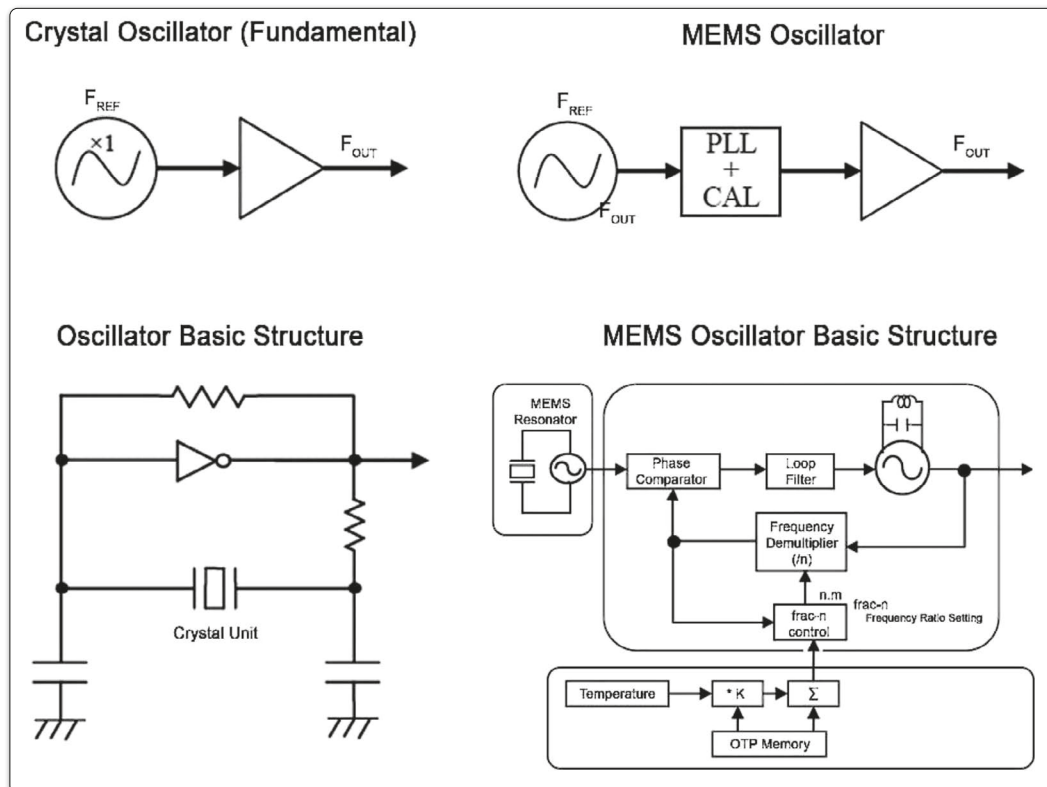


Was leisten Quarz- und MEMS-Oszillatoren in realen Anwendungen?

Wenn von Oszillatoren die Rede ist, stellt sich immer wieder die gleiche Frage. Was ist für definierte Anwendungen die bessere Wahl: MEMS- oder quarzbasierte Oszillatoren?



und eine einfache Oszillator-schaltung. Ein MEMS-Oszillator verwendet einen Siliziumresonator als Schwingungsquelle und benötigt eine PLL-Schaltung zur Korrektur der Frequenz im Hinblick auf Fertigungstoleranzen und Temperaturkoeffizienten.

Wie diese Grundstrukturen zeigen, sind Quarzoszillatoren qualitativ hochwertig und gleichzeitig einfach aufgebaut. Im Gegensatz dazu haben MEMS-Oszillatoren eine komplexe Struktur, die aus einem MEMS-Resonator, einer fractional-n PLL und einem Temperaturkompensationsnetzwerk besteht. Außerdem müssen sie bei der Herstellung kalibriert werden, um korrekt zu funktionieren.

ECS hat quarz- und MEMS-basierte Oszillatoren getestet und gemessen und sie im Hinblick auf folgende Parameter verglichen, die für die Entwicklung von Kommunikations-, Netzwerk-, Industrie- und Unterhaltungselektronikgeräten entscheidend sind:

1. Stromverbrauch: Wie viel Strom wird verbraucht?
2. Oszillatorstart: Wie schnell startet der Oszillator nach dem Anlegen der Stromversorgung.
3. Jitter und Phasenrauschen: Wie ist das Rauschverhalten (ein kritischer Faktor bei Kommunikationsgeräten)?
4. Frequenz-/Temperaturverhalten: Wie stabil ist die Frequenz in Bezug auf Temperaturschwankungen?
5. Frequenzstabilität: Wie stabil ist die Frequenz bei 25°C?
6. Schwingungsempfindlichkeit: Wie ist die Leistung unter ungünstigen mechanischen Bedingungen?

MEMS-basierte Oszillatoren sind seit 2005 auf dem Markt erhältlich. In den letzten 15+ Jahren hat eine Handvoll Unternehmen MEMS-basierte Oszillatoren entwickelt. Heute gibt es nur noch wenige, und der führende Hersteller von MEMS-Oszillatoren macht etwa 1% des gesamten Zeitmessungsmarktes aus. Viele Hersteller von Frequenzquellen bieten ihre Oszillatoren bei mehreren Unternehmen als Private Label an, mit Ausnahme von ECS, das in dieser Praxis keinen Nutzen sieht.

Daran müssen Sie denken

Bei der Auswahl des Oszillators für Ihre elektronischen Geräte oder Kommunikationsanlagen müssen Sie unter anderem folgende Aspekte des Timings berücksichtigen: Systemleistung, Systemtaktung, Signalqualität und Referenzsignalquellen. Dies

sind die kritischen Parameter, die über das Leistungsniveau Ihres Produkts entscheiden werden.

Vielleicht haben Sie schon ein Video eines MEMS-Herstellers gesehen, in dem MEMS-Oszillatoren mit eigenständigen Quarzkristallen verglichen werden. Es ist erwiesen, dass jeder Oszillator, ob Quarz, SAW, Keramik oder MEMS, immer besser ist als ein eigenständiger Resonator. Der Vergleich eines Oszillators mit einem Quarz ist also kein echter Test für die Leistung des Oszillators. In diesem Artikel werden wir daher einen quarzbasierten Oszillator und einen MEMS-Oszillator direkt miteinander vergleichen, s. Aufmachergrafik.

Strukturen und Merkmale

Ein Quarzoszillator verwendet einen Quarzkristall als Referenz

Quelle:

„Quartz Crystal and MEMS Oscillators Performance Based on Real Applications“

David Meaney

Vice President of Global

Technical Sales and Marketing

ECS, Inc. International

<https://ecsxtal.com/>

übersetzt von FS

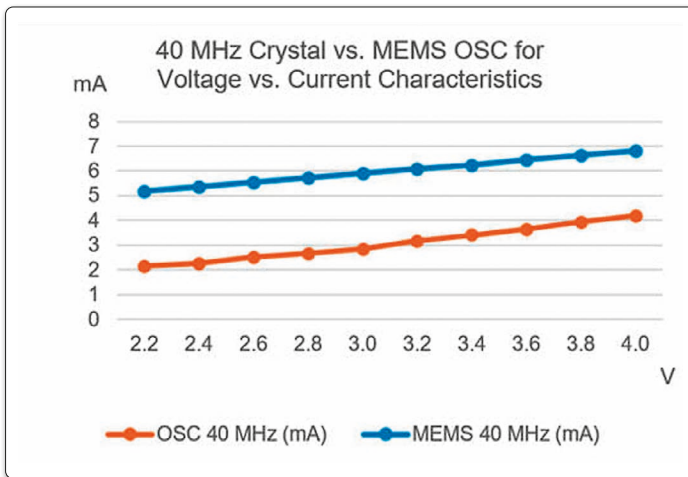


Bild 1: Ergebnis von Stromverbrauchsmessungen für MEMS- und Quarzoszillatoren 40 MHz

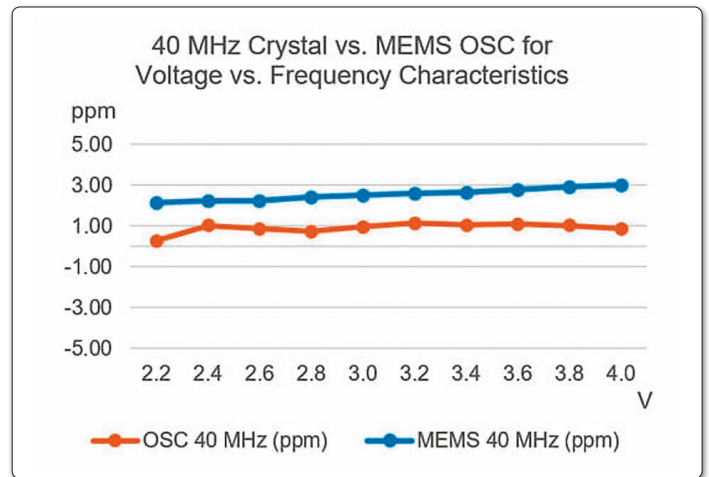


Bild 2: Anlaufeigenschaften der Oszillatoren 40 MHz

7. **Verlässlichkeit:** Wie hoch ist die mittlere Zeit zwischen Ausfällen, auch bekannt als (MTBF)?

Stromverbrauch (Bild 1)

Quarzbasierte Oszillatoren haben einen viel geringeren Stromverbrauch, da sie den Vorteil einer Grund- oder Oberschwingung und einer einfachen Schaltungsstruktur haben. MEMS-basierte Oszillatoren benötigen mehr Strom, weil sie mehr Schaltkreise haben. Die PLL und der LCVCO erhöhen den Gesamtstromverbrauch. Infolgedessen verbraucht der getestete MEMS-Oszillator 6,09 mA und der Standard-Quarzoszillator 3,16 mA, d.h., der MEMS-Oszillator benötigt doppelt so viel Strom, um vergleichbare Jitter- und Phasenrauschwerte wie der Quarzoszillator zu erreichen.

Anlaufeigenschaften (Bild 2)

In punkto Stabilität beim Einschalten erreicht der Quarzoszillator fast sofort danach eine Genauigkeit von 1 ppm. Der MEMS-Oszillator hingegen hat Mühe, eine Genauigkeit von 2 ppm zu erreichen. Nach dem Einschalten ist der Quarzoszillator stabil, aber wie Sie sehen können, weist der MEMS-Oszillator Frequenzschwankungen auf, während die PLL und der LVCO versuchen, sich zu stabilisieren.

Heute ist eine schnelle Inbetriebnahme wichtiger denn je. Ob in Konsumgütern, in der Automatisierungstechnik oder in militärischen Anwendungen - die Elektronik von heute muss immer wieder ein- und ausgeschaltet werden, um die Batterielebensdauer zu verlängern oder ein System online zu bringen. Die Frequenzgeber müssen bei Bedarf ständig in Betrieb sein. Die Verwendung eines Oszillators mit schnellerer Anlaufzeit und Stabilisierung ermöglicht kürzere Aufwachzyklen und eine längere Batterielebensdauer.

Jitter und Phasenrauschen (Bild 3)

Wir haben handelsübliche Oszillatoren zu vergleichbaren Preisen gewählt. Einen mit einem MEMS-Resonator und einen mit einem Quarzresonator. Bei der Messung des Jitters des MEMS-Oszillators von 12 kHz bis 20 MHz erhielten wir 1,5 ps rms. Beim Test des quarzbasierten Oszillators über die SONET-

Bandbreite von 12 kHz bis 20 MHz ermittelten wir einen Jitter von 0,18 ps rms. Das ist fast achtmal besser als beim MEMS-Oszillator. Ein ECS-Teil wurde für den Vergleich ausgewählt, da es sich um einen „Standardoszillator“ handelt, der in vielen Anwendungen verwendet und in großen Mengen hergestellt wird.

Die Labormessungen zeigen auch, dass die Quarzoszillatoren ein wesentlich besseres Phasenrauschen aufweisen als die MEMS-Oszillatoren. Hintergrund: MEMS-Oszillatoren haben bei niedrigen Offsets ein höheres Phasenrauschen, da der Siliziumresonator im Vergleich zum Quarz eine schlechte Güte Q aufweist. Bei 10 Hz hat der Quarzoszillator ein um 36 dB besseres Phasenrauschen als der MEMS-Oszillator. Das Phasenrauschen bei niedrigen Offsets ist für die drahtlose Kommunikation von entscheidender Bedeutung und kann bei der optischen Kommunikation einige Fehler verursa-

chen. MEMS-Oszillatoren haben aber auch ein höheres Phasenrauschen bei hohen Offsets (12 kHz bis 20 MHz), da sie einen LC-Oszillator mit niedriger Q für die PLL-Schaltung verwenden.

MEMS-Oszillatoren weisen Spurs auf, die durch den Fractional-n-Teiler verursacht werden. Diese Spurs treten innerhalb des Bandes auf und verursachen deterministischen Jitter (DJ), der die Bitfehlerleistung des Systems verschlechtert. Durch Spurs verursachter DJ muss als Teil des Jitter-Budgets für alle Arten von Schaltungen berücksichtigt werden: verdrahtet, optisch und drahtlos. Bei Quarzoszillatoren, die Fundamentalkristalle verwenden, treten solche Spurs nicht auf.

Frequenzstabilität (Bild 4)

Die Messergebnisse in punkto Frequenzstabilität entstanden bei 3,3 V und 25 °C über einen Zeitraum von 50 s. MEMS weist Frequenzsprünge in der

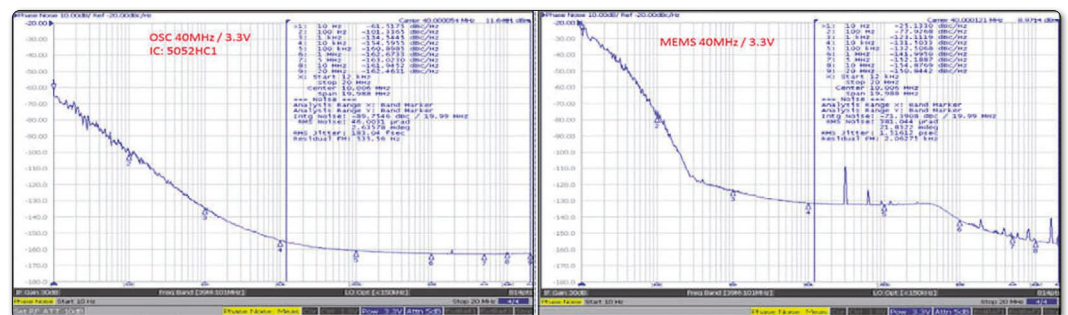


Bild 3: Phasenrauschverhalten von Quarz und MEMS

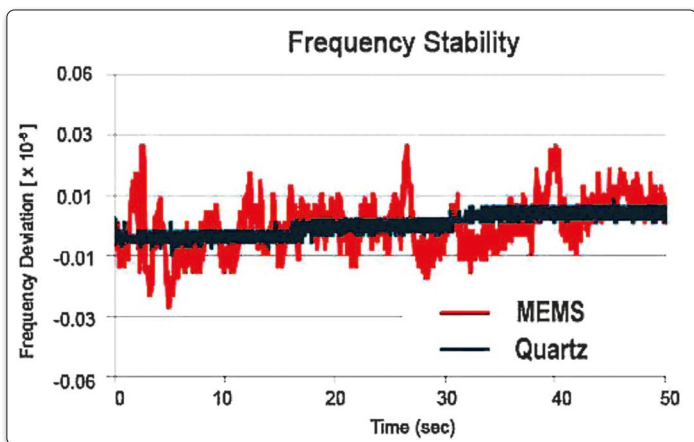


Bild 4: Quarz- und MEMS-Oszillator-Stabilitätsdiagramm

Größenordnung von ± 600 ppb auf, was weit über den meisten drahtlosen Standards liegt. Der quarzbasierte Oszillator zeigt nur sehr geringe Schwankungen und ist weit stabiler.

Frequenz und Temperatur (Bild 5)

Beim Vergleich der Frequenz-/Temperaturstabilität von Quarz und MEMS sehen Sie, dass der quarzbasierte Oszillator der kontinuierlichen kubischen Kurve eines AT-Quarzes folgt und ± 25 ppm von -40 bis $+85$ °C erreicht, was für die meisten Anwendungen gut genug ist. Betrachtet man das MEMS-Diagramm, so scheint hier eine bessere Frequenz-Temperatur-Charakteristik vorzuliegen, aber wenn man genau hinschaut, sieht man Frequenzsprünge,

die entstehen, wenn das PLL-Teilungsverhältnis angepasst wird, um Temperaturänderungen auszugleichen. Diese Frequenzsprünge sind erheblich, um die beträchtliche Frequenzdrift des MEMS-Resonators (30 ppm/K oder 3750 ppm zwischen -40 und $+85$ °C) auszugleichen.

Der Quarz ist wesentlich temperaturstabiler als das MEMS und bietet eine hohe Güte (Q). Der quarzbasierte Oszillator benötigt keine Temperaturkompensation, um eine Stabilität von nur ± 10 ppm über den erforderlichen Temperaturbereich zu erreichen. Wenn bessere Stabilitäten erforderlich sind, können Sie einen Quarzoszillator mit einer Temperaturkompensation versehen und so hohe Stabilitäten bis zu $0,5$ ppm/K erreichen.

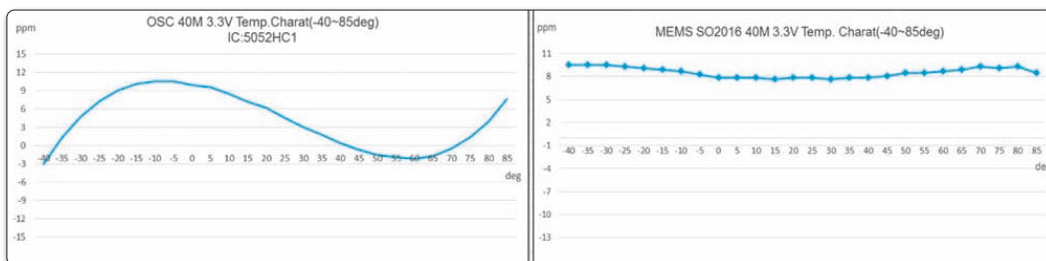


Bild 5: Frequenz vs. Temperatur 40 MHz

Indicator Evaluated	Crystal Oscillator (ECS)	MEMS Oscillator
1) Phase Jitter	0.18 pS	1.5 pS
2) Power Consumption	3.16 mA	6.09 mA
3) Oscillator Start-Up Time	1.5 mS	200 mS
4) Frequency Temperature Characteristics	5 ppm/°C or 25 ppm -40°C ~ +85°C	30 ppm/°C or 3750 ppm -40°C ~ +85°C
5) Frequency Stability	Stable	Frequency Jumps

Tabelle: Zusammenfassung der Daten von Punkt 1 bis 5

Die MEMS-Technologie bietet angeblich noch weitere Verbesserungen gegenüber der Quarztechnologie, aber wenn man sich diese Bereiche genauer ansieht, stellt man fest, dass man höchstwahrscheinlich viel mehr aufgibt, als man bekommt. In dieser Welt ist nichts umsonst.

Schwingungsempfindlichkeit

MEMS-Hersteller behaupten einen Leistungsgewinn bei der Vibrationsempfindlichkeit. Schaut man sich die Daten an, wird dies schnell widerlegt. Der typische Messbereich reicht von weniger als einem Pegel bis zu 2 kHz. Die Schwingungsdichte ist oberhalb von 2 kHz stark reduziert. Wir messen die Integration des Phasenjitters im Bereich von 12 kHz bis 20 MHz. Dieser Bereich ist deutlich höher als der maximale Schwingungspegel, den ein Kunde angeben würde. Dank verbesserter Quarzgeometrien, höherfrequenter Rohlinge und besserer Herstellungsverfahren haben die Quarzhersteller die Schwingungsempfindlichkeit gegenüber MEMS deutlich verbessert.

Die Maßeinheiten für die Schwingungsempfindlichkeit sind Teile pro Milliarde pro g Schwingung (ppb/g). Die Schwingungsempfindlichkeit von MEMS reicht von $0,01$ bis 1 ppb/g. Die Schwingungs-

empfindlichkeit von Quarzoszillatoren reicht von $0,1$ bis 1 ppb/g.

Verlässlichkeit (MTBF)

Die MTBF (Mean Time Between Failure) für MEMS wird mit 130.000 Jahren angegeben im Vergleich zu 30.000 Jahren für ein Quarzprodukt. Oberflächlich betrachtet, scheint ein Verbesserungsverhältnis von 4:1 ein wichtiges Argument zu sein, bis man bedenkt, dass die meisten Produkte für eine Lebensdauer von weniger als fünf Jahren ausgelegt sind. Langlebige Produkte haben in der Regel eine Lebensdauer von zehn bis fünfzehn Jahren, wobei eine sehr kleine Gruppe sogar zwanzig Jahre benötigt. Vergleicht man die Leistungseinbußen bei Jitter, Phasenrauschen und Temperatur, die bei einem Vergleich zwischen MEMS und Quarz auftreten, so gibt man heute eine enorme Menge an Leistung auf, damit das Produkt vielleicht 130.000 Jahre hält.

Zusammenfassung

Die Tabelle präsentiert eine Zusammenfassung der Bewertungsergebnisse für die Indikatoren 1 bis 5. Dieser Vergleich zeigt deutlich, dass quarzbasierte Quarzoszillatoren im Vergleich zu MEMS-Oszillatoren eine bessere Leistung und einen höheren Wert auch und besonders für kritischste Parameter bieten. Die Verwendung von quarzbasierten Oszillatoren verschafft Ihnen somit einen bewährten Leistungsvorteil, bietet ein Industriestandard-Paket und minimiert das Gesamtentwicklungsrisiko für alle elektronischen Geräte, von Verbraucher- und Industriegegeräten bis hin zu Netzwerken.

Anhand der hier vorgelegten Daten sehen wir, dass die Verwendung eines MEMS-Oszillators keine wirklichen Vorteile gegenüber dem gebräuchlicheren und stabileren quarzbasierten Oszillator bietet. Heutige MEMS-Oszillatoren haben sogar ein eigenes Gehäuse. Wenn Sie also MEMS verwenden, beziehen Sie eine Ihrer wichtigsten Timing-Komponenten aus einer Hand. ◀