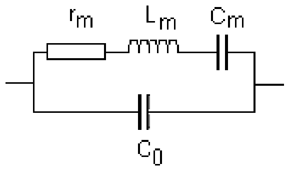
Chapitre 6 : complément sur les quartz.

1) constitution et fonctionnement du quartz.

• Le quartz est réalisé à partir d'un matériau piézoélectrique. Ces matériaux présentent une structure anisotrope et ont pour particularité d'être le siège de couplages électromécaniques importants. On constate notamment que si le matériau est placé dans un champ électrique (on applique une d.d.p. à ses bornes), il va se déformer. Inversement, s'il est soumis à des efforts mécaniques, une différence de potentiel va apparaître à ses bornes. Cet effet est utilisé dans bon nombre de capteurs, de micro-actionneurs. On les utilise aussi pour réaliser des transformateurs piézoélectriques (téléphones portables).

• Dans notre cas, l'application d'une tension variable aux bornes du composant va provoquer une vibration mécanique (effet direct) qui va conduire à l'apparition d'un courant (chute de l'impédance par effet inverse). Pour une résonance mécanique du système, on va alors avoir une résonance d'intensité.

• Le quartz va pouvoir être représenté par le modèle électrique équivalent suivant :



La capacité C_0 représente physiquement une capacité (deux conducteurs séparés par un isolant). En revanche, les éléments r_m, L_m et C_m sont des éléments motionnels, c'est a dire des éléments électriques équivalents représentant le couplage électromécanique dans le matériau (on peut faire l'analogie avec le modèle électrique équivalent d'un haut-parleur). C'est pourquoi leurs valeurs ne correspondent pas à des composants électriques usuels.

ex :

quartz 32768 Hz : L = 7860H ;C = 3 fF ; r = 32000 Ω ; C_0 =1,5 pF ; Q=50000

quartz 1MHz : L = 4H ;C = 6 fF ; r = 240 Ω ; C_0 = 8 pF ; Q=110000

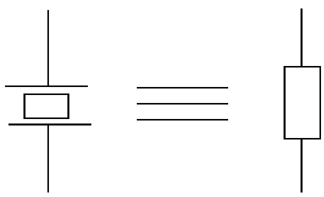
$$\overline{Y}(j.\omega) = j.C_0.\omega + \frac{1}{j.L_m.\omega + \frac{1}{j.C_m.\omega}} = j.C_0.\omega + \frac{j.C_m.\omega}{1 - L_m C_m.\omega^2} = j.(C_0 + C_m).\omega.\frac{1 - \frac{\omega^2}{\omega_p^2}}{1 - \frac{\omega^2}{\omega_s^2}}$$

en posant $\omega_s = \dfrac{1}{\sqrt{L_m.C_m}}$ et $\omega_p = \dfrac{1}{\sqrt{L_m.\dfrac{C_0.C_m}{C_0 + C_m}}}$

ω_s est appelée **pulsation de résonance série** et ω_p **pulsation d'antirésonance parallèle**.
On remarque que ces deux pulsations sont très proches car $C_0 \gg C_m$. En effet

$$\frac{\omega_p - \omega_s}{\omega_s} = \frac{1}{\sqrt{\frac{C_0}{C_0 + C_m}}} - 1 = \sqrt{1 + \frac{C_m}{C_0}} - 1$$

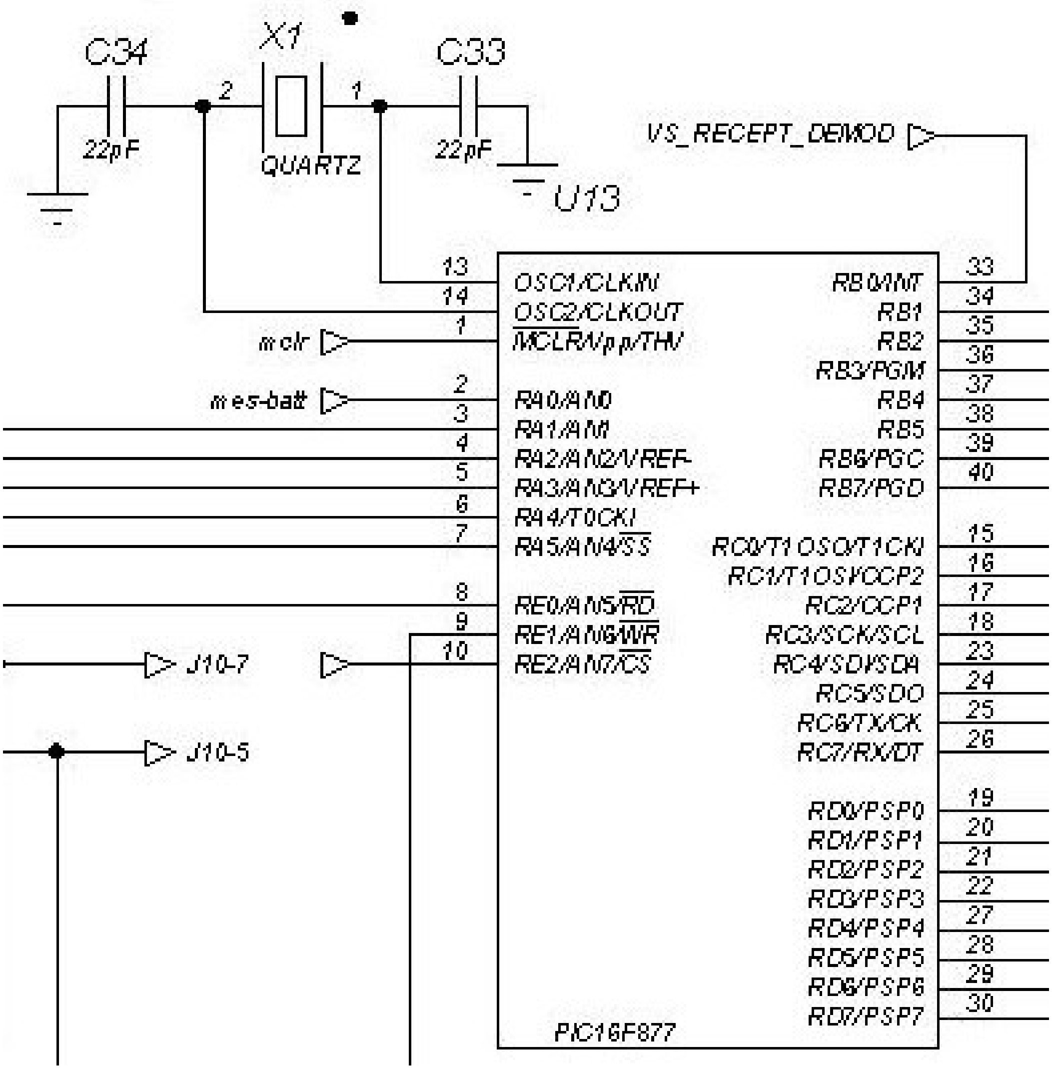
Approximation du quartz sans pertes :



jX (r =0)

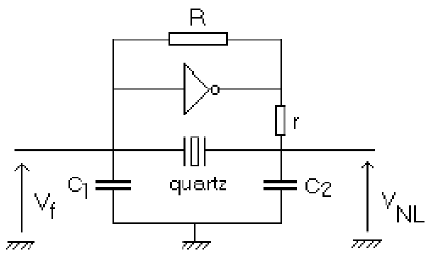
2) oscillateur à quartz utilisé avec des PIC :

On utilise souvent des oscillateurs à quartz pour assurer la fonction horloge avec des PIC :



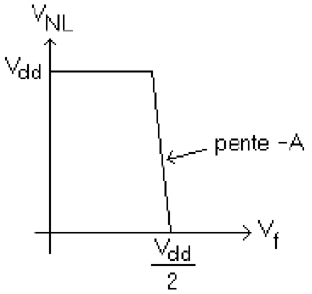
Structure de l'oscillateur à quartz étudié.

• Cet oscillateur comprend une non linéarité réalisée notamment à partir d'un inverseur logique (porte NAND à deux entrées reliées entre elles) et un filtre de retour très sélectif comportant un quartz et deux capacités. Le schéma complet est le suivant :



Etude des différents éléments.

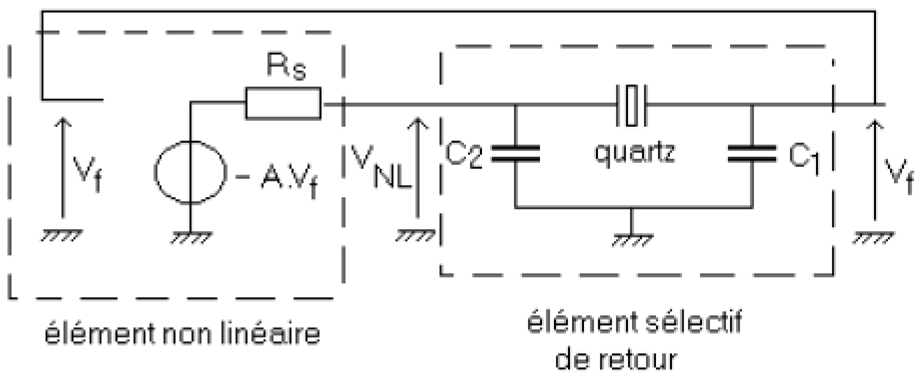
- La porte inverseuse a la caractéristique suivante :

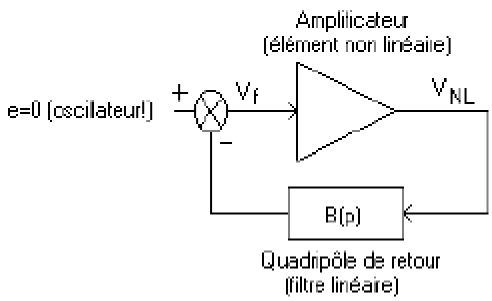


L'impédance d'entrée de cette porte est infinie. De plus, en régime continu, l'impédance du circuit de retour l'est aussi. Grâce à la résistance R, la porte se retrouve donc polarisée au milieu de sa zone de basculement (là ou le gain dynamique vaut −A). En effet, le courant qui traverse cette résistance est alors nul en statique ce qui garantit la relation $\langle V_f \rangle = \langle V_{NL} \rangle$. En revanche, ça ne sera évidemment plus le cas en régime dynamique.

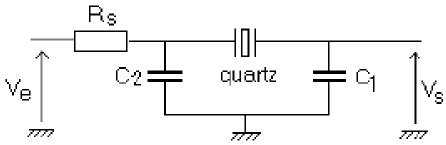
La résistance r permet juste de modifier la valeur de la résistance de sortie de la chaîne directe. Cette dernière sera la somme de r avec l'impédance de sortie de la porte. Elle sera notée R_s. On la prendra en compte dans l'élément sélectif de retour.

- Tant que les oscillations sont d'amplitude assez faible, on peut modéliser l'élément amplificateur comme une source de tension de gain −A et une résistance de sortie R_s,





• Le quartz est associé à deux capacités C_1 et C_2, ce qui constitue le filtre sélectif de retour. On va intégrer R_s à la réponse du système et étudier le gain du filtre suivant :



En utilisant le théorème de Thévenin pour représenter l'ensemble (V_e, R_s, C_2), en supposant que l'impédance du quartz vaut jX, et en notant X_1 et X_2 les réactances des capacités C_1 et C_2, on trouve que

$$\frac{\overline{V_s}}{\overline{V_e}} = \left(\frac{j.X_2}{R_s + j.X_2}\right)\left(\frac{j.X_1}{j.X + j.X_1 + \dfrac{j.X_2.R_s}{R_s + j.X_2}}\right) = \frac{-X_1.X_2}{-X_2.(X+X_1) + j.R_s.(X_1 + X_2 + X)}$$

Si on exploite ce résultat dans le cadre du système bouclé, on en déduit que

$$B(j.\omega) = \frac{X_1.X_2}{-X_2.(X+X_1) + j.R_s.(X_1 + X_2 + X)}$$

Condition de démarrage des oscillations.

Au démarrage, le gain de l'élément non linéaire vaut −A (oscillation d'amplitude assez faibles…pas d'effet non-linéaire). Dans ce cas, la condition limite de démarrage sera

$$1 - A.B(j\omega) = 0$$

Cette condition impose notamment que $B(j\omega)$ soit réelle et donc que $X_1+X_2+X=0$.

$$-\frac{1}{C_1.\omega} - \frac{1}{C_2.\omega} + X = -\frac{1}{\dfrac{C_1.C_2}{C_1 + C_2}.\omega} + X = -\frac{1}{C_{eq}.\omega} + X = 0$$

La fréquence d'oscillation est donnée par l'intersection de $X(\omega)$ représentée précédemment avec la courbe d'équation $1/(C_{eq}.\omega)$. La solution se trouve dans la zone où $X > 0$, là où le quartz se comporte de façon inductive. Elle est donc comprise entre ω_s et ω_p, qui sont deux fréquences très proches.

La condition de démarrage sur le gain est

$$A \geq \frac{1}{B(j.\omega_0)} = \frac{-X_2.(X+X_1)}{X_1.X_2} = \frac{X_2}{X_1} = \frac{C_1}{C_2}$$

cette condition sera toujours remplie en prenant $C_1 = C_2$ car une porte inverseuse a toujours un gain $A >> 1$ (penser que l'on commute de quelques volts en quelques mV).