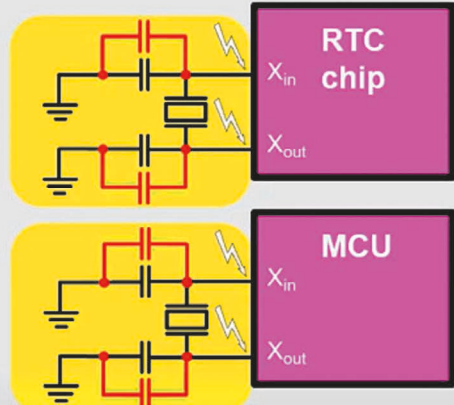


## Modernes Quarz- und Oszillator-Design

Elektronische Schaltungen sind immer mehr auf einen präzisen und stabilen Takt angewiesen. Diesen liefern Quarze, keramischen Resonatoren oder Oszillatoren.



**RTC chip**  
 $X_{in}$   
 $X_{out}$

**MCU**  
 $X_{in}$   
 $X_{out}$

Low cost oscillator solution using external discrete components coupled to active circuit located in RTC chip or MCU.

**Reasons for its use**  
The effects of parasitic capacitance on the track lines, combined with the impact of temperature and EMC disturbances are known to generate degraded operation.

By using a fully embedded solution, the design is more robust and get rid of:

- Humidity (parasitic capacitance)
- Dirt (parasitic capacitance)
- Spurious signal interference
- Spikes
- Gap in temperature between X-tal and oscillator circuitry in MCU (gap in aging)

**This allows also formal coating free process for PCBA and cost savings in production.**

größer die Abmessungen des Resonators sind, desto höher ist sie. Die Frequenz eines Quarzkristalls in der Grundwelle hängt linear im umgekehrten Verhältnis von der Dicke des Plättchens ab. Das bedeutet, dass der mechanisch dünnste herstellbare Kristallschnitt die höchste Resonanzfrequenz bestimmt. Niedrige Frequenzen verlangen nach einer „dickeren“ Konstruktion. Ergo, mit steigender Frequenz nimmt die Stärke des Blanks ab. Frequenzen im Grundton, die mit dieser Methode erzielt werden, liegen bei 1 bis ca. 70 MHz, je nach Bauteilgröße.

Über diesen Bereich hinaus werden Quarze in der Regel auf einem Oberton (Oberwelle) betrieben. Dies führt zu höherem Stromverbrauch, längerer Anschwingdauer als auch schlechterem Rauschverhalten. Ist das Rauschverhalten in den höheren Frequenzbereichen ein wichtiges Kriterium, kommen die Inverted-Mesa-Quarze zu tragen. Diese haben ihren Preis, da in einem speziellen Verfahren die Blanks behandelt werden, um die für die höherer Frequenz nötige geringer Dicke des Blanks für den Betrieb im Grundton zu erzielen. Dies geschieht, indem mittig auf dem Quarzblank Material in einer Ätztechnik abgetragen wird. Mesa-Quarze oder auch High-Frequency-Fundamental-invertierte Mesa-Quarze sind im Bereich von 50 bis 250 MHz im Grundtonmodus produzierbar (z.B. Mesa-Quarze der Micro Crystal AG). Sie sind

Der Bedarf an Steuerelektronik und damit an Taktgebern entwickelt sich rasant im Zuge der zunehmenden Datenübertragungen etwa bei Bluetooth, 5G, IoT, Smart Home oder dem autonomen Fahren. Doch bei der Auswahl von Quarzen zur Takterzeugung gilt es einiges zu beachten, insbesondere bei Applikationen mit zunehmender Datenrate, geringer Leistungsaufnahme und Anspruch an die Miniaturisierung. HF-Schwingerschaltungen zur Datenübertragung per Funk oder Prozessoren, die den Funkteil bereits integriert haben, verlangen insbesondere ein sorgsames Vorgehen.

Die zwei Hauptkategorien sind MHz- und kHz-Quarze. Auf letzteren wird im Folgenden nicht spezifisch eingegangen. Er dient in den meisten Applikationen als Echtzeituhr und übernimmt Wake-Up-Funktionen.

**Kleiner, schneller präziser: Neue Produkte erfordern immer kleinere Komponenten**

Die Entwicklung der Produkte und Bauelemente in den vergangenen Jahren, insbesondere

bei tragbaren, batteriebetriebene Anwendung, zielt auf Miniaturisierung und höherer Komplexität. Dieser Trend treibt die Quarzhersteller ebenso an, die Bauform der Quarze zu verringern. Die Bauformen werden kleiner und das bei steigender Stabilität. Die Vorteile, die sich daraus ergeben können, sind z.B. sinkende Material und Logistikkosten für den Hersteller. Aber das ist auch eine neue Herausforderung bei der Bauteileentwicklung, denn die Quarzfrequenz hängt von einigen physikalischen Parametern ab, die eine Miniaturisierung in der Regel nicht verbessern. In der Folge bedeutet diese auch für den Anwender, die Bauteilspezifikation zu bewerten und zu testen, in der geplanten Anwendung.

Im Gehäuses befindet sich der Quarzresonator, auch als Quarzblank bezeichnet. Maßgeblich die Stärke des Blanks bestimmt die Frequenz des Systems. Aber auch Größe, Form, Masse und Materialkonstanten haben Einfluss in geringerem Maße. Die äußeren Abmessungen des Quarzplättchens beeinflusst die Güte des Schwingquarzes, je



Autor:  
Axel Gensler,  
SE Spezial-Electronic GmbH  
www.spezial.com

Co-Autor:  
Dr.-Ing. Rudolf Mäder

in flachen, keramischen Miniaturgehäusen erhältlich, die hohe Temperatur-, Schock- und Vibrationsbeständigkeit unterstützen und ideal für raue Umgebungen und Anwendungen mit hoher Zuverlässigkeit sind.

Der Trend bei den „State of the Art  $\mu$ Ps“ geht hin zu höheren Taktraten. Das kommt den Quarzen entgegen. Waren in der Vergangenheit für  $\mu$ Ps und UARTs noch 1,8432 und 3,6864 MHz gefragt, verlangen die heutigen Anwendungen Taktgeber im Bereich 16 bis 48 MHz.

## Grenzen bei Oszillatoren

Aus den physikalischen Gegebenheiten heraus ergeben sich Grenzen bei der kleineren Gehäusedimension für MHz-Quarze. Die niedrigste Frequenz bei einem 2,5 x 2 mm messenden Gehäuse liegt bei 11 MHz. Kleinere Frequenzen in dieser oder noch kleinerer Bauform lassen sich nur durch den Einsatz von Oszillatoren (z.B. MEMS-Oszillatoren von SiTime Corp.) erreichen.

Oberflächlich betrachtet, scheint das Oszillator-Design mit Quarzkristallen recht einfach. Aber es gibt eine Vielzahl von Entwurfsparametern, die es zu berücksichtigen gilt, wenn ein Quarz an eine Oszillatorschaltung angepasst wird. Dazu zählen die Schwingungsimpedanz (ESR, Equivalent Series Resistance), der Resonanzmodus, die Ansteuerleistung und der negative Oszillatorwiderstand, der ein Maß für die Oszillatorverstärkung ist. Zusätzlich müssen die Lastkapazität für Parallelresonanz berücksichtigt und ein Auge auf die parasitären Kapazitäten durch Leiterkarte, Anschlussleitungen sowie des angesteuerten ICs geworfen werden. All diese Faktoren haben mehr oder weniger Einfluss auf die Oszillatorschaltung, deren Einschwingverhalten und exakte Mittenfrequenz.

Da eine Oszillatorschaltung eine enge Anpassung des Resonators/Quarzes an die Schwingungsschaltung erfordert, können die Quarzhersteller den sicheren

Start (Anlauf) des Quarzes nicht vorbehaltlos garantieren. Im Gegensatz dazu bieten Oszillatoren eine vollständig integrierte Lösung. Der Oszillatorhersteller passt den Quarzresonator an die Oszillatorschaltung an und erspart somit dem Entwickler diese Tüftelei. Da die Abgleichfehler eliminiert werden, wird der Start des Oszillators durch Hersteller wie SiTime Corp. garantiert.

Kurzum, Oszillatoren sind war vermeintlich hochpreisiger, betrachte man lediglich den reinen Bauteilpreis, stellen sie aber eine Plug&Play-Lösung dar, die das System-Design stark vereinfacht, Entwicklungskosten spart und Fehlerquellen im Design eliminiert, da sie werkseitig optimal abgestimmt sind, sodass das Anschwingverhalten garantiert ist. Oszillatoren kommen spätestens zum Einsatz, wenn eine Schaltung nach hoher Stabilität und Präzision über die Temperatur und bei wechselnden Umwelteinflüssen verlangt. Möglich sind hier Stabilitäten von 20 ppb (parts per billion, Milliardstel) bis in den einstelligen ppb-Bereich; diese können nur durch eine optimale angestimmte Oszillatorschaltung erzielt werden.

Auch nähern sich die neuen SMD-Quarze mit integrierten Thermistoren (etwa von Hosonic Technology) im ppm-Bereich den hochgenauen Oszillatoren und TCXOs geringfügig an. Die direkte Kopplung von Thermistor und Quarz in einem hermetisch versiegelten Gehäuse bedeutet eine sofortige Detektion der Temperaturänderung am Quarz. Eine entsprechenden Nachregelung erfolgt durch den Mikroprozessor, der durch den Quarz getaktet wird. Die Temperaturstabilität kann um mehr als das 20-fache gegenüber einem Standardquarz verbessert werden.

## Quarzbetrachtung – Wechselwirkung der Parameter

Zurück zu den Standard-MHz-Quarzen und der Miniaturisierung. Quarzoszillation basiert auf dem piezoelektrischen

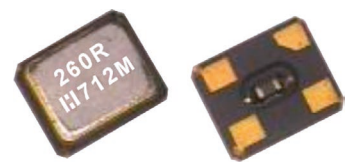
Effekt. Die Piezoelektrizität beschreibt die Änderung der elektrischen Polarisierung und somit das Auftreten einer elektrischen Spannung an Festkörpern, wenn sie elastisch verformt werden (direkter Piezoeffekt). Umgekehrt verformen sich Materialien bei Anlegen einer elektrischen Spannung (inverser Piezoeffekt). Eine Wechselspannung, die über die Elektroden auf dem Quarzblank gelegt wird, erzeugt eine mechanische Verformung, Schwingung des aus  $\text{SiO}_2$  bestehenden Quarzblanks. Die Resonanzfrequenz der Schwingung ist von den geometrischen Parametern und Materialkonstanten abhängig.

Für die Herstellung von MHz-Quarzen setzt man aufgrund der besonders stabilen Resonanz überwiegend auf den Oszillationsmodus von Dickenscherswingern. D.h. die gegenläufigen Verschiebungen der beiden größeren Oberflächenbereiche (Unterseite und Oberseite) des Blanks zueinander. Der Schwingungsknoten bzw. bei Oberwellenquarzen die Schwingungsknoten befindet/befinden sich innerhalb des Resonators. Die Frequenz wird bestimmt durch das Verhältnis des Resonatordurchmessers zur Dicke des Blanks sowie der Größe der Elektroden.

## Das Quartz-Ersatzschaltbild

Das Ersatzschaltbild stellt die elektrische Wirkung des mechanischen Schwingers in der Schaltung dar. Nach der Theorie einer elektrisch-mechanischen Analogie entspricht die dynamische Kapazität  $C1$  der elastischen Nachgiebigkeit (Steifheit) und die Induktivität  $L1$  der schwingenden Masse des Quarzresonators (Trägheit). Der Resonanzwiderstand  $R1$  wird durch die dynamischen Schwingungsverluste gebildet. Er resultiert aus den Dämpfungen des Resonators. Die Dämpfungskonstante  $t1$  ist  $R1 \times C1$  und steigt bei Verringerung der Resonatorabmessung stark an.

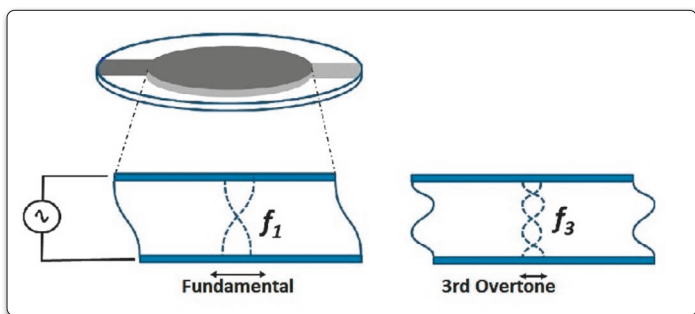
Diese dynamischen Größen bilden einen elektrischen Serien-



kreis, dem die statische Kapazität  $C0$  parallelgeschaltet ist.  $C0$  spiegelt die Streukapazitäten wider, Kapazitäten, die durch die Elektroden, Halterungen und Anschlüsse innerhalb des Quarzgehäuses auftreten. Mit diesen Werten haben Quarzhersteller in eingeschränktem Bereich die Möglichkeit, Produkteigenschaften zu verändern. So kann der  $C1$ -Wert durch die Elektrodengröße beeinflusst werden. Bei kleinen Bauformen gilt es, das Verhältnis von Oberfläche zu Dicke im Quarz-Design in einem Maße zu entwickeln, dass die Parameter die Oszillation und das Anschwingen gewährleisten.

## Wechselwirkung der Parameter

Die Wechselwirkung sei am Beispiel des Verlustwiderstands  $R1$  bei Resonanz (auch als  $R_r$  oder ESR geläufig) skizziert. Dieser hängt von Frequenz und Größe des Quarzblanks ab. Kleinere Bauform verlangt nach kleinerem Blank und damit geringerer Elektrodengröße zur elektrischen Kontaktierung des Quarzblanks. Das wiederum erhöht den Resonanzwiderstand mit der Folge, dass eine höhere Leistung benötigt wird, um die Oszillation zu gewährleisten. Ohne höhere Leistung wird das Einschwingverhalten (Gangreserve) beeinträchtigt. Nun einfach die Leistung zu erhöhen, ist mit Vorsicht zu betrachten, denn beim ein höherer  $R1$  führt das zu geringerer Belastbarkeit. Die Amplitude der mechanischen Schwingung von Schwingquarzen ist proportional der Amplitude des Wechselstromes, der durch den Verlustwiderstand  $R1$  fließt. Eine zu starke Erhöhung des Stromes kann bis zur Zerstörung des Quarzresonators durch Überschreiten der Materialfestigkeit führen. Vor der völligen Zerstörung des Schwingers ändern sich die elastischen Eigenschaften des Quarzmate-



rials und damit die Resonanzfrequenz. Die Erhöhung von  $R_1$  führt zudem zur Reduzierung der dynamischen Kapazität (motional Capacitance)  $C_1$ . Anwendungen, die eine großen Ziehbereich der Quarzfrequenz verlangen, können diese Quarze nicht bedienen.

$$f_s(\text{Serienresonanz}) = \frac{1}{2\pi * \sqrt{C_1 * L_1}}$$

$$Q(\text{Güte}) = \frac{1}{\frac{2\pi * f_s * C_1 * R_1}{2\pi * f_s * L_1}} = \frac{1}{R_1}$$

## Einfluss der Quarzparameter

Quarzresonatoren mit kleinen Oberflächen und/oder kleinen Elektroden sind nicht so hoch belastbar wie größere Quarze. Quarze mit großer Güte  $Q$  sind ebenfalls nicht so hoch belastbar. Höheres  $C_1$  als auch höherer  $R_1$  verringern die Güte.

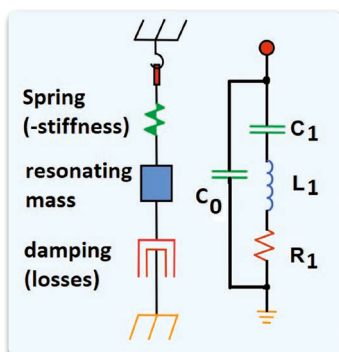
Wird der Resonanzwiderstand erhöht, verringert sich überproportional der  $C_1$ -Wert. Quarze mit einer kleinen dynamischen Kapazität eignen sich nicht für Anwendungen, die einen möglichst hohen Ziehbereich erfor-

dern. Die Ziehpfeindlichkeit ist proportional zur dynamischen Kapazität  $C_1$ . Je größer das Gehäuse, desto größer kann die Quarzscheibe und das mögliche  $C_1$  sein. Bei höheren  $C_1$ -Werten ist mit stärkeren Nebenwellen zu rechnen. Die Ziehpfeindlichkeit nimmt mit steigender Frequenz zu.

Ist  $R_1$  (ESR) zu hoch ist, reicht die Verstärkung der Oszillatorschaltung möglicherweise nicht aus, um die Quarzverluste zu überwinden, und der Quarz wird nicht anschwingen. Der maximale ESR des Quarzes steht im Datenblatt und ist mit  $ESR_{max}$  oder  $R_{1max}$  bezeichnet. Der Faktor  $X$  sollte mindestens 3 bis 5 im gesamten Betriebstemperaturbereich betragen, branchenspezifisch sind auch höhere Werte für  $X$  angemessen.

Wie gesagt, wird der Quarz kleiner, verringert sich zudem seine Leistungsaufnahme und er kann übersteuert werden. Große (7 x 5 mm) Quarze können ohne Probleme mit 100  $\mu W$  umgehen, bei Bauformen wie 2,5 x 2 ist dieser in der Regel mit 20  $\mu W$  spezifiziert, Zu hohe Werte sorgen für eine höhere Alterung und führen im „worst case“ zum Ausfall des Quarzes, da der Quarzblank der Last nicht gewachsen ist und bricht.

Ein wichtiger Punkt insbesondere bei Re-Designs: Hersteller kündigen im zunehmenden Maße die großen Quarzgehäuse (HC49U, SMD 7 x 5 mm ...) ab. Ein Re-Design auf die gängigen kleineren Bauformen wird unumgänglich. Hier gilt es, im Detail zu prüfen, ob die neue Type in der alten Schaltung der Belastung gewachsen ist. Insbesondere beim Wechsel von den THT-HC49U-Gehäusen auf



SMD-Gehäuse. Der ESR-Wert bei Quarzen mit rechteckigem Blank (SMD-Keramikgehäuse) ist in der Regel höher als bei Quarzen mit rundem Blank (THT-Metallgehäuse). Selbst bei Produkten in unterschiedlichen Gehäusen, die jedoch die gleiche Frequenz und die gleichen elektrischen Spezifikationen aufweisen, wird sich der ESR der beiden Artikel unterscheiden. Typisch:

Keramisches 7 x 5 mm Gehäuse (20 MHz):  $ESR_{max}$  30 Ohm

Keramisches 2,5 x 2 mm Gehäuse (20 MHz):  $ESR_{max}$  80 Ohm

## Design der Oszillatorschaltung

Der typische Anwendungsfall ist der Betrieb des Quarzes in einer Pierce-Schaltung. Sie diese diskret aufgebaut oder bereits zu Teilen im Prozessor integriert. Dieser Quarzoszillator ist im Allgemeinen ein rückgekoppelter Verstärker, wobei im Rückkopplungsnetzwerk der Schwingquarz als frequenzbestimmendes Bauelement enthalten ist. Durch die Schaltung wird eine PLL aufgebaut: ein Regelkreis mit dem Quarz als frequenz bestimmendes Element und dem Verstärker, um die benötigte Energie bereitzustellen, die zur Aufrechterhaltung der Schwingung der Resonanzschleife benötigt wird. Der Quarz agiert genaugenommen als Filter, der nun die Frequenz seiner Eigenresonanz durchlässt.  $R_f$  stellt den Arbeitspunkt des Inverters ein. Über  $R_D$  kann die Leistung reduziert werden, Dämpfungswiderstand, um sicherzustellen das der Quarz nicht übersteuert wird.  $C_G$  und  $C_D$ , beschaltet gegen Masse, in Kombination mit dem Herzstück, dem Quarz, bestimmen die Last-Resonanzfrequenz. Durch Änderung von  $C_G$  oder  $C_D$  kann die Resonanzfrequenz in gewissen Bereichen gezogen/verändert werden. Die Reduzierung der Frequenz durch Erhöhung von  $C_L$ :

$$f_L(\text{Last - Resonanzfrequenz}) \approx$$

$$f_s * (1 + \frac{C_1}{2 * (C_0 + C_L)})$$

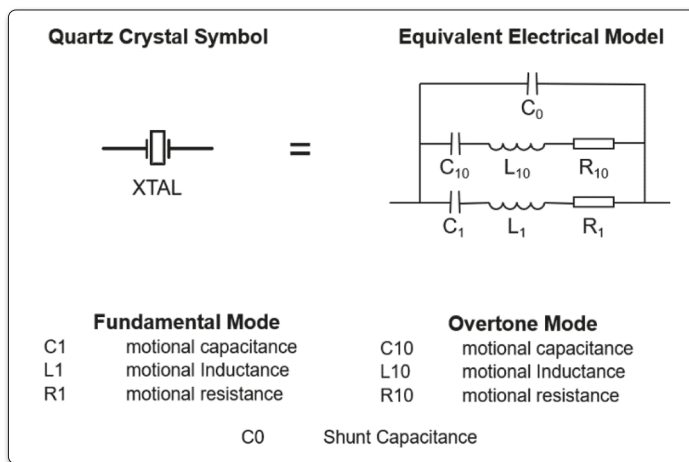
## Lastkapazität – oft verwechselt

$$C_L = \frac{C_D * C_G}{C_D + C_G} + C_{Stray}$$

$C_G$  und  $C_D$  sind die Lastkondensatoren des Oszillatorschaltkreises. Sie liegen in Reihe, jedoch ist noch  $C_{Stray}$  zu betrachten, die Summe der Streukapazitäten (die parasitären Kapazitäten des IC-Gehäuses, des PCB-Layouts und/oder der ESD-Schutzdioden). Typische Werte von  $C_{Stray}$  liegen zwischen 2 und 4 pF, abhängig aber auch vom verwendeten IC.

Wichtig, da oft verwechselt:  $C_L$  ist die Summe der Lastkapazitäten, auf die der Quarz bei der Produktion abgestimmt werden muss, damit er exakt bei der gewünschten Frequenz schwingt.  $C_L$  ist die wirksame externe Kapazität, die zusammen mit dem Schwingquarz die Lastresonanzfrequenz  $f_L$  bestimmt. Hierbei ist es gleichgültig, ob die externe Kapazität  $C_L$  in Serie oder parallel zum Quarz liegt. Sie bezeichnet nicht die Werte der Kapazitäten  $C_G$  oder  $C_D$ , die nach Masse beschaltet sind.  $C_G$  oder  $C_D$  kann durch einen Trimmer ersetzt werden, um die Frequenz des Systems gegebenenfalls nachzustimmen (ziehen/trimmen). Die durch Verändern der Lastkapazität erreichbare Frequenzänderung ist, in Abhängigkeit der Bauform gering, aber ausreichend, um fertigungsbedingte Frequenztoleranzen (Quarz und Schaltung) auszugleichen. Wie sensibel der Quarz auf diese Veränderung reagiert, definiert die Ziehpfeindlichkeit. Der Quarz wird im Werk in einer höheren Frequenz gefertigt, um unter Lastbedingungen in der finalen Applikation auf der gewünschten Frequenz zu schwingen. Der  $C_L$ -Werte muss bei der Auswahl der korrekten Quarzspezifikation bekannt sein.

Design-Hinweis: Bei der Auswahl und Dimensionierung der beiden nach Masse beschalteten Kondensatoren  $C_G$  und  $C_D$  gilt es, um die Anschwingbedingung zu



## Quarz-Ersatzschaltbild (Quelle: Das große Quarkochbuch)

gewährleiten, einige Faktoren zu berücksichtigen:

1.  $C_G$  nicht zu klein wählen, mit Reduzierung der Kapazitätswert steigt die Zieheempfindlichkeit  $|S|$  und damit auch die Empfindlichkeit der Schaltung gegenüber Streukapazitäten und Bauteiltoleranzen an (Beispiel: von typisch 10 ppm/pF bei  $C_L = 30$  pF auf über 50 ppm/pF bei  $C_L = 10$  pF).

2.  $C_G$  und  $C_G'$  sollten etwa gleich groß sein.

3. Die Zieheempfindlichkeit ist abhängig von den Quarzparametern  $C_0$  und  $C_1$  sowie der anliegenden Lastkapazität. Werte für  $C_0$  und  $C_1$  ergeben sich aus der Größe der Quarzblanks und der bedampften Elektroden. Beispiel:

Gehäuse 2,5 x 2,  $C_0 = 0,8$  pF/  
 $C_1 = 2,3$  fF,  $C_0/C_1 = 350$

Gehäuse 5 x 3,2,  $C_0 = 1,7$  pF/  
 $C_1 = 6,3$  fF,  $C_0/C_1 = 270$

Die Zieheempfindlichkeit TS berechnet sich:

$$TS = -C_1 / (2(C_0 + C_L)^2)$$

Die Zieheempfindlichkeit der größeren Gehäuse ist höher. Was bei größeren Werten für  $C_L$  der Applikation entgegenkommt, kann bei kleinem  $C_L$  schnell zum Problem werden. Toleranz des  $C_L$ -Wertes durch Bauteilvarianz oder Streukapazitäten haben dann großen Einfluss auf die Resonatorfrequenz.

## Design-Hinweis: Anschwingsicherheit erhöhen

Ein Quarz mit geringerem ESR vermeidet Anschwingprobleme, da ein geringer ESR hohe Schleifenverstärkung bedeutet. Kann höhere Kosten mit sich bringen da aufwendiger in der Herstellung. Wird in der Fabrikation meist durch Vergrößerung der Elektroden auf dem Quarzblank erzielt und führt damit zu höherer Tuning-Sensitivität. D.h.: Änderung, Toleranzen beim CL wirken sich stärker auf die resultierende Resonanzfrequenz aus.

- Wechsel auf eine größeres Quarzgehäuse (kleiner ESR) mit Anpassung des  $C_L$ -Wertes.
- Kleinerer  $C_L$ -Wert (Reduktion der Lastkondensatorwerte); einhergehend wird sich die Resonanzfrequenz verschieben. Hier ist der Frequenztoleranzbereich im Auge zu behalten, den die Applikation nicht überschreiten darf.
- Ein niedriger  $C_L$ -Wert verringert den Drive-Level und verbessert die Anschwingreserve und Anschwingzeit.
- Kurze Anschlussleitungen. Dadurch werden Streukapazitäten im Platinenlayout verringert als auch Effekte der ESD-Einstrahlung reduziert. Diese trägt ebenso dazu bei, Anlaufprobleme zu vermindern und die Frequenzgenauigkeit zu gewährleisten.
- Leistung reduzieren, Dämpfungswiderstand einfügen oder Wert erhöhen. Verringert aber die Gangreserve.

## Sonstiges

Testen Sie die Schaltung immer im gesamten möglichen Temperatur- und Betriebsspannungsbereich, um abzusichern, dass der Oszillator unter allen eventuell vorkommenden Betriebsbedingungen sicher anschwingt, stabil oszilliert und keine Activity-Dips aufweist (starker Anstieg des äquivalenten Serienwiderstands des Kristalls, der bei einer bestimmten Temperatur auftreten kann, führt zu erheblicher Abweichung der Frequenz).

Betrachten Sie die Ersatzparameter des Quarzes und Angaben in Datenblatt insbesondere bei einem Re-Design von großen Quarzbauformen auf kleinere. Es ist zu erwarten, dass der ESR bei kleineren Gehäusen höher liegt, bedingt durch die nötige Miniaturisierung der innere Quarzscheibe. Bei höherem ESR ist eine größerer Drive-Level gefragt. Gleichzeitig ist aber die Belastbarkeit des Quarzes geringer bei kleiner Dimension. Hier gilt es, die Schaltung sorgsam zu testen, um die Anschwingreserve (Gangreserve) zu gewährleisten.

Kleinere  $C_L$ -Werete bedeuten eine höherer Zieheempfindlichkeit, da mit kleiner werdender Lastkapazität der Lastresonanzwiderstand  $R_L$  und die relative Zieheempfindlichkeit  $S$  sehr steil ansteigen. Mit anderen Worten: Kapazitätstoleranzen haben einen höheren Einfluss auf die Änderung der Resonanzfrequenz. Allzu kleine Lastkapazitätswerte sind nach Möglichkeit zu vermeiden, wenn gleichzeitig eine enge Frequenztoleranz gefordert wird. Ein praktischer unterer Grenzwert liegt bei 8 bis 10 pF. Gängige Standardwerte sind 10, 12, 15, 20, 30 oder 32 pF.

## Fazit:

Die ICs der neuesten Generation bestehen aus nm-Strukturen, getrimmt auf geringen Stromverbrauch. Nicht die idealen Parameter, um den Quarz „in Gang“ zu bekommen und den Betrieb zu gewährleisten. Kleiner ESR erhöht die Gangreserve bei geringerer Versorgungsspan-

nung. Bei kleineren Gehäusebauformen steigt aber in der Regel der ESR und der Drive-Level sinkt. Kleinere Frequenzen sind in Miniaturgehäusen physikalisch nicht machbar. Bauformen wie 3,2 x 2,5 sind erst ab 10 MHz verfügbar. Eine Stellgröße ist die Reduzierung der Lastkapazität, wegen der Stabilität ist sie aber mit Bedacht anzuwenden. Die geringere Lastkapazität  $C_L$  bringt es mit sich, dass die Oszillatorschaltung sensible auf kapazitive Störgrößen  $C_{Stray}$  reagiert. Hersteller von Quarzprodukten bieten Schaltungsanalysen an, um größtmögliche Sicherheit beim Produkt-Design zu gewährleisten. Überprüft werden können dabei zudem Toleranz, Temperaturstabilität und weitere Forderungen, die die Applikation an den Quarz stellt. Da sich Änderungen eines Quarzparameters auf die übrigen zusammenhängen der Regel nur der Quarzhersteller im Detail kennt, ist die Anpassung im Labor des Quarzlieferanten zu empfehlen.

## Quellen:

DAS GROSSE QUARZKOCHBUCH, Bernd Neubig & Wolfgang Briese, Franzis-Verlag Feldkirchen 1997, ISBN 3-7726-5853-5

Tutorial by John R. Vig, „Quartz Crystal Resonators and Oscillators for Frequency Control and Timing Applications“, Rev. 8.5.3.9 (2008)

Micro Crystal AG: Micro Crystal Portfolio Part II Oscillators ◀

