

Warum Sie Silizium-MEMS als Zeitreferenz nutzen sollten

Lange gaben Quarzoszillatoren in elektronischen Systemen den Takt vor. Nun werden sie aber zunehmend von MEMS-Oszillatoren verdrängt – und das hat gute Gründe.

AXEL GENSLER, DR. AARON PARTRIDGE *

Timing-Bauelemente erzeugen in elektronischen Systemen das Taktsignal, an dem sich alle anderen Signale synchronisieren. In den letzten Jahrzehnten basierten diese Komponenten auf Quarzkristallen in Form von Resonatoren und/oder von Oszillatoren. Quarz-Kristalle für Taktgeber werden von Unternehmen hergestellt, die auf die Produktion der Kristalle und deren Bearbeitung spezialisiert sind und deren Kernkompetenz die Präzisionsfertigung und das Schneiden von Quarzkristallen ist. Quarz-Hersteller können heute aber in Bezug auf Leistungsverbesserung und Funktionsmöglichkeiten nicht mehr mit der Halbleiterindustrie Schritt halten und sind nicht darauf vorbereitet, mit der Vielfalt der Bauteile, den schnellen Durchlaufzeiten und den Kostenvorteilen, die sich aus der Halbleiterfertigung ergeben, zu folgen.

Die Entwicklung von Silizium-MEMS (mikroelektromechanische Systeme) hat die Tür für radikale Verbesserungen der einst biederen Timing-Industrie geöffnet. MEMS-Timing-Lösungen ersetzen zunehmend aufgrund der vielen Vorteile die Quarzprodukte. Dieser Beitrag beschreibt die wichtigsten Vorteile, die sich durch die Verwendung von MEMS-Timing-Lösungen ergeben. Die Genauigkeit von Quarzoszillatoren, ist in der Regel auf rund ± 20 ppm beschränkt. Zudem erstreckt sich der Frequenzbereich speziell in kleinen Gehäusen auf einen Bereich von 10 bis 60 MHz. Der Jitter liegt typischerweise im Bereich von 1 bis 2 ps, integriert über 12 kHz bis 20 MHz. Diese Einschränkungen werden durch die mechanischen Grenzwerte der Quarze gesetzt. Die Limitierung kann in besonderen Fällen

überschritten werden, was aber die Kosten deutlich erhöht. MEMS-Oszillatoren unterliegen nicht diesen Grenzen, da sie eine programmierbare analoge Architektur verwenden. Zum Beispiel unterstützt die Schaltung mit MEMS-Oszillator-Architektur Frequenzen von 1 bis 625 MHz.

Es gibt auch subtile Probleme in Quarz, die in Silizium-MEMS nicht auftauchen, z.B. das Phänomen der Activity Dips: Quarze, die bei 25 °C einwandfrei arbeiten, können bei Änderung der Temperatur einen erhöhten Resonanzwiderstand und stärkere Frequenzsprünge aufweisen, und zwar um Zehntel ppb (parts per billion). In Low-Cost-Kristallen ist dieses Verhalten eher noch gravierender, dort können Sprünge von 1 ppm auftreten. Activity Dips lassen sich nur schwer

detektieren und noch schwerer vorhersagen oder beseitigen (Bild 1). Dass Activity Dips entstehen liegt an der Art und Weise, wie sich die Wellen seitwärts durch Quarz ausbreiten. In der Praxis muss man davon ausgehen, dass alle Quarzresonatoren Activity Dips im Kristall aufweisen. Activity Dips definieren in der Regel die Untergrenze für Kristallstabilität bei etwa 0,1 ppm (100 ppb). In Silizium-MEMS guter Qualität sind dies Activity Dips nicht vorhanden und bieten daher eine bessere Performance.

Quarz-Unternehmen beziehen in der Regel ihre Oszillatorschaltung, was deren Entwicklung und Produktion angeht von Halbleiterunternehmen und konzentrieren ihre eigenen Ressourcen auf die Herstellung der Quarzkristalle. Im Gegensatz dazu folgen



* Axel Gensler
... Ist Produktmanager bei der Endrich Bauelemente GmbH,

Dr. Aaron Partridge
... Ist Gründer und Chief Scientist von SiTime.

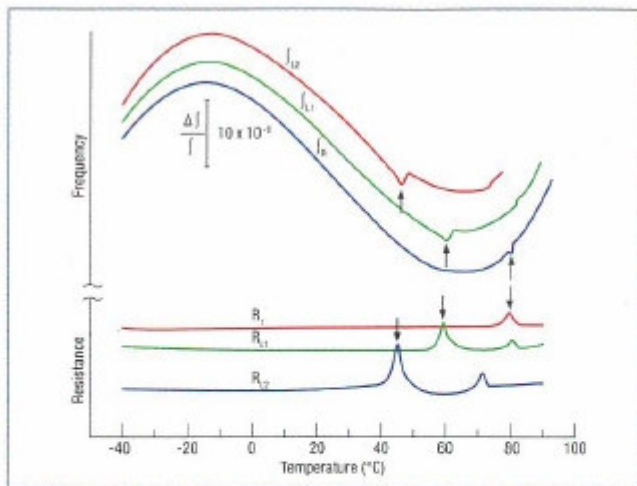


Bild: Endrich

Bild 1: Quarze, die bei 25 °C erwandfrei arbeiten, können bei Änderung der Temperatur einen erhöhten Resonanzwiderstand und stärkere Frequenzsprünge aufweisen.

Silizium-MEMS-Timing-Unternehmen dem Halbleitermodell und haben umfangreiches Knowhow sowohl in der Gestaltung von MEMS-Resonatoren als auch im analogen Oszillator-Schaltungsdesign.

Dieses „in-house“-Wissen an beiden Komponenten ermöglicht Funktionen, die von Quarzoszillatoren nicht geboten werden. Zu den MEMS-Timing Funktionen gehören:

- Anpassbare Frequenz von 1 Hz bis 625 MHz mit bis zu sechs Dezimalstellen Genauigkeit,
- Spread-Spectrum- EMI-Reduktion,
- programmierbares Treiber-Signal (Aus-

gangssignalform) zur besseren Signalintegrität und ebenfalls zur EMI-Reduktion,

- Betriebsspannung 1,8 bis 3,3 V und 1,2 bis 4,5 V für batteriebetriebene Anwendungen,
- programmierbarer Frequenzbereich von ±25 bis ±1600 ppm bei VCXOs, VCTCXOs und DCXOs.

Diese Funktionen sind auch über einen großen Betriebstemperaturbereich verfügbar. Zudem können die MEMS-Oszillatoren in einer Vielzahl von Industriestandard-SMD-Gehäusen geliefert werden, als Drop-in-Ersatz für Quarz-Oszillatoren. Spezielle Gehäuse, ultrakleine Chip-Scale Packages mit den Maßen 1,5 mm x 0,8 mm oder SOT23-5 für höhere Board-Level-Zuverlässigkeit in rauen Umgebungen sind außerdem im Angebot.

Die höhere Zuverlässigkeit bieten MEMS-Oszillatoren

Silizium-MEMS-Timing-Lösungen weisen eine höhere Zuverlässigkeit und eine längere Lebensdauer im Vergleich zu Quarzlösungen auf. MEMS-basierte Oszillatoren haben eine FIT-Rate (Failure in Time) von <2, die in 500 Mio. Stunden MTBF übersetzt werden kann. Damit sind sie etwa 15-mal besser als typische Quarzlösungen.

In Bezug auf Robustheit und Unempfindlichkeit gegenüber Rauschen zeigen die folgenden Testergebnisse die Vorteile der Si-Time MEMS-Oszillatoren gegenüber quarzbasierten Oszillatoren:

- 54-mal bessere elektromagnetische Störfestigkeit (EMI),
- 3-fach bessere Versorgungsrauschunterdrückung (PSNR Peak signal-to-noise ratio) gemessen in Phasen-Jitter pro mV_{pp} ,
- bis zu 30-mal besser Vibrationsfestigkeit in ppb/g, gemessen bei verschiedenen Schwingungsfrequenzen,



Bild: Fotolia - ©Sergii Figurny

■ bis zu 25-mal bessere Stoßfestigkeit, gemessen bei Spitzenfrequenzabweichung in ppm.

Diese Vorteile ergeben sich aus Größe und Struktur der Resonatoren. Die Resonatoren in Quarzoszillatoren sind freitragende Strukturen mit Größen im Millimeterbereich und somit empfindlich hinsichtlich Beschleunigung (Schock und Vibration). Ein Kristall kann elektrische Resonanzen im MHz-Bereich besitzen, hat aber Strukturresonanzen im kHz-Bereich. Diese kHz-Frequenzen können durch externe Vibrationen oder Erschütterungen angeregt werden, was sich in Vibrationsempfindlichkeit oder gar Ausfällen niederschlägt. MEMS-Resonatoren sind ca. 10-mal kleiner mit bis zu 3000-fach kleinerer bewegter Masse und etwa 10-mal höherem mechanischem Mode. Sie sind daher weniger empfindlich gegenüber äußeren Vibrationen und Erschütterungen.

Auch die Verpackung und das Schaltungsdesign der MEMS-Oszillatoren von SiTime gewährleisten eine höhere Immunität gegenüber elektrische Störungen. Die MEMS-Resonatoren sind in unmittelbarer Nähe des ICs angebracht, sodass die „Antennenfläche“, die elektrische Störungen auffangen könnte, im Vergleich zu Quarzverpackung extrem klein ist. Mehrstufige On-Chip-Regulatoren machen die Oszillatoren widerstandsfähiger gegen Stromversorgungsrauschen.

In Sachen Verfügbarkeit liegen Quarzlösungen hinten

MEMS-Oszillatoren haben eine programmierbare Architektur. Die meisten Funktionen können mit einem Programmierer wie der SiTime Time Machine II angepasst werden. So lassen sich in kürzester Zeit Funktionsmuster in jeder Frequenz, jeder Stabilität und jeder Versorgungsspannung realisieren. Dies gibt Systementwicklern die Möglichkeit, eine Vielzahl von Lösungsmöglichkeiten mit unterschiedlichen Funktionen im eigenen Labor zu programmieren und zu testen. Das wiederum beschleunigt die Entwicklung ohne Latenzzeiten in der Musterbeschaffung.

Silizium-MEMS-Timing-Bauelemente werden in Halbleiterfabriken und Verpackungsunternehmen hergestellt. Die MEMS-Oszillatoren liegen dort in unprogrammierter Form (Chips auf Wafern) meist auf Lager. So kann kurzfristig auch ein Neuauftrag bedient werden. Bei Auftragserteilung werden CMOS- und MEMS-Dies verpackt, geprüft, programmiert, gegurtet und binnen drei bis fünf Wochen versendet. Typische Lieferzeiten von quarzbasierenden Produkten liegen dagegen bei acht bis 16 Wochen, denn sie müssen ei-

	Quartz	SiTime Silicon	
Performance	■■■■■	■■■■■	Better Stability, Aging No Activity Dips
Features	■■■■■	■■■■■	Programmable Silicon
Availability	■■■■■	■■■■■	Samples – 48 hrs Production – 3 wks
Resilience, Reliability	■■■■■	■■■■■	Up to 50x Better
Price	■■■■■	■■■■■	Silicon Cost & Trajectory
SOC Integration	■■■■■	■■■■■	Quartz can't be integrated

Bild: Endrich

Bild 2: Sechs Gründe, die für MEMS-Oszillatoren als Taktgeber sprechen.

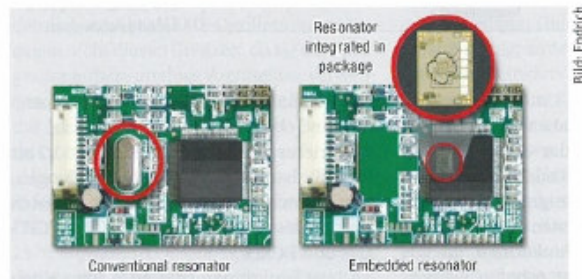


Bild: Endrich

Bild 3: MEMS Resonatoren lassen sich direkt in das Chip-Design des Kunden integrieren.

ne wesentlich aufwändigere Fertigung durchlaufen. Die kurzen Lieferzeiten von MEMS führen zu einer besseren Bestandskontrolle und ermöglichen auch kurzfristig auf Bedarfsspitzen flexibel und kostengünstig zu reagieren.

Auch der Preis spricht für MEMS-Lösungen

Die Herstellung von MEMS-Bauelementen aus reinem Silizium sowie die Verpackung in ein Low-Cost-Standard-Kunststoff-Gehäuse führen zu erheblichen Kostenreduzierungen. MEMS-Unternehmen, die ein „Fabless-Modell“ nutzen, greifen auf die vorhandene Infrastruktur der Halbleiterindustrie zu und sind damit besser gerüstet, um wettbewerbsfähige Preise anzubieten. Wie bereits erwähnt ermöglichen darüber hinaus die kurzen Lieferzeiten, die zusätzlichen Features und die höhere Zuverlässigkeit der MEMS-Timing-Lösungen deutlich niedrigere Systemkosten für die Endkundenapplikation.

Die SiTime-Technologie bietet zudem die Möglichkeit, MEMS-Resonatoren sowohl im Kilohertz- als auch im Megahertz-Bereich direkt in das Chip-Design des Kunden zu integrieren, was besonders bei hohen Stückzahlen sinnvoll ist. Die kHz-Resonatoren eignen sich zum Beispiel für Applikationen, die eine Zeitmessung verlangen und in denen man sonst einen 32-kHz-Stimmkabelquarz

verwenden würde. Die Megahertz-Resonatoren eignen sich dagegen insbesondere für Referenzanwendungen wie die Taktung von ICs. Die Taktquelle in ein Kunststoff-Soc-Chipgehäuse einzubetten, gestaltet sich bei konventionelle Quarzen äußerst schwierig und ist immer mit signifikanten Einbußen in Performance- und Zuverlässigkeit verbunden (Bild 3).

Distributoren helfen bei der Auswahl

Timing-Bausteine gibt es viele, und je nach Anforderung gilt es, das beste Produkt zu identifizieren. Spezialdistributoren wie die Endrich Bauelemente GmbH verfügen nicht nur über ein großes Sortiment von Bauteilen verschiedener Hersteller, sondern auch über das entsprechende Knowhow, eine solche Beratung kompetent durchführen zu können.

In Bezug auf die Vorteile, die die Verwendung von Silizium-Timingbausteinen bieten, sind bei Endrich die SiTime-Lösungen oft die erste Wahl, denn sie überzeugen nicht nur in Bezug auf Performance, Robustheit und Verfügbarkeit, sondern ermöglichen darüber hinaus auch eine spürbare Senkung der Kosten. // TK

Endrich
+49 (0) 7452 60070