Réduction de la dérive de fréquence des oscillateurs à quartz de haute stabilité

J.-P. Valentin

► To cite this version:

J.-P. Valentin. Réduction de la dérive de fréquence des oscillateurs à quartz de haute stabilité. *Revue de Physique Appliquée*, 1984, 19 (4), pp.307-310. 10.1051/rphysap:01984001904030700 . jpa-00245197

HAL Id: jpa-00245197

<https://hal.science/jpa-00245197>

Submitted on 1 Jan 1984

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Classification
 Physics Abstracts
 06.30F — 77.60

Réduction de la dérive de fréquence des oscillateurs à quartz de haute stabilité

J.-P. Valentin

Laboratoire de Chronométrie, Electronique et Piézoélectricité,
 ENSMM, route de Gray, La Bouloie, 25000 Besançon, France

(Reçu le 9 novembre 1983, accepté le 5 janvier 1984)

Résumé. — L'effet amplitude-fréquence indirect est utilisé comme méthode originale pour réduire la dérive des oscillateurs à quartz liée au vieillissement de la référence de tension de l'oscillateur. Le cas des résonateurs de coupe AT et SC est étudié et un montage adapté à ces résonateurs est proposé.

Abstract. — The indirect amplitude-frequency effect is used as an original mean for reducing the quartz oscillator frequency shift due to the aging of the oscillator voltage reference. The resonators using AT and SC cuts are studied and a practical device is proposed.

1. Introduction.

Le défaut d'isochronisme d'un oscillateur à quartz, aussi appelé effet amplitude-fréquence, correspond à une variation de fréquence de l'oscillateur liée à une variation de l'amplitude des oscillations, elle-même liée à une évolution de la puissance électrique d'excitation du résonateur. Le signe et l'amplitude de cet effet dépendent de la coupe utilisée pour le résonateur.

Dans ces conditions, les oscillateurs de haute stabilité sont toujours équipés d'une régulation de leur tension d'alimentation. Lorsque cette alimentation est maintenue à température constante dans un four thermostaté, on peut prétendre à une stabilité relative de la tension de 10^{-3} pour 1 000 h ce qui, dans le cas classique d'un résonateur de coupe AT excité à 1 μ W, correspond à un entraînement relatif de fréquence de 10^{-10} par an. Or, les meilleurs oscillateurs à quartz présentent actuellement une dérive liée au vieillissement du résonateur qui n'atteint plus que quelque 10^{-10} par an en valeur relative [1]. C'est dire que le problème de la dérive en fréquence, liée à l'effet amplitude-fréquence, est aujourd'hui posé.

2. Principe de la compensation du défaut d'isochronisme.

Nous proposons ici un moyen de réduire les variations de la fréquence d'un oscillateur de haute stabilité lorsque ces variations sont liées à celles de la

puissance d'excitation, que ces variations de puissance interviennent à court terme (fluctuations) ou à long terme (dérive).

Ce moyen consiste à compenser l'effet amplitude-fréquence par un effet de sens opposé lorsque la puissance d'excitation varie. Cet effet de sens opposé peut être lui-même un effet amplitude-fréquence indirect provenant d'une autre résonance du cristal de quartz [2].

Le résonateur fonctionne alors simultanément sur deux fréquences. La première fréquence correspond au mode normal de fonctionnement du résonateur, c'est-à-dire au mode qui délivre la fréquence métrologique. La seconde fréquence correspond soit à un partielle différent, soit à un mode différent, soit à une vibration anharmonique du résonateur (Fig. 1).

La valeur de la fréquence métrologique dépend de la puissance d'excitation appliquée. La seconde boucle d'oscillation est utilisée comme circuit de compensation. Lorsque la tension d'alimentation varie, la

Fig. 1.

fréquence métrologique varie par effet amplitude-fréquence. De même, la fréquence du circuit de compensation évolue, induisant par effet amplitude-fréquence indirect une contre-variation de la fréquence du mode métrologique.

La compensation proposée nécessite d'une part, la connaissance de la loi de variation de la fréquence métrologique en fonction de sa propre puissance, d'autre part, la connaissance de la loi de variation de la fréquence métrologique en fonction de la puissance du mode de compensation utilisé.

3. Effets amplitude-fréquence.

Deux cas seront étudiés : celui de la compensation d'un résonateur de coupe AT et celui de la compensation d'un résonateur de coupe SC. En effet, ce sont les coupes les plus utilisées pour la réalisation des oscillateurs de haute stabilité.

3.1 RÉSONATEUR DE COUPE AT. — Cette coupe, très connue, est utilisée en vibration de cisaillement d'épaisseur, en général à 5 MHz en partiel 5. Elle présente l'avantage d'être une coupe à simple rotation donc facile à obtenir avec une excellente précision sur l'angle de coupe. D'autre part, son défaut d'hystérésis intrinsèque est faible ce qui la rend particulièrement intéressante dans tous les cas où se pose le problème de la reprise de fréquence, c'est-à-dire chaque fois qu'un oscillateur doit être arrêté puis remis en marche. Enfin, sa courbe fréquence-température est une cubique dont l'un des points à tangente horizontale peut être supérieur à 85 °C. On peut donc l'utiliser pour réaliser des oscillateurs fonctionnant dans la gamme F (− 40 °C à 85 °C).

L'effet amplitude-fréquence d'une coupe AT fonctionnant en cisaillement d'épaisseur à 5 MHz en partiel 5 est connu. Il est positif et suit une loi linéaire en fonction de la puissance.

L'effet amplitude-fréquence indirect de cette coupe est beaucoup moins connu [3]. Nous avons mesuré les variations de fréquence induites sur le mode métrologique 5 MHz partiel 5 par les variations de la puissance du 3 MHz partiel 3. La loi de variation est linéaire en fonction de la puissance et la pente est négative.

La figure 2 reproduit les mesures que nous avons effectuées correspondant aux effets direct et indirect.

L'effet direct correspond à une pente positive mesurée par $\Delta f/f = 5,0 \times 10^{-9}/\mu\text{W}$.

L'effet indirect fait apparaître une pente un peu

différente suivant que le mode 5 MHz partiel 5 est excité à faible niveau (2 μW) ou à haut niveau (100 μW). Dans les deux cas, la pente est voisine de $\Delta f/f = -2,5 \times 10^{-9}/\mu\text{W}$. Les effets direct et indirect sont donc opposés et sensiblement dans la proportion de 2 pour 1. Dans ces conditions, il suffit que toute variation de la tension à la sortie du régulateur d'alimentation soit répercutée dans la proportion de 1 pour 2 respectivement sur le circuit de la fréquence métrologique et sur le circuit de compensation. Les phénomènes étant linéaires, cette proportion est obtenue par un simple réglage initial du rapport des puissances de fonctionnement des deux oscillateurs.

3.2 RÉSONATEUR DE COUPE SC. — Cette coupe relativement récente [4] est aussi utilisée en vibration de cisaillement d'épaisseur en général à 5 MHz sur son partiel 3. C'est une coupe à double rotation, moins sensible à l'accélération que la coupe AT. Elle présente peu d'effet dynamique de température ce qui réduit le temps de démarrage de l'oscillateur. D'autre part, son défaut d'isochronisme est plus faible que celui de la coupe AT et elle ne présente pas de modes couplés (activity dips). Enfin, la cubique représentative de sa courbe fréquence-température fait apparaître des points à tangente horizontale pour lesquels le rayon du cercle osculateur est très supérieur à celui d'une coupe AT. Malheureusement cette cubique dégénère lorsque l'on cherche à monter en température. Pour cette raison, les oscillateurs utilisant un AT sont à une température de fonctionnement inférieure à 70 °C.

L'effet amplitude-fréquence d'une coupe SC fonctionnant en cisaillement d'épaisseur à 5 MHz en partiel 3 a été étudié et mesuré [3, 5]. Il est positif et suit aussi une loi linéaire pour des puissances d'excitation supérieures à quelques microwatts. Différents modes de vibration peuvent être choisis pour réaliser une compensation par effet amplitude-fréquence indirect. On peut ainsi utiliser un mode de vibration identique à celui de la fréquence métrologique (mode C) mais sur un partiel différent. Ou encore, on peut prendre le mode B en partiel 3 ou en partiel 5, correspondant respectivement à 5,47 MHz et 9,11 MHz. D'autres choix sont possibles.

Nous proposons un exemple de fonctionnement utilisant pour la fréquence métrologique le mode C à 5 MHz en partiel 3 et pour la compensation le mode C à 8,3 MHz en partiel 5. La figure 3 reproduit

Fig. 2.

Fig. 3.

les résultats des mesures que nous avons effectuées dans ce cas.

L'effet direct est une fonction linéaire de la puissance appliquée; il présente une pente positive égale à $6,5 \times 10^{-10}/\mu\text{W}$. L'effet indirect, linéaire aussi, présente une pente positive et égale à $4,8 \times 10^{-10}/\mu\text{W}$. Les effets direct et indirect ne sont plus opposés. Dans ces conditions, il faut utiliser deux références de tension dont les dérives d_1 et d_2 soient de signe opposé.

L'alimentation en tension de l'oscillateur métrologique n° 1 est comparée en permanence à l'alimentation en tension de l'oscillateur de compensation n° 2. Le point A commande la polarisation du transistor du circuit oscillateur de compensation (Fig. 4). Un inverseur de tension commande à partir du point B la polarisation du transistor du circuit métrologique. Le rapport $(R_1 + R_2)/R_2$ correspondant à la compensation est égal au rapport des pentes des effets amplitude-fréquence direct et indirect, soit 1,35. Initialement, le rapport des puissances P_1/P_2 des oscillateurs n° 1 et n° 2, est réglé à la valeur $1,35 |d_2/d_1|$.

Montage :

Des précautions sont nécessaires pour obtenir le fonctionnement correct de deux oscillateurs utilisant simultanément le même résonateur. Après divers essais nous avons retenu le montage représenté sur la figure 5.

L'oscillateur métrologique utilise le résonateur à quartz Q monté entre base et collecteur, en série avec la self L du circuit sélectif formé par L, C₀, C, C₁ et C₂, et centré sur la fréquence métrologique. Le condensateur variable C permet l'ajustement précis de la fréquence de sortie.

L'autre oscillateur utilise le même résonateur à quartz Q ainsi qu'un circuit sélectif formé par L', C'₀, C'₁ et C'₂ centré sur la fréquence choisie pour le circuit de compensation.

Premiers résultats :

Les expériences ont porté sur un résonateur B.V.A. 5 MHz P5 de coupe AT. Le montage était celui de la figure 5.

L'oscillateur n° 1 correspondait à la fréquence métrologique 5 MHz du partiel 5. La puissance électrique appliquée au résonateur a été réglée à 1 mW.

L'oscillateur n° 2 correspondait à la fréquence 3 MHz du partiel 3. La puissance électrique correspondante était réglable entre 2 et 3 mW.

L'oscillateur n° 2 n'étant pas alimenté, la variation relative de la fréquence métrologique en fonction de la variation de la tension d'alimentation a été mesurée.

Fig. 4.

Fig. 5.

Nous avons obtenu :

$$\frac{\Delta f}{f} = 1,5 \times 10^{-10} \text{ mV}^{-1}.$$

Les deux oscillateurs étant en fonctionnement et le réglage optimal de l'oscillateur de compensation ayant été recherché, la variation relative de la fréquence métrologique a été réduite à :

$$\frac{\Delta f}{f} = 2 \times 10^{-12} \text{ mV}^{-1}$$

prouvant ainsi l'efficacité de la compensation du défaut d'isochronisme.

Conclusions :

La compensation de l'effet amplitude-fréquence d'un oscillateur par l'effet amplitude-fréquence indirect, ouvre des perspectives intéressantes dans le domaine de la stabilité annuelle des références de fréquence utilisant les résonateurs à quartz. Pour une coupe AT, le gain sur la dérive de fréquence liée à la dérive de la tension d'alimentation, est voisin de 75.

D'autre part, un second domaine d'application de la réduction de dérive par l'effet amplitude-fréquence indirect peut être actuellement exploré : celui de l'augmentation de la puissance de fonctionnement des oscillateurs de haute stabilité dans le but d'une amélioration de leur pureté spectrale autour de la porteuse.

Bibliographie

- [1] BESSON, R. J., *New advances in precision quartz oscillators and their impact on quantum standards*, *J. Physique* **42** (1981).
 - [2] VALENTIN, J. P., *Oscillateur haute fréquence à défaut d'isochronisme compensé*, Brevet d'Invention n° 82.21797.
 - [3] VALENTIN, J. P., GUERIN, C. P., BESSON, R. J., *Indirect amplitude frequency effect in resonators working on two frequencies*. Proc. 35th Annual Symposium Frequency Control, 1981.
 - [4] EERNISSE, E. P., *Quartz resonator frequency shifts arising from electrode stress*, Proc. 29th Annual Symposium Frequency Control, 1975.
 - [5] NASSOUR, D. A., *Influence des paramètres de construction sur le défaut d'isochronisme des résonateurs piézoélectriques à simple ou double rotation*, Thèse de Doctorat, Faculté des Sciences de Besançon, mai 1982.
-