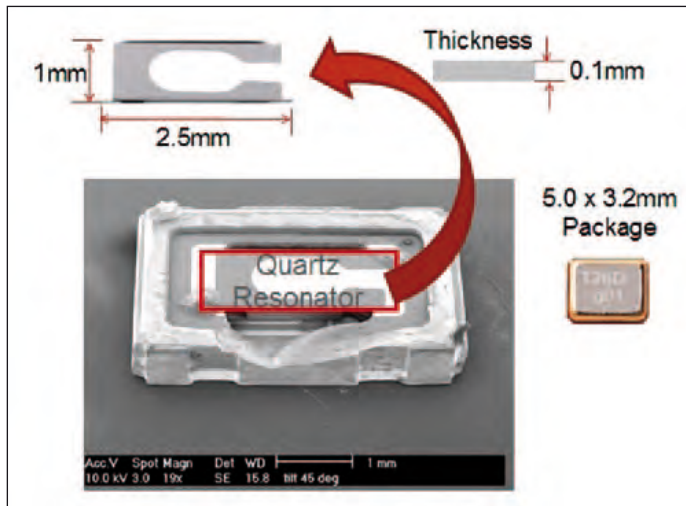


Moderne Frequenzquellen

# Warum MEMS-Oszillatoren den Markt der Zukunft bestimmen werden

Wer seine Oszillatorschaltung nicht selbst aufbauen möchte, greift zu Oszillatoren, die es in verschiedenen Ausführungen von SPXO über TCXO bis hin zu OCXO gibt. Axel Gensler (Endrich Bauelemente Vertriebs GmbH) stellt hier die neuesten Trends vor.



**Bild 1: Das Grundprinzip beim Quarz-Oszillator liegt im piezoelektrischen Effekt**

Geschätzte 6 Mrd. USD (Quelle: SiTime) beträgt der weltweite Markt für Timing-Bauelemente bei einer jährlichen Wachstumsrate von ca. 5%. Auf Quarze und Oszillatoren entfallen dabei ca. 3,5 Mrd. USD, davon wiederum ca. 1/3 auf Oszillatoren. Diese haben gegenüber Quarzen den Vorteil, dass sie bereits alle Bauelemente zur Erzeugung der Frequenz integrieren. Die herstellerseitige Optimierung der Oszillatorschaltung bringt zudem eine höhere Genauigkeit in die Kundenapplikation und vermindert so den Entwicklungsaufwand. Außerdem lassen sich in extrem kleinen Gehäusen bereits niedrige Frequenzen fertigen. Ist ein handelsüblicher Quarz im 2,5 x 2,0 mm SMD-Gehäuse erst ab Frequenzen von größer/gleich 16 MHz realisierbar, werden Oszillatoren in dieser Bauform bereits ab 32 kHz angeboten, im Falle von MEMS-Oszillatoren gar bis zu 1 Hz. Weiterhin reduzieren neue Fertigungsverfahren die Herstellungskosten, was den Preisunterschied zwischen Oszillator und Quarz, bei dem die externe Beschaltung noch erfolgen muss, zunehmend minimiert. Besonders interessante Möglich-

keiten ergeben sich durch die MEMS-Technologie, die bereits in einer Vielzahl von Applikationen die quarzbasierenden Oszillatoren ersetzt. Daher liegt auch die jährliche Wachstumsrate im MEMS Bereich bei beeindruckenden 65%.

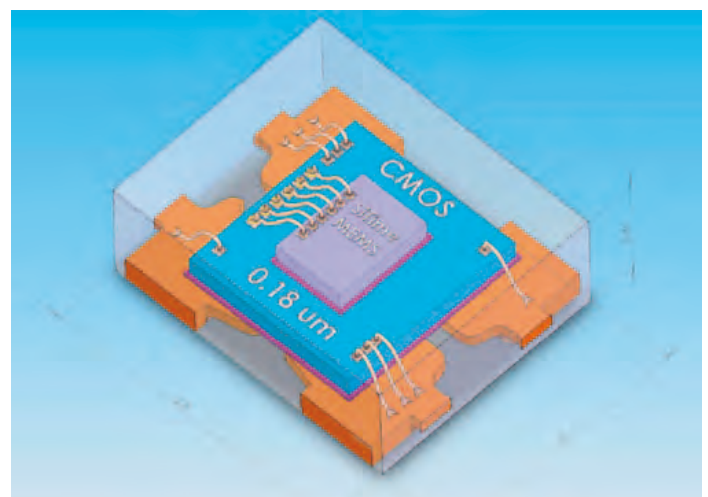
### Verschiedenste Bauformen

DIL8 / DIL14 haben ausgedient und wurden durch SMD-Bauformen ersetzt, insbesondere in

der drahtlosen Datenkommunikation, in mobilen Geräten und IoT-Applikationen, die alle nach einer Miniaturisierung bei niedriger Frequenz und hohen Stückzahlen verlangen. Die SMD-Oszillatoren werden in allen gängigen Bauformen vom 7 x 5 mm bis zum 2 x 1,6 mm Gehäuse gefertigt. MEMS-Oszillatoren, die neben den Standardbauformen auch in Gehäusen wie SOT23, SOIC8 oder in superkleinen CSP gefertigt werden, bieten hierzu die beste Lösung.

### Oszillatoren für die Entwicklung

Um in der Entwicklungsphase kurzfristig an Prototypen zu gelangen, sind programmierbare Oszillatoren eine Option. Mit entsprechenden Programmierkits für die R&D-Abteilungen lassen sich programmierbare Oszillatorrohlinge in Sekundenschnelle applikationsspezifisch gestalten. Hier spielen insbesondere die MEMS-Oszillatoren ihre enorme Vielfalt aus, denn diese Bauelemente lassen sich hinsichtlich Frequenz, Toleranz, Temperaturbereich und Versorgungsspannung programmieren. Zudem generiert die Software die korrespondierende Bauteil-



**Bild 2: MEMS Oszillator Aufbau (Quelle: SiTime)**

Endrich Bauelemente  
Vertriebs GmbH  
endrich@endrich.com  
www.endrich.com

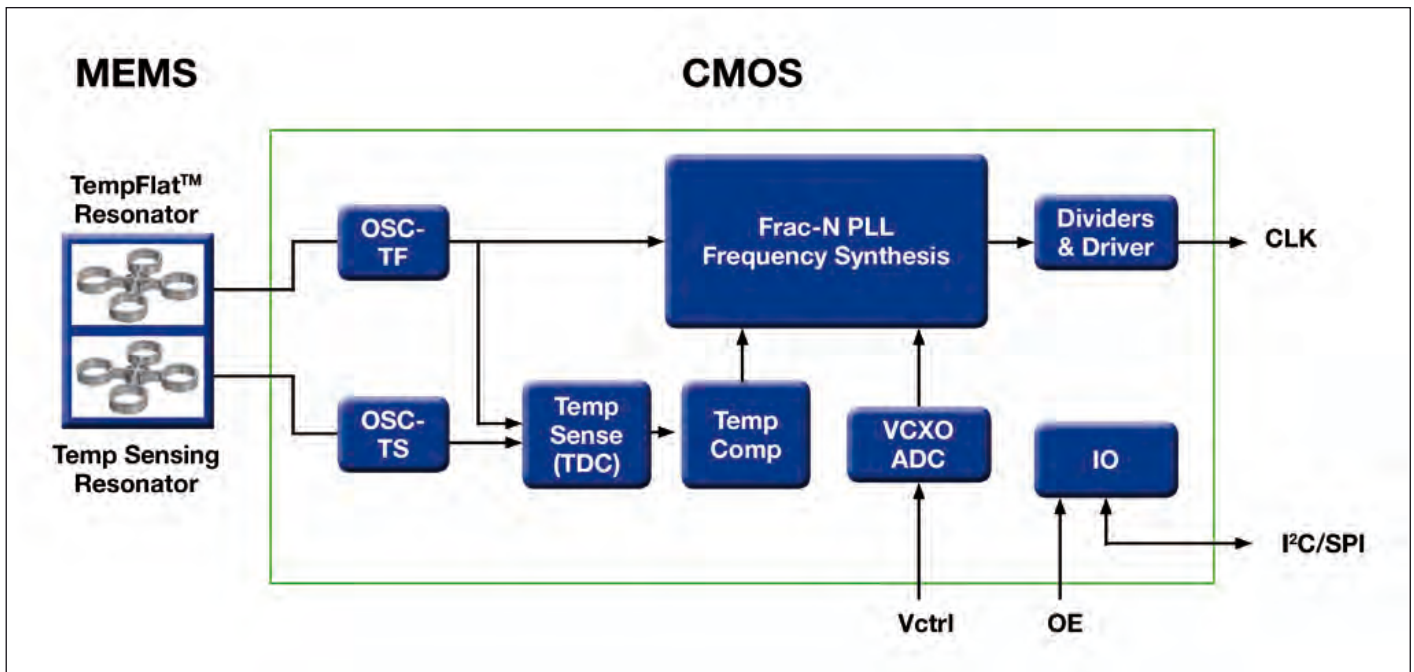


Bild 3: Patentierte DualMEMS Architektur mit rauschfreier Temperatursensorik und Turbo-Kompensation (Quelle: SiTime)

bezeichnung, um nach der Entwicklungsphase problemlos mit dem richtigen Bauteil in die Serie wechseln zu können.

**Quo vadis Oszillator?**

Das Grundprinzip beim Quarz-Oszillator liegt im piezoelektrischen Effekt: Wird ein elektrischer Impuls über die aufgedampften Elektroden an das Quarzplättchen (Siliciumdioxid, SiO<sub>2</sub>) gelegt, verformt sich die Kristallgitterstruktur. Dies wiederum hat eine Ladungsverschiebung zur Folge, die ihrerseits ein elektrisches Signal (Spannung) bewirkt. Verstärkt durch einen Inverter (Rückkopplung) fängt der Quarz unter bestimmten Bedingungen an, auf seiner Resonanzfrequenz zu schwingen. Die Frequenz wird dabei maßgeblich durch Größe, Dicke und Form des Quarzkristallplättchens, auch Blank genannt, sowie den Materialkonstanten bestimmt. Dabei steigen die Größe und Dicke des Quarzes mit sinkender Frequenz, Aufbau eines Quarz-Oszillators bzw. in hohen Frequenzen wird der Quarz sehr klein und damit empfindlich.

Problematisch sind beim Quarz die Frequenzverschiebung durch den Lötvorgang, die bis zu 5ppm

betragen kann, sowie die mechanische Befestigung der Quarzscheibe im Gehäuse, die ihn empfindlich für Erschütterungen macht. Außerdem bereiten Reinigungsverfahren wie Ultraschallbad oder Lötverfahren, z.B. das Dampfphasenlöten, den Quarzprodukten Probleme.

Bei MEMS-Lösungen ist der Resonator eine mechanische Struktur, die im speziellen Halbleiterprozess auf einem Silizium-Wafer hergestellt wird. Die Seitenwände der MEMS-Resonatorstruktur bilden eine Kapazität gegenüber den äußeren feststehenden Elektroden. Die nur ca 250 µm große Resonatorstruktur wird durch ein elektrisches Feld zum Schwingen angeregt.

Die ebenfalls im Halbleiterprozess hergestellte elektronische Oszillatorschaltung im CMOS-IC misst die Kapazitätsänderung und versetzt den MEMS-Resonator in Schwingung. Entscheidend für den Erfolg ist sicherlich auch, dass sowohl das Design des Resonators als auch das des Mixed Signal CMOS ICs (PLL) bei den MEMS-Oszillatoren durch eine Entwicklungsabteilung erfolgt und damit optimal aufeinander abgestimmt sind.

**MEMS-Oszillatoren sind prädestiniert für raue Umgebungen**

MEMS lassen sich wie ICs auf Wafer fertigen. IC-Hersteller müssten ihre Fertigungslinien nur etwas modifizieren, um die Bauteile in großen Stückzahlen produzieren zu können. Dies bringt, neben attraktiven Bauteilpreisen, auch bisher nicht gekannte Zusatzfeatures. MEMS-Oszillatoren sind daher nicht nur eine echte Alternative zu herkömmlichen Oszillatoren und sogar zu Quarzen, sondern bereits heute großflächig im Einsatz. Die Anbieter offerieren Programmiergeräte und entsprechende MEMS-„Rohlinge“, so dass der Anwender in der Designphase binnen Minuten Oszillatoren hinsichtlich Frequenz, Spannungsversorgung, Toleranz etc selbst programmieren kann. MEMS-Oszillatoren enthalten als Kern einen Silizium-basierenden MEMS Resonator kleinster Abmessungen (Masse 1000 ~ 3000 weniger als ein Quarzblank) und überzeugen daher mit einer überragenden Schock- und Vibrationsfestigkeit. Dies prädestiniert sie für den Einsatz in „rauen“ Umgebungen, bei denen die Applikation Schock, Vibration aber auch

schnellen Temperaturschwankungen unterzogen ist.

**µPower Oszillator**

Neueste Innovationen kommen insbesondere aus dem Bereich µPower MEMS-Oszillatoren mit Ausgangsfrequenzen zwischen 1 und 26 MHz, die z.B. für den Wearable-, den IoT- oder Mobilmarkt interessant sind. Besonders interessant ist eine neue Lösung von SiTime, der SiT8021. Dieser Baustein nimmt 90% weniger Leistung auf, ist um 40% kleiner und wiegt 70% weniger als herkömmliche Quarz-Oszillatoren. Mit einer Stromaufnahme von 60 µA (f = 3.072 MHz, No load) liegt er um 90% unter den quarzbasierenden Produkten und all das in einem extrem kleinen CSP Gehäuse (1,5 x 0,8 mm<sup>2</sup>). Er bietet damit eine Größensparnis um 40%, die Höhe von 0,55 mm ist um 45% geringer, beim Gewicht beträgt die Ersparnis sogar 70% (Masse: 1,28 mg).

**32,768 KHz Präzisions-TCXO**

Der Super TCXOs (SiT156x / 7x) im CSP Gehäuse (1.5 mm x 0.8 mm) bietet mit (±5ppm) eine der exaktesten Timing-Lösungen auf dem Markt, die durch ihre



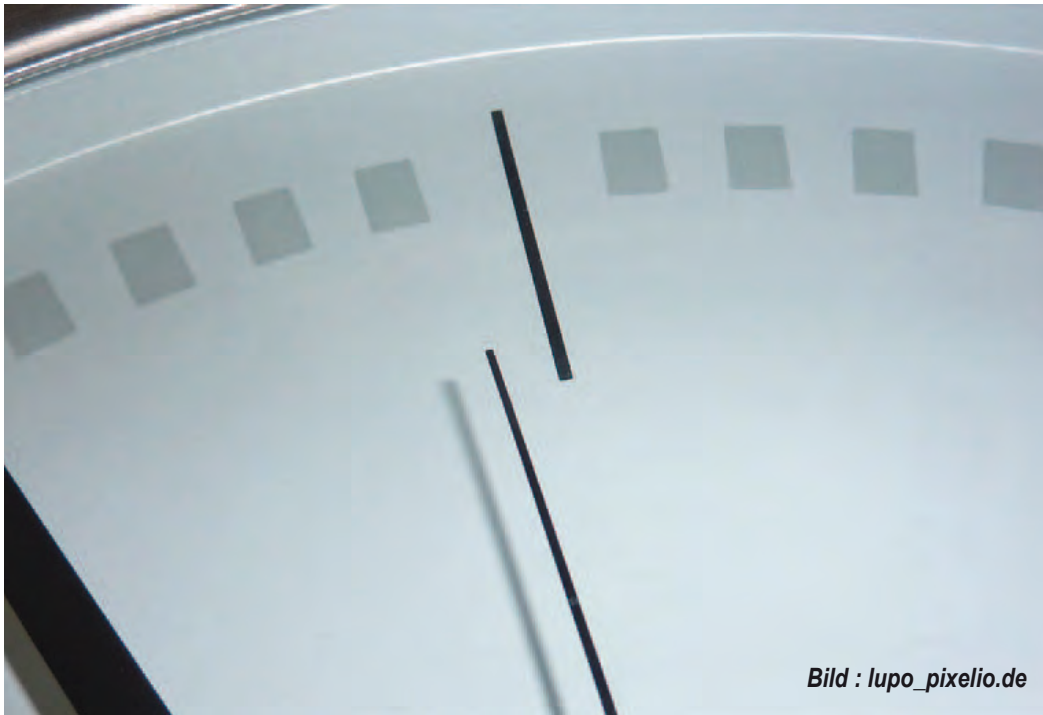


Bild : lupo\_pixelio.de

Präzision deutlich längere Akkulaufzeit ermöglichen. Die ultrakleinen Silizium-MEMS-Super-TCXOs eignen sich besonders für den Einsatz in SIP (System in Package)-Modulen und umfassen eine innovative In-System-Auto-Kalibrierungsfunktion.

Diese erlaubt die nachträgliche Kalibrierung von Ungenauigkeiten nach der Systemmontage z.B. nach dem Löten oder Verguss der Applikation. Zusätzlich zu 32-kHz-Super-TCXOs entwickelt SiTime Oszillatoren mit optional werkseitig programmierbaren Frequenzen von 1 Hz bis 1 MHz für Low-Power-RF und wireless charging Applikationen.

### Höchste Präzision bietet der MEMS-Oszillator Elite™ Precision Super-TCXO's/VCTCXO

Eine besondere Innovation sind hochpräzise, temperaturkompensierte und spannungsgesteuerte MEMS-Oszillatoren mit der Bezeichnung SiTime Elite. Diese Präzisionsoszillatoren setzen neue Maßstäbe hinsichtlich Stabilität, Störfestigkeit und Zuverlässigkeit für industrielle Applikationen wie z.B. SyncE (Synchronous Ethernet)

und Zeitsynchronisation. Ideal sind sie aber auch für Anwendungen in der Messtechnik, der IoT Infrastruktur, für Cloud Server oder IEEE 1588 Netzwerke.

Die patentierte Dual-MEMS-Technologie, eine rauschfreie Temperatursensorik sowie eine extrem schnelle Kompensationsarchitektur sorgen für höchste Stabilität des Taktes selbst bei extremen Umweltbedingungen wie Luftströmung, Temperaturänderungen, Vibration, Schock oder elektromagnetische Störungen (EMI).

### Drei Schlüsselemente bestimmen die Elite-Plattform:

- Das stabile, verlässliche und bewährte TempFlat MEMS-Verfahren, das Aktivitätsdips eliminiert und eine 30x bessere Vibrationsfestigkeit ermöglicht als Quarz-Oszillator Lösungen.
- Die Dual MEMS Temperaturmessung mit 100% thermischer Kopplung, die eine 40x schnellere Temperaturmessung erlaubt und eine hohe Performance bietet, um auf schnelle Temperaturänderungen z.B. durch Luftströme in kürzester Zeit reagieren zu können.

- Hoch integrierte Mixed-Signal-Schaltungen mit On-Chip-Regler, ein Temperatur-Digital-Wandler (TDC) und eine rauscharme PLL, die 5-fach bessere Immunität gegen Stromversorgungsrauschen garantiert. Außerdem eine 30  $\mu$ K Temperatureauflösung (10x besser als Quarz), die jede Frequenz zwischen 1 und 700 MHz bei gleichzeitig geringem Jitter von nur 0,23 ps Jitter unterstützt.

Das Temperaturerfassungssystem besteht aus zwei MEMS-Resonatoren auf demselben Chip - eine einzigartige Konstruktion, die nur mit Halbleitern und nicht mit Quarz machbar ist. Einer der Resonatoren ist auf eine flache Frequenzcharakteristik über der Temperatur ausgelegt; der zweite MEMS-Resonator ist empfindlich gegenüber Temperaturänderungen und wirkt als sensitiver Temperatursensor. Das Verhältnis der Frequenzen zwischen diesen beiden Resonatoren liefert eine genaue Messung der Resonator-Temperatur mit 30  $\mu$ K Auflösung. Das Dual-MEMS-Design eliminiert Temperaturgradienten zwischen dem Resonator und dem Temperatursensor. Es gibt keine Verzögerung zwischen den beiden, da beide Resonatoren physika-

lisch auf dem Substrat des gleichen Chips angeordnet sind und daher eine zu 100% thermische Kopplung aufweisen.

### Anmerkung

Die Quarz-TCXO-Leistungsfähigkeit wird durch die Verwendung eines diskreten Temperatursensors grundsätzlich behindert. Dieser befindet sich in der Regel in dem Oszillator IC, in einem Abstand zum Resonator. Der Quarzkristall wird im keramischen Gehäuse auf „pads“ montiert und mit dem im Oszillator-IC elektrisch verbunden.

Eine Trennung zwischen dem Resonator und dem Oszillator IC muss beibehalten werden, denn nur so kann der Kristall frei schwingen. Der Mangel an thermischer Kopplung zwischen dem Quarz-Resonator und einem separaten Temperatursensor macht es unmöglich, eine schnellere Temperaturkompensation zu designen, ohne Stabilitätsprobleme zu verursachen. Folglich ist der TCXO auf Quarzbasis zu langsam, um schnell Änderung zu verfolgen und generiert damit größere Frequenzabweichungen, wenn er Temperaturänderungen oder einem Luftstrom unterworfen ist.

### Fazit

Die Vorteile der MEMS-Oszillatoren basieren auf der kostengünstigen Fertigung durch Silizium-Halbleiter-Verfahren. Silizium-Resonatoren sind extrem klein und erlauben eine starke Miniaturisierung bei extremer Schock- und Vibrationsbeständigkeit. Dies prädestiniert diese Technologie für den Einsatz in Großserien in allen Bereichen der Elektronik.

Aber auch Kleinserien können, dank der programmierbaren Architektur, zu attraktiven Preisen und mit schnellen Lieferzeiten realisiert werden. Die rasante Entwicklung neuer auf der MEMS-Technologie basierender Lösungen weist darauf hin, dass MEMS-Oszillatoren den Markt der Zukunft bestimmen werden. ◀