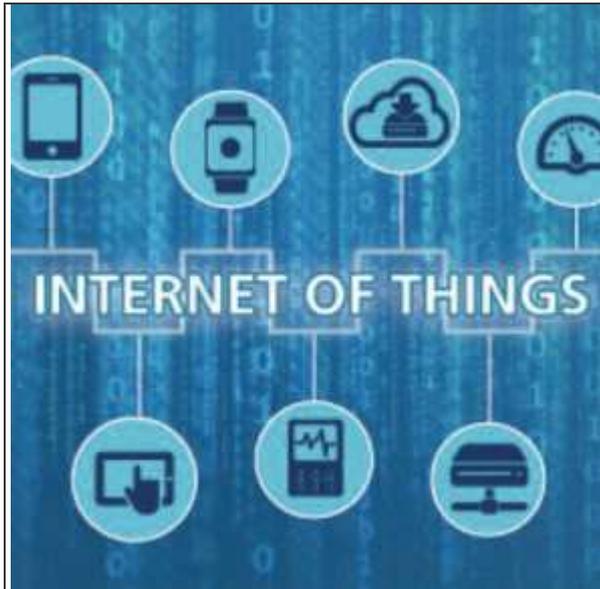


MEMS

# MEMS-Oszillatoren für IoT- und Wearable-Applikationen

02.03.16 | Autor / Redakteur: Axel Gensler \* / Margit Kuther



Internet der Dinge: MEMS-Oszillatoren eignen sich für IoT- und Wearable-Applikationen (Bild: SiTime)

**Am Körper tragbare Kameras, smarte Uhren und Brillen werden erst durch neue MEMS- und Sensortechnik zu kleinen, drahtlosen Kommunikationsträgern. Wie, verrät dieser Beitrag.**

Das explosive Wachstum von IoT-Geräten, verbunden mit dem Internet, wird getrieben vom Wunsch, Gerät und Daten jederzeit über das Web abzugleichen, insbesondere im Bereich der Wearable-Technologien.

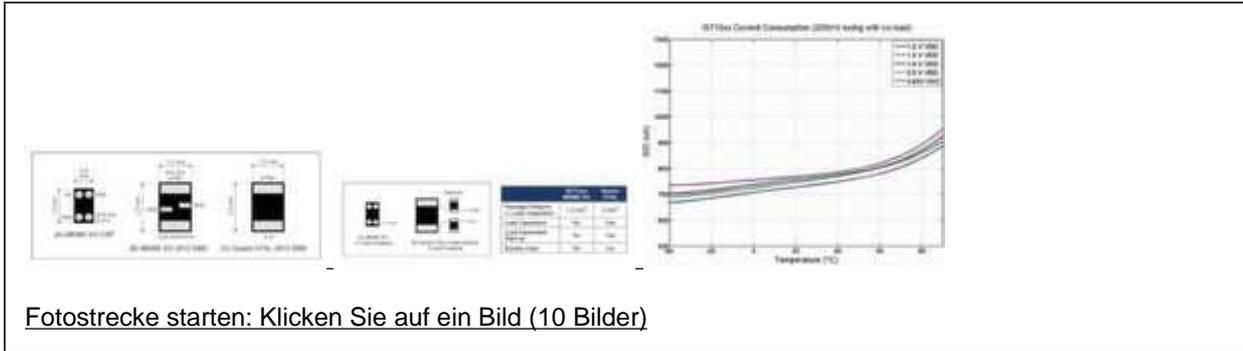
Aktivitätentracker sind führend in diesem Segment, und die Anzahl der verkauften Einheiten pro Jahr steigt stetig, gefolgt

von Smart-Uhren, medizinischen Monitoring-Geräten sowie tragbaren Kameras und Smart-Brillen. Diese Geräte werden unter anderem erst ermöglicht durch Fortschritte in der MEMS- und Sensortechnik, durch die drahtlose Kommunikation und neue energiesparende Bauelemente.

## Tragbare Geräte verlangen nach neuen Timing-Technologien

Alle elektronischen Produkte erfordern je nach verwendetem Prozessor, Partitionierung und Funktionen einen oder mehrere Taktgeber. Traditionell haben die 32,768-kHz-Quarze und stromsparenden MHz-quarzbasierenden-Oszillatoren diese Funktion übernommen und werden in mannigfaltigen batteriebetriebenen elektronischen Systemen verwendet.

## BILDERGALERIE



Eine neue Klasse von stromsparenden und niederfrequenten (Frequenz 1 Hz bis 32.768 kHz) MEMS-Oszillatoren bieten Vorteile gegenüber dem allgegenwärtigen 32-kHz-Uhrenquarzen.

### Zu den wichtigsten Vorteilen der MEMS-Timing-Lösungen gehören:

#### 1) Weniger Platzbedarf

- Kleinste 32 kHz Oszillatorbauform im 1,5 x 0,8 mm CSP; 80% kleiner als Quarz mit der erforderlichen Beschaltung
- Oszillatorausgang treibt mehrere Lasten und reduziert die Anzahl der Komponenten

#### Höhere Genauigkeit im Vergleich zu Quarzen

- 32 kHz MEMS XO bietet 2~3 fach bessere Genauigkeit über dem Temperaturbereich als die Quarz-Lösung <10 ppm bei 25 ° C, 100 ppm über Temp. Bereich
- 32 kHz TCXO 30 bis 40-fach genauer über die Temperatur; 5 ppm über Temp.

#### Geringer Stromverbrauch:

- 30 bis 50% niedriger im Vergleich zu XTAL + SoC Oszillator
- 32 kHz TCXO reduziert den Leistungsverbrauch bis zu 50%;

#### Programmierbare Frequenz von 1 Hz bis 32 kHz für die Sensorschnittstelle

#### Widerstandsfähiger; 50x größere Resistenz gegen Schock und Vibration

#### Für alle Silizium-MEMS-Timing-Lösungen gilt:

Im Gegensatz zu Quarz-basierten Bauelementen nutzen Silizium-MEMS-Oszillatoren moderne Verpackungstechnologien. Der MEMS-Oszillator besteht aus einem MEMS-Resonator, der auf einem hochleistungsfähigen, programmierbaren, analogen Oszillator-IC gebondet und in einem Standard-Low-Cost-Kunststoff-SMD-Gehäuse verbaut wird. Die Gehäuse sind Pin-kompatibel mit den gängigen Quarzgehäusen.

Um den geringen Platzbedarf von ultrakleinen Anwendungen zu unterstützen, sind SiTime MEMS-Oszillatoren zudem im winzigen CSP (Chip-Scale Packages) Gehäuse verfügbar. Sie besitzen eine programmierbare Architektur, die es zulässt, Features individuell zu gestalten, einschließlich Frequenz, Versorgungsspannung und weiteren Funktionen.

### **Miniaturisierung durch Integration, geringer Gehäusegröße und Flexibilität im PCB-Layout**

Die Oszillatoren des US-amerikanischen Herstellers SiTime bieten eine höhere Integration, neue Verpackungsoptionen und weitere Funktionen, die eine Größenreduktion ermöglichen.

Die Anschlüsse für die Spannungsversorgung (Vdd) und Masse (GND) sind im Mittelbereich zwischen den beiden großen XTAL Anschlüssen angebracht, um die Bauelemente pinkompatibel mit bestehenden Quarzlösungen zu gestalten (siehe Abbildung 1)

Für noch kleinere Größen sind die SiT15xx Oszillatoren in einem CSP Gehäuse verfügbar (*Bild 1*).

Der Platzbedarf verringert sich damit um bis zu 80% im Vergleich zu bestehenden 2012 SMD-Quarzen und ist 60% kleiner als die 1610 (1,6 x 1,0 mm) XTAL Lösung. Denn die externen Kapazitäten zur Quarzbeschaltung oder Bypass-Vdd-Entkopplungskondensatoren werden nicht benötigt, da der MEMS-Oszillator eine spezielle Stromversorgungsfilterung beinhaltet.

Dies vereinfacht das Board-Design und Miniaturisierung weiter. Die interne Stromversorgungs-Filterung garantiert eine Rauschunterdrückung bis  $\pm 50$  mVpp über 5 MHz.

Aufgrund der physikalischen Einschränkungen der Quarzresonatoren können Quarzlieferanten das CSP-Gehäuse oder integrierte Lösungen nicht anbieten.

Im Gegensatz zu Quarz-Kristallen liegt der Ausgang der SiT15xx direkt am XTAL-IN-Pin des anzusteuernenden ICs, wodurch die notwendige Beschaltung für die Lastkondensatoren, wie in Bild 2 dargestellt, entfällt.

Zudem besteht nicht die Notwendigkeit, das Bauelement direkt neben dem Chipsatz platzieren zu müssen. Diese Funktion in Verbindung mit dem Ultra-Low-Profile (0,55 mm Höhe) ermöglicht höchste Flexibilität beim Layout und zusätzlichen Größenoptimierung.

### **Längere Batterielebensdauer durch geringe Stromaufnahme**

In traditionellen Systemen wird das 32-kHz-Taktsignal durch einen Stimmgabelquarz (Uhrenquarz) oder einen MHZ-Quarz mit einer On-Chip-Pierce-Oszillatorschaltung

erzeugt.

Diese Quarzoszillatoren sind in der Regel kontinuierlich im Betrieb und verbrauchen mehrere Mikroampere. SiTime SiT15xx 32 kHz MEMS-Oszillatoren ziehen weniger als ein Mikro Ampere Strom und arbeiten sowohl bei geregelter oder unregelter Versorgungsspannungen von 1,2 V bis 3,63 V

### **Frequenzstabilität**

32-kHz-MEMS-Zeitgeber haben verglichen mit Quarzkristallen Temperaturkoeffizienten, die extrem flach über der Temperatur verlaufen (-> *Bild 4*). Die SiT15xx-Oszillatoren sind abgeglichen (getrimmt) auf eine Frequenzstabilität von weniger als 10 ppm bei Raumtemperatur und weniger als 100 ppm über dem vollen Temperaturbereich von -40 bis + 85°C.

Im Gegensatz dazu weisen Quarzkristalle eine für Stimmgabelquarze klassische parabelförmige Temperaturkurve auf. Sie haben ihren Scheitelpunkt bei 25°C, wie die roten Linien in Bild 4 verdeutlichen.

Bild 5 zeigt die Frequenzstabilität von 32-kHz-MEMS-TCXO. In diesen Bausteinen wird der Temperaturkoeffizient kalibriert und mit einer aktiven Temperaturkorrekturschaltung korrigiert. Das Ergebnis ist ein 32-kHz-TCXO mit weniger als 5 ppm Frequenzänderung über dem gesamten Temperaturbereich.

Diese extrem niedrige Frequenzänderung führt zu einem hochgenauen Takt und damit zu einer erheblichen Energieeinsparungen. Denn bei höherer Genauigkeit können drahtlose Systeme längere Zeit im Schlafmodus verbleiben, da eine Synchronisation hinsichtlich Taktfrequenz mit dem Netzwerk nicht so häufig durchgeführt werden muss.

### **Längere Batterielebensdauer dank besserer Frequenzstabilität**

Viele mobile Geräte reduzieren den Stromverbrauch, wenn sie nicht benötigt werden, durch Abschalten der Funktionsblöcke mit dem höchsten Drain-Strom. Jedoch müssen diese Systeme aufgeweckt werden, um periodisch mit dem Netzwerk zu kommunizieren.

Die höhere Frequenzstabilität erlaubt es dem System, über einen längeren Zeitraum im Energiesparmodus bzw. Schlafzustand zu bleiben. Viele Wearables sammeln kontinuierlich Daten, komprimieren diese und laden Sie in die Cloud über ein Internet-Hub-Gerät wie beispielsweise ein Mobiltelefon. Dieser Upload erfolgt in kurzen Bursts innerhalb weniger Millisekunden, danach kehrt des Gerät in den Ruhezustand zurück.

Diese zyklischen Schlaf-Szenarien sind typisch für batteriebetriebene Geräte, bei denen sich der Gerätekern für eine voreingestellte Zeit (Ruhezeit), die in der Regel im Bereich von 2 bis 10 Sekunden liegt, im Ruhezustand befindet und daraus wieder aufgeweckt wird, wenn Daten in einem kurzen Burst zu übertragen sind. Der Verbindungszeitraum "ON", in der bestimmte Funktionsblöcke des Gerätes aktiv

sind, wird dabei so kurz wie möglich gehalten.

Der Stromverbrauch ist proportional zu dem Verhältnis von "ON"-Zeit zu der Zeit, in der sich das Gerät im "Sleep"-Zustand befindet. Die Genauigkeit des 32-kHz-Taktes, der die Taktung der Sleep Time steuert (SCA = sleep clock accuracy), hat einen direkten Einfluss auf die Lebensdauer der Batterie.

Ungenauigkeiten im Ruhetakt führen dazu, dass der Funkempfänger (RX) zu früh einschaltet wird und zu lange aktiv bleiben muss, um zu vermeiden, dass Sendepakete vom Sender oder Master verloren gehen.

Clock-Ungenauigkeit, gemessen in PPM, bewirkt einen frühzeitigen Einschaltzeitpunkt( $\Delta T$ ), wie in  $\rightarrow$  *Bild 6*.  $\Delta T = (SCA) * (SLEEP TIME)$ . Wie eine präzisere Slave-Taktgenauigkeit die „ON“-Zeit und damit den Energieverbrauch reduzieren kann, zeigt  $\rightarrow$  *Bild 7*.

Die SiT1552 MEMS-basierten TCXO mit weniger als 5 ppm Frequenzänderung über der Temperatur, bieten eine viel genauere Alternative als eine Quarzkristalllösung.

Diese Genauigkeit reduziert die „ON“-Zeit und erlaubt es dem System, länger im Ruhezustand zu bleiben. Mit Hilfe des SiT1552 können Systemdesigner die komprimierten Daten in kurzen Bursts übertragen, aber nur dann, wenn Bedarf besteht.

Ansonsten bleibt das Gerät über lange Zeit im stromsparenden Sleep Mode, die Batterielebensdauer verdoppeln kann.  $\rightarrow$  *Bild 8* zeigt die erhöhte Batterielebensdauer durch Verwendung eines 5-ppm-32-kHz-TCXO im Vergleich zu einem 32-kHz-Quarzkristallresonator mit 180 ppm Toleranz im Temperaturbereich.

### **Längere Batterielebensdauer durch programmierbare Funktionen**

Der rauscharme analoge Oszillator IC im SiT15xx unterstützt mehrere Funktionen, einschließlich einer Ultra-Low-Power präzisen PLL und stromsparende programmierbare Ausgangstreiber.

Die Fractional-N-PLL mit Sub-Hertz-Auflösung ist für die Gerätekalibrierung und Programmierung von Frequenzen von 32,768 kHz bis zu 1 Hz verwendbar. Eine Reduzierung der Ausgangsfrequenz geht einher mit einer signifikanten Reduzierung des Stromverbrauchs.

Quarze, aufgrund der physikalischen Größenbeschränkungen des Resonators bei tiefen Frequenzen, bieten Frequenzen unter 32,768 kHz nicht an. Die niedrigeren Frequenzoptionen der SiT15xx-Familie ermöglichen völlig neue Architekturmöglichkeiten in batteriebetriebenen Anwendungen, bei denen der Referenztakt stetig läuft.

Im Zusammenspiel mit der On-Chip 32-kHz-Oszillatorschaltung offerieren die SiT15xx-

Bausteine eine programmierbare Ausgangstreiberfunktion. Der Ausgangstreiber kann verschiedene Gleichtaktspannungen erzeugen und so optimal an die gewünschten Bedingungen angepasst werden, wie -> *Bild 9* zeigt.

Die Ausgangsamplitude ist ab Werk programmierbar von voller Amplitude bis hin zu 200 mVpp für die niedrigste Energieaufnahme. Die Fähigkeit, Ausgangsfrequenz und -Treiberstrom zu reduzieren, reduziert signifikant den Ausgangslaststrom.

### **MEMS sind 50 Mal robuster**

IoT- und Wearable-Geräte sind häufig extremen mechanischen Erschütterungen und Vibrationen ausgesetzt. Beim Einsatz in rauen Umgebungen besteht für Quarzoszillatoren die Gefahr, dass sie nicht mehr innerhalb der angegebenen Spezifikationen arbeiten. Einige Quarzoszillatoren sind besonders empfindlich auf sinusförmige Schwingungen und Stöße und weisen dann erhebliche Frequenzänderungen auf.

Die SiT15xx-Architektur zeichnet sich durch eine höhere Zuverlässigkeit und Ausfallsicherheit bei solchen Umweltfaktoren im Vergleich zu ihren Quarzgegenständen aus. Die sehr kleine Masse (3000-mal kleiner als Quarz-Resonatoren) und das strukturelle Design machen sie extrem unempfindlich gegen externe Kräfte wie Vibration und Schock.

### **Anwendung und Design-Beispiele**

Abbildung 10 zeigt die in einem typischen tragbaren Gerät nötigen Taktsignale. Eine „Low Power“- 32-Bit-MCU arbeitet hier mit einem 16 MHz-Quarztakt und synchronisiert das Herzstück des Controllers sowie die Peripheriegeräte.

Der 32 kHz-Quarz wird für die Echtzeittaktung verwendet. Die MCU sendet Daten an den Hochfrequenz Chip für den drahtlosen Datenaustausch, der einen 32 kHz Quarz für die Taktzeitsteuerung des „Sleep Mode“ verwendet.

Abbildung 11 zeigt ein Design mit dem zwischen 1 Hz bis 32 kHz programmierbare SiT1534 MEMS-Oszillator für die Sensoranwendung und ein 32 kHz MEMS, der SiT1532, das den Referenztakt der RTC (real time Clock) in einer MCU steuert. Bei diesem Beispiel kann der benötigte Platz auf der Platine halbiert werden, wenn das nur 1,5 x 0,8 mm große CSP Gehäuse eingesetzt wird.

Die Abbildung zeigt eine Architektur bei der 32,768 kHz Timing Lösungen für zwei Chips, einmal für den Referenztakt des Mikrocontroller und als weak-up/Sleep-mode timer für den Bluetooth-Chip. In diesem Entwurf reicht ein einzelner MEMS-Oszillator (entweder SiT1532 oder SiT1552 TCXO) im winzigen 1,5 x 0,8 mm CSP Gehäuse, um beide Lasten zu treiben.

Da der Oszillator oder TCXO in der Lage ist, zwei Lasten zu bedienen, kann der Einsatz von sonst zwei getrennten 32 KHz Quarzen vermieden werden, bei gleichzeitig

wesentlich kleinerem Raumbedarf (acht mal kleiner als ein Design das zwei SMD-Quarze der Bauform 2012 + die vier erforderlichen Lastkondensatoren verwendet). Dieses Design erspart zudem erhebliche Leistung bei 100-mal bessere Stabilität verglichen mit einem BLE Chips mit interner 32 kHz RC über der Temperatur.

### **Zusammenfassung**

Innovationen im schnell wachsenden Wearable und IoT Segment werden durch Fortschritte in den zugrundeliegenden Technologien getrieben. Die neuen MEMS Timing-Lösungen sind eine der Schlüsseltechnologien, die den Trend zu kleineren, stromsparenden Geräten mit höherer Robustheit ermöglichen und unterstützen.

\* Axel Gensler ist Product Manager bei Endrich Bauelemente

Copyright © 2016 - Vogel Business Media