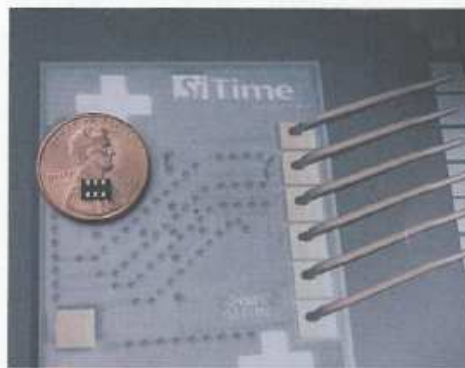


Die Zeit im Wandel

Ohne stabile Zeitreferenz läuft in moderner Elektronik gar nichts. Daher sind Resonatoren, Quarze, Oszillatoren oder Taktgeneratoren ein Herzstück jedes elektronischen Systems. Welche Basiskomponente in der Zukunft das Rennen macht, ob Quarz- oder MEMS-Resonatoren, darüber streiten sich derzeit die Gemüter. Denn die rasante Entwicklung im MEMS-Bereich macht diese Lösung oft nicht nur ebenbürtig, sondern bietet in manchen Bereichen sogar Vorteile.



AXEL GENSLER

Vor fast genau hundert Jahren, 1918, führte Alexander M. Nicholson mit natürlich gewachsenen Kristallen aus Seignettesalz erste systematische und wissenschaftlich dokumentierte Versuche mit elektromechanischen Resonanzschwingungen durch. Bereits ein Jahr später ersetzte Walter Guyton Cady den Seignettesalzkristall durch einen Quarzkristall.

Nach weiteren fünf Jahren veröffentlichte der Harvard-Professor G. W. Pierce eine Quarzschaltung mit nur einem Elektrodenpaar, und die Bell Telephone Laboratories wie auch andere Forschungseinrichtungen trieben die Entwicklung von praxistauglichen Schwingquarzen zur Frequenzstabilisierung in der Funktechnik voran. 1928 konnte Bell die erste quarzgesteuerte Uhr vorstellen.

Seitdem ist der Quarz als bestimmendes Element zum Erzeugen von Schwingungen kaum noch wegzudenken und wichtiger Bestandteil als Taktgeber für Prozessoren, Mikrocontroller, Funkgeräte usw. Dabei bestimmt sich die Frequenz maßgeblich durch Größe, Dicke und Form des Quarzkristallblättchens, auch Blank genannt. Mit sinkender Frequenz steigen die Größe und Dicke des Quarzes, bei hohen Frequenzen wird der Quarz sehr klein und damit empfindlich. Problematisch sind die Frequenzverschiebung durch den Lötvorgang, die bis zu 5 ppm betragen kann, sowie die mechanische Befestigung des Blanks im Gehäuse, die ihn für Erschütterungen anfäll-

ig macht. Außerdem bereiten Reinigungsverfahren wie Ultraschallbad oder Lötverfahren wie zum Beispiel das Dampfphasenlöten den Quarzprodukten Probleme. Die Herstellung von Quarzoszillatoren ist in der Regel zweigeteilt. Einen Teil übernehmen die Halbleiterunternehmen für die CMOS-Dies, den anderen die spezialisierten Hersteller der Quarzkristalle.

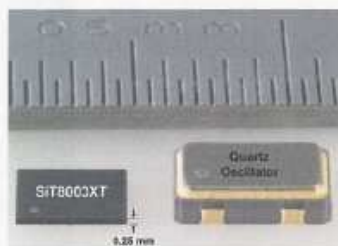


Bild 1: MEMS-Oszillatoren finden Platz in einem einfachen und damit kostengünstigen Plastikgehäuse Platz (links), während für Quarzoszillatoren ein spezielles gekapseltes und damit teures Keramikgehäuse nötig ist

Zudem bedarf es Fachwissen, um die beiden Komponenten später in ein Gehäuse zu integrieren. Der Quarz muss hermetisch dicht in ein Keramikgehäuse gekapselt werden, um die Güte des Resonators zu garantieren (Bild 1, rechts). Die nötige Masse und Größe der Quarz-Blanks nimmt dabei viel Platz ein, was die Möglichkeiten zur Miniaturisierung einschränkt. Die relativ hohen Produktionskosten zur Bearbeitung der Quarzrohlinge und Bestückung in teuren Keramikgehäusen stellen einen weiteren Nachteil der Quarzoszillatoren dar.

Vorteile von MEMS-Resonatoren

MEMS-Taktgeber (Micro Electro-Mechanical Systems) verwenden anstelle des Quarzes einen Resonator aus monokristallinem Halbleitersilizium. Im Gegensatz zu den im Anwendungsbereich vergleichbaren Quarzoszillatoren wird der MEMS-Resonator mit Halbleiterprozessen hergestellt, die den Prozessen elektronischer Schaltkreise ähneln.

Nachdem die Strukturen des MEMS-Taktgebers aus reinem Silizium herausgearbeitet sind, wird der Chip mit dem analogen Schaltkreis kombiniert und in einem Standard-Halbleitergehäuse aus Plastik verpackt (Bild 1, links).

Die Entwicklung der ersten MEMS-Oszillatoren, die seinerzeit noch als Resonator bezeichnet wurden, geht auf die Ar-

beiten von Raymond J. Wilfinger bei IBM Ende der 1960er Jahre zurück. Erste Ansätze zu dieser Technologie finden sich in den 1980 Jahren, wurden aber aufgrund fehlender Fertigungsverfahren und Methoden zur Temperaturkompensation der Frequenzdrift nicht weiter ernst genommen. Erst in den letzten zehn bis zwölf Jahren hat die Entwicklung der MEMS-Timing-Produktion Fahrt aufgenommen. Als einer der Innovationstreiber im Bereich von MEMS für integrierte Zeitreferenz-ICs gilt SiTime (Vertrieb: Endrich). 2005 als Spin-off

von Bosch gestartet, profitierte das Unternehmen von den Jahren der Technologieentwicklung des Bosch-Konzerns. Entscheidend war vor allem die von Markus Lutz und Aaron Partridge, zwei der SiTime-Gründer, entwickelte »InChipMEMS«-Technologie, eine Methode, um MEMS-Strukturen in ultrareine, vakuumdichte Wafer-Hohlräume zu integrieren, mit CMOS-Schaltungen zu verbinden und in ein Standard-Plastikgehäuse zu verpacken.

Das Unternehmen entwickelte den »MEMS first«-Fertigungsprozess: Hierbei werden die benötigten MEMS-Kavitäten (Resonatorhohlräume) im Silizium bei extrem hohen Temperaturen versiegelt, bevor die übrigen Strukturen entstehen. Etwaige Feuchtigkeit, Partikel oder Gase, welche die Schwingmasse der Resonatorstrukturen deutlich verändern und so die Schwingfrequenz unvorhersehbar stark verstimmen, können durch diesen Prozess nicht in das hermetisch dichte Gebilde eindringen. Positiver Nebeneffekt: die hohen Temperaturen sorgen dafür, dass der Resonator durch die temperaturbedingte Voralterung eine hohe Langzeitstabilität erhält.

Theoretisch lassen sich Oszillatorschaltkreise und PLLs auf demselben Siliziumsubstrat kombinieren, da beide mit üblicher Ätztechnik in Silizium gefertigt werden. Derzeit gehen aber die meisten Hersteller den Weg einer Multi-Chip-Lösung, bei welcher der MEMS-Resonator und die Oszillatorschaltung als separate Chips gefertigt und in einem einzigen, kompakten Halb-

leitergehäuse integriert werden. Auch SiTime fertigt eine Zwei-Chip-Lösung und platziert die in einem 0,18- μm -Prozess hergestellten MEMS-Dies auf die Oberseite einer Standard-0,18- μm -CMOS-Schaltung. Die Verbindung der beiden Dies folgt über Bond-drähte. Abschließend kommt die Schaltung in ein kostengünstiges Standard-Kunststoffgehäuse und wird getestet und kalibriert. Temperaturbedingte Abweichungen im MEMS-Resonator können mithilfe eines Temperatursensors in Verbindung mit der Frequenzsteuerung kompensiert und eine Genauigkeit von bis zu ± 10 ppm bei XO's beziehungsweise $\pm 1,5$ ppm bei TCXOs über den gesamten Temperaturbereich von -40 °C bis $+85$ °C spezifiziert werden.

Mechanisch unempfindlich

Die Resonatoren weisen nur eine sehr geringe Größe im zweistelligen Mikrometerbereich auf und besitzen folglich extrem wenig Masse (10^{-10} g). Die kleine Masse ist es, die diese Lösung unter anderem unempfindlich gegenüber mechanischer Erschütterung macht und laut Hersteller einen bisher nie erreichten Grad an Miniaturisierung ermöglicht. In puncto Zuverlässigkeit übertrifft die MEMS-Lösung den Quarzoszillator um das Zehnfache und ist gar zehn bis zwanzig Mal robuster im Hinblick auf die Beständigkeit

gegenüber Schock und Vibration. Da sowohl der MEMS-Resonator als auch die CMOS-Steuerelektronik in einem Halbleiterprozess gefertigt und in standardisierten Kunststoffgehäusen bestückt werden, ergeben sich zudem Kostenvorteile sowie eine Reduzierung der Beschaffungszeiten auf drei bis vier Wochen. Bei Quarzoszillatoren beträgt die Lieferzeit im Schnitt acht bis 16 Wochen.

Die Drift der Resonatorfrequenz über den Temperaturbereich kompensiert eine CMOS-Oszillatorschaltung. Der entsprechende ASIC verfügt zudem über eine programmierbare On-Chip-PLL, mit der sich jede x-beliebige Ausgangsfrequenz auf die sechste Dezimalstelle im Bereich von 1 MHz bis 650 MHz einstellen lässt, was kürzere Lieferzeiten bedeutet. So können selbst exotische Frequenzen in größeren Stückzahlen innerhalb von drei bis vier Wochen produziert werden. Dieser Vorteil zeigt sich insbesondere bei höheren Frequenzen, wo Quarzoszillatoren zunehmend ungenauer werden und wo deren Herstellung mit steigenden Fertigungskosten verbunden ist.

Nicht zu vergessen die Zusatzfunktionen wie symmetrische Signalausgänge, Frequenzselektion und Spread-Spectrum-Versionen. Hilfreich für ein optimales Design sind die Leistungsanpassung des Ausgangssignals (Programmable Drive Strength Control) und die Anpassung der Flankensteilheit (»Soft-


Edge«), um größere Lasten zu treiben und das EMI-Verhalten zu verbessern.

Zusätzlich bietet SiTime mit dem Entwicklungskit »Time Machine II« die Möglichkeit, nahezu alle Produkte in Sekunden kundenspezifisch zu programmieren. Das gilt sowohl für Low-Power-Oszillatoren in den SMD-Bauformen 2,0 mm x 1,6 mm bis 7 mm x 5 mm als auch für die VCXOs, Spread-Spectrum-Oszillatoren oder die Typen für den erweiterten Temperaturbereich von -40 °C bis $+125$ °C.

Abgesehen von wenigen High-End-Anwendungen – vor allem im Präzisionsfunkbereich wie GPS oder High-End-Messtechnik – sind die MEMS-Oszillatoren den quarzbasierten XO's, VCXOs oder TCXOs hinsichtlich ihrer technischen Werte zumeist nicht nur ebenbürtig, sondern in einigen Belangen überlegen (Beschleunigungen bis zu 50 000 g, Vibrationen von 70 g, Drücke von 600 bar). Auch den Vergleich hinsichtlich Toleranz und Stabilität müssen MEMS nicht scheuen. Nur Phasenrauschen (Jitter) und extreme Temperaturstabilität sind in speziellen Applikationen Defizite. Neue Generationen von SiTime-Bausteinen, die bereits für Ende 2014 angekündigt sind, sollen diese Lücke schließen.

Breit aufgestellt

SiTime sieht sich in nahezu in allen Bereichen der Oszillatoranwendungen aufgestellt. Dazu gehören

AXEL GENSLER 

ist Produktmanager bei
Endrich Bauelemente

Ultra-Performance- und Low-Power-Oszillatoren (XO), Spread-Spectrum Oszillatoren (SSXO), spannungsgesteuerte Oszillatoren (VCXO) mit Ziehbereich von bis zu ± 1600 ppm, digital gesteuerte Oszillatoren (DCXO) und temperaturkompensierte Oszillatoren (TCXO), automobiltaugliche Hochtemperaturoszillatoren, Oszillatoren mit differenziellen Ausgängen (VCXO, Spread Spectrum, DCXO, 1 MHz bis 650 MHz) aber auch für die typische Uhrenquarzfrequenz von 32,768 kHz.

Diese Produktpalette an MEMS-Oszillatorlösungen wird in den Industriestandard-QFN-Spritzgussgehäusen als Drop-in-Ersatz für 3225, 5032 und 7050 oder als 2,8 mm x 2,4 mm x 1,2 mm großer SOT23-Chip geliefert. Temperaturbereiche von -20 °C bis $+70$ °C aber auch Automotive-Bereiche von -40 °C beziehungsweise -55 °C bis $+125$ °C sind verfügbar. Die Auswahl an Spannungsversorgungen von 1,8 V bis 3,3 V und Frequenzstabilitäten von ± 10 ppm bis ± 50 ppm bieten Flexibilität im Design. (rh)

Endrich Bauelemente
Telefon 0 74 52/60 07 0
www.endrich.com

