

## OSCILLATEUR 26 GHz A FAIBLE BRUIT DE PHASE UTILISANT UN RESONATEUR A QUARTZ A MODE DE GALERIE

P. SALZENSTEIN, R. BARHAILA, Y. GRUSON, Y. KERSALÉ ET V. GIORDANO

Laboratoire de Physique et de Métrologie des Oscillateurs (LPMO)  
CNRS UPR 3203, associé à l'Université de Franche-Comté,  
32 avenue de l'Observatoire, F25044 Besançon Cedex, France  
e-mail: patrice.salzenstein@lpmo.edu

### Abstract:

We present the evaluation of a 26 GHz-oscillator using a SiO<sub>2</sub> monocrystal Whispering gallery mode resonator as frequency reference. The SiO<sub>2</sub> resonator features a loaded Q-factor of 23000 leading to a phase noise  $S_{\phi}(1\text{kHz}) = -72\text{dB}\cdot\text{rad}^2\cdot\text{Hz}^{-1}$ . This first prototype though not yet completely optimised demonstrates the potentiality of dielectric quartz resonator for the achievement of low phase noise microwave source.

### Résumé:

Nous présentons ici l'évaluation des performances d'un oscillateur à 26 GHz comportant un résonateur constitué d'un monocrystal de SiO<sub>2</sub> à mode de galerie. Le SiO<sub>2</sub> présente un facteur de qualité de 23000 conduisant à une densité spectrale de bruit de phase  $S_{\phi}(1\text{kHz}) = -72\text{dB}\cdot\text{rad}^2\cdot\text{Hz}^{-1}$ . Bien que non complètement optimisé, ce premier prototype montre les potentialités d'un résonateur à quartz pour la fabrication d'une source hyperfréquence à faible bruit de phase.

### 1. Introduction:

De nombreuses applications scientifiques et techniques comme la métrologie fondamentale et appliquée, les radars et les systèmes de télécommunications nécessitent de disposer d'oscillateurs hyperfréquences à faibles bruit de phase. D'après le modèle de Leeson [1], la densité spectrale des fluctuations de phase  $S_{\phi}(f)$  d'un oscillateur est reliée au facteur de qualité du résonateur par la relation

$$S_{\phi}(f) = \left(\frac{\nu_0}{2Q_L}\right)^2 \left(\frac{1}{f}\right)^2 S_{\theta}(f) \quad (1)$$

pour  $f \ll \nu_0/2Q_L$

où  $\nu_0$  est la fréquence porteuse et  $S_{\theta}(f)$  la densité spectrale de bruit de phase intrinsèque de l'amplificateur. Comme  $S_{\theta}(f)$  est dominé par le bruit flicker de phase (bruit en  $1/f$ ) aux faibles fréquences de Fourier, on verra apparaître une dépendance de type flicker sur  $S_{\phi}(f)$ . L'équation (1) montre que l'un des paramètres clés est le facteur de qualité  $Q$  qui doit être suffisamment élevé afin d'atteindre de bonnes performances en terme de bruit de phase. Des valeurs de  $Q$  très élevées peuvent être obtenues avec un résonateur saphire (monocrystal de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) [2-4]. Lorsque l'on ne recherche pas les performances ultimes, le quartz se montre suffisant et bon marché avec un milieu diélectrique présentant de faibles pertes. Malgré la grande valeur de la

permittivité relative du  $\text{SiO}_2$  il est possible d'obtenir un fort facteur de qualité en utilisant les techniques de résonateurs à ondes de galeries (Whispering Gallery Mode Resonator i.e. WGMR) [5]. Dans ce cas l'énergie électromagnétique est correctement confinée dans le diélectrique et le facteur de qualité est essentiellement limité par  $\tan\delta$ . Dans ce papier, après une brève description de notre résonateur  $\text{SiO}_2$  WGMR à 26 GHz nous nous intéressons à la mise au point du circuit d'oscillation à cette fréquence de référence. Les mesures démontrent les potentialités des performances en terme de bruit de phase d'un tel résonateur.

## 2. Design du résonateur et de l'oscillateur:

Le résonateur diélectrique est constitué d'un cylindre de quartz de 24.6 mm de diamètre et de 6.5 mm d'épaisseur comportant un trou de 3mm de diamètre le long de son axe. Le cylindre de quartz est centré dans une cavité en cuivre métallisée d'or à sa surface. Deux sondes électriques constituées par des antennes fixées à chaque extrémité de la cavité sont utilisées pour exciter les modes de galerie (WGH) du résonateur. Afin de montrer les potentialités du résonateur à quartz dans l'oscillateur pour obtenir un faible bruit de phase aux hautes fréquences, nous avons choisi d'opérer sur le mode  $\text{WGH}_{10,0,0}$  à 26 GHz. Le choix de la fréquence a été limité par la technologie disponible au laboratoire. Les coefficients de couplage ont été ajustés en modifiant la profondeur de pénétration des antennes dans la cavité en cuivre. Les pertes d'insertion sont alors de -15 dB et permettent d'obtenir un Q de 23000.

Le design du circuit d'oscillation suit un schéma classique d'oscillateur en transmission. Bien que des techniques de sélections modales existent et aient été testées avec succès sur ce type de résonateur [6], le prototype présenté ici n'inclut pas de sélecteur modal. C'est pourquoi un filtre passe-bande a été nécessaire pour assurer l'oscillation sur le bon mode. Le filtre réalisé en technologie guide d'onde présente une bande passante de 300 MHz suffisante pour supprimer les résonances parasites. L'amplificateur commercial en Arséniure de Gallium présente un gain de 35dB et une puissance de sortie de 12dBm à 1dB de compression. L'atténuateur variable et le déphaseur ont été insérés dans le circuit pour ajuster la puissance et la phase du signal dans la boucle. Un coupleur directif 10 dB permet d'extraire le signal. La figure 1 montre le spectre RF du signal de sortie avec une puissance de 2dBm à 26.00 GHz.

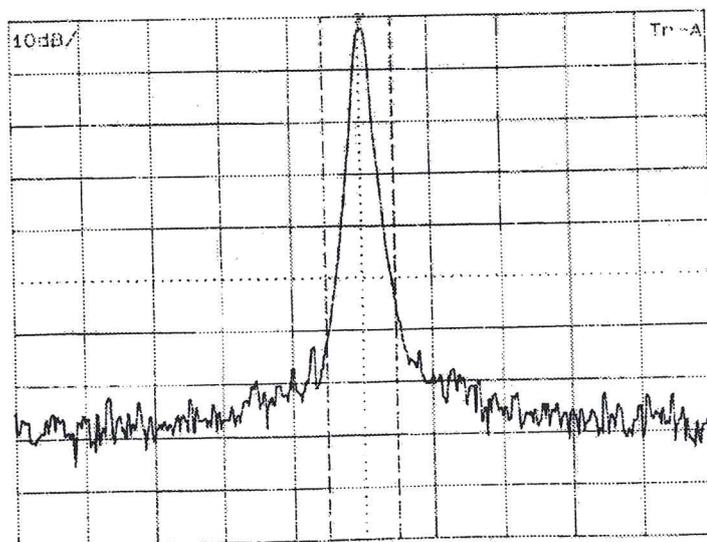


Fig.1 Spectre RF (center freq.26.00GHz, span1MHz, RF level 5.00dBm, res.BW.10kHz, video BW.10kHz)

### 3. Mesures de bruit de phase:

La configuration utilisée afin d'évaluer le bruit de phase de l'oscillateur est décrit à la figure 2. Un premier signal de battement à 123 MHz est obtenu par le mélange de la sortie de notre oscillateur à 26GHz avec la troisième harmonique d'un synthétiseur faible bruit à 8.62GHz.

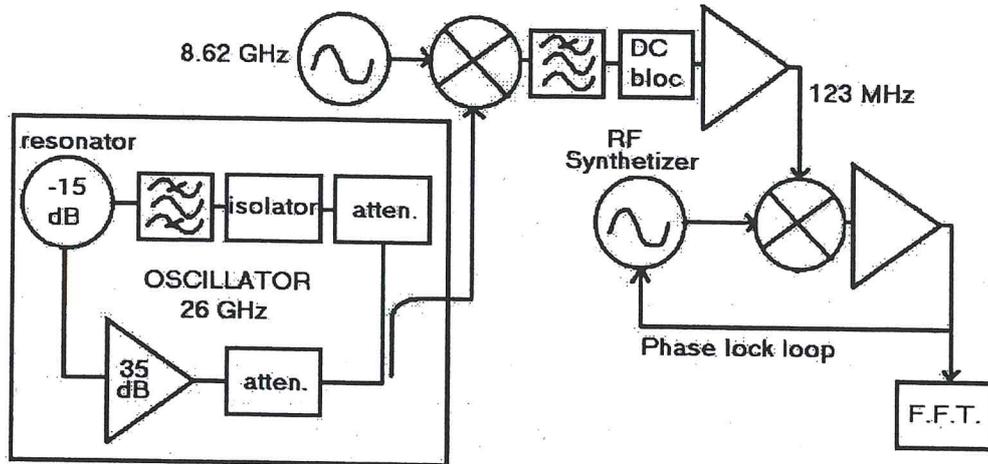


Fig.2 Schéma du montage

Le bruit de phase du signal de battement est alors mesuré à l'aide d'un montage incluant un synthétiseur basse fréquence. Les résultats des mesures de bruit de phase sont montrés sur la figure 3.

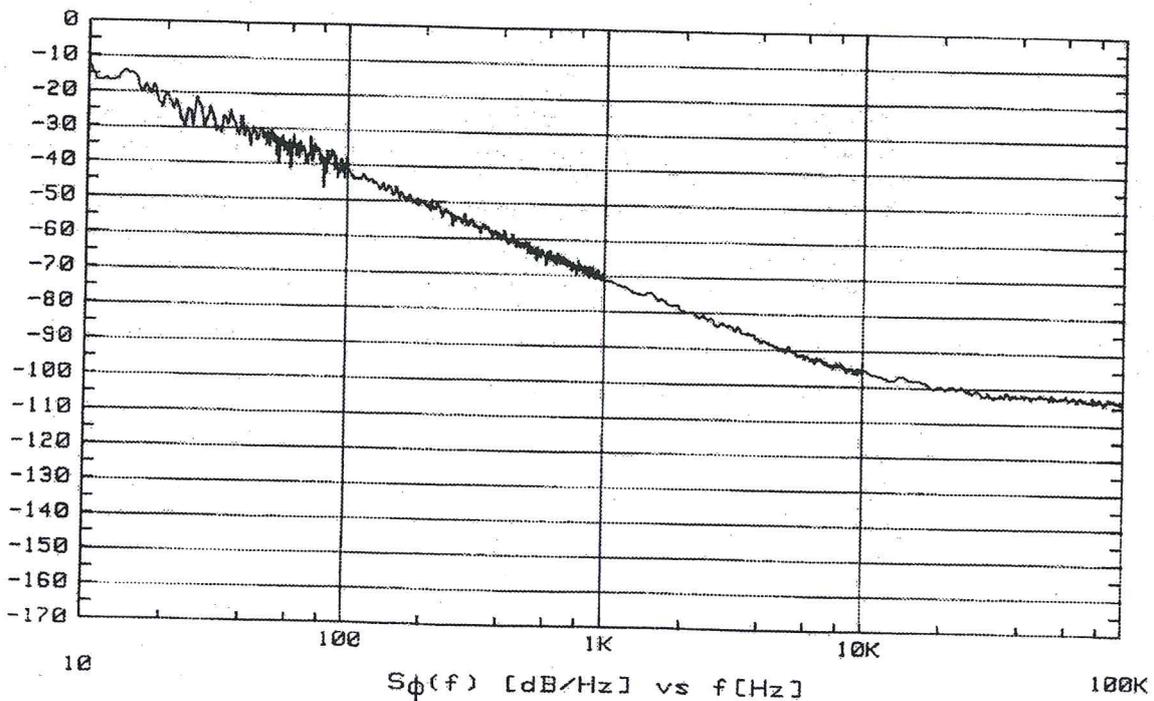


Fig.3 Mesures de bruit de phase à 26GHz

Pour les fréquences de Fourier au delà de 10kHz, la mesure est limitée par le bruit de phase du synthétiseur à 8.62GHz. La densité spectrale du bruit de phase de notre oscillateur est égale à  $-72\text{dB}\cdot\text{rad}^2\cdot\text{Hz}^{-1}$  à 1kHz de la porteuse avec une dépendance en  $1/f^3$  comme attendue.

D'après le modèle de Leeson, le bruit de l'amplificateur devrait être égal à  $-97\text{dB}\cdot\text{rad}^2\cdot\text{Hz}^{-1}$  en accord avec les mesures précédentes. Une telle valeur est largement comparable avec les performances des amplificateurs à l'état de l'art [7]. Notre oscillateur à 26 GHz présente néanmoins des performances en densité spectrale de bruit de phase comparables avec les résultats déjà publiés [8].

#### 4. References :

- [1] D. B. Leeson, 'A simple model of feedback oscillator noise spectrum', Proceedings of the IEEE, feb.1966, pp. 329-330
- [2] A. N. Luiten, A. G. Mann and D. G. Blair, 'Ultrahigh Q-factor cryogenic sapphire resonator', Electronics Letters, 1993, **29**, (10), pp. 879-881
- [3] S. Vitusevich, K. Schieber, N. Klein, I. S. Ghosh and M. Spinnler, 'An all-cryogenic low phase-noise hybrid K-band oscillator for satellite communications', IEEE Microwaves Trans. on Techn. conference 2001
- [4] V. Giordano, Y. Kersalé, O. di Monaco and M. Chaubet, 'Progress report on the development of microwaves spectral references at the LPMO', Eur. Phys. J. A. P. **8**, 1999, pp. 269-274
- [5] I. Lajoie, R. Barhaila, Y. Kersalé, D. Cros, D. Durichon and V. Giordano, 'High Q microwave resonators using quartz monocrystal', Electronics Letters, 20<sup>th</sup> january 2000, **36**, (2), pp. 150-152
- [6] O. Di Monaco, W. Daniau, I. Lajoie, Y. Gruson, M. Chaubet and V. Giordano, 'Mode selection for a whispering gallery mode resonator', Electronics Letters, 28<sup>th</sup> march 1996, **32**, (7), pp. 669-670
- [7] O. Llopis, J.B. Juraver, M. Regis, M. Chaubet and J. Graffeuil, 'Evaluation of two non-standard techniques for the phase noise characterization at microwave frequencies', Proc. of the 2000 IEEE Int. Freq. Contrl. Symp., Kansas City (USA), june 2000, pp. 511-515
- [8] U. Güttich, H. Shin, U. Erben, C. Gaessler and H. Leier, '24-27 GHz dielectrically stabilized oscillators with excellent phase noise properties utilizing InP/InGaAs HBTs', IEEE Microwaves Trans. on Techn. Conference, TUF2-2, 1999