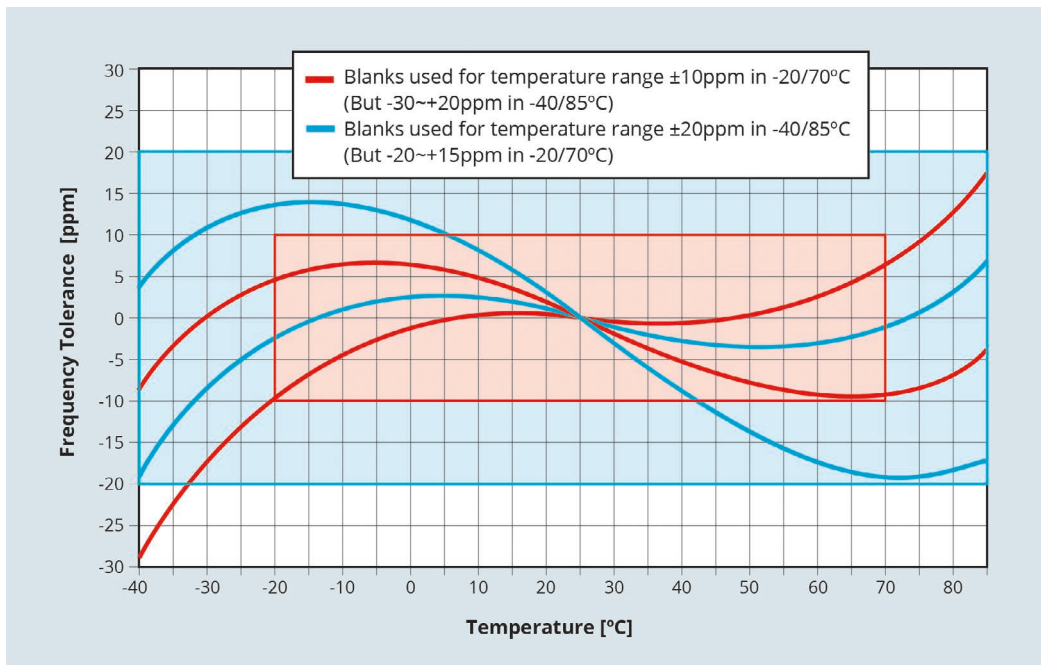


Was Sie schon immer über Quarze wissen wollten

Die Auswahl eines Quarzes

In diesem ersten Teil einer Whitepaper-Reihe beleuchten wir alle Auswahlaspekte von Quarzen.



Wir erleben gerade eine Informationsrevolution. Kommunikation gewinnt ständig an Bedeutung, und der Datenverkehr wächst unaufhaltsam. Für große Datentransfers sind Taktgeberpräzision und -robustheit essentielle Voraussetzungen. Die Nachfrage nach Quarzprodukten steigt, und Kunden verlangen immer fortschrittlichere Quarztechnologien. Obwohl es sich um einen einfachen Taktgeber handelt und es in den letzten 20 Jahren bereits große Veränderungen gab, ist noch immer viel Raum für weitere Entwicklungen vorhanden.

Um auch hohen Design-Anforderungen gerecht zu werden, bietet Codico „Best-in-Class“-Quarze an. Diese bieten hervorragende Stabilität und können in verschiedenen Märkten und Anwendungen – wie Auto-

otive, Industriesteuerungen, Energiemessung, Telekommunikation und Medizintechnik – zum Einsatz kommen.

Beginnen wir mit Begriffserklärungen

Da es eine Vielfalt an Definitionen gibt, möchten wir diese zunächst erklären.

• Quarzeinheit

Bei diesen Produkten handelt es sich um ein Quarzblank in einem Keramikgehäuse (ähnliche Begriffe: Xtal, Quarzresonator, Quarz).

• Quarzoszillator

Diese Produkte umfassen ein Quarzblank und einen Oszillator-IC mit verschiedenen Funktionen in einem Keramikgehäuse.

• SPXO (Simple Package Crystal Oscillator)

Das sind Oszillatoren, die lediglich einen Oszillations-IC enthalten (ähnliche Begriffe: XO, CMOS-XO, ICXO, Taktgebermodul, Clockgenerator)

• Frequenztoleranz bzw. -genauigkeit

Diese lässt sich einteilen in:

- 1) Toleranz bei Raumtemperatur (Genauigkeit, Stabilität usw.)
- 2) Temperaturcharakteristik (Frequenztoleranz über den Betriebstemperaturbereich eines Quarzes); andere Begriffe sind Temperaturtoleranz und -stabilität.
- 3) Gesamtstabilität, Stabilität (Gesamttoleranz unter allen Bedingungen)

Hauptmerkmale von Quarzen

Am Anfang steht die Frage, warum man überhaupt einen Quarz braucht. Dieser übernimmt zwei Aufgaben. Die eine besteht darin, als Bandpassfilter Signale in einem bestimmten Frequenzbereich passieren zu lassen. Heutzutage wird jedoch der Markt für diese Anwendung von SAW-Filtern (Surface Acoustic Wave) dominiert, die für höhere Frequenzen geeignet sind und eine größere Bandbreite besitzen. Quarze finden weiterhin in der professionellen Funkkommunikation Einsatz, wo enge Bandbreiten und niedrigere Frequenzen gefragt sind.

Somit ist die Hauptaufgabe eines Quarzes jene eines Taktgebers, d.h., ein genaues Taktsignal zu erzeugen, um die korrekte Funktion elektronischer Anwendungen zu gewährleisten. Dies stellt heute den Hauptabsatzmarkt für Quarze dar, die in sämtlichen Elektronikgeräten wie Computern, Mobiltelefonen, in Weißware, der Autoelektronik oder Netzwerkinfrastruktur Verwendung finden. Unser Alltag ist von Quarzen dominiert.

Warum sind Sie also auf der Suche nach einem Quarztaktgeber? Weil Sie einen ganz präzisen Taktgeber in der MCU Ihrer Anwendung brauchen. Ist der Mikrokontroller lediglich für eine einfache Aufgabe zuständig, dann kommt ein Keramikresonator zum Einsatz, da dieser sehr günstig ist. Die Genauigkeit von Keramikresonatoren beträgt jedoch nur etwa 0,5%, sodass sie häufig nicht zuverlässig genug sind. Aus diesem Grund kommen Quarze ins Spiel, da sie eine wirtschaftliche Lösung darstellen, einfach zu verarbeiten sind und eine hohe Stabilität besitzen.

Wesentliche Parameter für die Auswahl des Quarzes

Schauen wir uns nun die Quarze selbst an. Die drei Hauptmerkmale, die es zunächst zu überprüfen gilt, sind Schwingfrequenz f , Frequenztoleranz und Lastkapazität C_L .

Zum ersten Merkmal: Ein Quarz wird in einem Frequenzbereich zwischen einigen kHz bis zu 100 MHz verwendet. Der einfachste Weg, um die erforderliche Frequenz festzulegen, ist ein Blick in das Referenz-Design Ihres Mikrocontrollers. Je nach Anwendung gibt es darüber hinaus allgemein festgelegte Frequenzen. Zum Beispiel verwendet die bei CDs übliche Abtastfrequenz von 44,1 kHz eine Frequenz von 22,5792 MHz, d.h. das 512-fache der Ori-

Autor:
Yasunobu Ikuno
yasunobu.ikuno@codico.com
Codico GmbH
www.codico.com

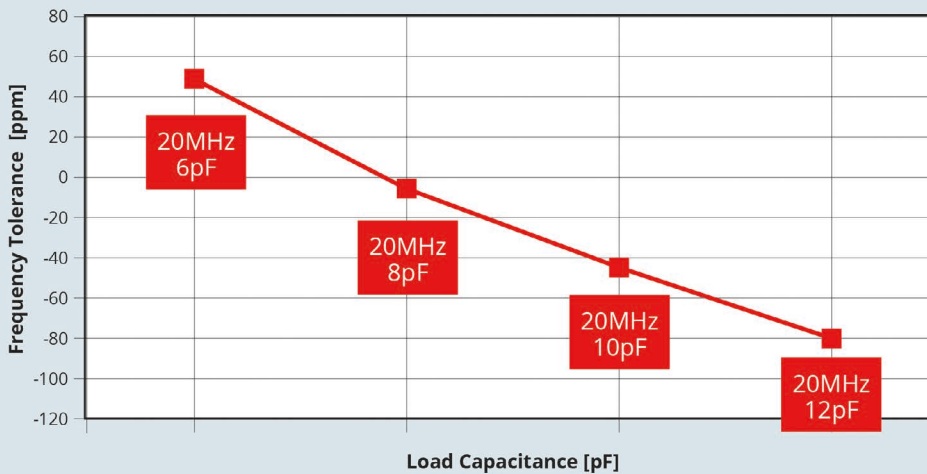
hängt die Alterung im ersten Jahr nach der Produktion mehr von der Umgebung als von der Elektrodenoxidation ab, daher liegt die Toleranz etwas höher. Nach dieser Zeit sinkt die Frequenz aufgrund der Elektrodenoxidation.

Das letzte zu berücksichtigende Merkmal ist die Lastkapazität. Aufgrund der verwendeten Einheit pF wird Lastkapazität stets missverstanden. Es handelt sich dabei nicht um den Kapazitätswert des Quarzes. Die Lastkapazität kann als der äußere Zielwert zur Anpassung der Frequenz auf der Leiterplatte verstanden werden. Sämtliche Quarze werden mit einer höheren Frequenz für Leerlauf hergestellt, sodass idealerweise die geforderte Frequenz genau durch die im Datenblatt angegebene Kapazität auf der PCB erreicht wird. Hierbei liegen Leitungskapazität und Eingangskapazität der angesteuerten Baugruppe parallel. Man sollte diese Kapazitäten daher kennen. $C_L = 15 \text{ pF}$ ist sehr verbreitet.

Lastkapazitätswerte können sich je nach Quarzlieferanten leicht unterscheiden. Jeder Lieferant verfügt über eine andere Messausstattung. Selbst wenn die gleiche Lastkapazität im Katalog angegeben ist, erhalten Sie womöglich eine andere Frequenz in Ihrer Anwendung. In so einem Fall können Sie versuchen, über die Veränderung der Leitungskapazität zu korrigieren.

Weitere wichtige Parameter

Es gibt noch weitere wichtige Merkmale. Dazu gehört der



Even if the nominal frequency is the same but the load capacitances are different, the crystal frequency on the PCB will not be same.

ginalfrequenz, während bei GPS und 4G- Mobilkommunikation häufig 38,4 MHz gewählt wird.

Die kHz- und MHz-Quarze übernehmen unterschiedliche Aufgaben. Im kHz-Bereich besteht die größte Nachfrage nach 32,768 kHz für die Echtzeituhr. Aufgrund der Form des Quarzblanks wird dieser oft als Stimmgabelquarz bezeichnet.

Die Einsatzbereiche für MHz-Ausführungen sind da vielfältiger. Die meisten Nachfragen kommen zurzeit für Quarze im Bereich zwischen 4 und 100 MHz. So ein Quarzblank unterscheidet sich von jenem für kHz-Frequenzen. Es besitzt eine rechteckige Form und wird aufgrund seines Schnittwinkels auch oft als AT-Schnitt bezeichnet.

Die MHz-Quarzfrequenz hängt von der Stärke des Quarzblanks ab. Ein dickes Quarzblank erzeugt eine niedrige, ein dünnes eine hohe Frequenz. Daher wird mit abnehmenden Dimensionen des Quarzes auch ein Limit für das Quarzblank erreicht, und die Frequenz wird höher. Derzeit ist die maximale Größe herkömmlicher Bauformen 3225 (3,2 x 2,5 mm), deren niedrigste Frequenz bei 8 MHz liegt. Früher lag die Hauptfrequenz von Mikrocontrollern bei 4 bzw. 8 MHz; diese nahm jedoch schrittweise zu und liegt heute bei 20 bzw. 32 MHz.

Nun zur Frequenztoleranz. Dabei gibt es zwei wichtige Merkmale: die Toleranz bei Raumtemperatur (25 °C) und die Toleranz über den Betriebstemperaturbereich, die sogenannte Temperaturcharakteristik.

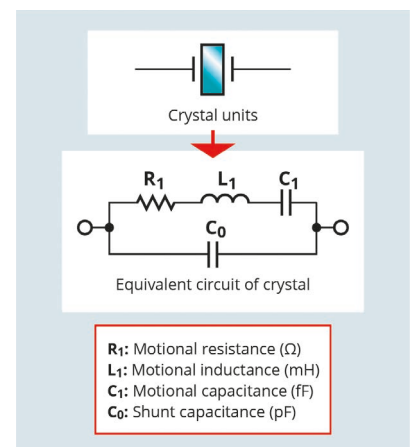
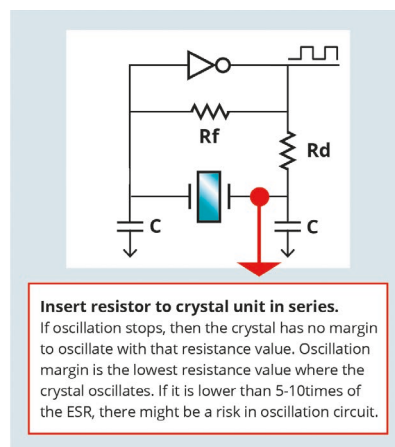
Die Toleranz bei Raumtemperatur entspricht ungefähr der Produktionstoleranz. Der Standardwert für kHz-Quarze liegt bei $\pm 20 \text{ ppm}$, bei MHz-Quarzen kann er bis zu $\pm 10 \text{ ppm}$ betragen. Je nach Frequenz und Hersteller sind noch engere Standards möglich, so kann etwa jener für den 32,768-kHz-Quarz bei $\pm 10 \text{ ppm}$, jener für MHz bei $\pm 7 \text{ ppm}$ bzw. $\pm 8 \text{ ppm}$ liegen. Aufgrund der schlechteren Ausbeute liegen die Kosten jedoch höher.

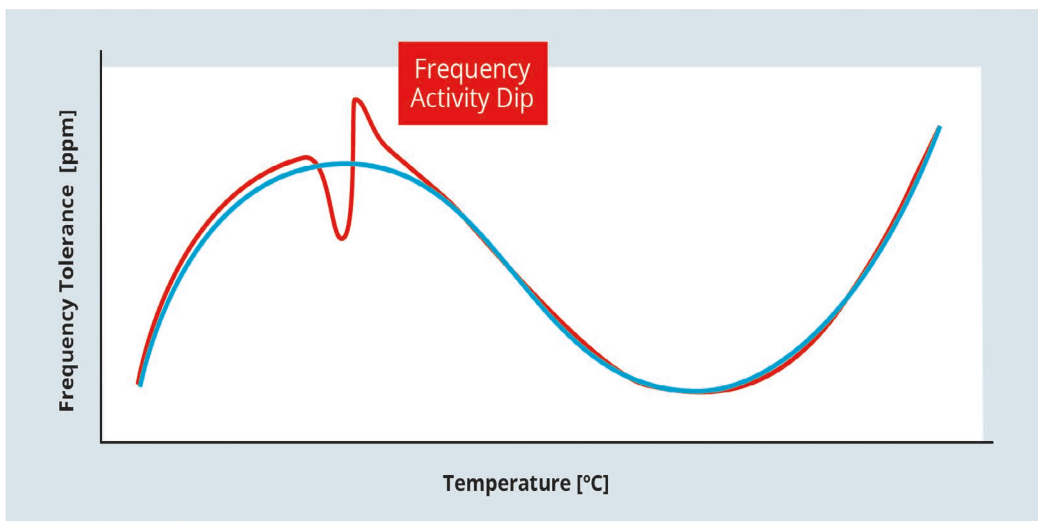
Die Temperaturcharakteristik hängt vom Schnittwinkel des Quarzblanks ab. Beim 32,768-kHz-Quarz wird ein X-Schnitt verwendet, sodass diese Spezifikation einen Temperaturkoeffizienten von $-0,04 \text{ ppm/K}$ bei 25 °C besitzt.

Bei den MHz-Quarzen kommt ein AT-Schnitt zum Einsatz und das Temperaturverhalten lässt sich anhand einer kubischen Kurve mit 25 °C als Mitte

berechnen, s. Aufmachergrafik. Zur Einstellung dieser Kurve verschiebt man den Schnittwinkel um Winkelsekunden. Je weiter der Temperaturbereich, desto schwieriger wird es, diese kubische Kurve einzugrenzen. Normalerweise lässt sie sich auf $\pm 10 \text{ ppm}$ im Bereich 0...85 °C und auf $\pm 20 \text{ ppm}$ im Bereich -40...85 °C eingrenzen. Man muss dabei jedoch beachten, dass die Idealkurve für jede Temperatur anders ist.

Weiters ist auch die Alterungstoleranz zu berücksichtigen. Die Alterung resultiert aus der Adsorption/Desorption von Verunreinigungen vom/zum Kristallrohling. Quarzlieferanten versuchen zwar, mit Stickstoffgas bzw. Vakuum im Gehäuse den Alterungsprozess zu verlangsamen, dieser ist jedoch unvermeidlich. In der Regel





äquivalente Serienwiderstand (ESR). Der ESR-Wert hängt mit der Frequenz und der Größe des Quarzblanks zusammen. Um eine Schwingung bei niedriger MHz-Frequenz in einem kleineren Gehäuse zu erreichen, ist eine höhere Leistung zur Oszillation des Quarzes notwendig. Frühere Quarzvarianten mit Pins wie HC-49 werden immer noch auf Demoboards verwendet, weil sie einen niedrigen ESR-Wert bei geringer Frequenz besitzen. Dieser Wert ist der Schlüsselfaktor für die Stromaufnahme und die Schwingsicherheit. Die Schwingreserve ist jener virtuelle Widerstandswert, der angibt, wie viel Reserve der Schwingkreis hat, um ein Anschwingen des Quarzes sicherzustellen. In der Regel soll der angestrebte Widerstandswert dem fünf- bis zehnfachen Wert des ESR entsprechen. Dies hängt jedoch vom Hersteller ab.

Grundsätzlich weicht der maximale ESR-Wert in den Katalogangaben vom typischen Wert ab. Daher ist es möglich, den ESR ohne zusätzliche Kosten zu reduzieren. Wenn Ihre Schwingreserve zu gering ist, werden Quarzhersteller gelegentlich einen niedrigeren ESR hinnehmen, um das Problem zu lösen.

Ein anderer zu berücksichtigende Aspekt ist die Empfindlichkeit. Das ist zwar nicht erforderlich, wenn es sich bei Ihrer Anwendung um einen normalen Mikrocontroller handelt, der 50...100 ppm braucht. Bei Drahtlosan-

wendungen, die eine Gesamtstabilität von weniger als 20 ppm erfordern, werden Sie hingegen oft der „Empfindlichkeit“ begegnen.

Bei ihr geht es vorwiegend um den Effekt der Kapazitäten. Diese werden als dynamische Kapazität (C1) und als statische Parallelkapazität (C0) bezeichnet und stehen mit den Materialien in Verbindung. Diese Werte lassen sich über die Menge der Elektrode am Quarzblank einstellen. Der Standardwert hängt vom jeweiligen Hersteller ab, wird jedoch häufig in Chipsatz-Referenz-Designs spezifiziert. Man sollte dies jedes Mal mit den Herstellern überprüfen und anpassen, da sich die Streukapazität in Ihrem Design von anderen Designs unterscheiden kann.

Die Empfindlichkeit hat nicht nur mit Kapazität zu tun, sie wird auch von der Leistung beeinflusst. Bei Quarzen wird oft eine „Nennbelastung“ (drive level) von maximal 100 μW angegeben, was jedoch nicht heißt, dass das Quarzblank beim Übersteigen dieses Werts zerstört wird. Der Wert soll nur angeben, welche Toleranz der Hersteller bei der Leistung akzeptieren kann. Generell kann die größte Ausführung 3225 (3,2 x 2,5 mm) maximal 300 μW verkraften (abhängig von der Frequenz). Je kleiner der Quarz, desto unverzichtbarer wird dieser Nennbelastbarkeit. Es ist wichtig, Ihren Quarzlieferanten über Ihre typische Nennbelastung zu informieren.

Die wichtigsten Design-Merkmale des Quarzes

Der Schlüssel beim Design des Quarzes liegt immer darin, so wenig unerwünschte Schwingungen wie möglich zu erzeugen. Sämtliche Quarzblanks können mehrere Frequenzen erzeugen. Selbst bei AT-Schnitten, welche hauptsächlich im „Dickenschermodus“ (TSM) arbeiten, gibt es viele andere Schermodi, die als Störfaktor bezeichnet werden. Diese Störmodi überkreuzen sich mit der Hauptfrequenz und füh-

ren zu fehlerhaften Schwingungen. Daher ist das Design des Quarzes stets ein Ringen mit Frequenzdurchhängern/-sprüngen.

Dieser Design-Ansatz stammt aus Erfahrung. Es gibt zwar Hauptfrequenzen, Quarzlieferanten müssen jedoch mit vielen verschiedenen Frequenzen aufwarten. Sobald sich diese oder der Temperaturbereich ändern, müssen Sie wieder ein neues Design erstellen. Im Allgemeinen beginnt dies bei der nächsten bereits entwickelten Frequenz bzw. Spezifikation, sodass es vorteilhaft ist, mit Herstellern zusammenzuarbeiten, die bereits verschiedene Frequenzen und Temperaturbereiche entwickelt haben.

Benötigen Sie weitere Informationen oder Unterstützung bei der Auswahl der besten Technologie oder Lösung für Ihr Projekt? Codico bietet eine umfangreiche Produktpalette an hochqualitativen Quarzen inklusive der technischen Beratung in der Design-in-Phase, um das optimale Bauteil für Ihre Applikation zu bestimmen und berät Sie sehr gerne. ◀

Teil 2: Quarztechnologien und -anwendungen heute

Der Beitrag beschäftigt sich mit den Fortschritten, die die Quarztechnologie im 21. Jahrhundert gemacht hat. Allein in den vergangenen 20 Jahren ist die Quarzgröße auf weniger als ein Zehntel geschrumpft – und das bei steigender Stabilität. Auch die Konstruktion und das Geräte-Design haben sich stark weiterentwickelt. Es geht um die aktuellsten Anwendungen und die Frage, inwieweit MEMS-Oszillatoren die Funktionen von Quarzen übernehmen können.

Teil 3: Die Bedeutung der Qualität

Hier beschäftigen wir uns mit Qualität. Was bedeutet hohe Qualität und warum braucht man sie? Wir erklären, nach welchen Kriterien Sie den für Ihre Anforderungen geeignetsten Hersteller auswählen können. Welche Quarzfehler und -ausfälle kommen vor? Hier gehen wir auf die korrekte Konstruktion des Schwingkreises ein und erläutern, welche Probleme Partikel bereiten können. Leider ist es nicht möglich, Quarzausfälle komplett zu eliminieren. Daher liegt es auf der Hand, durch Qualitätskontrolle und richtige Prozesse möglichst gut vorzubeugen.