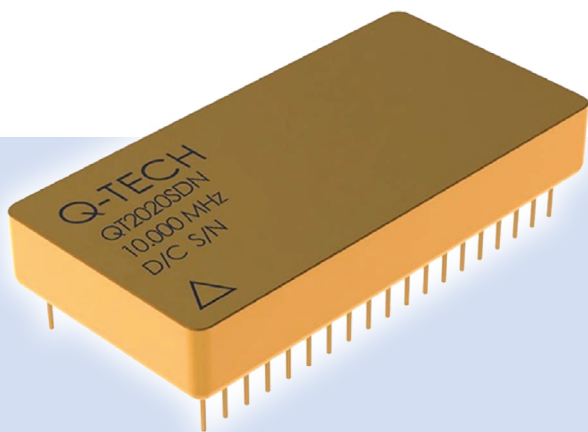


MCXOs

Mikrocomputer-kompensierte Quarzoszillatoren und ihre Vorteile

Dieser Artikel beschreibt die Topologie von MCXOs und die technologischen Fortschritte, die ihren Einsatz in einer Vielzahl von Weltraumanwendungen ermöglichen.



Mikrocomputer-kompensierte Quarzoszillatoren (MCXOs) sind die ideale Wahl für viele Anwendungen, darunter militärische und zivile Avionik, bodengestützte Elektronik sowie die Unterwasser-Ölförderung. Diese kleineren, leichteren und stromsparenderen Module können oft sperrigere und stromfressende ofengesteuerte Quarzoszillatoren (OCXOs) ersetzen und bieten gleichzeitig eine vergleichbare Stabilität über einen breiten Betriebstemperaturbereich.

Quarzoszillatoren

Alle Quarzoszillatoren basieren auf den sehr stabilen Frequenzschwingungen eines piezoelektrischen Quarzkristallresonators. In der Regel werden die Quarze und die dazugehörigen Schaltungen sorgfältig konstruiert und gefertigt, damit der Quarzkristall nur mit der gewünschten Resonanzfrequenz schwingt. Ein eigenständiger Quarzoszillator kann eine Frequenzstabilität von besser als ± 50 ppm über den breiten militärischen Temperaturbereich von -55 bis $+125$ °C aufrechterhalten, was für die meisten elektronischen Anwendungen ausreichend ist.

Wenn eine noch genauere Temperaturstabilität erforderlich ist, wird ein temperaturkompensierter Quarzoszillator (TCXO) verwendet, der über eine Kompensationsschaltung verfügt, um die Temperaturschwankungen der Quarzfrequenz auszugleichen und so eine Genauigkeit von etwa ± 1 ppm zu erreichen.

Wenn noch mehr Stabilität erforderlich ist, wird bei einem

ofengesteuerten Quarzoszillator der Quarz in einen sehr präzisen, proportional geregelten Ofen eingebaut, wodurch eine um etwa drei Größenordnungen bessere Frequenzstabilität über den Temperaturbereich erreicht werden kann. OCXOs sind zwar sehr stabil, haben jedoch den Nachteil, dass sie viel größer sind, mehr Gewicht haben und mehr Strom verbrauchen. Ein typischer OCXO verbraucht einige Watt, während der Verbrauch von XOs (einfachen Quarzoszillatoren) und TCXOs im Milliwattbereich liegt. Positiv zu vermerken ist, dass OCXOs neben ihrer hohen Temperaturstabilität in der Regel auch eine höhere Leistung bei anderen wichtigen Oszillatorparametern, wie Phasenrauschen, Jitter und Langzeitstabilität (Alterung) aufweisen.

Die Vorteile von MCXOs

Das Hauptziel des MCXOs ist es, die Leistung des OCXOs zu erreichen, jedoch mit einem viel geringeren Stromverbrauch und einer viel schnelleren Aufwärmzeit, d.h. der Zeit, die ein Oszillator benötigt, um nach dem Einschalten die erforderliche Stabilität zu erreichen. Dazu betreiben MCXOs den Quarzkristallresonator gleichzeitig mit zwei verschiedenen Frequenzen. Hier kommt die Mikrocomputer-Kompensation ins Spiel.

Der Mikrocomputer ist dabei so programmiert, dass er die Frequenzdaten bei jeder Temperatur manipuliert, sodass der Quarzoszillator zu einem selbsttastenden Thermometer wird, das zu jedem Zeitpunkt hochpräzise Temperaturdaten liefert.

Einer der Hauptgründe für die Überlegenheit der Temperaturkompensation des

MCXOs ist, dass durch die Selbsttemperaturmessung des Quarzkristallresonators kein separates Thermometer benötigt wird.

Jeder TCXO und jeder OCXO benötigt einen separaten Temperatursensor, um die Temperatur des Quarzkristallresonators präzise zu überwachen. Im Falle des OCXOs muss man die Kristalltemperatur kennen, um diese Temperatur kontinuierlich auf die gewünschte Ofentemperatur zu korrigieren. Im Falle des TCXOs ermöglicht es die Kenntnis der Kristalltemperatur der Kompensationsschaltung, die aufgrund von Frequenz-Temperatur-Schwankungen erforderliche Korrektur genau zu berechnen. Die Schwierigkeit besteht darin, dass der Temperatursensor aufgrund von Massenbelastung und Verunreinigungen nicht am eigentlichen Quarzresonator angebracht werden kann, sondern an der Außenseite des hermetisch versiegelten Quarzgehäuses. Aufgrund der thermischen Zeitverzögerung wird das Thermometer niemals genau die Temperatur des Quarzresonators anzeigen.

Ein Quarz – zwei Frequenzen

Ein wichtiger Punkt bei der Konstruktion eines Quarzes ist es, ihn so zu gestalten, dass er bevorzugt in einem bestimmten Modus schwingt. Der MCXO-Quarz ist jedoch so konstruiert, dass er gleichzeitig in zwei Modi schwingt, wobei einer davon der Grundmodus eines SC-geschnittenen Quarzes ist – ein ganz besonderer doppelt gedrehter Schnitt in Bezug auf die hexagonalen Quarzkristallachsen, der den Quarzen eine ausgezeichnete Temperaturstabilität verleiht.

Quelle:
„Microcomputer Compensated
Crystal Oscillators (MCXOs)
Deliver High Temperature
Stability“
Ronald Stephens
Q-Tech Corporation
<https://q-tech.com/>

übersetzt von FS

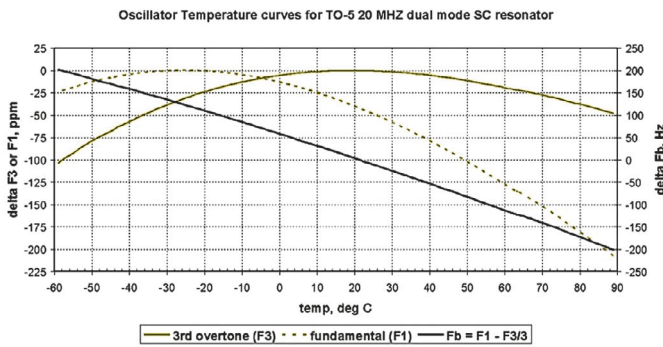


Bild 1: Ein MCXO kann durch Charakterisierung der Frequenzen der Grundfrequenz und der dritten Oberwelle über einen weiten Temperaturbereich genau temperaturkompensiert werden.

Der zweite Schwingungsmodus liegt auf der dritten Oberwelle des Quarzes.

Interessanterweise ist die Frequenz der dritten Oberwelle nicht genau dreimal so hoch wie die der Grundschiwingung, sondern liegt mit 2,999 sehr nahe daran – und dieses Verhältnis variiert geringfügig mit der Temperatur. Da dieses Verhältnis variiert, liefert es einen präzisen Indikator für die genaue Temperatur des Quarzes zu jedem Zeitpunkt.

Im Rahmen des Herstellungsprozesses werden diese Informationen sorgfältig charakterisiert und im Mikrocomputer des MCXO gespeichert und in Echtzeit verwendet, um die genaue Temperatur basierend auf dem Verhältnis der beiden Frequenzen zu jedem Zeitpunkt zu berechnen, siehe Bild 1.

Im Ergebnis kann der MCXO ungefähr die gleiche Leistung wie ein guter OCXO erbringen, jedoch mit einer Leistung von weniger als 100 mW im Vergleich zu den 3...5 W eines OCXOs. Hinzu kommt: Die typische Aufwärmzeit eines OCXOs beträgt mehr als 10 min, während ein MCXO weniger als eine Minute benötigt. Mit anderen Worten: Der MCXO kann einen um mehr als eine Größenordnung geringeren Stromverbrauch und eine kürzere Aufwärmzeit als der OCXO bieten. Für einige Anwendungen ist dies revolutionär.

Entwicklung von weltraumtauglichen MCXOs

Quarzoszillatoren, die im Weltraum eingesetzt werden, müssen je nach ihrer Umlaufbahn vielen Arten und Intensitäten von Strahlung standhalten können. Als Anfang der 2000er Jahre MCXOs entwickelt wurden, waren strahlungsgehärtete, weltraumtaugliche digitale Komponenten sehr teuer, was bedeutete, dass weltraumtaugliche MCXO-Produkte für den Weltraum jeweils mehrere hunderttausend Dollar kosteten.

Zu Beginn des Zeitalters der Mega-Satellitenkonstellationen,

bekannt als Low-Earth-Orbit (LEO) oder New Space, wurde es möglich, Mikrocontroller und andere digitale Geräte zu finden, die strahlungsresistent und aufrüstbar waren. Diese digitalen Komponenten wurden im MCXO QT2020 (Aufmacher) verwendet, der 2021 auf den Markt kam und nun vollständig für den Einsatz in LEO-New-Space-Anwendungen qualifiziert ist.

Der QT2020 MCXO wurde mit dem Ziel entwickelt, in Satelliten und anderen Weltraumanwendungen eingesetzt zu werden, wobei ausschließlich strahlungsbeständige Komponenten verwendet wurden. Die Produktreihe ist mit 10, 20, 30, 40, 50, 60, 80 oder 100 MHz erhältlich und bietet eine Stabilität von nur ± 10 ppb in einem $2 \times 1 \times 0,33$ Zoll großen Gehäuse. Das bei der hohen Leistung eines OCXOs, jedoch mit einem Verbrauch von weniger als 90 mW.

Der QT2020 MCXO ist mittlerweile ein Standardprodukt, das problemlos und zu einem angemessenen Preis erhältlich ist. Die Preise variieren je nach Stabilität und anderen Optionen. So kann beispielsweise eine vollständig strahlungsgehärtete Version entwickelt werden, wenn

die Anwendung einen höheren Preis rechtfertigt.

Der QT2020 MCXO wurde ohne Probleme für TID bis zu 50 kRAD getestet, und der Stromverbrauch blieb auch bei steigender Strahlungsdosierung „absolut stabil“ – was Anlass zu Optimismus hinsichtlich guter Single-Event-Ergebnisse gibt.

Bild 2 zeigt ein vereinfachtes Blockdiagramm des QT2020 MCXO. Die Signale des Dual-Mode-Oszillators werden gemischt, um eine Schwebungsfrequenz zu erzeugen, nachdem sie durch einen Frequenzteiler normalisiert wurden. Die Schwebungsfrequenz ist die Differenz zwischen zwei Oszillatormodi und repräsentiert die Kristalltemperatur. Sie speist den Mikrocontroller-Zähler, um einen digitalen Temperaturwert N1 zu erzeugen. Die Daten für N1 werden gesammelt und gespeichert. Für jedes N1 liefert eine Polynomrechnung einen Korrekturkoeffizienten von N2. Ein 10-MHz-VCXO liefert das Signal an einen der Mikrocontroller-Zähler, um es mit dem Oszillatorsignal zu vergleichen. Hier wird die N2-Korrektur angewendet. Ein DAC legt eine Steuerspannung an den VCXO, um ihn auf der Zielfrequenz zu halten. ◀

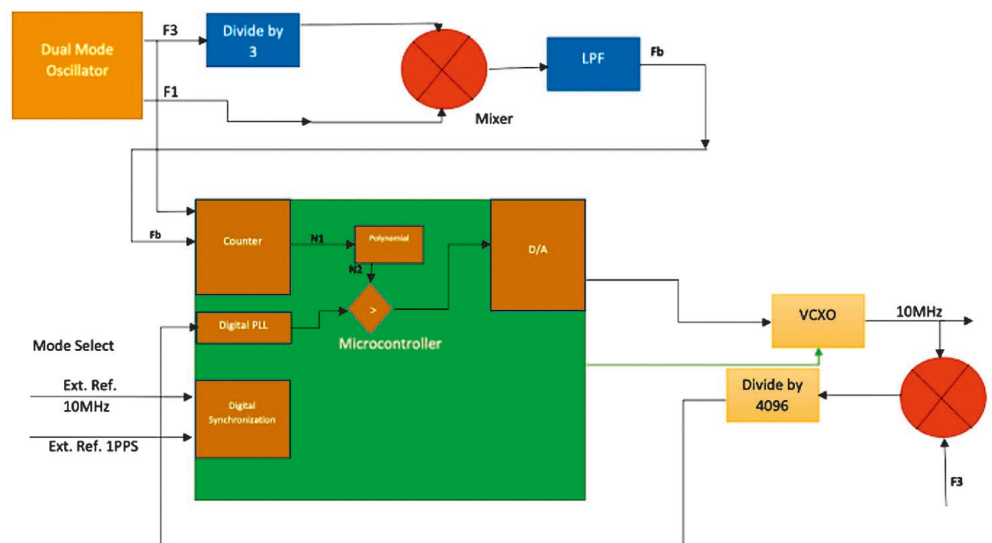


Bild 2: Vereinfachtes Blockdiagramm des QT2020 MCXO