

Temperaturstabilisierte Quarzoszillatoren (OCXO)

Werden an einen Oszillator hohe Anforderungen bezüglich einer von äußeren Einflüssen unabhängigen hohen Frequenzstabilität, geringem Phasenrauschen und geringer Alterung pro Tag/Jahr gestellt, kommen ausschließlich temperaturstabilisierte Quarzoszillatoren (OCXO) zum Einsatz, wie sie von der Firma Quintenz Hybridtechnik entwickelt und produziert werden. In den folgenden Kapiteln werden die wichtigsten Begriffe und Eigenschaften von Schwingquarzen und OCXO's erläutert.

1. Schwingquarze

Bei einem Quarzoszillator wird ein Schwingquarz (Resonator) als frequenzbestimmendes Bauteil verwendet. Der Quarz ist ein Kristall, der aufgrund seiner piezoelektrischen Eigenschaft ein elektrisch anregbares und mechanisch schwingungsfähiges System darstellt, mit welchem sehr hohe Güten ($>10^6$) erzielt werden können, die mit elektrischen Schwingkreisen nicht realisierbar sind. Deshalb sind Quarzoszillatoren besonders geeignet, Frequenzen mit hoher Genauigkeit und Konstanz zu erzeugen. Die Auswahl eines geeigneten Quarztyps hat entscheidenden Einfluß auf die Eigenschaften und Kosten des Oszillators und wird (idalerweise) von Oszillatorhersteller und Kunden gemeinsam getroffen. Nachfolgend werden die wichtigsten Eigenschaften von Quarzen erläutert.

- Schwingungsform
- Quarzschnitt
- Ersatzdaten
- Grundton, Oberton

Unter einer **Schwingungsform** versteht man die Art der mechanischen Schwingung, welche abhängig von der Frequenz gewählt wird. In dem Frequenzbereich von 1...150MHz kommen Dickenschwinger zum Einsatz.

Der Quarz wird aus einem einkristallinen Siliziumdioxidstab (SiO_2) geschnitten und zwischen zwei Elektroden befestigt. Der **Quarzschnitt** gibt an, unter welchen Winkeln zu den kristallographischen Achsen des Kristalls der Resonator geschnitten wird. Die unterschiedlichen Quarzschnitte haben jeweils unterschiedliche Eigenschaften zur Folge. Insbesondere die elektrische Anregbarkeit und die Abhängigkeit der Frequenz von der Temperatur werden von den Schnittwinkeln beeinflusst. Für Oszillatoren, die eine möglichst geringe Temperaturabhängigkeit besitzen sollen, werden Quarze mit AT- oder SC-Schnitt verwendet.

Der mechanische Resonator kann nach einer elektrisch-mechanischen Analogie an seinen Anschlußklemmen als elektrisches Ersatzschaltbild dargestellt werden (Bild1). Die **Ersatzdaten** R, L, C_0 und C_1 müssen vom Oszillatorhersteller spezifiziert werden. Aus diesem Ersatzschaltbild ergeben sich die verschiedenen Resonanzfrequenzen, auf welchen der Quarz angeregt werden kann.

Ein Quarz kann auf mehreren Resonanzfrequenzen zum Schwingen gebracht werden. Hierbei wird die niedrigste Frequenz als **Grundton** bezeichnet, die höheren als **Oberton**. Die Frequenz eines Obertons beträgt jeweils ein ungeradzahliges Vielfaches der Grundfrequenz. Unerwünschte Nebenresonanzen müssen durch eine geeignete Schaltung bedämpft werden.

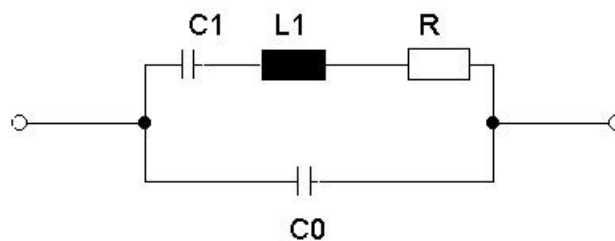


Bild 1 Ersatzschaltbild

2. OCXO

Die Resonanzfrequenz eines Quarzes ist stark temperaturabhängig (Bild 2.1). Beim OCXO (Oven Controlled Xtal Oscillator) wird der Quarz und die gesamte Schaltung, bestehend aus Heizungsregelkreis und Oszillatorschaltung, in einem Thermostaten bei konstanter Temperatur betrieben. Die Thermostattemperatur wird so gewählt, dass sie mit dem Umkehrpunkt des Temperaturganges des Quarzes übereinstimmt, da hier $\Delta f/f$ theoretisch gleich Null ist. Hiermit wird erreicht, dass Temperaturschwankungen, die auch bei aufwendiger Heizungsregelung unvermeidbar sind, nur sehr geringe Frequenzschwankungen zur Folge haben.

2.1 Temperaturgang

Mit OCXO's werden Werte von bis zu $df/f = 1 \cdot 10^{-8}$ (AT-Cut) bzw. $df/f = 0.5 \cdot 10^{-8}$ (SC-Cut) im Arbeitstemperaturbereich (-20...+70°C) erzielt. Der Frequenzverlauf über den Arbeitstemperaturbereich eines Präzisions-OCXO's ist in Bild 2.2 zu sehen.

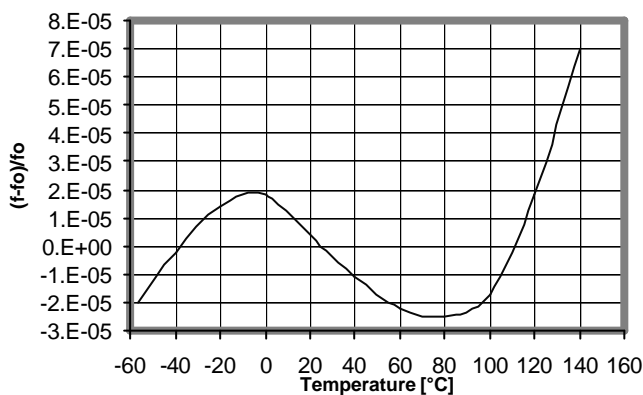


Bild 2.1 Temperaturgang der Frequenz (Quarz, AT-Cut)

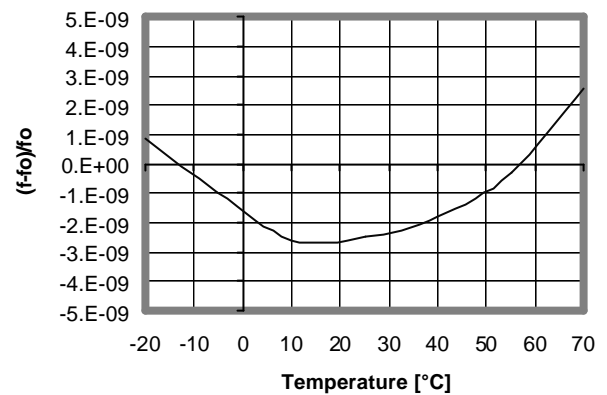


Bild 2.2 Temperaturgang der Frequenz (OCXO)

2.2 Kurzzeitstabilität

Unter der Kurzzeitstabilität versteht man Frequenzschwankungen im Bereich von Bruchteilen einer Sekunde bis zu einigen Sekunden. Die Kurzzeitkonstanz kann im Zeitbereich und Frequenzbereich angegeben werden.

Im **Zeitbereich** wird die Kurzzeitstabilität durch die Allanvarianz angegeben. Hierzu wird in Zeitintervallen t_M zwischen 0,01s bis zu einigen Sekunden die Frequenz gemessen. Es wird die Differenz $\Delta f(t_M)$ zwischen den zwei Messwerten gebildet und auf die Nennfrequenz f_0 normiert. Hiermit lassen sich die relativen Frequenzschwankungen $y(t_M)$ angeben

$$y(t_M) = \frac{\Delta f(t_M)}{f_0}$$

Diese Messungen werden mehrmals wiederholt und hieraus die Allanvarianz σ_y^2 nach folgender Formel berechnet:

$$\sigma_y^2(t_M, M) = \frac{1}{2(M-1)} \sum_{k=1}^M (y_{k+1} - y_k)^2$$

t_M : Meßzeit
 M : Anzahl der Messungen
 y_k : Frequenzschwankungen

Im **Frequenzbereich** ist die Kurzzeitstabilität durch die spektrale Zusammensetzung des Oszillatorsignals gekennzeichnet, weshalb die durch Frequenz- bzw. Phasenmodulation entstandenen Seitenbänder ausgewertet werden. Da das Spektrum symmetrisch zum Träger ist, genügt es eine Seite zu betrachten. Es wird die Einseitenbandrauschleistung $L(f)$ in dBc/Hz (bezogen auf die Trägerleistung) angegeben. Das Rauschen von Oszillatoren mit starkem Phasenrauschen kann direkt mit einem Spektrumanalysator gemessen werden. Bei Quarzoszillatoren ist das Phasenrauschen jedoch so gering, dass sie auf einem speziellen Phasenrauschmeßplatz vermessen werden. Bild 2.3 zeigt einen möglichen Verlauf des Phasenrauschen eines hochwertigen OCXO (10MHz).

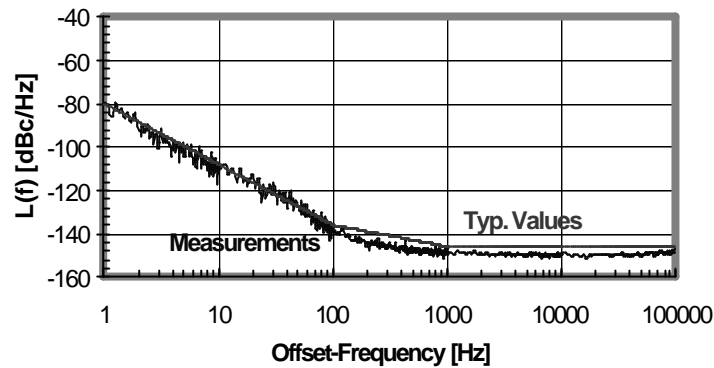


Bild 2.3 Phasenrauschen

Näherungsweise läßt sich sagen, daß das trägernahe Rauschen durch den Quarz bestimmt wird, während das trägerferne Rauschen überwiegend durch die Schaltung verursacht wird. Entscheidend für ein niedriges Phasenrauschen ist eine hohe Güte Q des Schwingquarzes und dessen Anpassung an die Schaltung, sowie hochwertige aktive und passive Bauelemente mit geringem Eigenrauschen.

2.3 Alterung (Langzeitstabilität):

Unter der Alterung versteht man die Änderung der Frequenz über einen Zeitraum von einigen Tagen bis zu mehreren Jahren. Hauptursache hierfür ist die Abhängigkeit der Quarzparameter von der Zeit. Hierfür gibt es drei unterschiedliche Ursachen:

1. materialbedingte Alterung (z.B. Änderung der Eigenschaften und Struktur des Quarzkristalls)
2. konstruktionsbedingte Alterung (z.B. Halterung \Rightarrow mechanische Kräfte auf den Quarz)
3. herstellungsbedingte Alterung (z.B. Störungen des Kristallgitters, Rekristallisation des Elektrodenmaterials)

In den ersten Tagen kommt es zu den größten Frequenzänderungen (Bild 2.4), weshalb Präzisionsoszillatoren vor der Auslieferung vorgealtert werden. Um sehr gute Alterungswerte zu erzielen werden niederfrequente Obertonquarze (z.B. 10MHz) im AT- oder SC-Schnitt eingesetzt und bei niedriger Belastung betrieben. Präzisionsoszillatoren haben eine Langzeitstabilität von $df/f \leq \pm 1 \cdot 10^{-9} / \text{Tag}$ bzw. $df/f \leq 0.1 \cdot 10^{-6} / \text{Jahr}$.

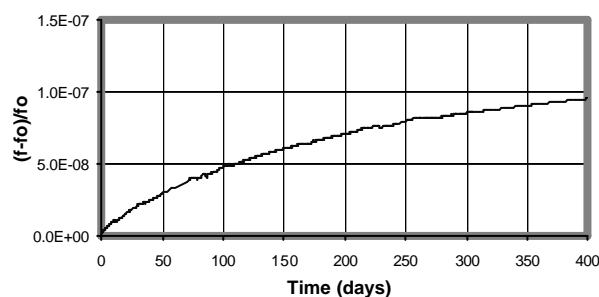


Bild 2.4 Langzeitstabilität

2.4 Ziehverhalten

Durch eine externe Spannung kann die Oszillatorfrequenz verändert (gezogen) werden. Die Ziehspannung wird an eine Kapazitätsdiode angelegt, welche sich im Resonanzkreis befindet. Somit kann durch das Verändern der Kapazität der Diode die Resonanzfrequenz abgeglichen werden. Der Frequenzziehbereich gibt an, über welchen Bereich die Oszillatorfrequenz verstimmt werden kann. Die maximale Abweichung der Modulationskennlinie von der Idealkennlinie wird als Linearität bezeichnet und in % angegeben.

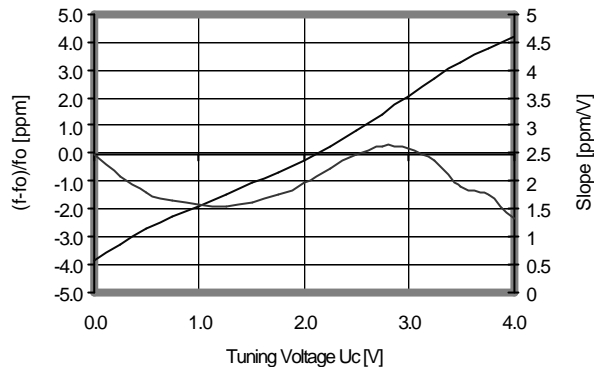


Bild 2.5 Ziehkennlinie

2.5 Leistungsaufnahme

Durch einen entsprechenden Aufbau der Schaltung, die Verwendung geeigneter Materialien, kleiner Gehäuseabmessungen und einer guten Isolierung nach außen, beträgt die Leistungsaufnahme bei 25°C weniger als 0,5 Watt (im aufgeheizten Zustand) und die Aufheizzeit weniger als 60s. Bild 2.6 zeigt einen typischen Aufheizvorgang bei 25°C für verschiedenen Quarschnitte. Bild 2.7 die Stabilisierungszeiten für die Leistungsaufnahme und die Frequenz bei verschiedenen Temperaturen.

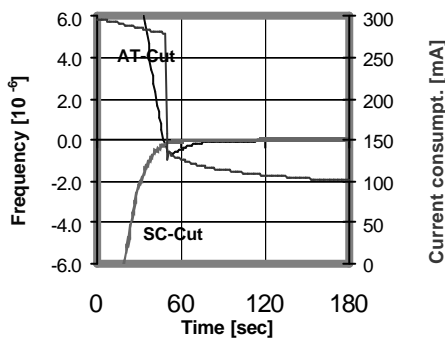


Bild 2.6 Aufheizverhalten

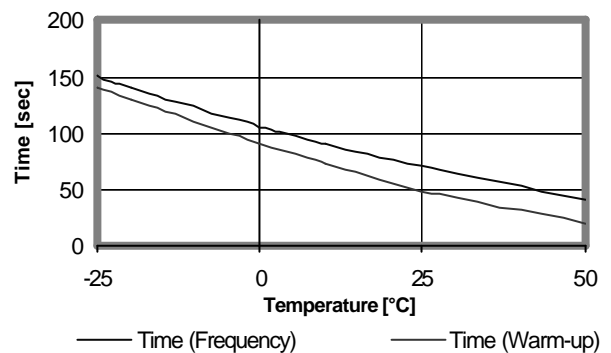


Bild 2.7 Stabilisierungszeiten

3. Spezifikationsmerkmale

Folgende Eigenschaften müssen bei der Spezifikation von OCXO's angegeben werden:

- Gehäuseabmessungen
- Gewicht
- Pinbelegung

- Betriebsbedingungen
 - Versorgungsspannung

- Leistungsaufnahme (beim Aufheizen / bei 25°C)
- Stabilisierungszeiten

- Ausgangssignalform
- Nennfrequenz
- Frequenzstabilität
 - im Arbeitstemperaturbereich
 - bei Versorgungsspannungsänderung
 - bei Laständerung
 - Kurzzeitstabilität
 - Langzeitstabilität

- Ziehverhalten
 - Ziehbereich
 - Ziehspannung
 - Linearität

Die Festlegung der Spezifikationsmerkmale sollte in enger Zusammenarbeit zwischen Kunden und Oszillatorhersteller erfolgen, um die für die Anwendung optimalen Eigenschaften bei möglichst geringen Kosten zu erzielen.

Für weitere Fragen stehen wir Ihnen gerne zur Verfügung:

Quintenz Hybridtechnik
 Eichenstraße 15
 82061 Neuried bei München

Tel.-Nr. 089/759 22 52
 Telefax 089/759 25 45

E-Mail: info@quintenz.de