

## Schwingquarz oder Quarzoszillator – wie einsetzen?

Oft stellt sich dem Entwickler einer elektronischen Baugruppe die Frage, ob ein Schwingquarz oder ein Oszillator eingesetzt werden soll. Es gilt, den verschiedenen Randbedingungen wie Platzbedarf, Frequenzstabilität, Bauteilkosten und Entwicklungskosten gerecht zu werden.

### Bei kleinen Stückzahlen Oszillatoren einsetzen

Mit einem Schwingquarz kann der Entwickler prinzipiell selbst seine eigene Oszillatorschaltung aufbauen. Warum also werden Oszillatoren nicht nur in sehr anspruchsvollen Schaltungen eingesetzt, sondern auch in einfachen Taktgeberkonfigurationen? Die Antwort liegt weniger in der geforderten Frequenzstabilität als in der absolut notwendigen Anschwing- und Betriebssicherheit über den gesamten Temperaturbereich. Im Gegensatz zum Oszillator ist bei Quarzen ein gewisser Aufwand erforderlich, um die Schaltung an den Quarz anzupassen und das Anschwingen sicherzustellen. Bei geringen Stückzahlen ist es in jedem Fall günstiger, sich den erhöhten Entwicklungsaufwand zu sparen und statt eines Quarzes den teureren Oszillator zu verwenden. Wenn ein Oszillator eingesetzt wird, entfallen vorteilhafterweise die Bauteile, die zur Anpassung des Quarzes erforderlich gewesen wären, einschließlich ihres Platzbedarfs. Oszillatoren sind leicht verfügbar und zum Beispiel in SMD-Bauform in den Größen 7 x 5 mm oder kleiner erhältlich (Bild 1). Im Datenblatt von Microcontrollern finden sich Hinweise, wie ein externer Oszillator angeschlossen wird. Nur bei sehr großen Stückzahlen, wenn ein Oszillator nicht bereits intern in einem IC auf der Baugruppe vorhanden ist und wenn der Platz ausreicht, ist es wirtschaftlich sinnvoll, sich mittels einzelner Bauelemente und eines Quarzes seinen Oszillator selbst zu bauen. Hier kommt ein Pierce- oder ein Colpitts-Oszillator in Frage. Auch ist es beispielsweise möglich, einen Inverter geeignet rückzukoppeln (Bild 2).

### Beschaltung eines Schwingquarzes am Microcontroller

Gängige Microcontroller enthalten die elementaren Bestandteile für den Taktgeber. Mit externen Bauteilen wie dem Quarz und anderen passiven Bauelementen wird die interne Verstärkerstufe meist zu einem Pierce- oder Colpitts-Oszillator ergänzt. Wie, geht aus dem Datenblatt des IC-Herstellers hervor. Alle Leitungslängen, einschließlich zur Masse, sollten möglichst kurz gehalten werden, um parasitäre Wirkungen zu minimieren. Ab etwa 40 MHz werden in der Regel Oberton-Quarze eingesetzt. Diese erfordern eine spezielle Filterschaltung aus Kondensator und Spule, um die Grundwelle auszublenden. Wird auf den Filter verzichtet, schwingt die Schaltung unerwünschterweise im Grundton (Beispiel: 3. Oberton bei 48 MHz, Schaltung schwingt bei 16 MHz). Schaltungen mit Oberton-Quarzen sollten besonders sorgfältig dimensioniert und in ihrem Betriebsverhalten geprüft werden.

### Pierce-Oszillator mit externem Grundwellen-Quarz

Ist die Schwingstufe des Microcontrollers für eine Pierce-Oszillatorschaltung vorgesehen, wird der Quarz mit zwei Kondensatoren  $C_1$  und  $C_2$  wie in Bild 3 beschaltet. Oberhalb von 4 MHz ist normalerweise kein externer Vorwiderstand erforderlich, da dieser dann in der Ausgangsimpedanz der Inverterstufe des Microcontrollers enthalten ist. Ebenso ist meist der hochohmige Widerstand integriert, um den DC-Arbeitspunkt einzustellen (hier: 1 M $\Omega$  im Bild).  $C_{S1}$  und  $C_{S2}$  beinhalten die Eingangs- bzw. Ausgangskapazitäten des Microcontrollers sowie die von den Leiterbahnen herrührenden kapazitiven Anteile. Mit den Kondensatoren  $C_1$  und  $C_2$  wird die Schaltung an die spezifizierte Lastkapazität  $C_L$  des Schwingquarzes wie folgt angepasst:

$$\frac{(C_1 + C_{S1}) \times (C_2 + C_{S2})}{(C_1 + C_{S1} + C_2 + C_{S2})} = C_L \quad (\text{Gleichung 1})$$

Beispiel: Gegeben sei  $C_L = 16$  pF. Unter der Voraussetzung  $C_{S1} = C_{S2} = 12$  pF ergeben sich Startwerte für eine Optimierung zu  $C_1 = 15$  pF und  $C_2 = 27$  pF.  $C_1$  ist kleiner als  $C_2$  gewählt, um das Anschwingen zu erleichtern. Der Schwingquarz ist optimal beschaltet, wenn die Frequenz bei rückwirkungsfreier Messung genau mit der Resonanzfrequenz des jeweiligen Quarzes übereinstimmt. Die Resonanzfrequenz kann dem Messprotokoll des Schwingquarzes entnommen werden, sofern dieses vorliegt. Ist der Schwingquarz kapazitiv stärker belastet als mit seinem spezifizierten  $C_L$ -Wert, so schwingt er langsamer (andernfalls schneller).

### Vorwiderstand bei Pierce-Oszillator

Wie aus dem vorherigen Abschnitt hervorgeht, kann es bei Frequenzen von weniger als 4 MHz erforderlich sein, bei Microcontrollern mit Pierceoszillator-Konfiguration einen externen Vorwiderstand  $R_V$  einzufügen. Der Vorwiderstand ist erforderlich, um das aus  $C_1$ ,  $C_2$  und dem Quarz bestehende PI-Glied an die Schwingstufe anzupassen und um unerwünschte harmonische Oberwellen zu unterdrücken. Er wird wie folgt bestimmt:  $R_V$  ist vor den Kondensator  $C_2$  geschaltet und bildet mit diesem einen Tiefpass (Bild 2).  $C_2$  sei gegeben. Dann wird  $R_V$  so gewählt, dass die Grenzfrequenz  $f_T$  des Tiefpasses in der Mitte zwischen der Grundfrequenz des Quarzes  $f_0$  und dem 3. Oberton liegt (Gleichungen 2 und 3).

$$f_T = 2 \cdot f_0 \quad (\text{Gleichung 2})$$

$$R_V = 1 / (2 \cdot f_T \cdot C_2) \quad (\text{Gleichung 3})$$

Beispiel: Quarzfrequenz 2 MHz und  $C_2 = 22 \text{ pF}$  gegeben. Daher  $f_T = 2 \cdot 2 \text{ MHz} = 4 \text{ MHz}$ . Es ergibt sich  $R_V = 1,8 \text{ k}\Omega$ .

### Colpitts-Oszillator mit externem Grundwellen-Quarz

Ist die Schwingstufe im Microcontroller als Colpitts-Schaltung ausgeführt, zeigt das Datenblatt typischerweise eine Beschaltung wie in Bild 4. Die Kondensatoren  $C_1$  und  $C_2$  werden entsprechend Gleichung (1) angepasst. Beispiel: Gegeben sei  $C_L = 16 \text{ pF}$ . Unter der Voraussetzung  $C_{S1} = C_{S2} = 10 \text{ pF}$  errechnet sich der Startwert für eine Optimierung zu  $C_1 = C_2 = 22 \text{ pF}$ . Wie beim Pierce-Oszillator bereits beschrieben ist, sollte die Frequenz rückwirkungsfrei überprüft werden, um die Kapazitätswerte gegebenenfalls anzupassen.

### Microcontroller mit nur einem Oszillator-Eingang für Grundwellen-Quarz

Manchmal enthält das Datenblatt des Microcontrollers den Schwingquarz in Reihe zu einem Kondensator an Masse (Bild 5). Entweder möchte der IC-Hersteller damit den Anwender die Lastkapazität einstellen lassen oder der IC-Hersteller möchte die DC-Isolation des Quarzes sicherstellen (oder beides). Eine praktikable Empfehlung ist, eine Kapazität in Höhe des spezifizierten  $C_L$ -Wertes des Quarzes zu beschalten (Gleichung 4).

$$C_1 \approx C_L \quad (\text{Gleichung 4})$$

Beispiel: Gegeben sei  $C_L = 16 \text{ pF}$ . Ein geeigneter Startwert ist  $C_1 = 16 \text{ pF}$ . Dieser Wert sollte anhand von rückwirkungsfreien Frequenzmessungen überprüft und gegebenenfalls angepasst werden.

### Die Anschwingreserve sollte immer überprüft werden

Um zu prüfen, ob der Quarz in der Schaltung sicher anschwingt, wird in Reihe zum Quarz manuell ein Widerstand eingelötet. Hierzu eignen sich SMD-Widerstände am besten. Die Schaltung muss auch dann anschwingen, wenn der Widerstandswert um einen vorher festgelegten Faktor X höher ist als der gemäß Spezifikation maximale Resonanzwiderstand des Quarzes. Der maximale Resonanzwiderstand des Quarzes steht im Datenblatt und ist mit  $ESR_{\text{max}}$  oder  $R_{1,\text{max}}$  bezeichnet. Der Faktor X sollte mindestens 3 bis 5 im gesamten Betriebstemperaturbereich betragen, branchenspezifisch sind auch höhere Werte für X angemessen.

Beispiel: Gegeben sei  $R_{1,\text{max}} = 100 \Omega$  aus dem Datenblatt des Quarzes. Bei einer industriellen Anwendung sollte die Schaltung in allen Betriebszuständen anschwingen, selbst wenn der manuell eingelötete Widerstand einen Wert von 300...500  $\Omega$  hat.

### Zusammenfassung / Schlusswort / KOMPAKT

Bei kleinen Stückzahlen empfiehlt es sich auch aus wirtschaftlichen Gründen, Oszillatoren statt Quarze einzusetzen. Oszillatoren sind einfach anzuschließen und sicher in ihrem Betriebsverhalten. Bei größeren Stückzahlen werden häufig die kostengünstigeren Quarze an einem Microcontroller als Taktgeber verwendet. Hier wird die Vorgehensweise beschrieben, wie die erforderlichen externen passiven Bauelemente ausgewählt und bemessen werden können. Außerdem wird eine einfache Testmethode vorgestellt, um die Anschwingreserve zu überprüfen.



Bild 1: Einfacher Oszillator in SMD-Bauform in der Größe 7 x 5 mm. Solche Oszillatoren sind erhältlich für die Frequenzen von 1,0 MHz bis 160 MHz und für Versorgungsspannungen von 1,8 V / 2,5 V / 3,0 V / 3,3 V und 5 V. (GEYER ELECTRONIC)

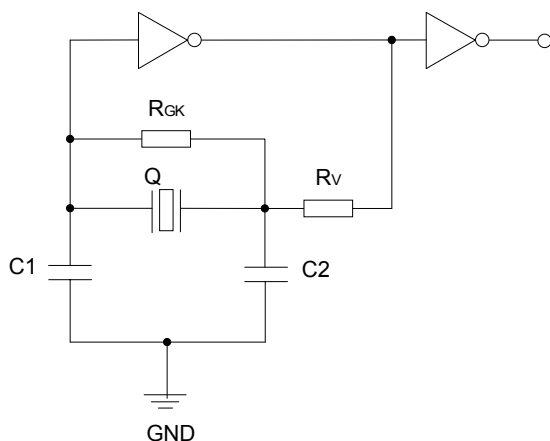


Bild 2: Oszillatorschaltung mit einem rückgekoppelten Inverter, wenn der Quarz im Grundton betrieben wird. Hier handelt es sich um eine Pierce-Schaltung.  $R_{GK}$  ist ein hochohmiger Widerstand, mit dem der DC-Arbeitspunkt eingestellt wird.  $R_V$  ist ein Vorwiderstand, um Oberwellen zu unterdrücken.  $C_1$  und  $C_2$  werden so gewählt, dass die spezifizierte Lastkapazität des Quarzes erreicht wird. Mit  $R_V$ , Quarz,  $C_1$  und  $C_2$  wird die notwendige Phasendrehung erzielt, die zusammen mit den  $180^\circ$  des verstärkenden Inverters die Schwingbedingung erfüllt.

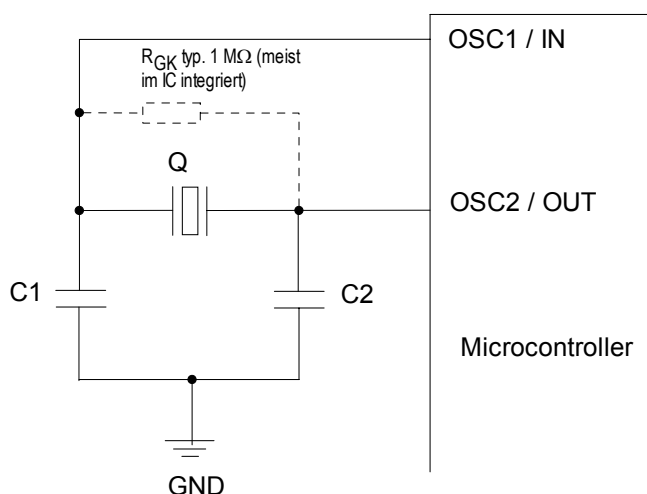


Bild 3: Typische Beschaltung der Schwingstufe eines Microcontrollers in Pierceoszillator-Konfiguration.

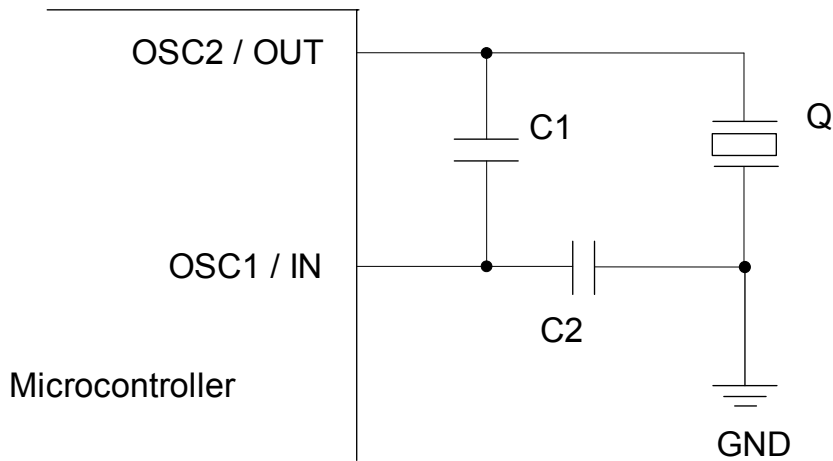


Bild 4: Typische Beschaltung der Schwingstufe eines Microcontrollers in Colpittsoszillator-Konfiguration.

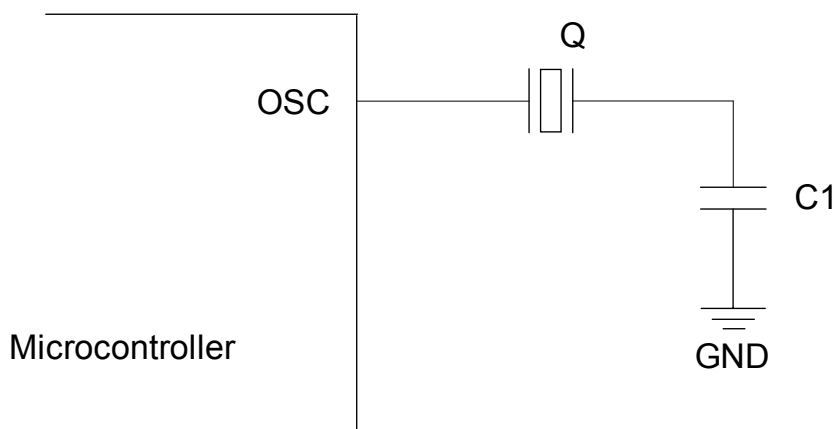


Bild 5: Beispiel, wenn im Datenblatt des Microcontrollers nur ein Eingang für den Quarz beschaltet ist.