

Vorteile, Nachteile und Marktanwendungen

Vibrationen bei kompensierten OCXOs

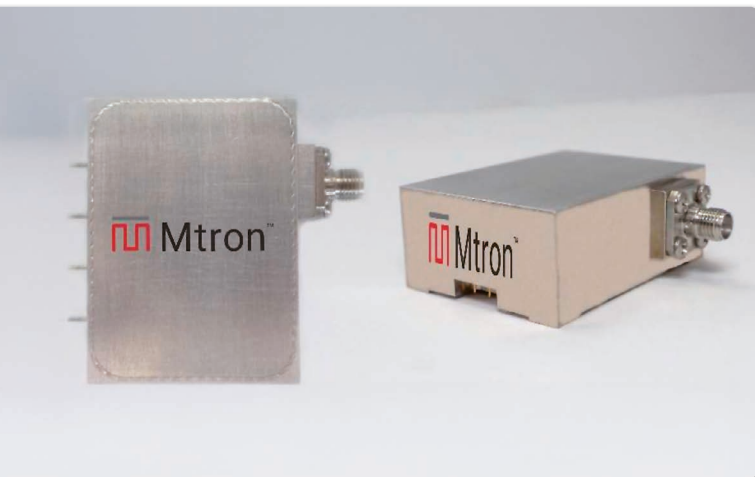


Bild 1: Typischer elektronisch vibrationskompensierter (e-Vibe) OCXO

Oszillatortechnologien spielen eine entscheidende Rolle bei der Gewährleistung der Stabilität und Genauigkeit von Mess- und Frequenzreferenzen in der Luft- und Raumfahrt, Telekommunikation und in militärischen Systemen. Ofengesteuerte Quarzoszillatoren (OCXOs) werden aufgrund ihrer Präzision hoch geschätzt, jedoch kann ihre Leistung unter Vibrationen aufgrund der mechanischen Kopplung zwischen dem Quarz und seiner Umgebung beeinträchtigt werden. Vibrationsunempfindliche OCXOs lösen dieses Problem durch elektronisch kompensierte oder mechanisch isolierte Designs, um die Leistung unter dynamischen Bedingungen aufrechtzuerhalten.

Dies ist eine Analyse dieser beiden Ansätze und vergleicht sie anhand von Parametern wie Größe, Gewicht, Stromverbrauch, Kosten, Leistung unter Vibration, mittlerer Zeit zwischen Ausfällen (MTBF) und Temperaturstabilität.

Quelle:

*Vibration Compensated
OCXOs: Advantages,
Disadvantages, and Market
Applications*
Bill Drasb
Mtron
www.mtron.com

übersetzt und gekürzt von FS

Notwendigkeit stabiler Frequenzquellen

Zahlreiche wichtige Anwendungen sind auf eine stabile Frequenzquelle angewiesen, die unempfindlich gegenüber Umgebungsbedingungen, wie Temperatur, Feuchtigkeit, Vibrationen und Stößen, ist. Anwendungen in den Bereichen Kommunikation, Navigation, elektronische Kriegsführung und Radar erfordern eine hohe spektrale Reinheit und stabile Primärfrequenzreferenzen. Insbesondere liefert der OCXO eine präzise, stabile Frequenz für die folgenden Endanwendungen:

1. Radar und elektronische Kriegsführung (EW)

- Verwendung in militärischen und zivilen Radarsystemen
- besonders erforderlich für „mobile“ Anwendungen, bei denen Vibrationen und Stöße extrem sein können
- unverzichtbar für die hochauflösende Zielerfassung, Doppler-Verarbeitung und Klärungsunterdrückung

2. Satelliten und Raumfahrtssysteme

- Verwendung in GPS, GNSS und weltraumgestützten Kommunikationssystemen
- Gewährleistet stabile Frequenzreferenzen in Umgebungen mit extremen Temperaturen und Strahlung

3. Test- und Messgeräte

- in Signalanalysatoren, Spektrumanalysatoren und Frequenzzählern zu finden

- bietet stabile Referenzen für hochpräzise Messungen

4. Rundfunk- und Studiogeräte

- wird in der digitalen Fernseh- und Radioübertragung zur Synchronisation verwendet
- gewährleistet geringe Jitter für hochwertiges Audio/ Video-Streaming

5. Wissenschaftliche und medizinische Geräte

- unverzichtbar in MRT-Geräten, Atomuhren und Teilchenbeschleunigern
- liefert die präzise Frequenzsteuerung, die für genaue Diagnosen und Experimente erforderlich ist

6. Verteidigungs- und Luftfahrt- Navigationssysteme

- Verwendung in Präzisionssystems, Raketenavigation, Schiffsfunk und taktischen Funkgeräten
- Gewährleistet eine genaue Positionierung und Signalintegrität in Umgebungen ohne GPS-Empfang

7. Telekommunikation und 5G-Netzwerke

- Verwendung in Basisstationen, Netzwerksynchronisation und Backhaul-Verbindungen
- erforderlich für die Aufrechterhaltung einer präzisen Synchronisation bei der Hochgeschwindigkeits-Datenübertragung

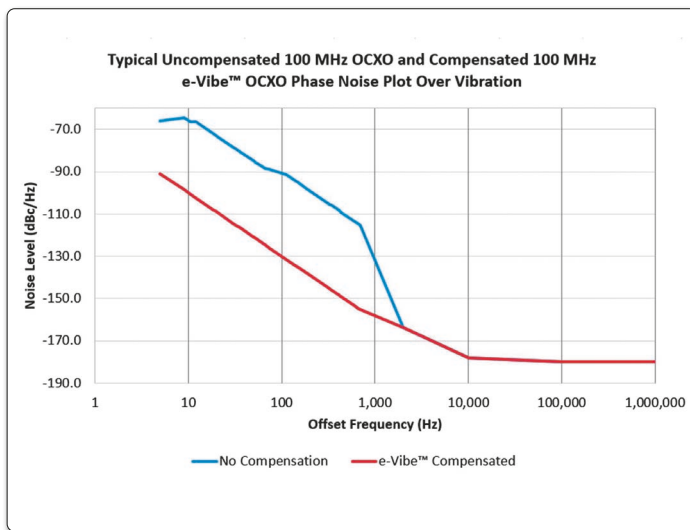


Bild 2: Unkompensierter 100-MHz-OCXO und e-Vibe-OCXO: Phasenrauschdiagramm über Vibration

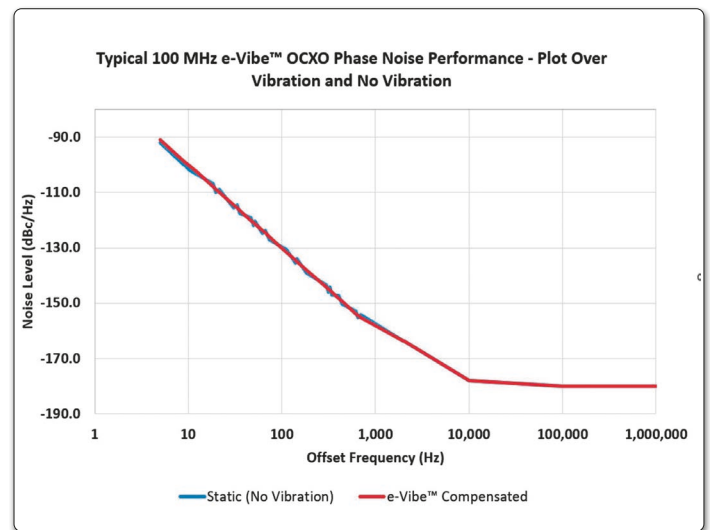


Bild 3: 100-MHz-e-Vibe-OCXO-Phasenrauschdiagramm mit und ohne Vibration

Quarzoszillatoren sind von Natur aus Sensoren

Piezoelektrische Bauelemente erzeugen unter mechanischer Beanspruchung eine elektrische Ladung und verformen sich umgekehrt, wenn ein elektrisches Feld angelegt wird. Letzteres macht Quarz zu einem guten Resonator für Taktungsanwendungen, da er sich bei einer bestimmten Resonanzfrequenz verformt, die durch den Kehrwert seiner Dicke bestimmt wird. Weil ein Quarz unter Belastung ein elektrisches Feld erzeugt, ist er ein guter Sensor.

Konstrukteure von OCXOs, die Quarzresonatoren verwenden, tun alles, um die Sensoreigenschaften von Quarz zu eliminieren, da die Frequenz unabhängig von den Umgebungsbedingungen gleichbleiben soll.

Konstruktionsansätze für vibrationsunempfindliche OCXOs

1. Elektronisch kompensierte OCXOs

verwenden fortschrittliche Signalverarbeitungs- und Steuerungssysteme, um die Auswirkungen von Vibrationen zu minimieren. Diese Oszillatoren verwenden Beschleunigungsmesser oder andere Vibrationssensoren, um mechanische Störungen zu erkennen. Die erkannten Signale

werden verwendet, um Echtzeitkorrekturen am Oszillatorausgang vorzunehmen und so den Einfluss externer Vibrationen zu minimieren.

Bild 1 zeigt einen typischen elektronisch vibrationskompensierten (e-Vibe) OCXO. Die Fähigkeit, die Auswirkungen von Vibrationen zu neutralisieren, führt zu einer verbesserten dynamischen Leistung gegenüber mechanischer Isolierung. Bild 2 zeigt die typische Verbesserung des Phasenrauschens unter Vibrationen für einen unkompensierten OCXO und einen elektronisch vibrationskompensierten (e-Vibe) OCXO, die zwischen 25 und 40 dB liegt. Bild 3 zeigt die Phasenrauschleistung eines e-Vibe-OCXOs ohne Vibration und unter Vibration, wobei deutlich wird, wie die Auswirkungen der Vibration beim e-Vibe-OCXO effektiv ausgeglichen werden.

Der Verzicht auf zusätzliche mechanische Isolationskomponenten führt zudem zu einer kleineren Bauform bzw. geringerem Gewicht und somit höherer Zuverlässigkeit. Dieser Ansatz ist durch Neuprogrammierung oder Modifizierung der Kompensationsalgorithmen auf verschiedene Anwendungen skalierbar.

2. Mechanisch isolierte OCXOs

reduzieren die Übertragung von Vibrationen auf den Kristall durch physikalische Dämpfungsmechanismen. Diese Designs umfassen häufig federnd gelagerte Kristallhalter, vibrationsabsorbierende Materialien und/oder isolierte Gehäuse.

Die mechanische Isolierung erfordert keine zusätzliche Energie, wodurch der Energieverbrauch geringfügig reduziert wird, die Konstruktion ist relativ einfach und kommt ohne aktive Kompensationssysteme aus. Mechanische Isolationssysteme führen aber zu einer Vergrößerung und Gewichtszunahme des Oszillators. Sie können aufgrund ihrer eigenen Resonanzeigenschaften insbesondere bei Kälte niedrigere und höhere Frequenzschwingungen möglicherweise nicht vollständig dämpfen und die Kosten erhöhen

Vergleichende Analyse

E ... elektronisch kompensierte OCXOs

M ... mechanisch isolierte OCXOs

1. Größe

E benötigen in der Regel weniger Platz und eignen sich daher ideal für Anwendungen mit strengen Größenbeschränkungen, wie z.B. Drohnen oder kleine Satelliten. M: Der Einbau von

Isolationsmechanismen führt zu sperrigeren Designs, die für miniaturisierte Systeme möglicherweise nicht geeignet sind.

2. Gewicht

E: Durch den Verzicht auf mechanische Dämpfungskomponenten sind leichte Designs möglich. M: Zusätzliche Materialien für die mechanische Isolierung erhöhen das Gesamtgewicht, was in der Luft- und Raumfahrt oder bei tragbaren Anwendungen von Nachteil sein kann.

3. Stromverbrauch

E: Der Strombedarf kann aufgrund des Betriebs von Sensoren und Verarbeitungsschaltungen etwas höher sein. M: Passive Designs machen zusätzliche Stromversorgung überflüssig, was sie für batteriebetriebene Systeme vorteilhaft macht.

4. Kosten

E: Die Verwendung von Beschleunigungssensoren, ADCs und Signalverarbeitungseinheiten erhöht die Produktionskosten. Dies kann jedoch durch Skaleneffekte bei digitalen Komponenten teilweise ausgeglichen werden. M: Obwohl sie in Bezug auf die Elektronik potenziell kostengünstiger sind, kann die für die mechanische Isolierung erforderliche hohe Präzision zu erhöhten Herstellungskosten führen.

Parameter	Electronically Compensated	Mechanically Isolated
Size	Compact	Bulky
Weight	Lightweight	Heavy
Power Consumption	Low	Lower
Cost	Higher electronics cost	Higher manufacturing cost
Performance Under Vibration	Excellent, tunable	Effective for mid-frequencies
MTBF	Moderate	May be Higher
Performance Over Temperature	Excellent, tunable	May be worse

5. Leistung unter Vibration

E: Diese Designs funktionieren aufgrund ihrer Echtzeit-Korrekturfähigkeiten gut in einem breiten Bereich von Vibrationsfrequenzen und -amplituden. M sind zwar bei moderaten Vibrationsfrequenzen effektiv, können jedoch bei niedrigen und hohen Vibrationsfrequenzen oder Stößen Probleme bereiten. Mechanische Isolationsysteme haben in der Regel eine niedrige Resonanzfre-

quenz (30...100 Hz), die zu einer deutlichen Zunahme des Phasenrauschens bei der Resonanzfrequenz führt.

6. MTBF (Mean Time Between Failures)

E: Durch das Hinzufügen aktiver Komponenten steigt die Ausfallwahrscheinlichkeit. Die MTBF-Werte können niedriger sein als bei mechanisch isolierten Konstruktionen. M: Mit weniger aktiven

Komponenten weisen diese meist eine höhere Zuverlässigkeit und eine längere MTBF auf, wobei die Auswahl des Isoliermaterials entscheidend ist und dieses dazu neigt, sich abzunutzen.

7. Temperaturunabhängigkeit

E sind ebenfalls temperaturkompensiert. Mechanische Isolationskomponenten können bei Temperaturänderungen ihre Härte verändern, wodurch

sie bei extremen Temperaturen empfindlicher auf Vibrationen reagieren und eigene Resonanzfrequenzen entwickeln können.

Zusammenfassung und Empfehlungen

Sowohl elektronisch kompensierte als auch mechanisch isolierte OCXOs bieten einzigartige Vorteile und Herausforderungen. Die optimale Wahl hängt von den spezifischen Anwendungsanforderungen ab, s. Tabelle. ◀