

Frequenzgebende Komponenten und deren Anwendungen

Können Sie sich Ihren Alltag ohne den Komfort der Technologie überhaupt noch vorstellen?

Möchten Sie wissen, was ein Garagentüröffner, ein Industrieroboter und eine Kaffeemaschine gemeinsam haben?

Dann verfolgen Sie unsere Tutorials auf der Geyer Homepage, um mehr über die verschiedenen Komponententypen, die grundlegenden technischen Parameter und den optimalen Einsatz dieser Komponenten in verschiedenen Anwendungen zu erfahren.

Piezoelektrischer Effekt

Alles begann vor etwa 140 Jahren, als die erste Demonstration des direkten piezoelektrischen Effekts durch Pierre und Jacques Curie sich als revolutionärer Durchbruch für die Technologie erwies, die heute unser Leben dominiert. Einfach ausgedrückt ist der piezoelektrische Effekt die Fähigkeit bestimmter Materialien, bei mechanischer Beanspruchung eine elektrische Ladung zu erzeugen. Der Quarzkristall, ein piezoelektrisches Bauteil, hat im Laufe der Jahre eine technische Entwicklung durchlaufen und wird auch heute kontinuierlich weiterentwickelt. Die Quarze sind heute nicht wegzudenken, von der Unterhaltungselektronik bis hin zu hochmodernen Industriemaschinen und moderner Medizintechnik.

Komponentenklassifizierung

Quarze und Oszillatoren sind Schlüsselkomponenten für die Zeitsteuerung, Synchronisation und Frequenzregelung diverser Anwendungen.

Die beiden Komponententypen, die zur Erzeugung einer erforderlichen Resonanzfrequenz verwendet werden, lassen sich wie folgt definieren:

- Ein **Quarz** – ein passives Bauteil, das eine externe elektrische Schaltung benötigt, um als Oszillator zu fungieren und auf der gewünschten Frequenz zu schwingen.
- Ein **Oszillator** – ein aktives Bauteil, das sowohl einen Quarz als auch eine Schaltung enthält und nach Stromanschluss auf der vorgegebenen Frequenz schwingt.

Eine dritte Option ist ein **Keramikresonator**, der in Anwendungen eingesetzt wird, bei denen Robustheit Vorrang vor Genauigkeit hat. Die gängigsten Komponententypen sowie ihre Hauptanwendungsbereiche sind in der nachfolgenden Tabelle aufgeführt:

Komponententyp	Beschreibung	Applikationsbeispiele
Quarze	Die am häufigsten verwendete passive Komponente, die eine präzise Resonanzfrequenz für eine Oszillatorschaltung liefert.	Breiter Anwendungsbereich, z.B: • IoT • Wearables & sensors • Healthcare • Embedded systems • Automotive
Resonator	Kostengünstige Komponente mit guter mechanischer Stabilität	Wird in der Regel in Industrieanwendungen eingesetzt, die Robustheit erfordern.
VCXO (Voltage Controlled Crystal Oscillator)	Verwendet einen Quarz zur Festlegung seiner Grundfrequenz, mit der zusätzlichen Möglichkeit, seine Ausgangsfrequenz durch eine externe Steuerspannung fein abzustimmen.	Verwendung in Anwendungen, die eine präzise Frequenzsteuerung erfordern: • in Phasenregelkreisen (PLLs) zur Takterzeugung • Synchronisation in Telekommunikationssystemen

TCXO (Temperature Compensated Crystal Oscillator)	Verwendet temperaturabhängige Komponenten, um die Spannung für die Frequenzkorrektur anzupassen.	Verwendung in temperaturempfindlichen Anwendungen, die hohe Präzision erfordern: • GPS Systeme • Telekommunikation • Hochpräzisions Messtechnik • Medizintechnik
VCTCXO (Voltage-Controlled Temperature-Compensated Crystal Oscillator)	Spannungsgesteuerter und temperaturkompensierter Quarzoszillator. Er kombiniert die Eigenschaften eines TCXO (temperaturkompensierter Quarzoszillator) mit der zusätzlichen Fähigkeit, seine Ausgangsfrequenz durch eine externe Steuerspannung zu verändern.	Verwendung in Anwendungen, die Präzision und Feinabstimmung erfordern: • Telekommunikation • Hochpräzisions Messtechnik • GPS Systeme • Military & Aerospace
OCXO (Oven Controlled Crystal Oscillator)	Ein thermostatisch geregelter Oszillator, bei dem sich der Quarz und andere temperaturempfindliche Teile in einer Kammer befinden, die das Temperaturverhalten konstant hält.	Verwendung in Anwendungen, die eine hohe Frequenzstabilität und ein geringes Phasenrauschen erfordern: • Telekommunikation & Satellitensysteme • Test und Messgeräte • Broadcastgeräte • Data Centers
MEMS Oscillators (Micro-Electro-Mechanical Systems)	Kombinieren einen Siliziumresonator und eine PLL für Kalibrierungen und Temperaturkompensation.	Eine Alternative zu Quarzoszillatoren. Häufig verwendet in: • raue Umgebungen • Unterhaltungselektronik

Quarzeigenschaften und Ersatzschaltbild

Wie bereits erwähnt, ist ein Oszillator ein elektrischer Schaltkreis, der einen piezoelektrischen Quarz als frequenzbestimmendes Element verwendet.

Die mechanische Schwingung, die durch ein elektrisches Wechselfeld geeigneter Frequenz piezoelektrisch angeregt wird, entspricht dem Ersatzschaltbild in Bild 1, das aus einem Serienschwingkreis zusammen und einer parallel Kapazität besteht.

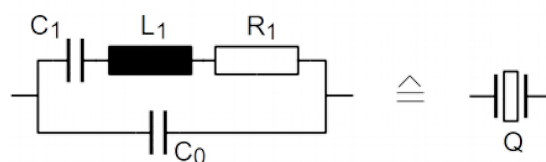


Bild 1

Ersatzschaltbild eines Schwingquarzes

f_L	Nennfrequenz
C_L	Lastkapazität des Quarzes
R_1	Serienwiderstand (meistens als Max Wert angegeben)
C_0	statische Parallelkapazität (meistens als Max Wert angegeben)
C_1	dynamische (motional) Kapazität (seltener angegeben)
L_1	dynamische Induktivität (seltener angegeben)

Diese Werte werden in der Regel im Datenblatt des Quarzherstellers angegeben. Die genauen Werte lassen sich durch die Analyse einer Charge von Quarzen mit einem Netzwerkanalysator ermitteln.

Topologie eines Pierce-Oszillators

Der Pierce-Oszillator, benannt nach seinem Erfinder George W. Pierce, mit Inverter und Rückkopplungsnetzwerk für Grundfrequenzquarze, ist die häufigste Schaltung, die als Taktgenerator für Mikroprozessoren verwendet wird.

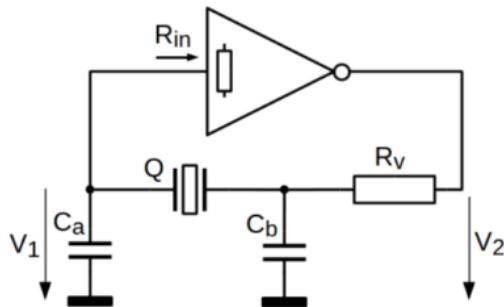


Bild 2
Pierce Oszillator

Der Ausgangswiderstand des Inverters bildet zusammen mit dem Widerstand R_v und dem PI-Element C_b /Quarz/ C_a einen Schmalbandpassfilter mit frequenzabhängiger Phasenverschiebung. Gemäß der Schwingungsbedingung muss die Gesamtphase 360° betragen, damit die Schaltung auf der Frequenz des Quarzes schwingen kann.

Der Inverter liefert aufgrund zusätzlicher, halbleiterbedingter Laufzeitsverzögerungen in der Regel etwas mehr als 180° . Die externe Phasenverschiebung aufgrund des Bandpasses kann daher etwas weniger als 180° betragen.

Wichtige Designparameter

Die Auswahl der richtigen Komponente für die jeweilige Anwendung ist keine triviale Aufgabe. Sie hängt von den technischen Anforderungen, den Zielkosten des Systems und letztendlich vom Business Case ab.

Mit Blick auf den technischen Aspekt fasst die folgende Tabelle die wichtigsten Parameter zusammen, nebst ihrer Bedeutung und Wichtigkeit für Quarze und Oszillatoren.

Parameter	Quarze	Oszillatoren
Hauptfunktion	Bereitstellung einer präzisen Resonanzfrequenz für eine Oszillatorschaltung	Erzeugen eines vollständigen, stabilen periodischen Signals
Nennfrequenz	Spezifizierte Resonanzfrequenz (Grundton oder Oberton)	Ausgangsfrequenz (fest oder programmierbar)
Gehäusegrösse	SMD oder through-hole (THT)	Variiert von winzigen SMD- bis hin zu größeren hermetischen Gehäusen
Lastkapazität (C_L)	Entscheidend – bestimmt mit die tatsächliche Schwingungsfrequenz	Nicht zutreffend (intern bearbeitet)
Frequenztoleranz	Toleranz bei Raumtemperatur (25°C) (ppm)	Toleranz bei Raumtemperatur (25°C) (ppm) – nicht entscheidend
Frequenzstabilität	Frequenzabweichung über den Temperaturbereich (ppm)	Je nach Typ: Abweichung über Temperaturbereich, Spannung, Last und Aging (ppm)
ESR (Serienwiderstand)	Möglichst gering; wichtig für den Oszillator startup	Nicht zutreffend – der interne Schaltkreis ist für seinen Quarz optimiert.
Drive Level	Maximale Leistung, die der Quarz aufnehmen kann	Nicht zutreffend – Intern optimiert
Aging (Alterung)	Langzeitstabilität - langsamer Frequenzdrift im Laufe der Zeit	Enthält auch noch weitere Aspekte

Ausgangssignal	Nicht zutreffend (passives Teil)	• HCMOS/TTL/Sinewave • LVDS/LVPECL/HCSL
Phase Noise (Phasenrauschen)/ Jitter	Hängt von der Güte der Oszillatorschaltung ab	Extrem wichtige Spezifikation für einen Oszillator
Startup Time	Nicht zutreffend (hängt von der externen Schaltung ab)	Angegebene Zeit vom Einschalten bis zur stabilen Ausgabe
Power Consumption (Stromverbrauch)	Nicht zutreffend (passives Teil)	Abhängig von Versorgungsspannung und Design
Umweltbewertungen	Schock, Vibration, Temperaturbereich	Schock, Vibration, Temperaturbereich
Other functions	Nicht zutreffend	Pulling sensitivity, Tri-state control, etc.

Fazit

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass Quarze als präzise Frequenzreferenzen dienen und Oszillatoren diese verwenden, um stabile Takt- oder Trägersignale für die Zeitsteuerung und Kommunikation in elektronischen Systemen zu erzeugen.

Dieser erste Beitrag bildet die Grundlage für unsere nächsten technischen Beiträge, in dem wir u.a. Designrichtlinien für Frequenzkomponenten vorstellen.

GEYER Electronic GmbH
info@geyer-electronic.de