

Robuste Zeitgebung für GPS-synchronisierte Verteidigungstechnik

Eine neue Generation beheizter Quarzoszillatoren (OCXOs, Oven-Controlled Oscillators) auf MEMS-Basis (mikroelektromechanische Systeme) definiert die präzise Zeit-/Taktgebung in militärischen Anwendungen neu.



Robuste OCXOs auf Silizium-/Si-MEMS-Basis erhöhen die Zuverlässigkeit und Belastbarkeit kritischer Systeme für Luft-/Raumfahrt- und Verteidigungstechnik, z.B. Ortungs-, Navigations- und Zeitgebergeräte (PNT, Positioning, Navigation and Timing), indem sie eine hochstabile, zuverlässige, lokale Taktquelle bereitstellen, wenn GPS-Signale gestört sind.

Schwachstellen GPS-synchronisierter Verteidigungstechnik

GPS wird in der Verteidigungstechnik häufig als Zeitreferenz verwendet. GPS-Signale sind aufgrund von schlechtem Wetter oder anderen Umgebungseinflüssen oder aufgrund von Spoofing und Störsignalen durch Gegner möglicherweise nicht verfügbar oder vertrauenswürdig. In Einsatzgebieten, darunter zuletzt in der Ukraine, wird häufig über GPS-Signalstörungen berichtet. Taktgeber wie OCXOs bilden dabei die Grundlage für Echtzeitkommunikation, Vernetzung,

Koordination der Streitkräfte, Positionierung, Navigation und Bedrohungserkennung.

Ein zuverlässiger, robuster und stabiler lokaler Zeitgeber ist für Verteidigungseinsätze unverzichtbar. Ungenaue Zeitangaben können verheerende Auswirkungen auf militärische Operationen im Weltraum, in der Luft, auf See, am Boden und im Cyberspace haben und zu Fehlfunktionen der Ausrüstung, erhöhtem Risiko für das Personal oder sogar zum kompletten Scheitern der Mission führen.

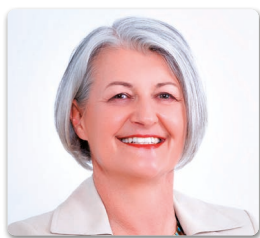
Das US-Verteidigungsministerium (DoD, Department of Defence) hat die Entwicklung neuer Systeme, die gegen Stör- und Spoofing-Angriffe geschützt sind oder mit Hilfe alternativer Techniken eine zuverlässige Zeitgebung liefern können, zu einer strategischen Priorität gemacht.

GPS ist die Quelle der synchronisierten Zeitverteilung für Geräte und Personal, darunter Kommando- und Kontrollzentren,

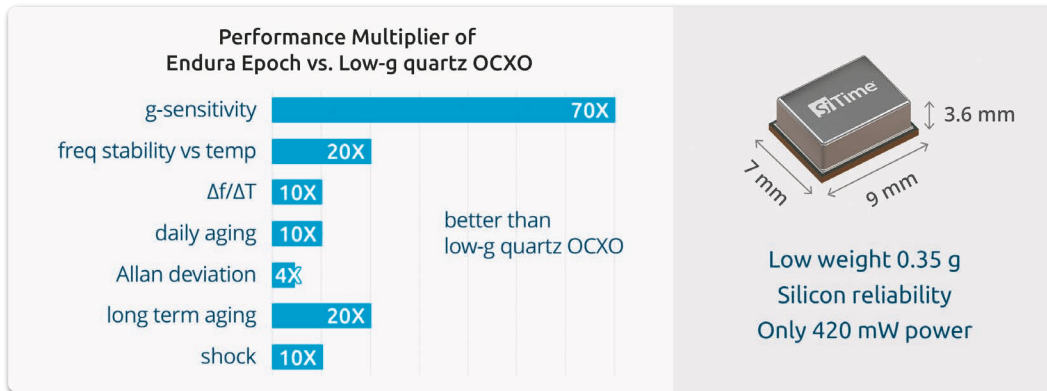
Schiffe, Flugzeuge, Bodenfahrzeuge und Soldaten. Eine präzise Zeitmessung in Verteidigungstechnik erfolgt durch die Synchronisierung der lokalen Uhr mit der GPS-Referenzuhr. Wird ein GPS-Signal gestört, muss sich das System auf die Stabilität der lokalen Uhr verlassen. Sofern die lokale Uhr nicht speziell dafür ausgelegt ist, über Minuten oder Stunden stabil zu bleiben, kann sie aufgrund von Eigenrauschen, Alterung, Temperatur, Temperaturschwankungen, Vibrationen und anderen Umgebungsfaktoren abweichen. Diese Drift wird in herkömmlichen Systemen durch die Synchronisierung mit GPS ausgeglichen. Kommende GPS-Systeme müssen die Schwachstellen von GPS-Signalen berücksichtigen. Eine stabile Uhr ist in diesen Systemen daher unerlässlich, um den kontinuierlichen Betrieb auch bei GPS-Störungen aufrechtzuerhalten.

Endura Epoch OCXOs von SiTime – mit Blick auf Zuverlässigkeit und harsche Umgebungen entwickelt

Systementwickler nutzen OCXOs, um in PNT-Anwendungen eine präzise Zeitsteuerung zu gewährleisten. Herkömmliche quarzbasierte OCXOs sind jedoch aufgrund ihres komplexen Aufbaus anfällig für Fehler und stehen in harschen Umgebungen wie dem Verteidigungsbereich vor Herausforderungen. Vibrationen, Stöße und Temperaturschwankungen beeinträchtigen ihre Zuverlässigkeit und Leistungsfähigkeit und stellen ein erhebliches Risiko in kritischen Anwendungen dar. Darüber



Autorin:
Odile Ronat
Product Marketing Director
Aerospace and Defense
SiTime
www.sitime.com/de-de



MEMS-OCXOs übertreffen vibrationsfeste Quarz-OCXOs in ihrer Leistungsfähigkeit bei reduzierten SWaP-Werten.

hinaus gibt es nur eine begrenzte Auswahl kommerzieller OCXOs mit Beschleunigungs-/g-Empfindlichkeit. Diese sind oft teuer und haben lange Lieferzeiten.

Eine neue Generation MEMS-basierter OCXOs, wie die Endura-Epoch-Reihe von SiTime, überwindet die Einschränkungen herkömmlicher Quarz-OCXOs. Die MEMS-OCXOs sind speziell für die anspruchsvollen Umgebungen von Luft-/Raumfahrt- und Verteidigungsanwendungen ausgelegt, insbesondere für Systeme, die mit GPS synchronisiert werden. Si-MEMS-Technologie nutzt hochreine Halbleiterprozesse für höchste Qualität und Zuverlässigkeit. Die Fertigung erfolgt nach statistischer Prozesskontrolle und Six-Sigma-Spezifikationen, um eine gleichbleibende Qualität der Bauteile zu gewährleisten. Kunden benötigen diese hohe Qualität, um die Systemleistung im Feld zuverlässig vorhersagen zu können.

Ein MEMS-Resonator ist etwa 3000-mal kleiner als ein Quarzresonator, besteht aus hochfestem Silizium und ist in einem ultrareinen Niederdruck-Hohlraum eingekapselt. Dies vermeidet Verunreinigungen, die Frequenzsprünge, Alterung oder Ausfälle verursachen können. Das geringe Gewicht und die Materialstärke des MEMS-Resonators ermöglichen stoß- und vibrationsfeste OCXO-Designs, die mit herkömmlichen Quarz-OCXOs nur schwer zu erreichen sind, ohne Kompromisse bei anderen Leistungsmerkmalen

eingehen zu müssen. Si-MEMS-OCXOs kommen aufgrund ihrer bemerkenswerten g-Empfindlichkeit von 0,01 ppb/g bei Einsätzen mit hohen Vibrationen zuverlässig zum Einsatz.

Vorteile MEMS-basierter OCXOs

MEMS-basierte OCXOs stellen einen erheblichen Fortschritt gegenüber herkömmlichen quarzbasierten Gegenstücken dar und bieten Verbesserungen in Bezug auf Größe, Gewicht, Stromverbrauch (SWaP) und Zuverlässigkeit. Herkömmliche quarzbasierte OCXOs sind zwar weit verbreitet, gefährden jedoch die Frequenzstabilität zugunsten der

Umgebungsbeständigkeit, verbrauchen viel Strom und weisen eine inkonsistente Leistungsfähigkeit auf. Ihr sperriger und komplexer Aufbau erschwert zudem das Produkt-Design.

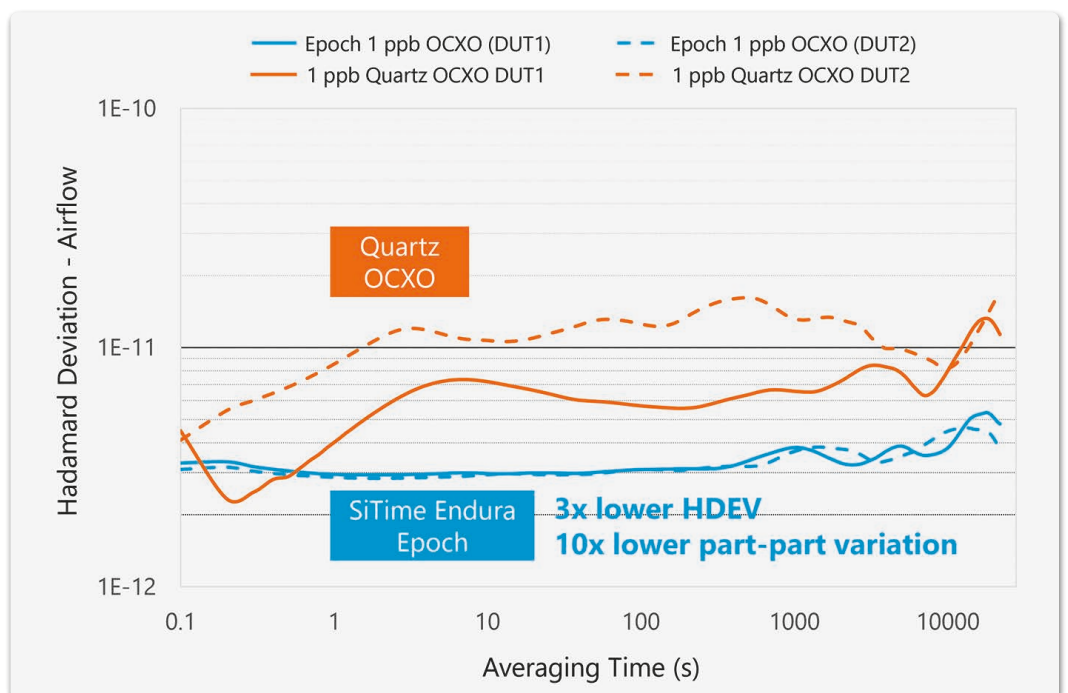
Im Gegensatz dazu überwinden MEMS-basierte OCXOs, wie die Endura-Epoch-Reihe von SiTime, diese Einschränkungen. Sie übertreffen Quarz-OCXOs in Bezug auf Stabilität, Zuverlässigkeit und Leistungsfähigkeit unter Vibration. Sie zeichnen sich durch geringes Phasenrauschen und geringen Jitter aus, was für eine qualitativ hochwertige Signalübertragung unerlässlich ist. Und sie bieten

eine robuste, leistungsstarke Alternative in einem kompakten, flachen Gehäuse. Ihre Leistungsfähigkeit bei Vibration übertrifft die meisten militärischen Anforderungen, was eine sperrige, komplexe Vibrationskompensation erübrigt.

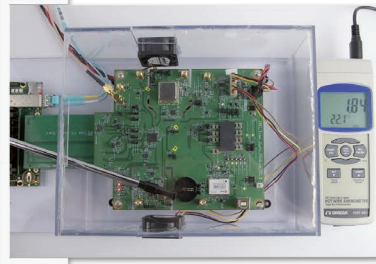
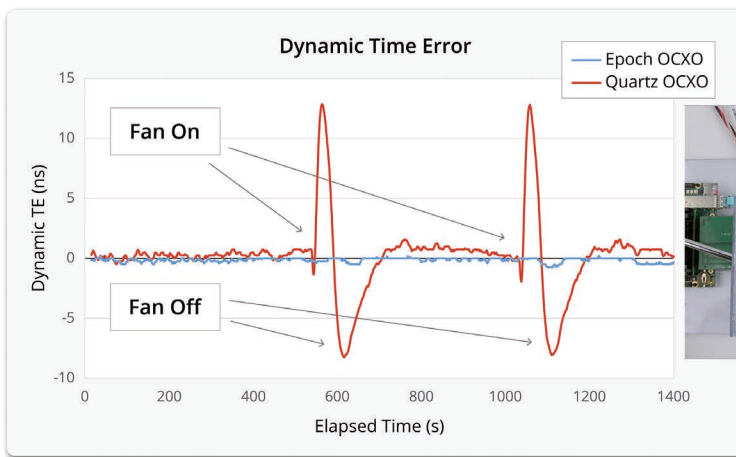
MEMS-basierte OCXOs eignen sich besser für die Integration in PNT-Designs als Quarze aufgrund ihrer geringeren g-Empfindlichkeit. Sie sind 30-mal zuverlässiger, 25-mal kleiner, verbrauchen 2-mal weniger Strom, sind 8-mal beständiger und bieten eine 70-mal bessere Beschleunigungsempfindlichkeit. Durch die effiziente Si-MEMS-Fertigung und Halbleiterlieferkette sind MEMS-basierte OCXO-Plattformen mit kürzeren Vorlaufzeiten (10 bis 12 Wochen nach Produktionsstart) als Quarz-OCXOs schneller verfügbar. Ihre Programmierbarkeit (Frequenz, Spannung usw.) erübrigen dabei kundenspezifische Designs mit individueller Qualifizierung.

Hochstabile Zeitgebung bei GPS-Störungen

Bei GPS-Störungen wird der PNT-Betrieb durch die Stabilität



Endura Epoch OCXOs sind drei- bis zehnmal widerstandsfähiger gegen Luftströmungen als quarzbasierte OCXOs, was eine bessere Holdover-Funktion ermöglicht.



MEMS-basierte Epoch OCXOs sind unempfindlich gegenüber schnellen Temperaturschwankungen, wie sie durch wiederholt ein- und ausgeschaltete Luftströme simuliert werden

der lokalen Taktgeber ohne GPS-Synchronisierung bestimmt. Die Zeit, in der die lokale Taktgebung nicht mit der Referenzuhr synchronisiert ist, wird als Holdover bezeichnet. Die Leistungsfähigkeit der lokalen Taktgebung während des Holdover wird als Zeitfehler gemessen, der die Integration der Frequenzabweichung während dieses Zeitraums darstellt. Wird der Zeitfehler zu groß, verschlechtert sich die Systemleistung rapide oder das System fällt aus.

Gegenüber einem Quarz-OCXO verbessert ein MEMS-basierter OCXO die PNT-Leistung während GPS-Störungen. Ein MEMS OCXO verweist einem Zeitfehler von nur 3 μ s über 24 h ohne Alterungskompensation. Dieser Zeitfehler wird durch eine niedrige Allan-Abweichung (ADEV) von 5×10^{-12} und einer geringen Alterung von 0,1 ppb/Tag erreicht. Die Spezifikationen werden in dieser Klasse von Quarz-OCXOs mit 1 ppb nicht erzielt. Die Hadamard-Abweichung (ADEV ohne Alterung) zeigt eine Leistungsfähigkeit unter 5×10^{-12} über 1000 s und darüber hinaus. Diese lässt sich durch eine Alterungskompensation weiter verbessern, was über die digitale Frequenzabstimmung mit ± 800 ppm (Auflösung: 5×10^{-14}) erfolgt, die niedriger als die ADEV ist.

Diese hohe Holdover-Genauigkeit ist der Si-MEMS-Technologie und Fortschritten bei

MEMS-basierten OCXO-Plattformen zuzuschreiben, was eine niedrige ADEV gewährleistet. MEMS weist im Vergleich zu Quarzbaulementen aufgrund der Reinheit des Materials und der geringen Verunreinigung des MEMS-Gehäuses nachweislich eine geringe Alterung auf.

Die von SiTime entwickelte MEMS-OCXO-Plattform basiert auf der eigenen Dual-MEMS-Technologie, die einen TempFlat-MEMS-Resonator und einen TempSense-MEMS-Temperatursensor auf demselben Chip kombiniert. Der TempFlat-Resonator ist für einen sehr niedrigen Temperaturkoeffizienten in Bezug auf die Frequenz optimiert; der TempSense-Sensor für die Temperaturmessung. Der Frequenzunterschied zwischen den beiden auf demselben Chip angeordneten MEMS-Resonatoren ermöglicht eine hochgenaue Messung der Frequenz in der Größenordnung von 30 μ K und ermöglicht eine präzise Heizungssteuerung und schnelle Temperaturkompensation. Spezielle Mixed-Signal-Schaltkreise lassen sich so optimieren, dass sie die für maximale Stabilität erforderliche präzise Steuerung bei hoher Störfestigkeit gegen externes Rauschen bereitstellen.

Die schnelle Temperaturkompensation hält die Holdover-Funktion bei Temperaturschwankungen aufrecht. Die Frequenzstabilität bleibt unverändert, wenn der Oszillator schnellen

Temperaturschwankungen ausgesetzt wird, die durch einen Luftstrom von 3 m/s simuliert werden.

Endura Epoch OCXOs verbessern die SWaP-Bilanz

MEMS-basierte OCXOs sind in kompakten SMD-Gehäusen (bis 9 x 7 x 3,6 mm) erhältlich, die für Reflow-Löten mit anderen Komponenten auf der Platine konzipiert sind. Mit ihrer geringen Größe, ihrem geringen Gewicht von 0,35 g und ohne erforderliche Vibrationskompensation können MEMS-OCXOs im Vergleich zu Quarz-OCXOs bis zu 100 g an Gewicht einsparen. Ein MEMS-basierter OCXO bietet außerdem Flexibilität beim Platinenlayout, da er klein ist, einen geringen Strombedarf hat und weniger empfindlich gegenüber Vibrationen, Temperaturschwankungen oder EMI ist, wie sie in der Nähe von Stromversorgungen oder Hochleistungs-ASICs auftreten können. MEMS-basierte OCXOs sind werkseitig programmierbar (in der Regel über einen Frequenzbereich von 10 bis 220 MHz), was lange Vorlaufzeiten für benutzerdefinierte Frequenzen erübrigt und die Qualifikation vereinfacht.

Die hohe Frequenzstabilität MEMS-basierter OCXOs sorgt für mehr Sicherheit im Feldeinsatz, da die Satellitenverbindung während der gesamten Mission ununterbrochen aufrechterhalten

wird. Sie bieten eine vorhersehbare Systemleistung bei Temperaturschwankungen, schnellen Temperaturänderungen, Vibration und Alterung. MEMS-basierte OCXOs lassen sich aufgrund ihrer Zuverlässigkeit leicht in PNT-Systeme integrieren. Sie erübrigen die Herausforderungen, die mit der Entwicklung und Qualifizierung quarzbasierter OCXOs einhergehen und bieten hohe Frequenzstabilität und geringes Phasenrauschen. Damit werden diese OCXOs zu All-in-One-Präzisions-Zeitgebern für die Zeitsynchronisierung und HF-Signalverarbeitung.

Quantensprung bei der präzisen Zeitgebung in der Luft-/Raumfahrt- und Verteidigungstechnik

MEMS-basierte Präzisionszeitgeber, wie die Endura Epoch OCXOs von SiTime, werden ständig weiterentwickelt und stellen einen Quantensprung für das Timing in der Luft-/Raumfahrt- und Verteidigungstechnik dar. MEMS-OCXOs der nächsten Generation decken Schwachstellen in militärischen PNT-Systemen ab und bieten hochstabile Taktreferenzen, die für die Sicherheit von entscheidender Bedeutung sind. Die Vorteile der Si-MEMS-Fertigung sorgen für hochpräzise Zeitgeber, die reproduzierbar und skalierbar sind. Dieser neue Fertigungsansatz beseitigt Schwachstellen herkömmlicher Zeitgeber in anspruchsvollen Anwendungen, in denen ein Ausfall keine Option ist.

MEMS-basierte OCXOs verbessern die SWaP-Bilanz in neuen PNT-Systemen erheblich und ermöglichen zuverlässige Taktreferenzen für GPS. Ihr Aufbau und ihre Leistungsfähigkeit unter schwierigen Bedingungen machen diese OCXOs zu einem unverzichtbaren Baustein für Verteidigungs- und Sicherheitstechnik. Damit ist Spitzenleistung und Widerstandsfähigkeit angesichts sich entwickelnder globaler Bedrohungen garantiert. ◀