



## Compte Rendu

Ecole Nationale Supérieure de l'Electronique et de ses Applications

Majeure Electronique RF

TP1- Oscillateur à quartz

2<sup>eme</sup> Année

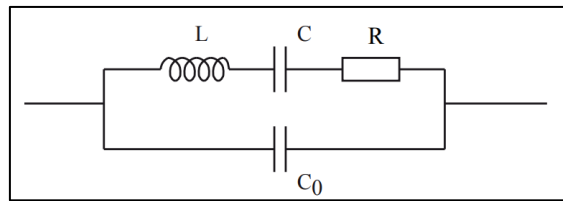
Année : 2023 - 2024

Camille Lanfredi

Rémi Weidle

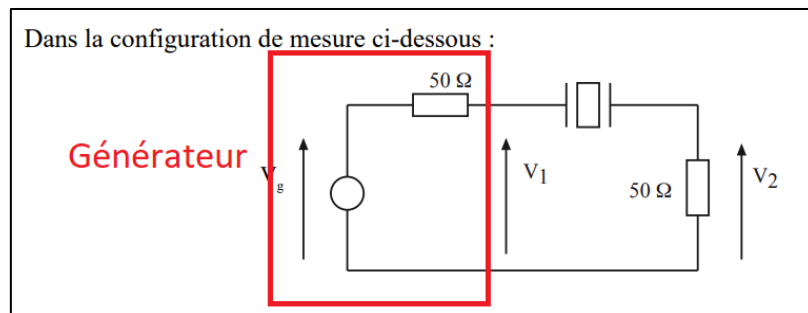
## 1. Introduction

Lors de cette séance, nous allons étudier un quartz 4MHz. Le quartz peut être représenté par ce schéma équivalent :



Le quartz est constitué d'une partie série LCR et d'une partie parallèle constitué de  $C_0$ , une capacité entre ses 2 électrodes.

Pour configurer les mesures, nous devons nous baser sur le schéma ci-dessous. La première résistance de  $50\Omega$  est interne au générateur. La seconde résistance de  $50\Omega$  est une charge de traversée  $50\Omega$  câblée entre la sortie V2 et l'oscilloscope.



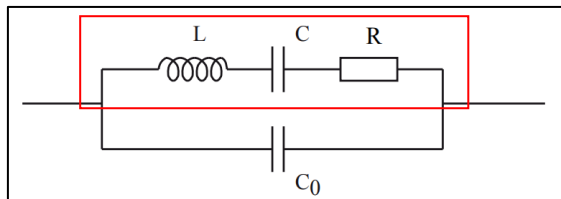
Le schéma équivalent possède 4 valeurs à déterminer :  $L$ ,  $C$ ,  $R$  et  $C_0$ . Pour les déterminer, nous devons donc résoudre les 4 équations suivantes en utilisant les valeurs expérimentales :

De plus, nous devons déterminer 2 fréquences de résonance. La première en série et la seconde en parallèle. La fréquence de résonance correspond à la partie imaginaire nulle de l'impédance du condensateur.

- $f_1 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$
- à  $f_1$ :  $\frac{V_2}{V_1} = \frac{50}{50+R}$
- $f_2 = f_1 * \sqrt{1 + \frac{C}{C_0}}$
- $f_2' = f_1 * \sqrt{1 + \frac{C}{C_0 + C_p}}$

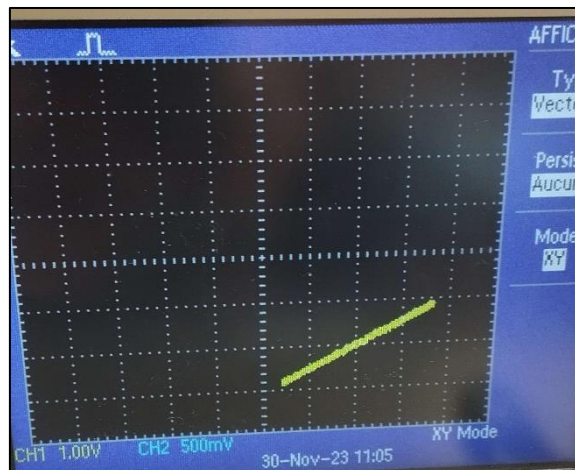
## 2. Mesure de la résonance en série

La mesure de la résonance en série permet de déterminer les valeurs de la résistance R et du produit LC, à la fréquence de résonance en série. Elle correspond à la branche RLC.

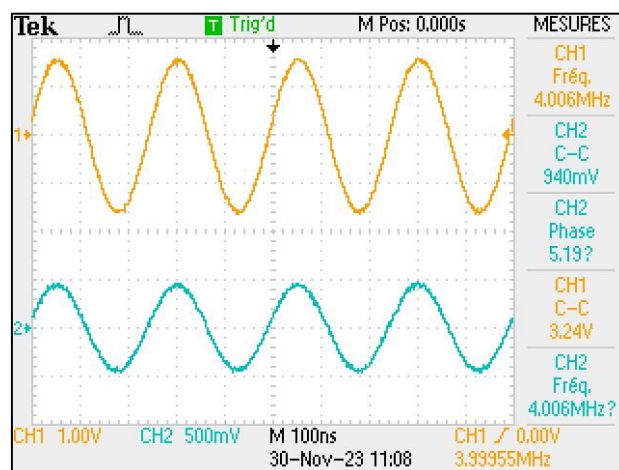


Elle a pour expression :  $f_1 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$  avec la partie imaginaire nulle donc il reste uniquement la résistance.

Puis nous déterminons la fréquence de résonance série, en effectuant un balayage en fréquence autour de 4MHz afin d'obtenir les 2 tensions en phase. En ajustant la fréquence en mode « X/Y », nous obtenons la courbe suivante :



Nous mesurons une fréquence de résonance de 3,999563 MHz.



Nous obtenons donc :

- Tension d'entrée V1 = 3,24V
- Tension de sortie V2 = 0,98V

A la fréquence de résonance, le quartz est équivalent à la résistance R. Donc en série, nous utilisons la relation suivante :

$$\text{à } f_1: \frac{V_2}{V_1} = \frac{50}{50 + R}$$
$$R = 50 \left( \frac{V_1}{V_2} - 1 \right) = 50 \left( \frac{3,24}{0,98} - 1 \right) = 115\Omega$$

De plus, à partir de la fréquence de résonance, nous pouvons déterminer la valeur du produit LC.

$$f_1 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$
$$LC = \frac{1}{4\pi^2 f_1^2} = 199,4 \mu s$$

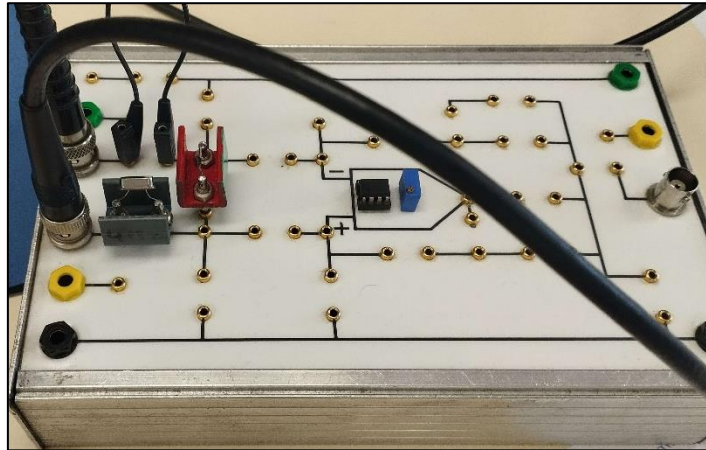


Photo du montage résonance en série

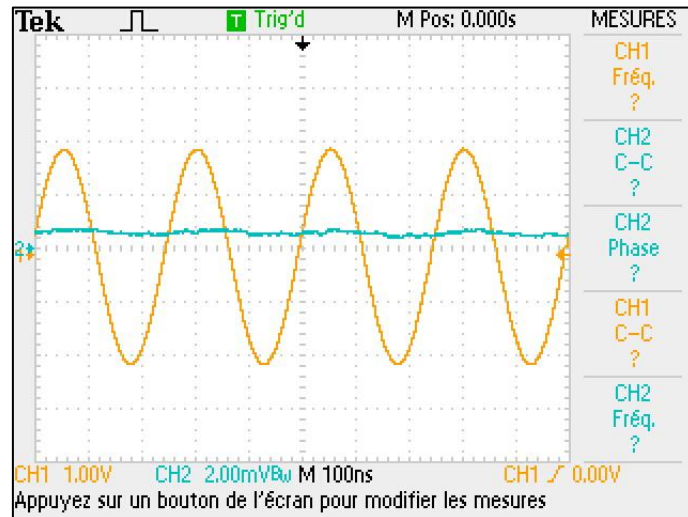
### 3. Mesure de la résonance en parallèle

La fréquence de résonance sur la branche parallèle est légèrement plus grande que celle en série et a pour expression :

$$f_2 = f_1 * \sqrt{1 + \frac{c}{c_0}}$$

Concrètement, le rapport des fréquences de résonances permet de déterminer le rapport des capacités.

Pour déterminer la fréquence de résonance en parallèle, nous effectuons un balayage fréquentiel jusqu'au déphasage de V2. Nous obtenons une fréquence de résonance de 4,003923MHz.



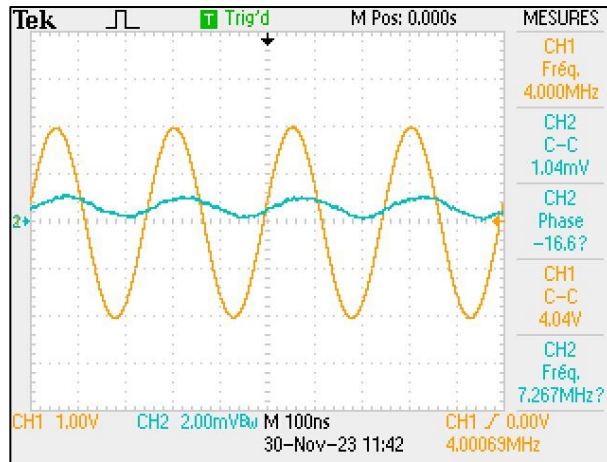
Déphasage de V1 et V2 en résonance parallèle

### 4. Mesure de la résonance en parallèle avec une capacité

Pour cette 3<sup>e</sup> mesure, nous ajoutons en parallèle du quartz une capacité de 4,7pF. Pour être précis, nous mesurons la vraie valeur de la capacité à l'aide de banc de mesure à la fréquence de 4 MHz. La valeur du condensateur Cp à 4MHz est de 5,24pF.

$$f_2' = f_1 * \sqrt{1 + \frac{c}{c_0 + c_p}}$$

Nous ré-utilisons la méthode de la mesure en résonance parallèle (déphasage de V2) et nous obtenons une fréquence de résonance de 4,0006957MHz.



Déphasage de V1 et V2 en résonance parallèle avec capacité

Puis nous déterminons la valeur de  $C_0$  :

$$\frac{\frac{c}{c_0}}{\frac{c}{c_0 + c_p}} = \frac{c_0 + c_p}{c_0} = 1 + \frac{c_p}{c_0} = \frac{f_2^2 - f_1^2}{f_2'^2 - f_1^2}$$

$$c_0 = 1 + \frac{c_p}{\frac{f_2^2 - f_1^2}{f_2'^2 - f_1^2}} = 1,255pF$$

Une fois déterminé, nous pouvons en déduire la valeur de C :

$$f_2 = f_1 * \sqrt{1 + \frac{c}{c_0}}$$

$$c = \left( \frac{f_2^2}{f_1^2} - 1 \right) * c_0 = 3,677fF$$

Et nous pouvons en déduire la valeur de la bobine L :

$$L = \frac{1}{4\pi^2 f_1^2 C} = 430mH$$

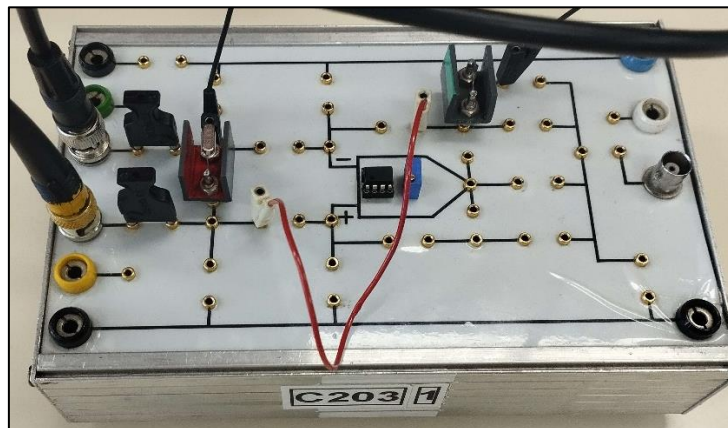
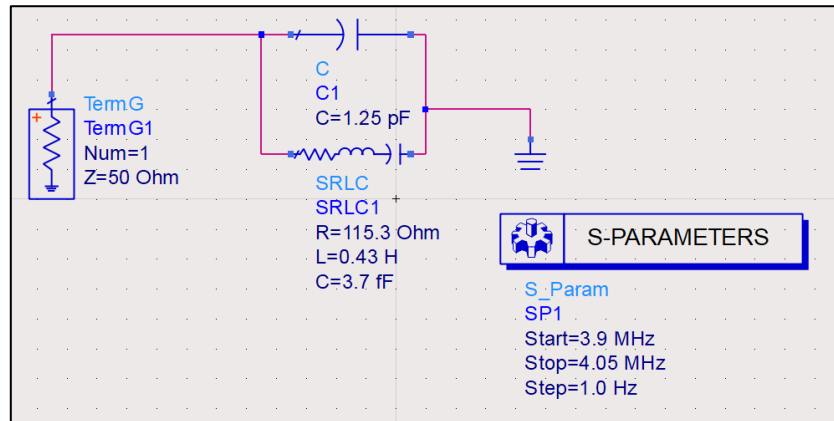
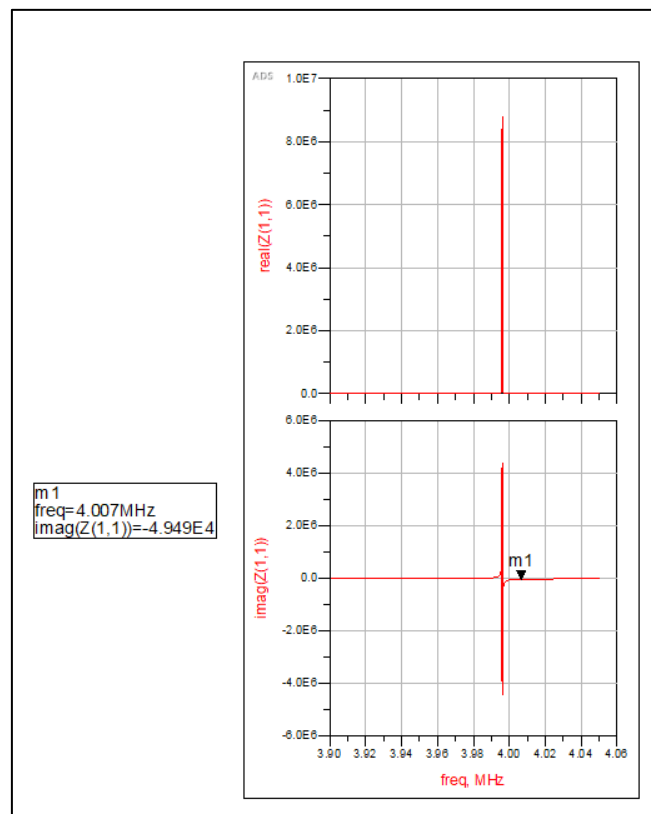


Photo du montage résonance en parallèle avec une capacité

## 5. Simulation



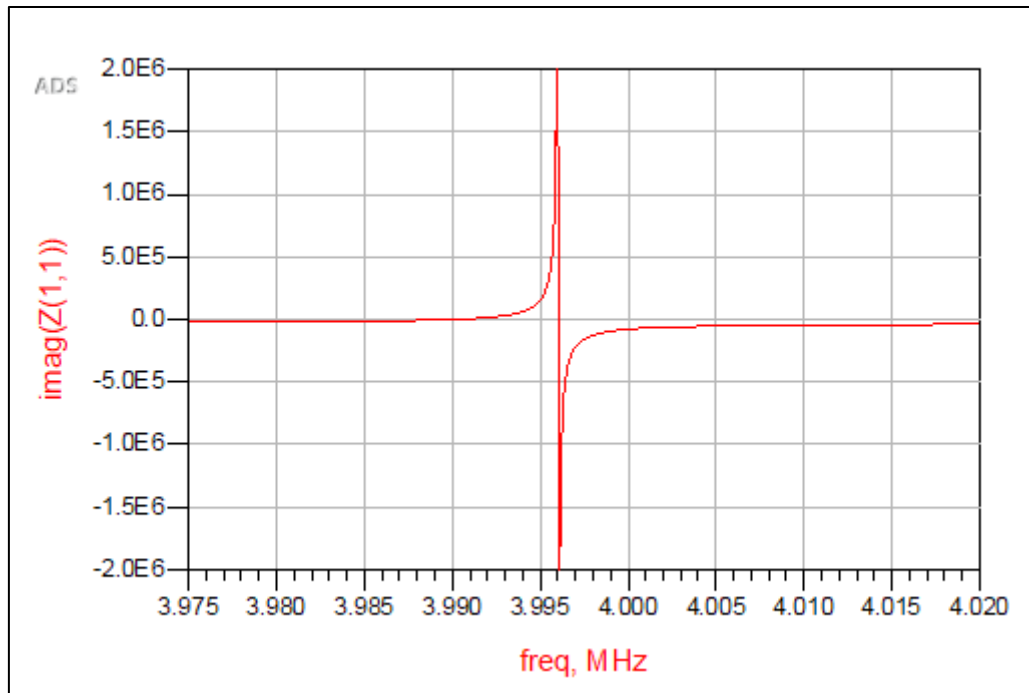
Pour la suite nous réalisons le schéma ci-dessus avec l'oscillateur à quartz.



Le graphique du haut montre la partie réelle d'une impédance tracée en fonction de la fréquence. Le pic net indique une résonance ou un point où l'impédance du circuit change radicalement. Ceci est typique des circuits résonants, les composants réactifs (capacités et inductances) s'annulent, entraînant un pic ou une baisse d'impédance.

Le graphique du bas montre la partie imaginaire de l'impédance en fonction de la fréquence. Celui-ci présente également une caractéristique nette, indiquant la même résonance, mais du point de vue du stockage d'énergie dans le circuit. Dans les circuits réactifs, la partie imaginaire de l'impédance représente l'énergie alternativement stockée et libérée par les composants réactifs.





Ce graphique est une vue détaillée de la partie imaginaire de l'impédance ( $\text{Im}(Z)$ ) du circuit sur une plage de fréquence spécifique, centrée autour de 4 MHz. Cette partie de l'impédance représente les éléments réactifs du circuit.

L'axe horizontal représente la fréquence en MHz.

L'axe vertical représente la partie imaginaire de l'impédance en  $\Omega$ .

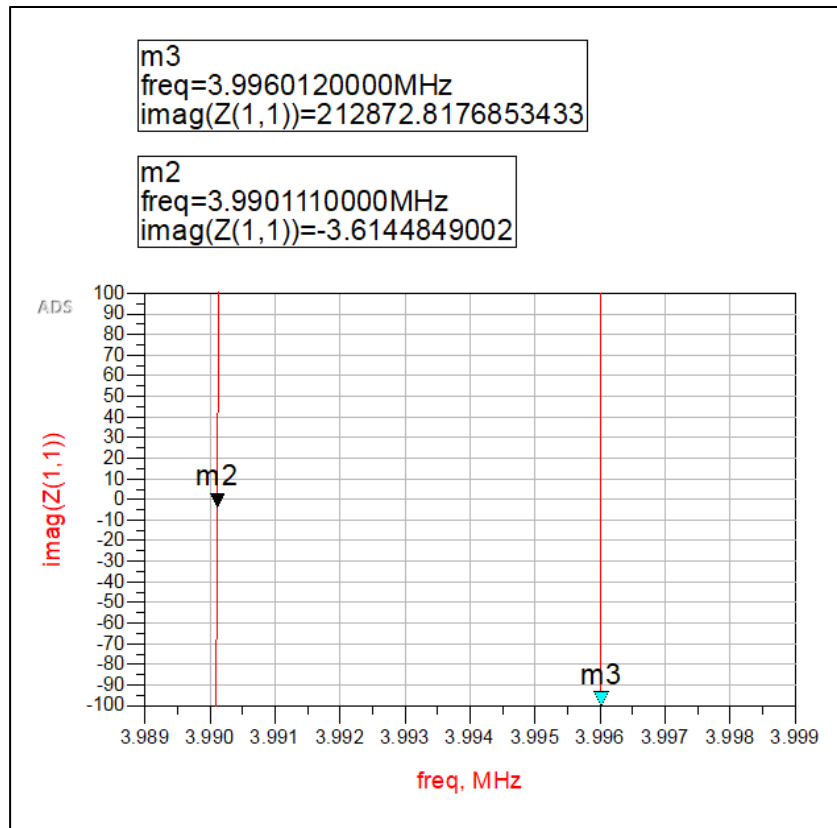
La courbe montre une transition nette vers 4 MHz, où la partie imaginaire de l'impédance passe du positif au négatif. Cela indique la présence d'une fréquence de résonance à laquelle le comportement du circuit passe d'inductif (impédance imaginaire positive) à capacitif (impédance imaginaire négative).

Aux fréquences inférieures à ce point, la valeur positive suggère que le circuit se comporte principalement de manière inductive. La réactance inductive apporte une composante imaginaire positive à l'impédance, indiquant que les inducteurs stockent l'énergie du circuit.

À la fréquence de résonance (là où la courbe croise la ligne zéro), les composants réactifs s'annulent effectivement. Cela signifie que l'inductance et la capacité sont à un point où leurs effets réactifs sont égaux et opposés, ce qui donne une impédance purement résistive (au moins idéalement). À ce stade, l'énergie stockée dans l'inducteur est périodiquement transférée au condensateur et inversement, sans être dissipée sous forme de chaleur ou de rayonnement.

Au-dessus de la fréquence de résonance, la courbe chute brusquement vers des valeurs négatives, ce qui suggère que le circuit se comporte désormais de manière capacitive. La réactance capacitive apporte une composante imaginaire négative à l'impédance, indiquant que les condensateurs libèrent l'énergie stockée dans le circuit.





Le graphique montre deux points significatifs :

Le marqueur m2 indique une fréquence où la partie imaginaire de l'impédance est négative, suggérant un comportement capacitif à cette fréquence. La valeur en m2 est d'environ 3,614 à une fréquence de 3,990 MHz. La réactance capacitive est négative et indique qu'à cette fréquence, les condensateurs libèrent de l'énergie.

Le marqueur m3 est placé à une fréquence où la partie imaginaire de l'impédance est positive, indiquant un comportement inductif. La valeur en m3 est d'environ 121872,817 à une fréquence de 3,996 MHz. La réactance inductive est positive et implique qu'à cette fréquence, les inducteurs stockent de l'énergie.

Les valeurs élevées suggèrent une résonance très nette, ce qui pourrait indiquer un circuit à Q (facteur de qualité) élevé, ce qui signifie qu'il est très sélectif pour sa fréquence de résonance.