

Mesure du bruit intrinsèque de résonateurs MEMS

Etienne Vaillant, Fabrice Sthal¹, François-Xavier Esnault²

1. FEMTO-ST Institute, Univ. Bourgogne Franche-Comté, CNRS, ENSMM, Besançon

2. CNES, Microwave and Time-Frequency, Toulouse

Objectif de thèse : Investiguer l'origine du bruit de phase dans les résonateurs MEMS

Bruit de phase : généralités

Quoi ?

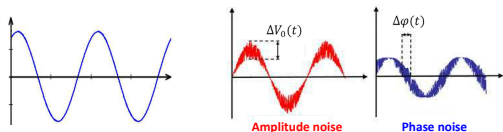
- ♦ Résonateur => horloge => référence de temps

SIGNAL IDEAL

$$v(t) = V_0 \cdot \sin(2\pi\nu_0 \cdot t)$$

SIGNAL REEL

$$v(t) = (V_0 + \Delta V_0(t)) \cdot \sin(2\pi\nu_0 \cdot t + \Delta\phi(t))$$



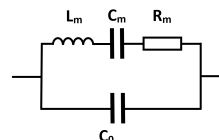
- ♦ **Bruit de phase** = Densité Spectrale de Puissance des fluctuations de phase $\Delta\phi(t)$ du signal.

Pourquoi ?

- ♦ **Ex : Télécommunications, GNSS**
 - Onde EM : 1 m \Leftrightarrow 3 ns
 - Moins de bruit => meilleure stabilité
- ♦ **MEMS : Micro Electro Mechanical System**
- ♦ **Dimensions / Coût / Fabrication collective**

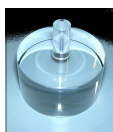
Comment ?

- ♦ Evaluer le bruit de phase à l'aide de **bancs de mesures**.
- ♦ **Simulation** via modèle théorique équivalent de résonateur (Butterworth Van Dyke) :



Division de fréquence et mesure du bruit

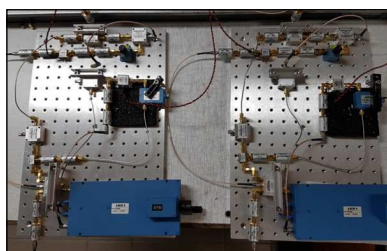
Source ultra-stable



Résonateur Saphir

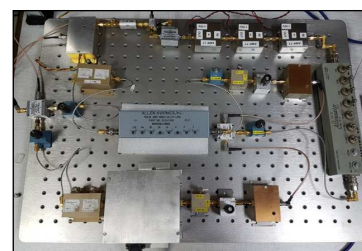
Signal ultra-stable à 10 GHz

Diviseur de fréquence



Signal ultra-stable divisé

Banc de mesure

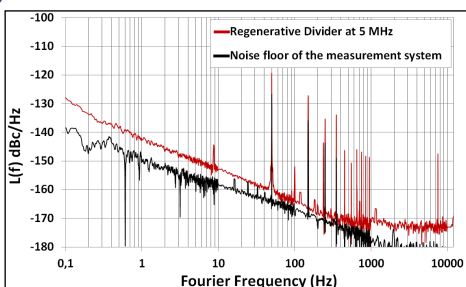


- ♦ **Source d'excitation** du résonateur pour la mesure.
- ♦ **Oscillateur Saphir Cryogénique (CSO)** : signal ultra-stable à la seule fréquence de **10 GHz**.
- ♦ Variance d'Allan : $\sigma_y(1s) = 6.10^{-16}$
- ♦ Bruit de phase : $\mathcal{L}_{100\text{MHz}}(1\text{ Hz}) = -130\text{ dBc/Hz}$

- ♦ **Etage de division** permettant de travailler à la fréquence souhaitée.
- ♦ Divise la fréquence de la source sans en dégrader les **performances**.
- ♦ Gamme de fréquences visée : **[5 kHz ; 5 GHz]**.

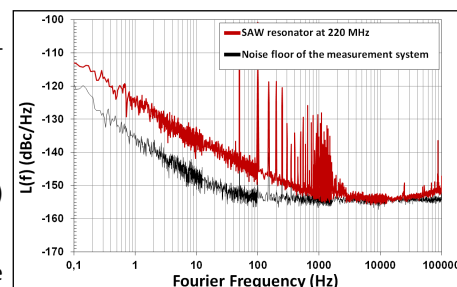
- ♦ Banc dit à **suppression de porteuse** : atténue le bruit de la source.
- ♦ Résonateurs encapsulés dans des boîtiers thermostatés : **évite les fluctuations de température**.

Résultats et innovations



Bruit de phase d'un diviseur de fréquence (10 MHz -> 5 MHz)

- ♦ Très faible bruit de phase des diviseurs régénératifs de ratio 2 : $\mathcal{L}_{5\text{ MHz}}(1\text{ Hz}) = -145\text{ dBc/Hz}$.
- ♦ **Diviseur régénératif de fréquence** ratio > 2.
- ♦ Mesures de résonateurs MEMS (SAW et HBAR) de 5 MHz à 2,4 GHz.
- ♦ Réalisation d'un banc de mesure de bruit de phase à **suppression de porteuse**, de 5 MHz à 5 GHz.



Bruit de phase d'un résonateur SAW à 220 MHz

Conclusion et perspectives

- ✓ Bruit de phase de la source à l'état de l'art peu dégradé par les diviseurs.
- ✓ Banc de mesure opérationnel de 5 MHz à 5 GHz.
- ◇ Diviseurs de ratio > 2 opérationnels, à caractériser en terme de bruit de phase.
- ◇ Concevoir des diviseurs variables pour ajuster la fréquence de la source d'excitation.

