

L'oscillateur à quartz miniaturisé sous vide ou EMXO : un pas en avant pour les applications de vol spatial

L'EMXO est peut-être moins connu que ses homologues destinés à être utilisés dans l'espace, mais il offre des avantages significatifs qui, combinés, en font une alternative extrêmement attractive. Ce type d'oscillateur à quartz est utilisé dans de nombreuses applications de vol spatial depuis plus de dix ans et, à mesure qu'il gagne en notoriété, il est probable qu'il embarquera à bord de nombreuses missions à l'avenir. Explications de la société de semi-conducteurs Microchip.

Les missions spatiales exposent les composants électroniques à un large éventail d'environnements difficiles. Les composants doivent fournir leurs performances nominales de manière fiable et pendant une période pouvant aller jusqu'à une quinzaine d'années, et ce en dépit de très fortes variations de température et des chocs et vibrations subis durant la phase de lancement. Pour les oscillateurs à quartz, une exigence supplémentaire est d'assurer une référence de fréquence stable et de haute précision, tout en consommant le moins d'énergie possible dans le plus petit boîtier possible. Il s'agit d'un défi complexe que les OCXO (oscillateurs à quartz thermostatés), principalement, ont permis de relever. Cependant, l'oscillateur à quartz miniaturisé sous vide (EMXO) offre des performances et une robustesse équivalentes, voire supérieures, pour une taille réduite de moitié et une consommation moindre, auxquels s'ajoutent d'autres avantages encore. Il n'est donc pas étonnant que l'EMXO continue de gagner en popularité.

Petit mais costaud

Le quartz utilisé dans un oscillateur à quartz peut sembler banal, mais il s'agit en fait d'un composant piézoélectrique de précision, usiné selon des tolérances très strictes. Ajusté

AUTEUR



Hoklay Pak, ingénieur de conception senior, Microchip Technology.

pour vibrer à une certaine fréquence, il conserve une grande stabilité grâce à son facteur de qualité Q intrinsèquement élevé. Cependant, les quartz sont très sensibles aux variations de température, même minimales, qui font varier leur fréquence de résonance. Certaines

applications peuvent tolérer ces variations, mais pour beaucoup d'autres, cela n'est pas possible. L'oscillateur à quartz compensé en température (TCXO) a été conçu pour atténuer le problème grâce à l'ajout d'un circuit réactif sensible à la température dans la boucle d'oscillation.

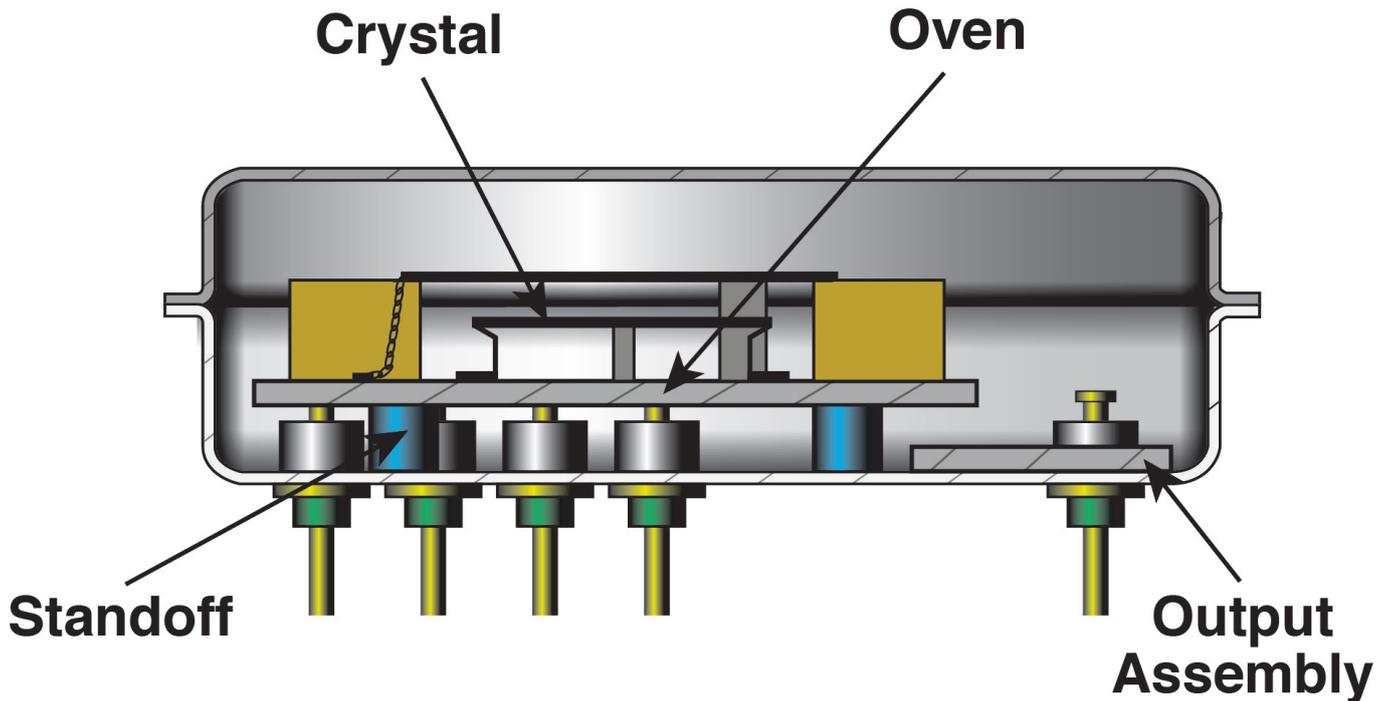
CARACTÉRISTIQUES DE PERFORMANCES DE L'EMXO EX-219 DE MICROCHIP

Les spécifications de stabilité, de consommation d'énergie et de conditions environnementales montrent l'adéquation avec les applications de vol spatial, notamment les émetteurs/récepteurs RF, le guidage GPS et les oscillateurs de référence.

Parameter	Specification
Frequency stability (ppb), -40 to +85°C 10 to 20 MHz 20 to 120 MHz	+/-100 +/-150
Aging (ppb) 1 day 1 st year 10 years	<1x10 ⁻⁹ <1x10 ⁻⁷ <1x10 ⁻⁶
Warm-up time (s) to +/-100 ppb	180 at +25° C, 240 at -40° C
RF output power (dBm)	Up to 9
SSB phase noise (dBc/Hz) 1 kHz offset	-150 typical at 10 MHz
Supply voltage (VDC)	3.3 / 5.0
Power consumption (W)	2.2 during warm-up 1.2 steady state at -40° C
G Sensitivity (total gamma, ppb/g)	1 maximum
Radiation tolerance	100 Krad total ionizing dose
Environmental Shock Vibration Operating temperature range (°C)	MIL-STD-202 Test Method 213, Condition E MIL-STD-202, Test Method 204, Condition D -40 to +85
Dimensions (in.)	0.35 x 1 x 0.93

1 STRUCTURE D'UN OSCILLATEUR EMXO

L'EMXO se compose d'un four et de sorties montées sur des substrats. Le substrat du four est monté sur des supports isolés thermiquement pour minimiser les pertes thermiques, et les sorties sont montées sur la plateforme supérieure. Le quartz est doté d'une monture à quatre points et la construction hybride est employée systématiquement.



Mais, même avec une telle compensation, l'amélioration peut s'avérer insuffisante pour certaines des applications les plus exigeantes.

On peut améliorer la stabilité d'un facteur 10 en plaçant le quartz à l'intérieur d'un minuscule four, afin d'obtenir un OCXO. Cela dit, le four utilisé dans un OCXO typique est un dispositif relativement gourmand en énergie, qui rend l'oscillateur plus gros et plus lourd. Cette consommation d'énergie accrue peut être un problème pour les vols spatiaux et d'autres applications où il est essentiel de minimiser la taille et le poids. Dans ce cadre, l'EMXO a été créé pour offrir le même niveau de performances qu'un OCXO, mais dans un boîtier hermétique plus petit et plus léger, tout en réduisant considérablement la consommation d'énergie. autant de facteurs clés dans les applications spatiales. L'EX-219 de Microchip Technology est un bon exemple d'EMXO de toute dernière génération, dont les caractéristiques de performance sont présentées dans le tableau page précédente.

Le développement des EMXO a pris de nombreuses années, mais les performances obtenues en valaient la peine. Alors qu'un OCXO utilise une isolation à faible conductivité ther-

mique pour minimiser la consommation d'énergie, un EMXO utilise le vide comme méthode d'isolation. Cela permet d'obtenir un niveau de vide sans contamination de 10^{-6} torr et de réduire quasiment à néant le poids de l'isolation. Il ne peut y avoir aucune contamination par les éclaboussures de soudure, la poussière ou la vapeur, et le niveau de vide extrêmement élevé diminue très peu avec le temps. L'absence de contamination facilite également l'utilisation d'un quartz brut ouvert, plutôt qu'un quartz plus gros conditionné, ce qui réduit encore la taille et le poids.

Cela signifie que la masse interne d'un EMXO est réduite par rapport à celle d'un OCXO typique, ce qui permet de réduire le volume à chauffer dans le four et de diminuer d'autant la consommation d'énergie. Étant donné que l'EMXO fonctionne sous vide, sa masse thermique est bien moindre que celle d'un OCXO, et donc son temps de chauffe est beaucoup plus rapide. En outre, le quartz brut est intégré au sein du boîtier hybride. Cela contribue à réduire encore la taille, ce qui permet à l'EMXO de tenir dans un boîtier plus de deux fois plus petit que celui d'un OCXO typique.

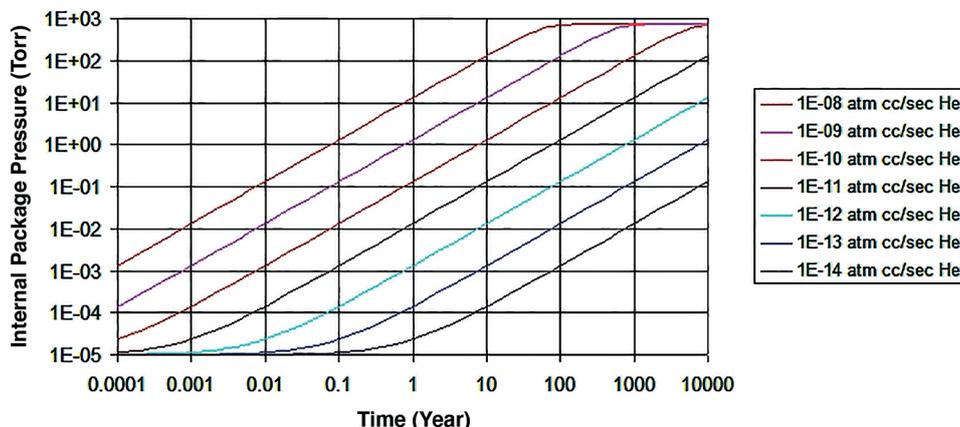
Le circuit EMXO est composé d'un substrat chauffé (four) et d'un substrat de sortie. Un quartz à double rotation et à compensation de contraintes (coupe SC/IT) est utilisé pour obtenir un bon bruit de phase, un vieillissement plus lent et une sensibilité g-plus faible. Ce quartz est doté d'un support à quatre points, pour plus de robustesse et une faible sensibilité aux chocs. Du quartz synthétique balayé est utilisé pour obtenir une meilleure tolérance aux rayonnements. La structure thermiquement isolée maintient une température quasi constante sur toute la plage de température opérationnelle. Le substrat de sortie, qui lui n'a pas besoin d'être isolé thermiquement, est monté directement sur le boîtier (figure 1).

Relever le défi du test de taux de fuite de l'EMXO

L'EMXO présente de nombreux avantages, notamment son taux de fuite qui est si faible (1×10^{-12} atm. cm^3/s d'hélium) qu'il est hors de portée des équipements susceptibles de le mesurer. Le boîtier EMXO est scellé par une opération de soudage à froid créant une liaison métallurgique entre surfaces métalliques, sans apport de chaleur pendant le

2 PRESSION INTERNE D'UN BOÎTIER EX-219 EN FONCTION DU TEMPS, POUR DIFFÉRENTS TAUX DE FUITE

L'EMXO conserve sa stabilité même lorsque la pression interne du boîtier monte jusqu'à 1 torr. Il faudrait donc jusqu'à 70 ans pour que la pression interne du boîtier d'un EMXO, avec un taux de fuite de 1×10^{-12} atm.cm³/s d'hélium, atteigne un niveau de vide de 0,1 torr.



processus de scellement. Cela dit, les fuites peuvent représenter un problème majeur pour les boîtiers hermétiques. Les agences spatiales gouvernementales imposent aux dispositifs conditionnés de répondre à des exigences de fuite déterminées par des tests d'étanchéité drastiques. Mais étant donné que le taux de fuite d'un EXMO est inférieur à ce que les instruments du commerce peuvent mesurer, il est impossible de tester son étanchéité en utilisant les méthodes standard à base d'hélium, imposées par les spécifications militaires pour les composants électroniques utilisés dans l'espace. Il faut néanmoins noter que même si le taux de fuite d'un boîtier sous vide n'est pas significatif dans l'espace, cela reste un facteur important à prendre en compte sur Terre.

Les boîtiers hermétiques sont généralement scellés par soudage à résistance électrique, ou par soudage à la molette, et sont habituellement remplis d'un mélange de gaz rare et d'hélium servant de traceur, à une pression d'environ 1 atm. Cela permet de détecter un taux de fuite compris entre 1×10^{-10} et 1×10^{-9} atm.cm³/s à l'aide d'instruments commerciaux ayant une résolution de 1×10^{-8} atm.cm³/s.

Le bombardement à l'hélium est une technique courante utilisée pour mesurer les taux de fuite d'enceintes sous vide telles que le boîtier d'un EMXO. Au cours de ce test, une petite quantité d'hélium est injectée à l'intérieur du boîtier scellé avant

le test d'étanchéité. Toutefois, un inconvénient du processus de bombardement est que l'hélium peut se diffuser et s'infiltrer dans le métal ou le verre du boîtier. Au cours du processus de détection de microfuites, cet hélium peut être libéré par le métal ou le verre, indiquant ainsi un taux de fuite pessimiste. Ce phénomène est connu sous le nom de désorption, et peut induire un taux de fuite apparent de 1×10^{-9} atm.cm³/s d'hélium.

Le four de l'EMXO est piloté selon la méthode proportionnelle, ce qui fait que sa consommation est inversement proportionnelle à la résistance thermique entre le four et le boîtier de l'oscillateur. En d'autres termes, le four consomme du courant pour maintenir une température quasi constante et, en cours de fonctionnement, la chaleur circule du four vers le boîtier par le biais de trois mécanismes de transfert thermique : convection, conduction et rayonnement. La conduction et le rayonnement dépendent des matériaux et de la structure du boîtier, et comme ces éléments sont immuables, leurs effets sont négligeables sur les variations de courant du four. Comme le taux de transfert thermique par convection dans l'EMXO est affecté par les changements de pression à l'intérieur du boîtier, une unité qui fuit avec une pression interne plus élevée consommera par nature plus de courant. Cela permet de détecter de très faibles niveaux de fuite à l'aide d'instruments simples. En effet, si le vide se

dégrade à cause d'une fuite, même minime, la consommation d'énergie augmente considérablement.

Microchip s'est appuyé sur la relation entre consommation d'énergie et pression interne pour développer un processus très précis permettant de déterminer l'intégrité du joint d'un boîtier EMXO afin de le qualifier pour les applications spatiales. Des analyses ont été effectuées sur les EX-209/245 pour valider ce procédé^(*). Les résultats montrent que les mesures, utilisant le courant de four pour mesurer l'intégrité du joint, permettent d'identifier les unités qui présentent un taux de fuite de 1×10^{-6} , 1×10^{-7} et 1×10^{-8} atm.cm³/s d'hélium, en respectivement quelques minutes, quelques heures ou quelques jours, après que ces unités ont été scellées. L'EMXO conserve sa stabilité même lorsque la pression interne du boîtier est montée jusqu'à 1 torr. Il faudrait donc jusqu'à 70 ans pour que la pression interne du boîtier d'un EMXO, avec un taux de fuite de 1×10^{-12} atm.cm³/s d'hélium, atteigne un niveau de vide de 0,1 torr (figure 2). Si l'on se base sur un taux de fuite d'hélium de 1×10^{-11} atm.cm³/s et une pression interne de boîtier de 0,5 torr pour prendre une bonne marge de sécurité, les tout derniers EMXO peuvent atteindre 15 ans de durée de vie.

Conclusion

L'EMXO est peut-être moins connu que ses homologues destinés à être utilisés dans l'espace, mais il offre des avantages significatifs qui, combinés, en font une alternative extrêmement attractive. Même si l'utilisation de vide est son principal facteur de différenciation, les techniques d'assemblage comme la soudure à froid et la construction hybride contribuent également largement au résultat final. C'est pour ces raisons que l'EMXO est utilisé dans de nombreuses applications de vol spatial depuis plus de dix ans et, à mesure qu'il gagne en notoriété, il est probable qu'il embarquera à bord de nombreuses missions à l'avenir. ■

() Using Oven Current Instead of Fine Leak Detector to Screen Seal Integrity of EMXO Cold-Weld Evacuated Package (« Utilisation du courant de four au lieu d'un détecteur de fuite de précision pour évaluer l'étanchéité des boîtiers d'EMXO sous vide soudés à froid »), Hoklay Pak, Microchip Technology, mars 2021.*

Microchip is...

Aerospace & Defense

Power Management < ASiCs <
Frequency and Timing < Discretes <
Synchronization Systems < FPGAs <
Electromechanical Relays < Memory <
Communication Interfaces < Mixed-Signal ICs <
RF, Microwave, Millimeter Wave < MCUs and MPUs <



- Cabin Management Systems
- Actuation Systems
- Engine Systems and Controls
- RF and Microwave Systems
- Cockpit Avionics
- Secure Communications
- Radar/Electronic Warfare
- Autonomous Vehicle Systems
- Transparent RF Transponder
- Attitude and Orbit Control
- Digital Communications Payload
- Electronic Power Systems
- Remote Sensing Payload
- Telemetry Tracking and Control



MICROCHIP



microchip.com/aerospaceanddefense

The Microchip name and logo and the Microchip logo are registered trademarks of Microchip Technology Incorporated in the U.S.A. and other countries. All other trademarks are the property of their registered owners.
© 2022 Microchip Technology Inc. All rights reserved.
MEC2452A-UK-09-22