

Les générateurs de signaux Rubidium redéfinissent les normes industrielles en termes de pureté et stabilité du signal

Par Alexander Chenakin, Suresh Ojha et Sadashiv Phadnis (Anritsu)

Les nouveaux générateurs de signaux Rubidium d'Anritsu répondent à la demande actuelle du marché en sources de signaux micro-ondes hautes performances, de 20 à 43,5 GHz. Ayant comme principe moteur l'innovation et la qualité, les générateurs de signaux Rubidium défont les performances traditionnelles grâce à une stabilité en fréquence de l'ordre atomique et un excellent bruit de phase de -140 dBc/Hz à 10 kHz d'offset par rapport à une porteuse à 10 GHz.



Les générateurs de signaux sont fondamentaux : les technologies modernes ne pourraient pas exister sans eux (1,2). Pour répondre aux exigences actuelles du marché, Anritsu a introduit la gamme Rubidium, basée sur une technologie innovante (3) qui offre à la fois une large couverture fréquentielle, une faible résolution et une forte puissance de sortie, associés à un très faible bruit de phase et une stabilité d'ordre atomique. Le cœur du synthétiseur embarque un oscillateur 2 à 20 GHz propriétaire de type YIG, verrouillé sur une référence de fréquence interne qui est redistribuée de manière analogique, comme l'illustre la figure 1. La couverture fréquentielle native du YIG est étendue grâce à un multiplicateur et un diviseur de fréquence (suivi d'un amplificateur haute puissance, d'un contrôle d'amplitude et d'un filtrage harmonique) pour atteindre une plage allant de 9 kHz à 20 GHz, ou 43,5 GHz. Le signal de sortie du YIG est directement transposé en basses fréquences par un convertisseur analogique permettant de s'affranchir de tout diviseur de fréquence, et évitant ainsi toute dégradation du bruit de phase dans la boucle de verrouillage de phase. Un multiplicateur de fréquence à commutation est inséré dans la boucle, qui (a) réduit le

nombre de fréquences générées et (b) offre une réduction supplémentaire du bruit résiduel de la boucle à verrouillage de phase (PLL), à basses fréquences.

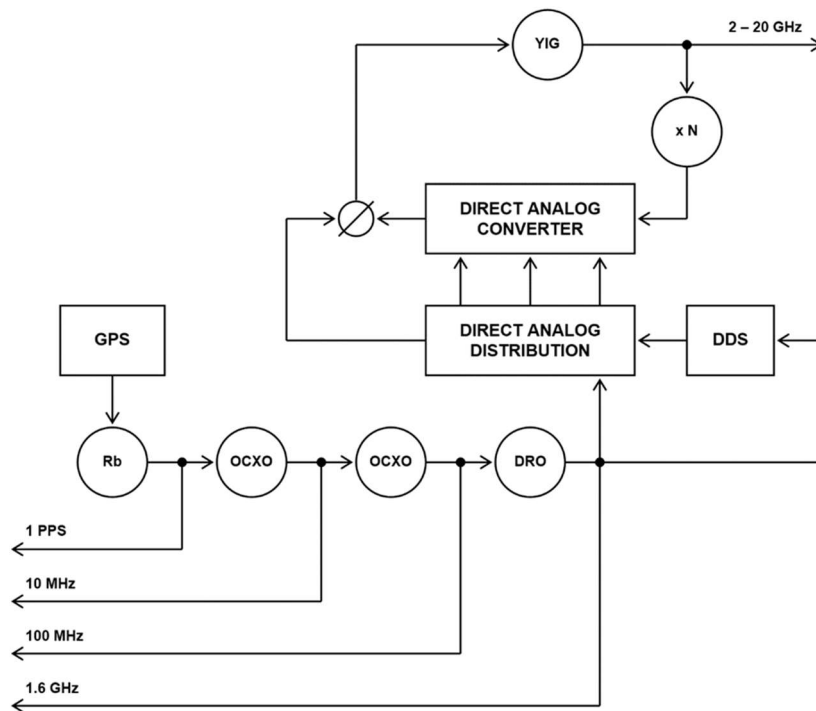


Figure 1. Schéma simplifié du synthétiseur interne de Rubidium™.

Ainsi, l'architecture présentée fournit principalement une PLL sans bruit additionnel, c'est à-dire qu'elle retranscrit le bruit de référence du synthétiseur sans venir dégrader le bruit de phase des fondamentales de fréquence $20\log N$. (pas trop compris d'un point de vue techno)

Une référence issue d'une combinaison de 3 sources est utilisée pour proposer un bruit de phase le plus faible possible, quelle que soit l'offset en fréquence utilisé. Par ailleurs, cette référence combinée est asservie par une horloge atomique au rubidium, permettant d'atteindre un niveau de stabilité supérieur à celui d'une référence conventionnelle basée sur un oscillateur à quartz thermostaté (OXCO). Le fonctionnement de l'horloge rubidium est basé sur des constantes fondamentales plutôt que des dimensions physiques et, par conséquent, est extrêmement stable. De nombreuses fréquences de référence sont disponibles pour la synchronisation, incluant notamment un signal à 1,6 GHz pour obtenir la plus haute fidélité.

L'architecture des générateurs de signaux Rubidium permet d'atteindre des performances élevées concernant la pureté et la stabilité du signal. Le bruit de phase se révèle toujours être une spécification critique pour les générateurs de signaux. Les générateurs Rubidium disposent de quatre niveaux, dont le niveau exceptionnel de -140 dBc/Hz à 10 GHz à 10 kHz d'offset, correspondant à l'option Ultra faible bruit, décrite en Figure 2. Autre aspect important : la stabilité en fréquence. Les générateurs de signaux classiques s'appuient généralement sur des oscillateurs à quartz thermostatés (OXCO) cadencés à 10 MHz, affichant une stabilité en fréquence relativement bonne. Cependant, la fréquence d'un oscillateur OXCO dépend de la résonance mécanique du quartz ou, en d'autres termes, de la taille du quartz. Avec les variations de température, les dimensions du

quartz varie aussi, entraînant de légères variations de la fréquence. Par ailleurs, le matériau du quartz en lui-même s'évapore avec le temps, conduisant peu à peu au « vieillissement » de la fréquence. C'est pourquoi l'introduction d'une référence atomique améliore de manière radicale la stabilité de la base de temps interne, non pas d'un simple multiple, mais de plusieurs ordres de grandeur.

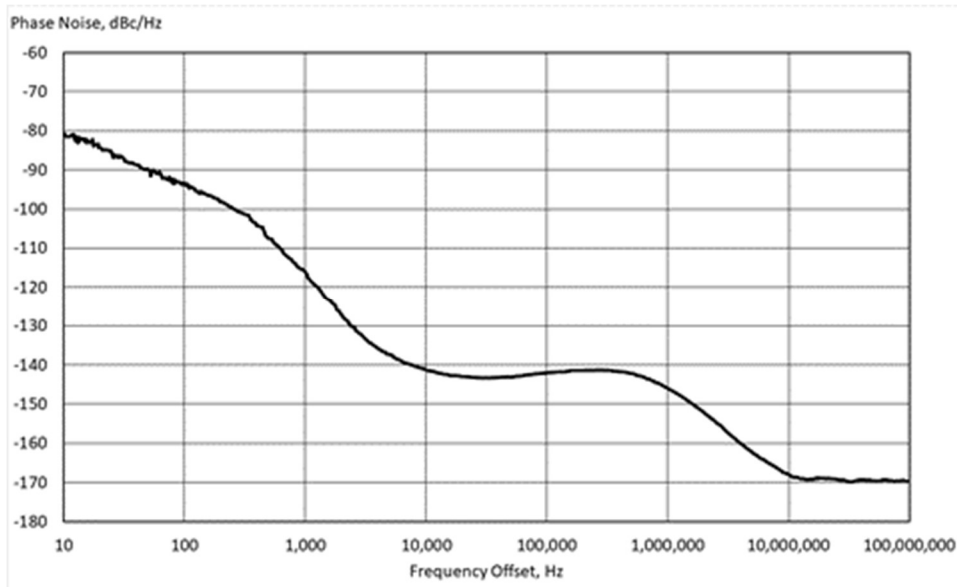


Figure 2. Bruit de phase de Rubidium à 10 GHz

CALIBRATION SUR SITE

La précision et la stabilité en fréquence comme en niveau, sont des caractéristiques essentielles pour les générateurs de signaux micro-ondes. C'est pourquoi les générateurs de signaux traditionnels nécessitent une calibration périodique, ce qui peut se montrer plus ou moins contraignant. Que le laboratoire de calibration se trouve dans l'immeuble d'en face ou à l'autre bout du pays, l'envoi d'un instrument en calibration, à un moment critique se révèle couteux et chronophage.

Afin de réduire le coût total de possession, les générateurs de signaux Rubidium embarquent une routine de calibration intégrée à l'instrument, permettant l'ajustement sur site de la base de temps interne et de la puissance de sortie. L'une des actions les plus importantes lorsqu'on évoque la calibration d'une source de signaux, consiste à fixer sa base de temps, à partir de laquelle sera ensuite définie la précision en fréquence de l'instrument. Heureusement, les générateurs de signaux Rubidium intègrent une base de temps en rubidium, considérée comme un standard de fréquence. C'est pourquoi, dans la plupart des cas, aucune calibration en fréquence n'est requise. C'est un point qui se révèle être très important sur certaines applications sensibles, telles que l'aérospatial ou la défense.

Les générateurs de signaux Rubidium intègrent un récepteur GNSS (système de navigation par satellite), qui reçoit un signal extrait d'une source atomique d'une extrême précision, embarquée dans un satellite en orbite autour de la terre. La sortie du récepteur est constituée d'un flux d'impulsions d'1 pps, utilisé pour ajuster la base de temps interne de l'instrument et ainsi le synchroniser avec tout standard de fréquence mondial, qu'offrent les systèmes de navigation par satellite. Cet ajustement se réalise en un seul clic de souris et sans expédier l'instrument pour une

calibration usine. Une autre fonctionnalité de ce générateur de signaux, qui mérite d'être soulignée, est le support de sondes de mesure de puissance USB. La sonde de puissance permet une mesure directe de la puissance issue de l'équipement sous test, et donc de prendre en compte toute perte de niveau induite par des câbles externes ou tout autre élément connecté.

De plus, la précision de la sonde de puissance permet de calibrer la puissance en sortie du générateur (dans une certaine mesure), selon les besoins de l'utilisateur, sans pour autant envoyer l'instrument en calibration.

Globalement, la nouvelle technologie Rubidium apporte des performances supérieures à celles des solutions traditionnelles. Grâce à d'excellentes spécifications en pureté spectrale et stabilité du signal, la gamme Rubidium constitue une solution idéale pour la conception, les tests et la fabrication des composants et systèmes, pour un grand nombre d'applications comme les communications sans fil, l'aérospatial, la défense et l'électronique grand public.

Références

1. A. Chenakin, *"Frequency Synthesis: Current Status and Future Projections,"* Microwave Journal, Vol. 60, Ed. 4, avril 2017, pp. 22–36 (Synthèse de la fréquence : Statut actuel et projections pour l'avenir)
2. A. Chenakin, S. Ojha and N. Shtin, *"An Overview of Today's Microwave Signal Generators Market and Technologies,"* Anritsu Technical Bulletin, No. 94, mars 2019, pp. 44–47 (Aperçu du marché actuel et des technologies de générateurs de signal à micro-ondes)
3. A. Chenakin, *"Fractional-N Frequency Synthesizer with Reduced Spurious and Low Phase Noise,"* (Synthétiseur de fréquence N avec réduction des bruits parasites et faible bruit de phase), Office américain des brevets, en attente de validation.

www.anritsu.com