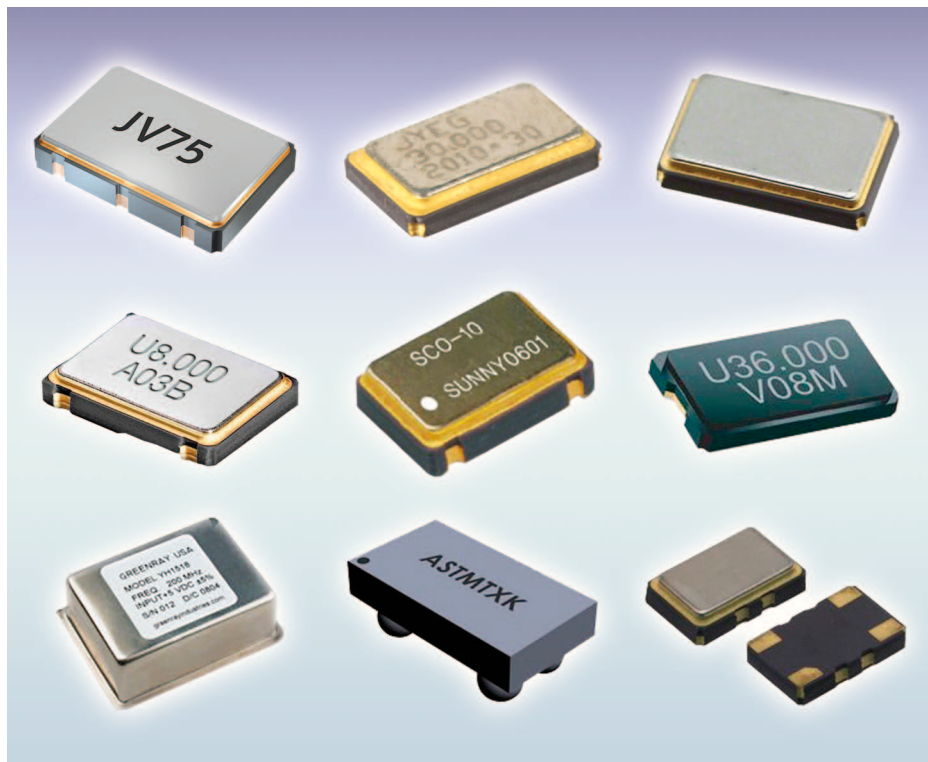


Die verschiedenen Typen von Quarzoszillatoren

In diesem Beitrag werden die verschiedenen Ausprägungen von Quarzoszillatoren näher vorgestellt. Es handelt sich um den unkompensierten Oszillator (Crystal Oscillator, XO), den spannungsgesteuerten Quarzoszillator (Voltage Controlled Crystal Oscillator, VCXO), den temperaturgeregelten Quarzoszillator (Temperature Controlled Crystal Oscillator, TCXO) und den Quarzofen (Oven Controlled Crystal Oscillator, OCXO).



Diese Oszillatortypen unterscheiden sich im Wesentlichen durch ihre Frequenzstabilität. Hier muss man zunächst zwischen Alterung (Aging) und Kurzzeitstabilität (Short-term Stability) unterscheiden. Die Angabe erfolgt in der Regel in ppm (parts per million) mit Bezug auf ein Jahr beim Aging und mit Bezug auf Auslieferungswert bei 25 °C, Temperaturänderung, ausgehend von 25 °C, Speisespannungsänderung im zulässigen Bereich sowie Laständerung im zulässigen Bereich.

Die Vorzeichen +/- sind meist entbehrlich, denn bei solch kleinen Änderungen wird nicht zwischen positiver und negativer Abweichung unterschieden, +/- ist also immer anzunehmen. Die Alterung hat mehrere Ursachen, wie Massenverschiebungen, Kräfteänderungen, elektrische Beanspruchung (Drive Level), DC-Bias und Umgebungstemperatur. Die Kurzzeitstabilität wird in erster Linie durch die Temperaturänderung als Folge des Betriebs und des Einwirkens der Umgebungstemperatur verursacht. Hierbei wirken die verschiedenen Einflüsse zum Teil sich gegenseitig kompensierend.

Es ist für eine gerechte Beurteilung des Oszillators wichtig, die Kurzzeitstabilität im Verhältnis zum Betriebstemperaturbereich zu sehen, man könnte die ppm-Angabe mit dem Kelvin-Bereich dazu ins Verhältnis setzen. Je kleiner das Verhältnis, umso temperaturstabiler der Quarz.

Der unkompensierte Oszillator

In der Praxis ist dieser Quarzoszillator oft als Taktgeber für Prozessoren, Mikrocontroller, Funkgeräte und in Quarzuhren zu finden. Bereits der unkompensierte XO ist sehr genau und hat normalerweise Abweichungen unter 50 ppm/K. Eine typische Alterung ist 3 ppm/Jahr. Eine Art Standard für das Kurzzeitverhalten sind 20 ppm bei 0 bis 70 °C.

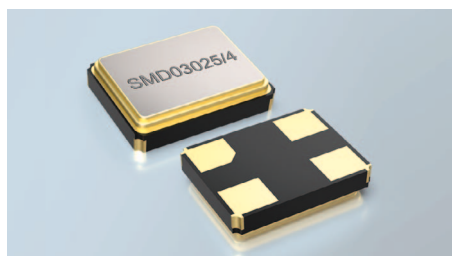


Bild 1: Ein 3,2 x 2,5 mm messender Quarz, Serie SMD03025/4

Man kennt den einfach gehäuseten XO (Simple Packaged Crystal Oscillator, SPXO), der oft als Taktoszillator genügt, und den Low Power Crystal Oscillator (LPXO), der aufgrund seiner geringen Eigenerwärmung ein gutes Einlaufverhalten bietet.

Die Stabilität eines XOs hängt in erster Linie vom Quarz selbst ab. In den letzten Jahren hat sich hier der Trend zu miniaturisierten SMD-Quarzen in Keramikgehäusen verstärkt. Etwa mit der Serie SMD03025/4 bietet Petermann-Technik entsprechende Lösungen für viele Applikationen an (Bild 1). Diese widerstandsoptimierten Quarze zeigen ein optimales Anschwingverhalten und werden auf Wunsch mit einem Drive Level von bis zu 500 µW geliefert. Miniaturisierte SMD-Quarz-Lösungen sind für den Arbeitstemperaturbereich von bis zu -55 bis +125 °C verfügbar.



Bild 2: Der XO CFPS-73 von IQD

Wem das 3,2 x 2,5 mm/4-pad-Gehäuse zu groß ist, der kann auf das 2 x 2 oder 1,6 mm/4-pad-Gehäuse zurückgreifen. Besonders das 2 x 1,6 mm/4-pad-Gehäuse ist als neues Trendgehäuse für sehr kleine Applikationen anzusehen. Bei den 32,768-kHz-

Quarzen steht die kleinste Ausführung mit den Abmessungen von 1,2 x 1 mm kurz vor der Markteinführung.

XOs werden diskret aufgebaut oder als integriertes Bauelement. Ein typischer Standard-XO ist der CFPS-73 von IQD (Bild 2). Einige Daten:

- Footprint: 7 x 5mm
- Gehäuse: keramisch
- Frequenzbereich: 0,5 bis 157 MHz
- Frequenzstabilität: ± 20 bis ± 100 ppm
- Alterung: max. ± 3 ppm/Jahr
- Betriebsspannung: 3,3 V $\pm 10\%$
- Betriebstemperatur: 0 bis 70 °C oder -40 bis 85 °C
- Ausgang: HCMOS-kompatibel
- max. Lastkapazität bis 50 MHz: 50 pF
- max. Lastkapazität 50...80 MHz: 30 pF
- max. Lastkapazität 80...157 MHz: 15 pF



Bild 3: Der SXO-03025 von Petermann-Technik

Ein typischer Clock XO ist der SXO-03025 von Petermann-Technik (Bild 3). Hier einige Daten:

- Frequenz: 32.768 kHz
- Gehäuse: keramisch, 3,2 x 2,5 x 1,2 mm
- Frequenzstabilität: 0...70/-20...+70/-40...+85 °C: $\pm 25/\pm 100/\pm 50... \pm 100$ ppm
- Alterung: max. ± 3 ppm/Jahr
- min. Betriebsspannung: 1,8 V $\pm 0,2$ V
- Stromverbrauch: max. 50 (60) μ A an 1,8 (5) V
- Lastkapazität: max. 15 pF

Eine zunehmend attraktivere Alternative zu XOs sind Siliziumoszillatoren. Verwendet wird hier ein Mikro-Silizium-Resonator mit sehr geringer Schwingungsenergie. Im Vergleich zu Quarzoszillatoren sind die Siliziumoszillatoren 30-mal unempfindlicher gegen Schock und Vibration sowie ca. 50-mal unempfindlicher gegen elektromagnetische Felder.

Der spannungsgesteuerte Oszillator

Control kann steuern als auch regeln bedeuten. Ein Voltage Controlled Crystal Oscillator (VCXO) nutzt die Tatsache aus, dass ein Quarz nur dann resonant auf seiner spezifizierten Frequenz ist, wenn die Lastkapazität C_L am Oszillatorausgang einen bestimmten Wert $C_{L, nom}$ aufweist. Diese Bürdekapazität

gibt der Hersteller an. Ein üblicher Wert ist 15 pF. Es gilt die Beziehung:

$$\text{ppm} = C_m/2 \left[\frac{1}{(C_S + C_L)} - \frac{1}{(C_S + C_{L, nom})} \right] 10^6$$

C_m ... Bewegungskapazität (motional capacitance)

C_S ... Shunt-Kapazität

Beim Vergrößern von C_L steigt demnach der Betrag des Frequenzfehlers. Im Falle $C_L > C_{L, nom}$ schwingt der Quarz auf einer Frequenz unterhalb der Center-Frequenz, im Falle $C_L < C_{L, nom}$ auf einer Frequenz oberhalb dieser. Auf diese Weise lässt sich die Schwingfrequenz normalerweise nur um bis zu etwa 100 parts per million verändern. Ein 10-MHz-Quarz könnte um 1 kHz verstimmt werden. In der Praxis werden solche Feineinstellungen aber gewünscht.

Dieses Feature ist im VCXO implementiert. Ein VCXO nutzt in aller Regel eine eingebaute Kapazitätsdiode in Reihe zum Quarz (eine Induktivität wäre theoretisch ebenfalls möglich). Benötigt werden VCXOs etwa in digitalen Settop-Boxen, bei digitalen TV-Applikationen und in Laboranwendungen.



Bild 4: Der VCXO CFPV-45 von IQD

Bezüglich Frequenzstabilität und Einstellbereich (Absolute Pull Range, APR) können sich VCXOs beträchtlich unterscheiden. Die Frequenzvariation kann je nach Typ nur einen Bruchteil eines parts per million betragen oder bis zu über 1000 ppm. Weitere wesentliche Eigenschaften eines VCXOs sind die Linearität der Abstimmung, die Frequenzstabilität, das Phasenrauschen und der Ausgangspegel in Abhängigkeit von der Frequenzvariation. Die Linearität der Abstimmung wird als die prozentuale Abweichung vom gesamten Abstimmbereich definiert. Eine Linearität von 3% besagt, dass innerhalb eines Abstimmbereichs von beispielsweise 100 kHz die Frequenzabweichung 3 kHz betragen kann. Diese 3-kHz-Abweichung kann überall im Abstimmbereich auftreten.

Hier beispielhaft einige Daten des VCXOs CFPV von IQD (Bild 4):

- Footprint: 7 x 5mm
- Gehäuse: keramisch
- Frequenz(bereich): 1,5...80 MHz
- APR: ± 100 ppm min.
- Frequenzstabilität: ± 100 ppm
- Betriebsspannung: 3,3 V $\pm 0,3$ V

- Steuerspannung: 1,65 V $\pm 1,65$ V
- Linearität: min. $\pm 10\%$
- Betriebstemperatur: 0...70 °C oder -40 bis +85 °C
- Ausgang: HCMOS-kompatibel
- max. Lastkapazität: 15 pF

Eine ausführliche Besprechung der Spezifikationen von VCXOs bietet die Fa. Si Time mit „Definitions of VCXO Specifications“, 20. September 2011, s. Internet. Die Fa. Vectron erklärt in der Applikationsschrift „Absolute Pull Range Definition“ den APR genauer, s. Internet.

Der temperaturgeregelter Oszillator

Der Temperature Controlled Oscillator (TCXO) baut auf dem VCXO auf. Auch er nutzt eine reaktive Komponente in Serie zum Quarz, um diesen zu ziehen. Hinzu kommt nun noch ein Temperatursensor, um die Temperatur zu messen und auf dieser Basis die Frequenz zu regeln. Es ist also auch ein gewisser Elektronikanteil (Regelschleife) integriert. Mit dieser Technik lässt sich eine Genauigkeit von bis zu 0,1 ppm erreichen. Bei einem 100-MHz-Quarz wäre das also eine Frequenzstabilität von 10 Hz. Wichtig ist hier die Energieeffizienz der Regelschaltung. Ist diese hoch, wird eine zusätzliche Erwärmung weitgehend vermieden und eine bestmögliche Frequenzstabilität erreicht.

Als Temperatursensoren werden meist NTC-Widerstände (Thermistoren) verwendet. Für eine möglichst lineare Regelkennlinie sind die Anforderungen an die Stabilität des Kompensationsnetzwerkes hoch. Eine sehr stabile Speisespannung ist weiterhin erforderlich. Auch der Auswahl der Schwingquarze kommt eine erhöhte Bedeutung zu.

Bei einem digitalen TCXO wird die Temperatur des Quarzes z.B. mit einem NTC PT100 gemessen und dann der durch A/D-Wandlung digitalisierte Wert einem Prozessor zugeführt. Entsprechend der im Speicher abgelegten Messwerte wird der zur Kompensation des Temperaturganges erforderliche digitale Spannungswert an einen D/A-Wandler gegeben, der eine entsprechende analoge Spannung zur Steuerung der Kapazitätsdiode bereitstellt. So lassen sich beliebige Kurvenformen und damit große Temperaturbereiche kompensieren.

Analoge TCXOs haben den Vorteil geringerer Stromaufnahme, digitale TCXOs den Vorteil eines größeren Umgebungstemperaturbereichs.

Je größer der spezifizierte Umgebungstemperaturbereich, umso geringer ist natürlich die mögliche Stabilität. Richtwerte:

- 0...40 °C: 0,1...0,5 ppm

- 0...70 °C: 0,2...1 ppm
- -20...+70 °C: 0,3...2 ppm
- -40...+85 °C: 0,4...3 ppm
- -55...+ 105 °C: 0,5...5 ppm

Die kleineren Werte der Frequenzänderung gelten mehr für digitale TCXOs, die größeren für analoge TCXOs. Das heißt in etwa: Mit mikroprozessorgesteuerten TCXOs können etwa um eine Zehnerpotenz bessere Werte erreicht werden.

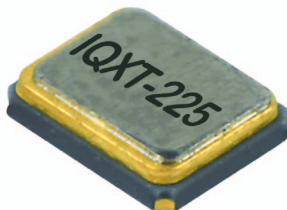


Bild 5: Der TCXO IQXT-225 von IQD

Ein analoger TCXO ist beispielsweise der IQXT-225 von IQD (Bild 5) mit folgenden wichtigen Daten:

- Footprint: 2 x 1,6 mm
- Frequenzen: 16,368, 16,369, 19,2, 26, 33,6 und 38,4 MHz
- Frequenztoleranz: max. $\pm 1,5$ ppm
- Frequenzstabilität: 0,5 ppm
- Alterung: max. ± 1 ppm/Jahr bei 25 °C ± 2 K
- Betriebsspannungsabhängigkeit: $\pm 5\%$ max. $\pm 0,1$ ppm
- Lastvariation: $\pm 10\%$ max. $\pm 0,1$ ppm
- Betriebsspannung: 1,2 V $\pm 5\%$
- Betriebstemperaturbereich: -30 bis +85 °C

Abstecher: VCTCXO

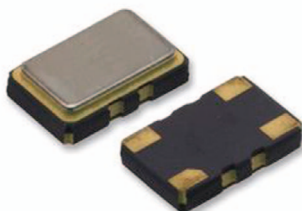


Bild 6: Ein 3,3 V Ultra Miniature SMD HCMOS TCXO/VCTCXO von Fox

Der Voltage Controlled Temperature Controlled Oscillator kombiniert VCXO und TCXO. Etwa der 3,3 V Ultra Miniature SMD HCMOS TCXO/VCTCXO FOX924 von Fox (Bild 6) hat u.a. folgende Eigenschaften:

- Höhe: max. 1,5 mm
- Frequenzbereich: 10 bis 30 MHz
- Ausgang: HCMOS
- Einsatztemperaturbereich: -30 bis +85 °C
- Betriebsspannung: 3,3 V $\pm 5\%$
- Betriebsstrom: typ. 6 mA
- Anfangsstabilität bei 25 °C: $\pm 1,5$ ppm

- Stabilität über den Temperaturbereich: $\pm 2,5$ ppm
- Stabilität über den Betriebsspannungsbereich: $\pm 0,3$ ppm
- Alterung: 1 ppm/Jahr
- Lastkapazität: 15 pF (Bürde)
- Ziehbereich (Pullability): min. 5 ppm

Der Quarzofen

Der Oven Controlled Oscillator (OCXO) fasst den Quarz und andere temperaturempfindliche Teile in einer geschlossenen Kammer zusammen. Deren Innentemperatur wird so geregelt, dass der Quarz auf einem Arbeitspunkt schwingt, wo die Temperatur-Frequenz-Kennlinie ihren Umkehrpunkt erreicht bzw. durch Null geht. Der „Ofen“ ist also ein Thermostat. Solche Oszillatoren erreichen die bestmögliche Stabilität von bis zu 0,001 ppm. Sie werden etwa für Raumfahrtanwendungen, Messgeräte und Referenztaktgeber benötigt. Die am häufigsten verwendete OCXO-Frequenz ist 10 MHz.

Die Regelung basiert auf der Wärmeabgabe an die Umgebung. Die Thermostattemperatur muss also deutlich über der höchsten Betriebstemperatur liegen. Dies bringt den Nachteil, dass eine größere Alterung zu erwarten ist.

Der Thermostat besteht aus der temperierten Kammer, dem Thermostatkörper, dem Temperaturfühler, der Heizung und der Regelschaltung mit Leistungsstufe und Heizvorrichtung. Um die Wärmeabfuhr nach außen zu drosseln und die Auswirkung schneller Umgebungstemperaturänderungen zu minimieren, befindet sich diese Anordnung in einem Thermogehäuse.

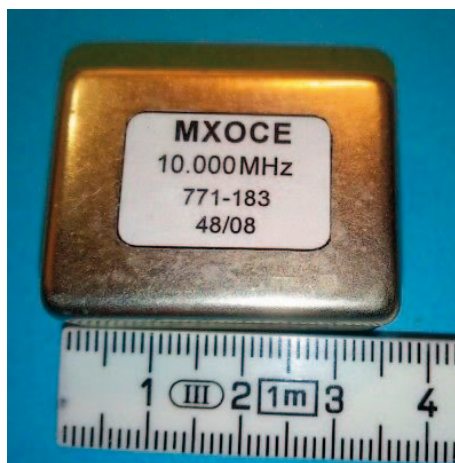


Bild 7: 10 MHz OCXO Source MXOCE-A28L2S für 12 V

Dass ein moderner OCXO relativ klein aufgebaut werden kann, wird aus Bild 7 deutlich. Über „Vorteile und Unterscheidungsmerkmale von OCXOs“ schreibt Alfred Goldbacher auf www.elektroniknet.de. **FS**