

Comment ça marche ?

Les circuits réactifs (19)

Caractérisation des résonateurs à quartz

Par le radio-club F6KRK

Après un survol des principaux filtres L-C suivi de l'étude de cas de filtres à quartz en échelle, nous allons ouvrir une parenthèse sur la manière de caractériser les résonateurs à quartz, en particulier ceux récupérés dans nos fonds de tiroir.

Résonateur à quartz

Voir sur la figure 1 un rappel du schéma équivalent d'un résonateur à quartz.

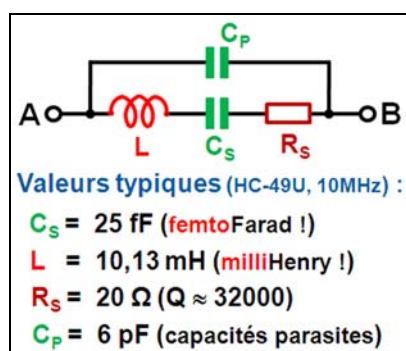


Figure 1

Pour caractériser un quartz, nous allons devoir mesurer les paramètres suivants :

- sa fréquence de résonance série
- sa résistance série
- sa capacité série
- et sa capacité parallèle

La capacité parallèle est une capacité statique. Pour la mesurer, il suffit d'un capacimètre ordinaire qui fait en général la mesure à 1 kHz ⁽¹⁾.

Pour les autres paramètres, il est nécessaire de construire un banc de mesure et de disposer soit d'un analyseur vectoriel de qualité (analyseur de réseau professionnel), soit d'un analyseur de spectre pro avec son générateur suiveur (tracking-generator), soit d'un générateur HF avec un fréquencemètre (si pas synthétisé) et d'un récepteur HF BLU (OM). Voir sur la figure 2 le synoptique du banc et des systèmes de mesures.

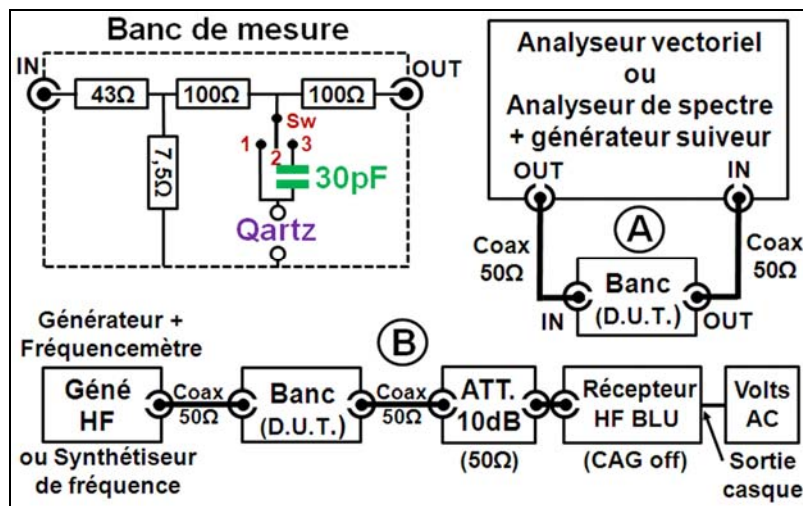


Figure 2

Noter que l'interrupteur à 3 positions (ON, OFF, ON) peut être remplacé par un inverseur, la position "OFF" étant obtenue en retirant le quartz de son support. Le synthétiseur de fréquence ou le fréquencemètre doivent avoir une résolution en fréquence de 1 Hz. La capacité de 30 pF est un condensateur étalon obtenu par la mise en parallèle de deux condensateurs au mica si l'on n'a pas l'objet unique. Le voltmètre AC est un simple contrôleur universel bon marché. L'atténuateur 10 dB doit être mis à l'entrée du récepteur pour éviter d'avoir des ondes stationnaires (ROS>1) dans le câble coaxial. Si l'on a assez de sensibilité, on peut augmenter l'atténuation, cela n'en sera que mieux. L'atténuateur en L à l'entrée du banc est là aussi pour éviter le ROS dans le câble coaxial de liaison au générateur et ainsi conserver la précision du niveau de sortie.

Mesures des paramètres.

Elles se feront différemment selon le système de mesure. La méthode (A) est la plus simple. Il suffit de régler le niveau du générateur pour avoir dans la réponse un rapport S/B minimum supérieur à 20 dB ⁽²⁾. Avec la méthode (B) on travaille toujours à un niveau de sortie constant sur le voltmètre. Donc sa précision ainsi que le gain du récepteur n'entrent pas en compte dans la mesure tant que l'on reste dans leur partie linéaire (contrôler que l'on est suffisamment loin du point de compression et du bruit de fond). Mettre le récepteur en mode "CW" et régler sa fréquence pour avoir une note de 1000 Hz environ (brancher un oscilloscope en parallèle sur le voltmètre). La fréquence du récepteur est le seul paramètre que l'on aura éventuellement à ajuster pour obtenir une note à fréquence constante. Avec cette méthode, l'étalon de mesure sera l'atténuateur en sortie du générateur. Si l'on a des doutes sur celui-ci, on utilisera un atténuateur extérieur qui a une précision standard de 1% (au moins pour ceux du commerce). N-B : La plupart des problèmes rencontrés dans l'étude d'un système proviennent d'erreurs de mesures. Pour effectuer de bonnes mesures, il est nécessaire de connaître le fonctionnement de son système (savoir "Comment ça marche") et de raisonner sur la méthode ⁽³⁾.

Mesure de la fréquence de résonance série

Méthodes (A) et (B) : Insérer le quartz. Mettre Sw sur "1" (C/C), et mesurer la fréquence **F1** pour laquelle la réponse en amplitude est minimum.

Mesure de la capacité série

Il faut déjà avoir mesuré la capacité parallèle C_p (pF) au capacimètre ainsi que la résonance série F_1 .

Mettre S_w sur "2" (insertion d'une capacité de 30 pF en série) et mesurer la fréquence F_2 pour laquelle on conserve une réponse minimum. Alors la capacité série C_s s'obtient avec la formule :

$$C_{s(pF)} = (30 + C_p) \times \left[\left(\frac{F_1}{F_2} \right)^2 - 1 \right] \quad (1/3 \text{ page})$$

Mesure de la résistance série

Mettre S_w sur "1" (C/C).

Première méthode avec la configuration (A) :

Utiliser une fenêtre d'analyse (SPAN) telle que le maximum de la courbe soit à l'horizontale de part et d'autre du creux. Ensuite utiliser deux marqueurs en delta, l'un sur la partie horizontale et l'autre au minimum du creux. Noter la différence en dB entre les marqueurs et la porter en ordonnée sur la figure 3. L'abscisse donne la valeur de la résistance série.

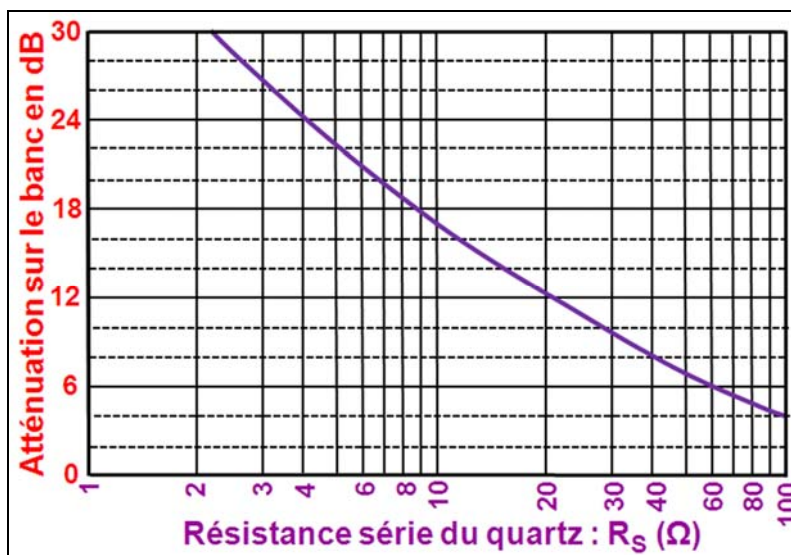


Figure 3

Attention : abaque valable uniquement pour le banc de mesure de la figure 2.

Deuxième méthode avec la configuration (B) :

S'écarter de la fréquence série du quartz jusqu'à ce que l'amplitude ne change plus à la sortie. Elle devient la référence. Ensuite ramener la fréquence vers la résonance série en augmentant le niveau de sortie du générateur pour conserver le niveau de référence en sortie du récepteur, et ce, jusqu'à la fréquence de résonance. La diminution de l'atténuation en dB que l'on a été obligé de faire à la sortie du générateur est à porter en ordonnée sur la figure 3. L'abscisse nous donne la résistance série.

On pourrait aussi procéder autrement en remplaçant le quartz par un potentiomètre cermet et en l'ajustant pour avoir la même atténuation. Ensuite il suffit de mesurer sa valeur au contrôleur universel. Avantage : le procédé est indépendant du schéma du banc de mesure.

Coefficient de surtension

Après avoir obtenu la capacité série C_s et la résistance série R_s , le calcul est simple :

$$X_c = \frac{1}{2\pi \cdot F_1 \cdot C_s} \quad \text{et} \quad Q = \frac{X_c}{R_s} \quad (1/3 \text{ page})$$

Mesure de la réponse du filtre.

Remplacer le banc de mesure de la figure 2 par celui de la figure 4 ci après.

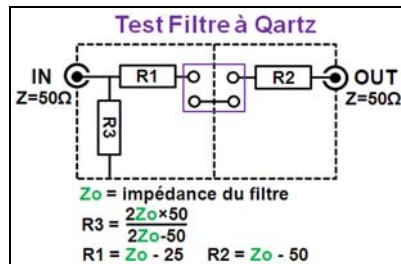


Figure 4

L'idéal est de disposer des appareils de la méthode (A) car elle permet non seulement de contrôler la réponse du filtre, mais également de pouvoir la retoucher ⁽⁴⁾. Avec la méthode (B), il faut procéder en fréquence point par point en notant les deltas de l'atténuation en sortie du générateur pour avoir un niveau constant à la sortie du récepteur.

Ajustage de la fréquence de résonance série d'un quartz

Quand on réalise un filtre à quartz en échelle avec des quartz de récupération, ils ne sont en général pas sur la même fréquence. A partir de celui qui a la fréquence de résonance série F_o la plus élevée, procéder comme suit pour chacun des autres :

Mesurer leur fréquence F_s puis à partir des capacités série C_{Qs} et parallèle C_p du quartz, calculer la capacité C_s à mettre en série pour obtenir la résonance à F_o . Nous avons :

$$C_{s(pF)} = \frac{C_{Qs}}{\left(\frac{F_o}{F_s}\right)^2 - 1} - C_p$$

On aura remarqué (dernier "Comment ça marche") qu'avec un filtre Tchebychev en échelle à 6 et 8 pôles, du fait des couplages élevés, on était obligé de décaler les fréquences de certains quartz. On pourra alors utiliser pour ces quartz ceux qui ont les fréquences de résonance les plus basses et combiner les deux capacités série en une seule (elles sont en série).

Dans le prochain "Comment ça marche", on continuera le filtrage avec les filtres actifs.

La Rubrique "Comment ça marche ?" est une activité collective du radio-club F6KRK (<http://www.f6krk.org>). Pour une correspondance technique concernant cette rubrique : "f5nb@ref-union.org".

Notes.

- 1) On peut aussi mesurer sa réactance en mettant le quartz en série avec une résistance étalon à la sortie d'un générateur BF 1kHz. On mesure les tensions aux bornes de l'ensemble et du quartz seul. Ensuite on obtient la réactance puis la capacitance par les calculs simples que l'on a vus dans les précédents "Comment ça marche".
- 2) On suppose que l'expérimentateur sait utiliser son matériel pour faire des mesures en mode "transmission". Ne pas dépasser un niveau de sortie de +10 dBm. Pour l'analyseur, diminuer sa résolution si nécessaire (pour baisser le bruit à défaut d'augmenter le niveau).

- 3) *Quand un résultat de mesure semble incohérent avec l'étude, penser **d'abord** à l'erreur de mesure avant de revoir le système.*
- 4) *Normalement si les quartz sont tous à leur bonne fréquence et les condensateurs à 1%, cela devrait être "bon du premier coup". Sinon, attention aux retouches, penser que "le mieux est souvent l'ennemi du bien". Par exemple, si le filtre a été calculé pour une ondulation de 1 dB, en essayant d'obtenir une réponse plate on dégrade le facteur de forme. Les constructeurs professionnels de filtres à quartz collent un gabarit de filtrage sur l'écran de l'analyseur de réseau ou de l'analyseur de spectre et font l'ajustage pour entrer dans le gabarit (ondulation et facteur de forme simultanément).*