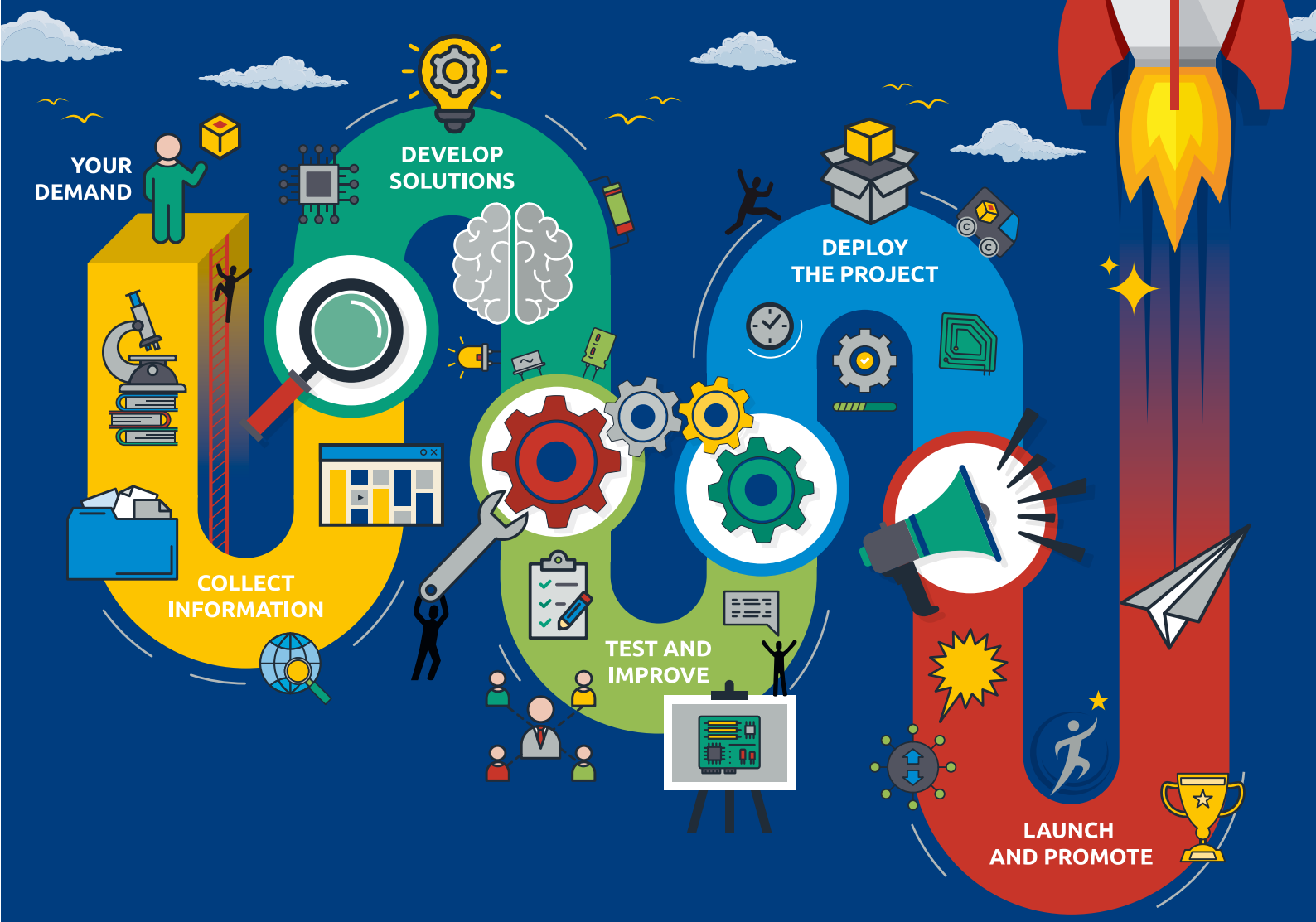
Get the right Timing

Schwingquarz oder Oszillator?



Autor:
Hendrik Nielsen,
Technical Sales Specialist FCP
WDI AG
www.wdi.de

Sowohl der Auswahl- als auch der Beschaffungsprozess des richtigen Taktgebers wird oft unterschätzt, was dazu führt, dass in letzter Minute und unter Zeitdruck ein halbwegs passendes Bauteil ausgewählt wird. Diese Methode ist nur selten von Erfolg gekrönt. Wenn dann beispielsweise die benötigte Frequenz nicht in der gewünschten Bauform erhältlich ist oder die Bauform selbst vielleicht schon kurz vor der Abkündigung steht, können umständliche und kostenintensive Anpassungen der Schaltung notwendig werden. Letztendlich gilt: Ein zuverlässig funktionierender Taktgeber will so rechtzeitig wie möglich und vor allem vollständig spezifiziert sein, damit am Ende das optimale frequenzgebende Bauteil mit einer sicheren Langzeitverfügbarkeit ausgewählt und verwendet werden kann.

Auswahl der Taktquelle

Bei der Wahl der richtigen Taktquelle für ein elektronisches System gilt es, verschiedenste Rahmenbedingungen wie beispielsweise die Größe der Leiterplatte oder die benötigte Frequenzstabilität zu beachten sowie zusätzlich noch dem steigenden Kostendruck gerecht zu werden. In der aktuellen Situation kommt mit der Langzeitverfügbarkeit ein weiterer wichtiger Faktor dazu, der immer mehr an Bedeutung gewinnt. So kann man momentan deutlich erkennen, dass die fortschreitende Miniaturisierung und der globale Digitalisierungstrend zu Abkündigungen bei den vor ein paar Jahren noch stark nachgefragten, aber mittlerweile in die Jahre gekommenen älteren und großen Bauformen führt. Bevor also, wie oft üblich, ein bewährtes Design aus der Schublade geholt wird, sollte unbedingt geprüft werden, ob die Komponenten überhaupt noch up-to-date sind. Schlimmstenfalls sind die Bauformen, die vor wenigen Jahren noch absolute

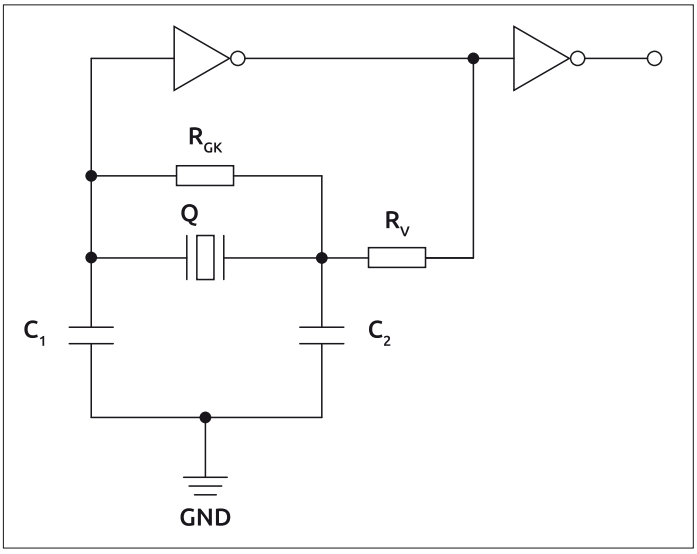


Bild 1: Beispiel einer Pierce-Oszillatorschaltung mit rückgekoppeltem Inverter und Schwingquarz im Grundton

Highrunner waren, mittlerweile nur noch schwer zu beschaffen oder stehen kurz vor der Abkündigung, sodass man geradewegs auf ein zeit- und kostenintensives Re-Design zusteuert. Kurz nach Produktionsstart wäre das fatal. Für neue Designs sollte sowohl bei Schwingquarzen als auch bei Oszillatoren auf die mittlerweile sehr gängigen SMD-Bauformen 3,2 x 2,5 mm und kleiner gesetzt werden. Größere Bauformen und Taktgeber in THT-Gehäuse stehen bei den meisten Herstellern kurz vor der Abkündigung und Beschaffungsprobleme sind eigentlich schon vorprogrammiert.

Doch zunächst stehen die Anwender während der Entwicklung immer wieder vor derselben Frage: Schwingquarz oder Oszillator?

Der Oszillator

Oszillatoren bieten dem Entwickler eine werksseitig optimal abgestimmte Komplettlösung. Sämtliche für eine Oszillatorschaltung benötigten Komponenten sind in einem kompakten Gehäuse vereint und herstellerseitig optimal aufeinander abgestimmt. Im Vergleich zu einer Oszillatorschaltung mit Schwingquarz und diskreten Bauteilen entfällt hier die meist aufwendige Abstimmung zur Optimierung der Oszillatorschaltung, was die Entwicklung erheblich vereinfacht und somit viel Zeit und Geld einsparen kann. Gerade bei geringeren Stückzahlen kann es daher aus wirtschaftlicher Sicht gesehen sinnvoller sein, den Entwicklungsaufwand durch den Einsatz eines Oszillators zu reduzieren. Herkömmliche Quarzoszillatoren (XO) sind in einem sehr weiten Frequenzbereich und mit einer Frequenzstabilität von gängigen 50ppm oder 25ppm, aber auch mit bis zu 10ppm erhältlich. Für Anwendungen, die ein exakteres Signal erfordern, kann eine bessere Stabilität noch durch verbesserte Kristallschneideprozesse oder den Einsatz einer Temperaturkompensation (TCXO) bzw. eines Ofens (OCXO) erreicht werden. Auf diese Weise kann die Frequenzstabilität auf bis 0,5ppm und sogar bis in den ppb-Bereich gesenkt werden. Erhältlich sind Oszillatoren noch in nahezu allen gängigen SMD- und THT-Bauformen. Dank der immer fortschreitenden Miniaturisierung der Halbleiterprozesstechnik findet ein kompletter Quarzoszillator heutzutage in Gehäusen mit Baugrößen bis hinunter zu 1,6 x 1,2 mm Platz. Sie können dem Anwender eine enorme Platzersparnis bieten, was gerade bei sehr kompakten Anwendungen, wie beispielsweise Wearables, ein ausschlaggebendes Argument ist.

Der Schwingquarz

Soll ein kostengünstiger Schwingquarz verwendet werden, muss die Oszillatorschaltung selbst aufgebaut und an den Resonator angepasst werden, um die Anschwingsicherheit und die Stabilität über den gesamten Arbeitstemperaturbereich sicherzustellen.

Der Einsatz von Schwingquarzen kann nicht nur bei anspruchsvollsten Schaltungen einen erheblichen Mehraufwand bedeuten und ist somit eher bei größeren Stückzahlen und ausreichend Platz auf der Leiterplatte die wirtschaftlich klügere Variante.

Aufbau der Oszillatorschaltung mit einem Schwingquarz

In den meisten Fällen findet die Pierce-Oszillatorschaltung, wie in Bild 1 zu sehen, Verwendung. Die Kondensatoren C_1 und C_2 müssen so gewählt werden, dass die spezifizierte Lastkapazität des Schwingquarzes Q erreicht wird. Ein Vorwiderstand R_V sollte vorgesehen werden, um eventuell auftretende Oberwellen zu unterdrücken. Mit dem hochohmigen Widerstand R_{GK} wird der DC-Arbeitspunkt eingestellt. Durch die perfekte Abstimmung von R_V, Schwingquarz, C_1 und C_2 wird die notwendige Phasendrehung erzielt, um zusammen mit den 180° des verstärkenden Inverters die Bedingungen für ein Schwingen des Quarzes zu erfüllen.

Microcontroller als Grundlage

In den meisten handelsüblichen Mikrocontrollern sind die elementaren Bestandteile der Oszillatorschaltung bereits enthalten, sodass sie nur noch um den Schwingquarz und eventuell benötigte passive Bauteile zu einer kompletten Oszillatorschaltung ergänzt werden müssen. Wichtig ist, dass hierbei ausnahmslos alle Leiterbahnen möglichst kurz sind, um parasitäre Einflüsse zu vermeiden.

Sind in dem eingesetzten Microcontroller bereits alle erforderlichen Bauteile für eine Pierce-Oszillatorschaltung vorhanden, muss der Schwingquarz noch, wie in Bild 2 gezeigt, mit zwei Kondensatoren, C_1 und C_2, beschaltet werden.

Spezifizierte Lastkapazität C_L

Die Oszillatorschaltung muss mittels der beiden Kondensatoren C_1 und C_2 an die spezifizierte Lastkapazität C_L des Schwingquarzes angepasst werden. Hierbei hilft folgende Gleichung 1:

$$(C_1 + C_{S1}) \times (C_2 + C_{S2}) = C_L$$

C_{S1} und C_{S2} bilden dabei die Eingangs- bzw. Ausgangskapazitäten des Mikrocontrollers sowie die von den Leiterbahnen herrührenden parasitären Kapazitäten ab. Optimal beschaltet ist der Schwingquarz, wenn die Ausgangsfrequenz genau mit der Resonanzfrequenz des eingesetzten Quarzes übereinstimmt.

Die korrekte und vollständige Spezifizierung des Taktgebers

Neben der Spezifikation von Bauform, Frequenz, Frequenztoleranz und Frequenzstabilität über den benötigten Arbeitstemperaturbereich, spielt beim Schwingquarz auch die Auswahl der richtigen Lastkapazität eine wichtigere Rolle als oft angenommen. Sie muss unbedingt zur

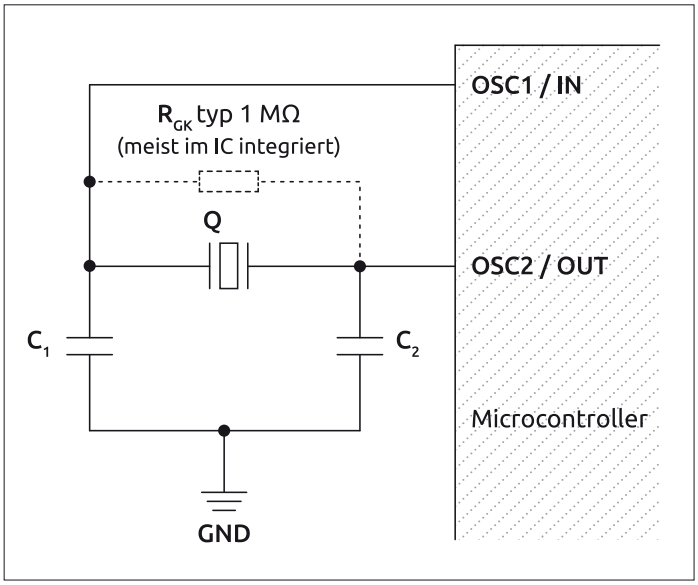


Bild 2: Oszillatorschaltbild eines Microcontrollers in Pierce-Konfiguration

	Schwingquarze	Oszillatoren
Notwendige Angaben	Bauform (SMD oder bedrahtet, welche Abmessungen)	Bauform (SMD oder bedrahtet, welche Abmessungen)
	Frequenz in kHz oder MHz	Frequenz in kHz oder MHz
	Arbeitstemperaturbereich in °C	Arbeitstemperaturbereich in °C
	Frequenztoleranz bei +25 °C in ppm	Frequenzstabilität über den Arbeitstemperaturbereich in ppm
	Frequenzstabilität über den Arbeitstemperaturbereich in ppm	Ausgangssignal (HCMOS, LVPCL, LVDS etc.)
	Lastkapazität in pF	Versorgungsspannung (5 V, 3,3 V, 1,8 V etc.)
Wünschenswerte Angaben (wenn bekannt)	Empfehlung des IC-Herstellers / vollständige Typen-/Herstellerbezeichnung	Vollständige Typen-/Herstellerbezeichnung
	Max. ESR Wert in Ω	Jitter (max. / typ.) in pS
	Ziehbarkeit (Pullability) in ppm/pF (über definierten Bereich in pF)	Symmetrie (40/60, 45/55)
	Schwingungsart (Grundton/Oberton)	Rise & Fall-Time (Anschwingzeit) in nS

Tabelle 1: Angaben von Schwingquarzen und Oszillatoren, die zur korrekten und vollständigen Spezifikation gemacht werden sollten

Auslegung der Oszillatorschaltung passen und die Quarzhersteller müssen die benötigte Last kennen, um den Quarz in der gewünschten Mittenfrequenztoleranz zu kalibrieren. Wird beispielsweise ein Quarz mit einer Lastkapazität C_L von 12 pF benötigt, aber der verwendete Quarz hat einen C_L von 30 pF, kann dies zu erheblichen Problemen führen, denn bei jeder Abweichung vom Soll schwingt der Quarz nicht mehr auf seiner vorgegebenen Nennfrequenz. Daraus können sich schnell Frequenzabweichungen von deutlich mehr als 100ppm ergeben und im schlimmsten Fall kann es durch Aufsummierung in der Toleranzkette dazu kommen, dass sich im Betrieb über Temperatur (z. B. über -40~+85 °C) Schwingquarz und MCU nicht mehr „verstehen", was zum Ausfall der Oszillatorschaltung führen kann.

Kapazitive oder serielle Last

Die Unterscheidung zwischen kapazitiver und serieller Last wird durch die eingesetzte Oszillatorschaltung (Pierce, Coolpits, Clapp, Butler etc.) bestimmt. Das heißt, bereits mit der Auswahl der Oszillatorvariante ist auch gleichzeitig festgelegt, ob eine kapazitive oder serielle Last benötigt wird. In der Entwicklung muss nun also bestimmt werden, für welche Last die Oszillatorschaltung ausgelegt wurde.

Parallelquarz

Ein Quarz, der vom Hersteller für den Betrieb mit kapazitiver Last kalibriert wurde, wird als „Parallelquarz" bezeichnet. Typische „parallele" Lastkapazitäten bewegen sich im Bereich von 8 pF bis 32 pF. Quarze im Metallgehäuse (HC49/U, HC49/S, HC49/S-SMD usw.) sind meist zwischen 16 pF und 20 pF kalibriert, wobei ein sehr gängiger Wert in der Distribution 18 pF ist. Quarze im SMD-Keramikgehäuse (7 x 5, 5 x 3,2, 3,2 x 2,5 usw.) werden überwiegend zwischen 8 pF und 12 pF kalibriert, wobei 12 pF in der Distribution am gängigsten sind. Durch die tendenziell kleineren Lastkapazitäten können die Werte der verwendeten Parallel-Kondensatoren niedriger gewählt werden, was sich positiv auf das Anschwingverhalten des Quarzes auswirkt.

Zur Berechnung von RL_{max} benötigt man die gesamte Lastkapazität CL_{ist} für den Quarz in der Schaltung. CL_{ist} lässt sich mit Formel 1 abschätzen.

$$CL_{ist} = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2} + C_{Chip} + C_{Streu}$$

Beispiel:

$$CL_{ist} = \frac{20pF \cdot 20pF}{20pF + 20pF} + 5pF + 1pF = 16pF$$

C_{Chip} = *parasitäre Kapazität, kann man mit 5pF annehmen*

C_{Streu} = *pauschale Annahme 1pF*

Formel 1: Berechnung von RL_{max}

Serieller Quarz

Ein Quarz, der vom Hersteller für den Betrieb mit serieller Last kalibriert wurde, wird als „serieller Quarz" bezeichnet. Das Einsetzen eines „seriellen Quarzes" in eine Oszillatorschaltung, die für einen „Parallelquarz" entwickelt wurde, und umgekehrt, führt zu einer Frequenzverschiebung (frequency shift) und kann zu erheblichen Problemen in Funktionalität der Oszillatorschaltung führen.

Gut zu wissen

Nähere Informationen zum Aufbau der Oszillatorschaltung sowie wichtige Hinweise zur Spezifikation des benötigten Schwingquarzes lassen sich in der Regel in den Datenblättern der jeweiligen Mikrocontroller finden. Unterstützung bei der Auswahl des, sowohl wirtschaftlich als auch technisch gesehen, idealen Taktgebers für Ihr System, bieten die Spezialisten der WDI AG. Ob Neu-Design oder Re-Design – schon ab dem Design-In ist WDI behilflich, zeigt baugleiche Alternativen und „Second Sources" auf und empfiehlt besonders gängige Bauformen und Spezifikationen - von der Erstbemusterung und eventuell notwendigen Schaltungsanalyse, über die Prototypen- und Vorserienbelieferung bis hin zur klassischen Distributionsdienstleistung während der Serienfertigung.

Quarzfinder

Mit seinem Quarzfinder bietet das Unternehmen dem Anwender ein nützliches Online-Suchwerkzeug um ihn aktiv bei der Auswahl des für ihn richtigen Quarzes, Resonators, Oszillators oder Real-Time-Clock-Moduls zu unterstützen. Unter www.quarzfinder.de sind mehr als 1.000 Produkte inklusive der dazugehörigen Datenblätter zu finden. Auf einen Blick erhält der Interessent sämtliche bei WDI erhältlichen Frequenzgeber, aufgelistet nach Spezifikationen. Neben der Möglichkeit, nach vorhandenen Spezifikationen zu filtern, wird die Produktsuche zusätzlich durch die Recherchefunktion „Cross-Reference" erleichtert. Anhand des Herstellers bzw. Anbieters oder der Produktserie werden alle bei WDI verfügbaren baugleichen Alternativen aufgezeigt. ◄