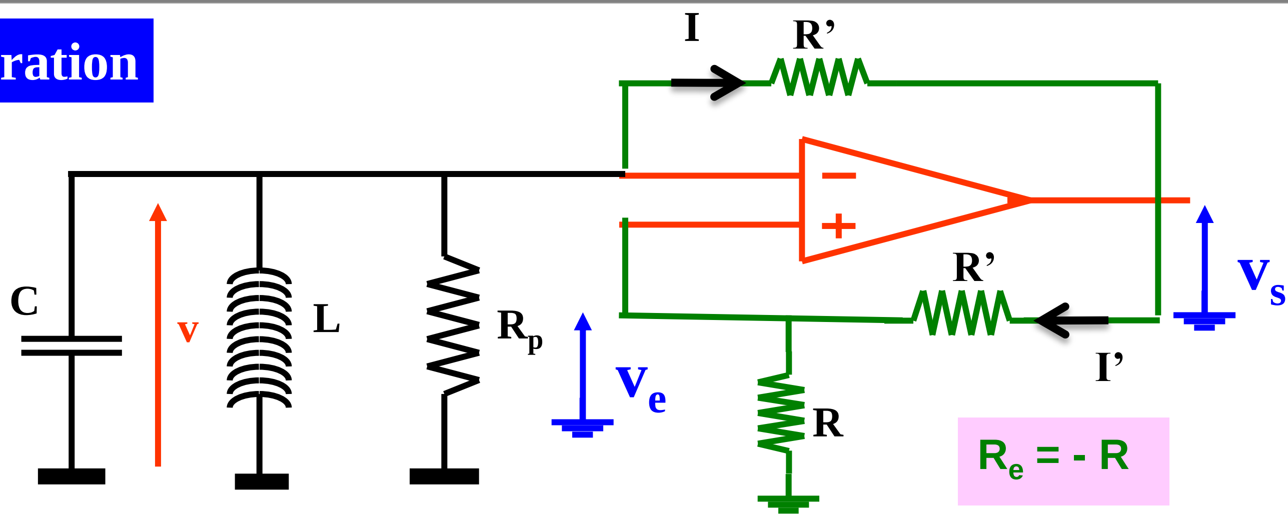


$Z_E = R_e = - R$

Oscillateur à résistance négative

Chapitre IV : Les oscillateurs

Démonstration



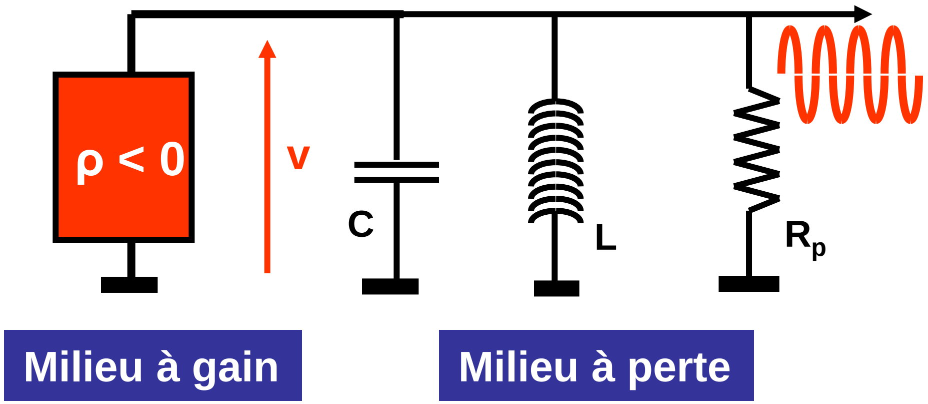
$$v_e = R'\,I + v_s \qquad et \qquad v_e = v_s \frac{R}{R+R'}$$

$$v_e = R'\,I + \frac{R'+R}{R} v_e \quad \Leftrightarrow \quad v_e\left(1 - \frac{R'+R}{R}\right) = R'\,I$$

$$R_e = \frac{v_e}{I} = \frac{R'}{1 - \frac{R'+R}{R}} = \frac{R'}{\frac{R - R' - R}{R}} = -R \qquad R_E < 0$$

Chapitre IV : Les oscillateurs

3°) Oscillateur à résistance négative HF



ρ est une diode

L,r , C est un circuit accordé

$$Si \qquad \frac{1}{\rho}+\frac{1}{R_p}=0 \qquad alors \qquad oscillation$$

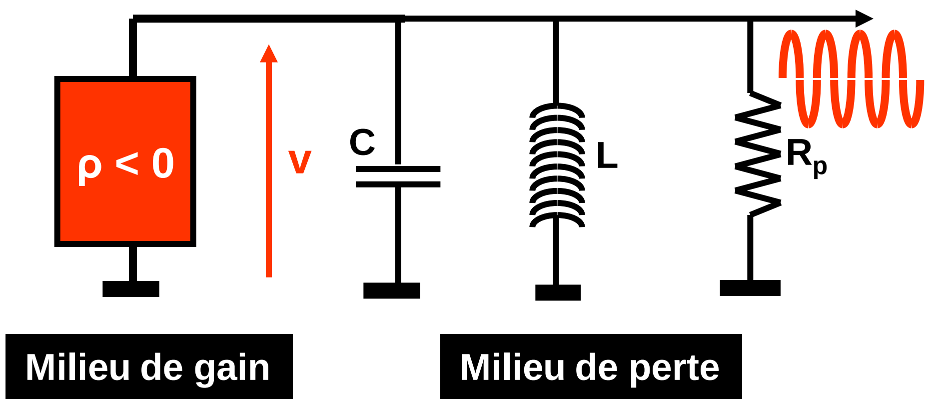
Discussion

- Une résistance négative <u>qui compense</u> les pertes du circuit accordé provoque l'oscillation $\rho = R_p$ **Oscillation sinusoïdale**

- Une résistance négative <u>plus faible</u> entraînerait la <u>saturation</u> de l'amplificateur $\rho < R_p$ **Oscillation sinusoïdale saturée**

- une résistance négative <u>plus élevée</u> entraînerait l'<u>arrêt</u> des oscillations. $\rho > R_p$ **Oscillation sinusoïdale amortie**

Chapitre IV : Les oscillateurs

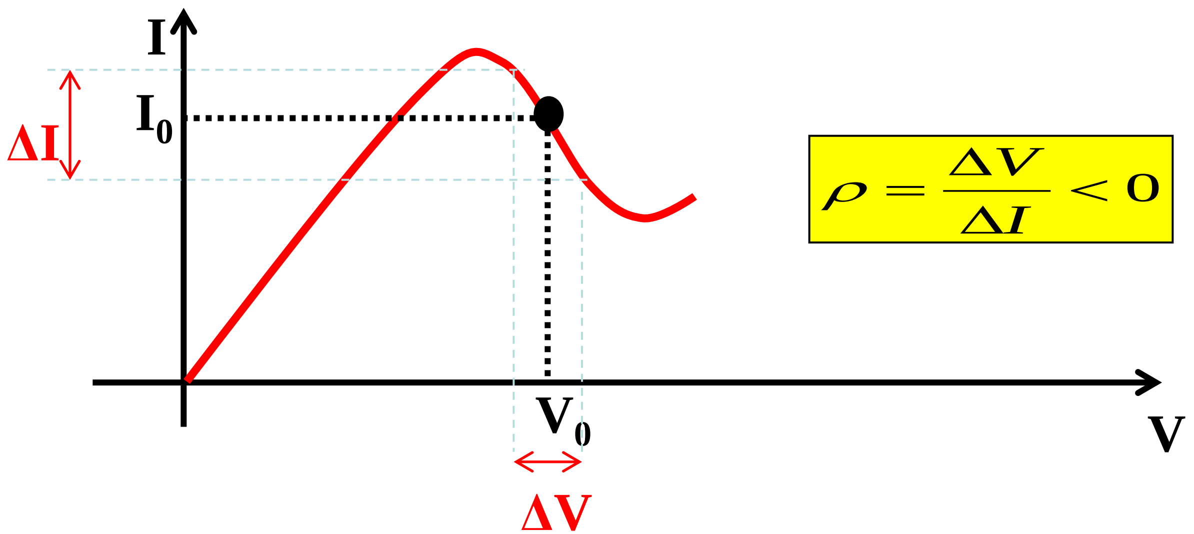


ρ est une diode

L,r , C est un circuit accordé

$$Si \quad \frac{1}{\rho} + \frac{1}{R_p} = 0 \quad alors \quad oscillation$$

La caractéristique I = (V) d'une diode caractérisée par une zone de résistance négative



$$\rho = \frac{\Delta V}{\Delta I} < 0$$

Chapitre IV : Les oscillateurs

Montage pratique