

Le Laboratoire Temps Fréquence de Besançon parmi les meilleurs au monde

2008.12.05

Le Laboratoire Temps Fréquence de Besançon parmi les meilleurs au monde

Le Laboratoire Temps Fréquence de Besançon parmi les meilleurs au monde

Le laboratoire commun LNE - FEMTO-ST fait désormais partie du Laboratoire Temps Fréquence de Besançon (LTFB). En plus de ses travaux de recherche, son activité porte sur la conception et la caractérisation d'oscillateurs de haute stabilité OUS (Oscillateurs Ultra Stables).



Le 1er mars 2008, les laboratoires accrédités de l'Observatoire de Besançon et de FEMTO-ST ont fusionné au sein d'une nouvelle structure, le Laboratoire Temps Fréquence de Besançon (LTFB). Le LTFB est donc dorénavant partenaire du LNE (Laboratoire National de métrologie et d'Essai) et comprend les deux laboratoires accrédités par le COFRAC, auxquels sont adjointes des activités de recherche directement liées aux activités d'étalonnage. Le LTFB compte une douzaine de personnels permanents. Du 22 au 25 avril 2008, il a tenu un stand commun avec FEMTO-ST au congrès Temps-Fréquence Toulouse Space Show'08.

Qu'est-ce que le Temps-Fréquence ? Quand on aura précisé que l'essentiel des clients du LTFB est constitué par le CNES pour les satellites et DGA et Thales pour les radars, on aura compris que le créneau est étroit. D'ailleurs, Patrice Salzenstein, directeur adjoint du LTFB, compte ses homologues sur seulement quelques mains.

Deux accréditations COFRAC

Le LTFB est accrédité par le COFRAC pour réaliser des étalonnages de dispositifs temps-fréquence, fournissant un signal dans une bande allant de 1 MHz à 18 GHz. Il est également pour caractériser la stabilité à court terme des signaux de fréquence de 1 MHz à 1 GHz pour des temps d'intégration de 0,2 s à 100 s. Ces étalonnages permettent de caractériser les signaux, soit dans le domaine temporel par la mesure de l'instabilité de fréquence en fonction du temps de mesure (τ) et la détermination de la variance d'Allan ($0,001 \text{ s} < \tau < 103 \text{ s}$), soit dans le domaine spectral par la mesure de la densité spectrale des fluctuations de phase ou de fréquence pour des fréquences de Fourier allant de 0,001 Hz à 100 000 Hz.

L'activité d'étalonnage porte sur la caractérisation d'oscillateurs de haute stabilité, de générateurs et synthétiseurs de fréquences et également d'étalons au césium et au rubidium qui sont les références locales des laboratoires demandeurs. Les étalonnages sont réalisés dans le domaine spectral et temporel.

Patrice Salzenstein répond à la question posée plus haut en expliquant que "le temps-fréquence est constitué par tout ce qui concerne les mesures du temps avec les incertitudes associées. Un oscillateur est un instrument qui délivre un signal sinusoïdal avec une fréquence fixe et avec une certaine puissance. En fait, le signal délivré devrait être exact et stable en fonction du temps et comme aucun appareil ne l'est vraiment, l'un des propos des laboratoires temps-fréquence est de caractériser les oscillateurs".

Mesure du bruit de phase, exactitude et stabilité de la fréquence

Pour comprendre comment fonctionne un oscilloscope, Patrice Salzenstein, prend l'exemple d'un pendule comtois qui a une fréquence d'oscillation propre, mais qui perd de la puissance dans le temps à cause de frottements divers. Pour le maintenir, il faut lui communiquer de l'énergie. Un oscillateur comprend donc un résonateur, un amplificateur (qui compense les pertes), un déphaseur et un coupleur directionnel qui extrait une partie du signal hors de la boucle d'amplification. Le résonateur est un filtre passe bande, caractérisé par un coefficient de qualité Q : s'il est bon, on aura peu de bruit et une bonne stabilité. Pour les résonateurs produits chez Oscilloquartz (Neufchatel) à 5 MHz, à l'état de l'art international, $Q = 1\,800\,000$ avec des fréquences de coupure de l'ordre de 2 Hz et une variance d'Allan avoisinant les 0,000 000 000 005.

Comme cela vient d'être dit, les oscillateurs sont sujets à des variations qu'il est important de repérer. "Le but de FEMTO-ST est de caractériser l'exactitude et la stabilité de la fréquence ainsi que le bruit de phase du signal de l'oscillateur. Tout ce qui concerne la puissance est pris en charge par le LNE de Trappes".

Mesurer le bruit de phase

Pour caractériser le bruit de phase, le LTFB possède des bancs de mesure pour les oscillateurs et synthétiseurs de fréquence. La méthode la plus utilisée consiste à utiliser l'oscillateur d'un client (couplé avec un des oscillateurs du LTFB) ou deux oscillateurs identiques et on étalonne la paire d'oscillateurs en bruit de phase. Car la mesure exige toujours deux oscillateurs et s'il n'y en a qu'un, on le mesure par rapport à une référence.

Le client veut savoir l'allure de la courbe de bruit de phase de son oscillateur. "Dans ce domaine, il y a pas d'étalon national, c'est la méthode elle-même qui est étalon national, et en bruit de phase, nous sommes la référence nationale en France. Nous ne raccordons pas les utilisateurs finaux mais ceux qui font des étalonnages et qui viennent avec leurs références (étalons secondaires)". Le résultat donné aux clients est matérialisé par une courbe donnant le bruit S_{ϕ} en fonction de la fréquence de Fourier à une fréquence, associée à une incertitude.

Mesurer la stabilité de la fréquence

La stabilité est donnée par la mesure de la variance d'Allan. Le client veut savoir de combien son oscillateur bouge toutes les 0,1 seconde (ou plus) sachant que le LTFB est accrédité de 0,1 à 100 secondes.

"La difficulté, c'est que le Temps-fréquence est un domaine assez particulier : l'état de l'art est tel que les oscillateurs à 5 MHz sont stables à 0,000 000 000 000 05. Il y a peu de domaines où le rapport d'aspect entre ce qu'on mesure (variation de la fréquence) et la valeur qu'on récupère (sa porteuse) est si grand et où l'on a de telles résolutions : 5 MHz stable à 0,000 000 000 000 05, cela signifie que c'est le digit du μ Hz qui peut bouger. Or, un compteur commercial de fréquence a seulement 9 digits". Lors de la mesure, le compteur indiquera toujours 5 MHz, et il faudra utiliser une astuce pour compenser ce manque de résolution, astuce qui va consister à transformer le signal en faisant sauter le dernier digit de quelques cases (pour le faire remonter de 100 000) de façon à pouvoir le mesurer au compteur. "Pour cela, nous utilisons un oscillateur de référence asservi sur un césium et l'oscillateur à mesurer. Les deux signaux sont envoyés sur un multiplicateur d'écart (multiplié par 100 000) et nous programmons le compteur avec un temps d'intégration (entre 0,1 s et 100 s). Ensuite, un traitement des données tient compte des 100 000 du multiplicateur d'écart et donne une variance. Pour chaque point, nous avons choisi 512 fréquences et nous traçons une courbe. C'est cette courbe donnée sur le certificat d'étalonnage Cofrac qui indique au client la stabilité court terme de fréquence associée à des incertitudes".

Des oscillateurs opto-électroniques pour les très hautes fréquences

A Toulouse, le LTFB vient de présenter ses travaux sur des oscillateurs opto-électronique. "Les spectres de fréquence couverts communément vont de 5 à 100 MHz et nous travaillons pour le CNES et la Défense dans les hyper-fréquences à 10, 12 et 17 GHz. Mais la communauté internationale travaille sur des fréquences encore plus élevées pour lesquelles les oscillateurs opto-électroniques sont une des réponses possibles". Dans ce type d'oscillateur, le résonateur n'est plus un quartz mais une bobine de fibre ou un mini-résonateur optique. Le système comporte un laser, un modulateur, un résonateur, une photo-diode et un amplificateur dans sa partie optique et une partie en hyper-fréquence.

La porteuse optique est dans le domaine du TeraHertz et la modulation possède un filtre qui dicte la fréquence globale de l'oscillateur. "Au niveau du banc de mesure, nous sommes à l'état de l'art, comparable au Jet Propulsion Laboratory de Pasadena (Nasa) et au niveau oscillateur opto-électronique, nous sommes juste derrière, dans les trois premiers laboratoires mondiaux".

Plus globalement, les activités de recherche portent sur le développement d'une méthode d'étalonnage absolu pour la mesure du bruit de phase, la fabrication d'un amplificateur de distribution et d'un prémultiplicateur d'écart de fréquence et la mise en oeuvre d'un système de régulation thermique de haute sensibilité pour la réalisation d'oscillateurs cryogéniques ultrastables. Elle porte également sur l'évaluation et l'amélioration des planchers de mesures et des limites de la confiance dans la détermination de la variance d'Allan lors de l'asservissement d'un oscillateur sur un autre.

Yann Clavel

Source: <http://www.micronora.com>

Aucune relation

*}