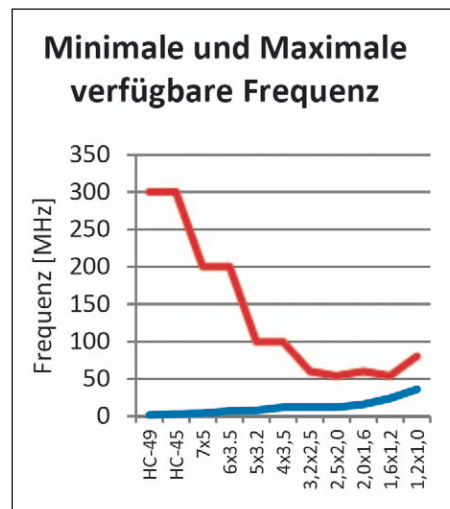
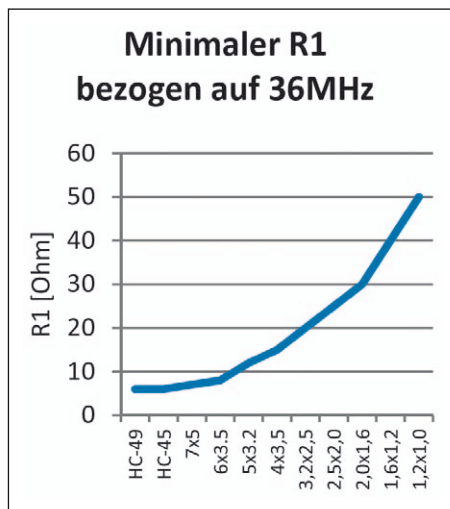


# Schwingquarze – analoge Bauteile in der digitalen Welt

Auch in einer digitalen Umgebung ist der Schwingquarz noch ein analoges Bauelement. Die mechanische Schwingung des Kristalls wird über den piezoelektrischen Effekt an die äußere Elektronik weitergeleitet. Analog zu einem Pendel wird das Ausgangssignal immer eine Sinusfunktion sein.



Schwingquarze wurden in den letzten Jahren kaum noch beachtet, obwohl sie ein nicht zu vernachlässigender Bestandteil in vielen Anwendungen sind. Wenn Zeitabweichungen in der Größenordnung von wenigen ppm oder kleiner über längere Zeit eine Rolle spielen, verwendet man Schwingquarze als Taktgeber. Heutzutage werden in fast allen Geräten Schwingquarze als Taktgeber verwendet, von der einfachen Quarzuhr bis hin zur Weltraumanwendung. Keine Kommunikation wäre möglich, kein modernes Auto würde fahren und selbst eine stabile Stromversorgung wäre unmöglich.

## Beratung von Vorteil

Allen Schwingquarznutzern ist es sehr zu empfehlen, sich frühzeitig mit kompetenten Fachleuten zu beraten, die direkten Kontakt zu den Herstellern haben. Dadurch können Anwendung und Schwingquarz besser aufeinander abgestimmt werden. Die Spezifikation wird detaillierter ausgearbeitet und es werden spätere Probleme vermieden. Durch den ständigen Preisdruck sind die Hersteller gezwungen, jede Lücke in der Spezifikation zur Kostensenkung zu nutzen. Die meisten Fertigungen sind in Länder mit geringen Lohnkosten verlagert. In Europa werden nur noch wenige Spezialquarze gefertigt.

## Entwicklung im Fluss

Obwohl dieses Bauelement schon in die Jahre gekommen ist, die ersten wurden schon vor 100 Jahren technisch verwendet, ist seine Entwicklung nicht stehen geblieben. Die Baugrößen haben sich von den Metallbauformen der HC und TO Reihen auf Baugrößen von 1 x 1,2 mm in Keramikausführung verkleinert und an einer weiteren Miniaturisierung wird gearbeitet. Konnte man in den Metall-Bauformen noch beliebige Frequenzen in kleinen Stückzahlen fertigen, ist das bei den keramischen Gehäusen nicht mehr in dieser Weise möglich. Bedingt durch die veränderten Fertigungsmethoden und den stetigen Preisdruck sind die Losgrößen auf 500 bis 10000 Stück gestiegen. Metallgehäuse der HC oder TO Bauformen werden nur noch für Präzisionsquarze verwendet. Für normale Applikationen werden diese Bauformen bald nicht mehr verfügbar sein.

## Folgen der Miniaturisierung

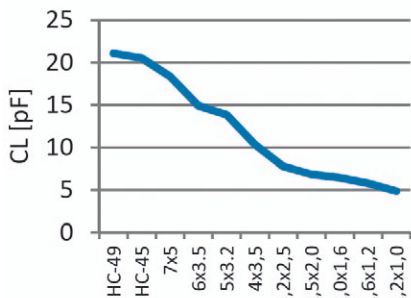
Allerdings bringt die Reduzierung der Baugrößen auch einige Einschränkungen der Daten mit sich. Zum einen wird der Frequenzbereich eingeschränkt. Zum anderen steigt der Designaufwand, verbunden mit immer kleineren Fertigungstoleranzen, beim Übergang von den Metallgehäusen auf die Keramikgehäuse stark an. Durch die Veränderung des Resonators von rund auf rechteckig wird für jede Frequenz ein neues Design notwendig. Die Entwicklung eines neuen Designs, einer neuen Frequenz, wird erst ab Stückzahlen in mehrfacher Millionenhöhe wirtschaftlich.

Mit der Verringerung der Baugrößen sind aber auch Veränderungen der elektrischen Parameter verbunden. So steigt der Ersatzwiderstand an und die Schwinggüte nimmt ab.

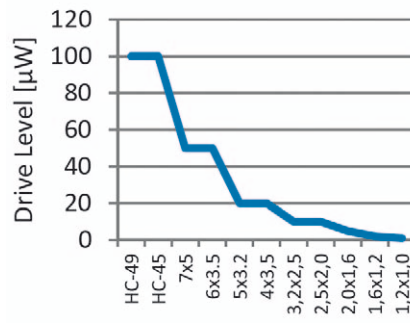


Autor:  
Jürgen Hoffmann,  
Geschäftsführer  
Coftech GmbH  
www.coftech.de

## Lastkapazität für 15ppm/pF bei 36 MHz



## Optimaler drive level



Temperaturkurve dabei von den idealen 25 °C zu höheren Temperaturen.

## Verlustleistung beachten!

Ein weiterer wenig beachteter Punkt ist die Verlustleistung am Schwingquarz. Konnten bei den Metallbauformen noch Leistungen von 100 µW und mehr eingesetzt werden, führen diese bei den kleinsten Bauformen schon zu Beschädigungen des Bauelements. Das schwingende Volumen wird immer kleiner und das Kristallgitter muss die zugeführte Energie aufnehmen. Das bedeutet starke mechanische Verformungen, die zur Änderung der physikalischen Eigenschaften führen. Bei einem Uhrenpendel als Vergleich, würde man ein Anschlagen des Pendels am Gehäuse beobachten. Das macht sich vor allem in einer stark erhöhten Alterung bemerkbar. Störresonanzen werden verstärkt angeregt und führen zu Verzerrungen des Temperaturgangs (Activity Dips). Auch Totalausfälle können auftreten. Ganz deutlich werden diese Effekte beim Aufzeichnen der Lastabhängigkeiten (Drive Level Dependency) von Serienresonanzfrequenz und R1. Für die kleinsten Bauformen sollte der Drive Level nur noch im Bereich von 1 µW liegen.

## Auch in Zukunft unverzichtbar

Neue Entwicklungen wie MEMs, ebenfalls mechanische Schwinger, aber auf Siliziumbasis, bringen zurzeit noch keine erheblichen Vorteile. Sie werden wie Schwingquarze in einem separaten Gehäuse verwendet. Eine totale Integration in bestehende Chips ist noch nicht erfolgt. Außerdem muss die starke Temperaturabhängigkeit des Siliziumkristalls elektronisch digital kompensiert werden. Das führt im Temperaturgang zu Microjumps der Frequenz, ähnlich wie sie bei digital kompensierten Quarzoszillatoren zu beobachten sind, nur in wesentlich mehr Stufen. Jeder dieser Microjumps führt zu einem Phasensprung und somit zu Übertragungsfehlern.

Der Schwingquarz bleibt damit noch einige Zeit ein unverzichtbares Bauelement. Durch das komplexe Verhalten des Schwingquarzes und sein Verschwinden aus der allgemeinen Wahrnehmung wird die Gefahr von fehlerhaften Spezifikationen höher. Meist werden nur die alten Spezifikationen für Metallgehäuse kopiert und mit neuen Gehäusezeichnungen verbunden. Dabei bleiben leider die veränderten Eigenschaften meist unberücksichtigt. ◀

Diese Änderungen sind physikalisch bedingt und können nur in bestimmten Grenzen beeinflusst werden. Bedingt durch die Abmessungen sinkt bei kleinen Bauformen auch das Ziehverhalten. Die geringere Ziehbarkeit der kleinen Bauformen erfordert eine wesentlich kleinere Lastkapazität zum Erreichen der gleichen Frequenzänderung. Die verwendeten Lastkapazitäten liegen heute in der Größenordnung von 4 bis 7 pF.

Bei geringen Frequenztoleranzen in der Anwendung muss außerdem die Verbindung des Gehäuses mit der Masseleitung berücksichtigt werden. Bei nicht definierten Messbedingungen und kleinen Lastkapazitäten kann es zwischen Hersteller und Anwender zu erheblichen Frequenzabweichungen kommen.

Die kleine Lastkapazität reduziert ebenfalls die Betriebsgüte und verschlechtert auch das Phasenrauschen erheblich. Damit sind die kleinsten Bauformen nicht mehr für Anwendungen mit hohen Präzisionsanforderungen geeignet.

Die Miniaturbauformen sind allerdings durch ihre Größe und den mechanischen Aufbau gut für Anwendungen mit High Reliability und hoher Schock- und Vibrationsfe-

stigkeit geeignet, bei denen es nicht auf extreme Frequenzgenauigkeit, Ziehbarkeit und Phasenrauschen ankommt. Das trifft besonders auf Anwendungen mit extremen Platzanforderungen und geringen Datenübertragungsraten zu. Durch Gehäuse in kompletter Keramikausführung sind sogar Anwendungen in starken Magnetfeldern, wie zum Beispiel direkt im MRT, möglich.

Einige weitere Einschränkungen sind aber zusätzlich zu beachten. Bedingt durch den Temperaturgang des Materials können über den Temperaturbereich nur bestimmte minimale Frequenzabweichungen realisiert werden. Die Anpassung erfolgt über den sogenannten Schnittwinkel, die Orientierung des Schwingers im Kristall.

Die minimal im Temperaturgang erreichbare Frequenzabweichung wird durch die bei den kleinen Bauformen verwendeten Oberflächenformen (Linsen) weiter eingeschränkt. Durch zusätzliche Bearbeitungsverfahren wird die effektive Orientierung im Kristall verändert. Toleranzen im Bereich von 15 Winkelsekunden sind schwieriger zu realisieren. Außerdem verschiebt sich der Symmetriepunkt (Inflection Point) der

Temperaturbereich [°C]	minimaler Frequenzgang bezogen auf 25 °C in ppm
-5...+50	±3
-10...+60	±5
-20...+70	±7,5
-30...+80	±15
-40...+90	±20
-55...+105	±30