

Les développements d'asservissements en fréquence/phase

Dans le domaine de l'électronique RF, nous développons pour la R&D sur les accélérateurs notamment les systèmes d'asservissements nécessaires à la caractérisation des cavités supraconductrices. Cette caractérisation consiste à effectuer une montée en champ accélérateur dans la cavité et à déterminer à partir des mesures effectuées le coefficient de qualité de la cavité. Ces développements sont soumis à des contraintes principalement en termes de bande passante très faible, 1Hz ou moins jusqu'à une centaine de Hertz et de dynamique de mesure sur le signal transmis par la cavité de 80dB ou mieux. On détermine le type de système d'asservissement à utiliser la cavité ou plus exactement de l'écart en fréquence de ses différents modes de résonance.

1 Boucle auto-oscillante (SEL)

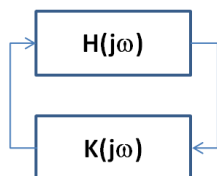
Pour les cavités ayant des modes de résonances éloignées, donc facilement sélectionnables avec un filtre passe-bande, nous utilisons une boucle dite « auto-oscillante » (Self Exciting Loop) qui permet d'exciter la cavité avec un signal RF ayant sa fréquence de résonance.



Figure 1 Cavité SPOKE (et prototype en cuivre)

Il s'agit de faire démarrer et d'entretenir en oscillation le système en compensant l'atténuation et le déphasage introduit par la chaîne directe $H(j\omega)$ par la boucle « de contre-réaction » $K(j\omega)$.

En effet, pour qu'un système bouclé oscille à la fréquence f_0 , il faut que le gain de boucle soit égal à 1 et le déphasage total de la boucle soit nul, en d'autres termes que $T(j\omega) = H(j\omega) \cdot K(j\omega) = 1$ (Condition de Barkhausen).



Nous avons développés à ce jour, différentes versions analogiques fonctionnant à 88MHz, 176MHz et 352MHz intégrant un contrôle et commande, basé sur un μC en lien avec un programme d'acquisition et de supervision développé sous LABVIEW.

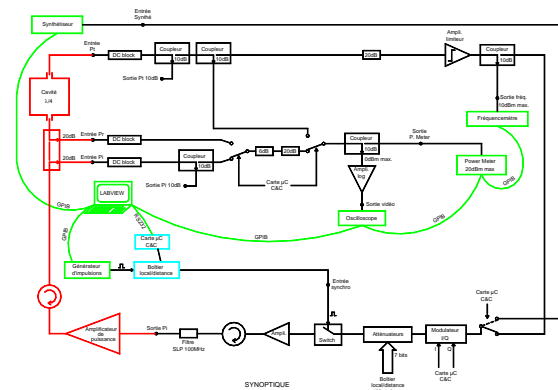


Figure 2 Schéma de principe Boucle auto-oscillante 88MHz

Les différents sous-ensembles ont évolués jusqu'à l'intégration sur circuit imprimés des fonctions RF.

Le premier prototype intégrant cela est une boucle auto-oscillante à 352MHz réalisée pour les tests de cavités SPOKE notamment pour le projet ESS. Cette carte électronique regroupe toutes les fonctions Radiofréquences que nécessite la boucle auto-oscillante, à savoir :

- Amplification jusqu'à saturation avec une grande dynamique et un faible déphasage sur toute sa plage de fonctionnement.
- Un déphasage réglable sur une plage de 360°.

- Une amplification logarithmique pour mesurer le temps de décroissance sur le signal transmis à faible puissance.
- Atténuation variable pour régler le niveau de puissance à fournir à l'amplificateur de puissance.
- La coupure RF permettant d'arrêter de fournir le signal RF à l'amplificateur de puissance ou de fournir un signal RF pulsé.

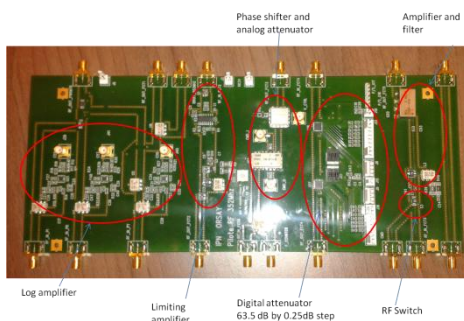


Figure 3 PCB RF boucle auto oscillante @ 352MHz

2 Boucle à verrouillage de phase (PLL)

Dans le cas de cavités ayant des modes de résonance rapprochés comme les cavités elliptiques multi-cellules, il est préférable d'utiliser un système d'asservissement dit « boucle à verrouillage de phase (Phase locked loop).

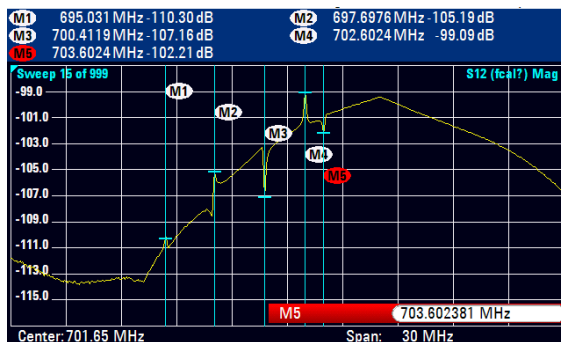


Figure 4 Modes résonnants d'une cavité @ T° amb

La PLL est utilisée dans ce cas pour produire le signal fourni à l'amplificateur de puissance tout en choisissant sa fréquence et en mesurant ensuite la différence de phase entre celui-ci et le signal transmis. Cela permet de choisir le mode de résonance que l'on souhaite parmi ceux existants.

D'autant plus que la fréquence de résonance varie en fonction de la température de fonctionnement et des perturbations mécaniques que subit la cavité.

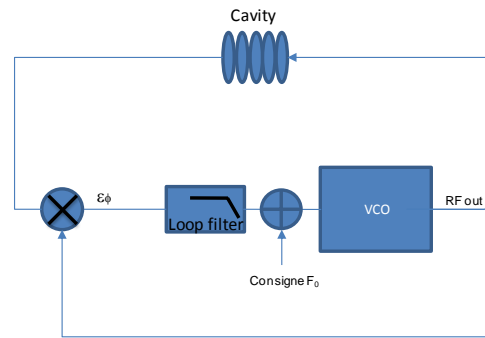


Figure 5 Principe de l'utilisation de la PLL

Des boucles à verrouillage de phase ont été développées pour les projets MAX (anciennement EUROTRANS) à 704MHz et pour le projet ECOMI pour la gamme 2GHz à 6GHz. Elles intègrent des fonctionnalités supplémentaires telles que la mesure de fréquence, le choix du mode de fonctionnement (continu ou pulsé), etc. Le C&C est du même type que celui des boucles auto-oscillantes.

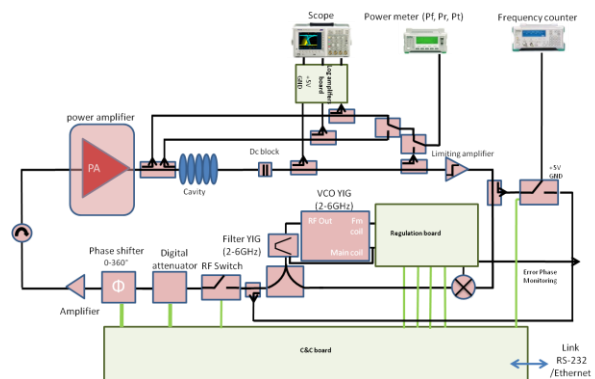


Figure 6 Schéma de principe de la PLL 2-6GHz

3 Perspectives

A l'avenir, nous souhaitons développer une boucle auto-oscillante numérique comme cela se fait au CERN par exemple.