

Funktion und Parameter – Teil 1

XO, VCXO, TCXO, DTCXO, OCXO ...

Hinter den Abkürzungen mit den vielen XOs verbergen sich die verschiedenen Quarzoszillatortypen, die heute in Schaltungen aller Art eingesetzt werden. Ihre fundamentale Funktion und die wesentlichen Parameter sind Gegenstand dieses zweiteiligen Artikels. Teil 1 geht auf die Grundfunktionen ein, Teil 2 beleuchtet in *elektronik industrie* 10-2005 dann die wesentlichen Parameter.

Oszillatoren sind das Herz in vielen drahtgebundenen und drahtlosen Telekomgeräten, in digitalen Schaltungen und vielen anderen Applikationen. Während man beim Aufbau eines Funkempfängers den Überlagerungoszillator kaum vergessen kann, wird oft beim Aufbau anderer elektronischer Schaltungen erst am Schluss daran gedacht, dass man auch einen Taktgenerator benötigt

(und auch die Stromversorgung findet oft sehr spät Beachtung). Einen Oszillator oder Taktgenerator kann man auf verschiedene Weise realisieren, z. B. als RC-Oszillator oder als Quarzoszillator, wenn man es etwas genauer braucht. Bei den Quarzoszillatoren unterscheidet man verschiedene Grundschaltungen wie Pierce, Colpitts oder Clapp auf die hier nicht im Detail eingegangen werden soll. Quarze, in herkömmlicher Technik aufgebaut, schwingen in der Grundwelle bis etwa 25 oder maximal 50 MHz. Oszillatoren für höhere Frequenzen arbeiten dann mit der x-ten Oberwelle eines Quarzes (so wird z. B. die Frequenz 150 MHz mit der fünften Oberwelle eines 25-MHz-Quarzes erzeugt, man spricht dann von Obertonquarzen). Wird der Schwingquarz in der von der Halbleiterfertigung bekannten Mesatechnik aufgebaut, sind Grundschwingungen bis 200 MHz möglich. Wesentlich für die Stabilität eines Quarzoszillators ist der Schnitt des Quarzes. Hochstabile Quarze weisen den sogenannten AT-Schnitt auf. Bei noch höheren

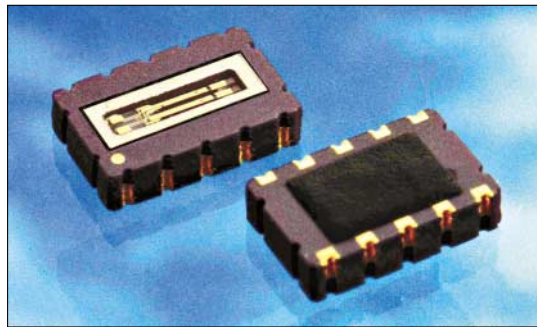


Bild 1: Beispiel eines Quarzoszillators für Applikation als Taktgenerator für 32,768 kHz. Der hier gezeigte Typ OV-1564-C2 von Micro Crystal nimmt im Betrieb nur 0,5 µA auf. Im Bild zu sehen die Stimmgabelform des Quarzes.



Bild 2: VCXO in einer Version als Doppel-VCXO mit zwei Ausgangsfrequenzen, die im Bereich bis 800 MHz liegen können. Mit einem Baustein können so z. B. unterschiedliche Send- und Empfangsfrequenzen erzeugt werden. Der Ziehbereich ist ±100ppm der Nennfrequenz für jeden VCXO. (Quelle: FOQ)

Stabilitätsanforderungen wird der SC-Schnitt verwendet, der aber wesentlich teurer ist als ein AT-Quarz gleicher Frequenz oder gleichem Oberton. Auch lassen sich SC-Quarze schlechter ziehen als AT-Typen. Zu den Vorteilen des SC-Quarzes zählt das bessere Alterungsverhalten gegenüber dem AT-Typ, das geringere Phasenrauschen und die höhere Güte.

Auch können SC-Quarze vorteilhaft bei höheren Temperaturen eingesetzt werden, da oberer und unterer Tempera-

turumkehrpunkt im optimalen Bereich von 70...90 °C liegen. Das Ausgangssignal eines Quarzoszillators ist je nach Applikation ein Sinussignal, ein TTL kompatibles Signal, ein PECL/LVPECL-Signal usw. sein. Die Betrachtung dieses und anderer Parameter wird in Teil 2 dieses Artikels vorgenommen.

Der Quarzoszillator (P)XO

Wer seinen Quarz-gesteuerten Oszillator nicht selbst aufbauen möchte, greift zum Quarzoszillator. Solche Oszillatoren, auch PXOs genannt (Precision XO), sind generell als Hybridschaltung (mit ungehäustem Quarz) oder auf einer kleinen Leiterplatte (mit gehäustem Quarz) aufgebaut. Bild 1 zeigt einen unkompensierten Quarzoszillators am Beispiel des OV-1564-C2 von Micro Crystal.

Mit einer Abgleichtoleranz von ±10 ppm (±5 ppm kundenspezifisch) bei 25 °C und einem auf den 32,768 kHz Quarz genau abgestimmten Oszillator an Bord wird ein Stromverbrauch von nur 0,25 µA realisiert. Diese Eigenschaften machen den OV-1564-C2 im Miniaturkeramikgehäuse mit 5 x 3,2 x 1,2 mm geeignet für zeitgenaue Applikationen im batteriebetriebenen Bereich. Ein weiteres Beispiel für einen PXO ist der OSC01 von Siward, einem bekannten taiwanesischen Hersteller, der von Compotron in München vertrieben wird.

AUTOR



Siegfried W. Best,
Redaktion
elektronik industrie

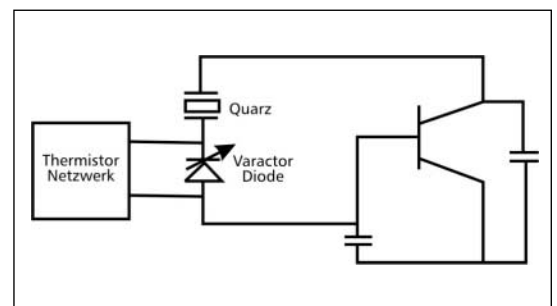
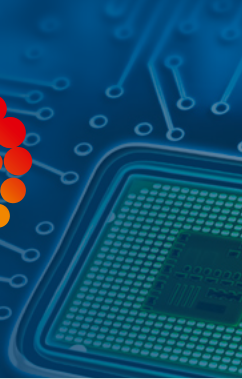


Bild 3: Prinzipschaltbild eines TCXOs. (Quelle: Vectron)



all-electronics.de
ENTWICKLUNG. FERTIGUNG. AUTOMATISIERUNG



Entdecken Sie weitere interessante Artikel und News zum Thema auf all-electronics.de!

Hier klicken & informieren!



Der PXO hat die Abmessungen 4,0 x 2,5 x 0,9 mm und ist ebenfalls ein so genannter Uhrenquarz mit 32,768 kHz. Seine wesentlichen Daten sind:

- ▶ Frequenzstabilität -55 ± 20 ppm (bei V_{dd} 3,3 V und 25 °C)
- ▶ Temperaturstabilität $-120 \dots +10$ ppm ($-20 \dots +70$ °C, 25 °C als Referenz)
- ▶ Stromaufnahme 1,5 μ A (200 nA Standby)
- ▶ Tastverhältnis 45...55 %
- ▶ Anstiegs/Abfallzeit < 200 ns (bei 3,3 V und 25 °C)
- ▶ Oszillator Anlaufzeit < 3 s
- ▶ Last < 15 pF

Spannungsgesteuerte Quarzoszillatoren VCXO

Ein VCXO (Voltage Controlled Quartz Oscillator) ist ein Quarzoszillator mit einer Kapazitäts/Varactordiode und einer entsprechenden Ansteuerung. Mittels dieser Diode kann die Frequenz des Quarzes über einen gewissen Bereich abgestimmt (gezogen) werden, wobei die Frequenz proportional der Spannung ist. VCXOs werden verwendet bei einfachen Taktgeneratoren, bei Sinusoszillatoren, bei TCXOs und OCXOs (siehe später). Ein wesentliches Merkmal der VCXOs ist der Ziehbereich der z. B. bei ± 100 ppm des Nominalwertes liegt. Ein extrem weiter Ziehbereich von ± 1500 ppm wird unter Verwendung von Piezoelementen als Resonator anstelle eines Quarzes erreicht.

VCXOs gibt es auch als Doppel-VCXOs, wie sie in Systemen zur Datenübertragung (z. B. SDH/ Multiplex) eingesetzt werden und in denen sie in einem einzigen Oszillator die Sende- und die Empfangsfrequenz erzeugen. Dieses bietet neben Platz- und Kosteneinsparung auch technische Vorteile. Beim 20 x 13 x 9,5 mm messenden Doppel-VCXO Typ PTV64100 von FOQ (**Bild 2**) z. B. ist immer nur ein Oszillator im Betrieb, was Störungen auf die andere Oszillatorfrequenz ausschließt. Er bietet ein Ausgangssignal mit einem geringen Phasenrauschen von z. B. -140 dBc im Abstand von 10 kHz vom Träger (typ. bei 155,52/166,628 MHz).

Temperaturkompensierte Quarzoszillatoren TCXO

Bei temperaturkompensierten Quarzoszillatoren wird der Temperaturgang des Quarzes mittels einer Kompensationsschaltung elektronisch kompensiert. Dabei unterscheidet man zwischen analog und digital kompensierten Typen.

Der analog kompensierte Quarzoszillator verfügt über ein Kompensationsnetzwerk bestehend aus Thermistoren (**Bild 3**). Diese bilden einen Spannungsteiler, dessen Teilspannungen von der Temperatur abhängen. Die Ausgangsspannung des Kompensationsnetzwerks steuert eine Varactordiode derart, dass die Frequenzabweichung des Quarzes entsprechend der jeweiligen Temperatur über die Varactordiode nachgezogen wird (**Bild 4**).

Jeder individuelle TCXO benötigt ein Kompensationsnetzwerk, das auf den jeweiligen Quarz abgestimmt wird. Der Aufbau des Kompensationsnetzwerkes richtet sich auch nach den Anforderungen nach Eingangsspannung, Temperaturbereich und -stabilität. TCXOs gibt es auch als spannungsgesteuerte Oszillatoren (TC/VCXO). ▶

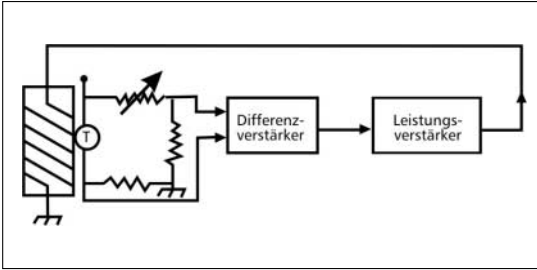


Bild 5: Prinzipschaltbild eines OXCOS. (Quelle: Vectron)

Digitalkompensierter Quarzoszillator DTCXO

Der digitalkompensierte Quarzoszillator enthält zwei Quarze oder einen Quarz und einen Temperatursensor in Form eines Thermistors. Die Lösung mit den zwei Quarzen beinhaltet einmal den so genannten Bezugsquarz, der einer geringe Temperaturabhängigkeit aufweisen muss, und zum anderen einen stark temperaturabhängigen Quarz zur Messung der Umgebungstemperatur. Die Frequenzen beider Quarze werden verglichen, die Differenz ist ein Maß für die Oszillatortemperatur. Der für die jeweilige Temperatur erforderliche Kompensationswert wird aus einem Festwertspeicher (PROM) ausgelesen und als Nachstimmspannung einem Frequenzkorrekturglied (z. B. Kapazitätsdiode) zugeführt.

Die ersten DTCXOs verwendeten dieses voll-digitale Verfahren, bei dem für jeden digitalisierten Temperaturwert der passende Kompensationsspannungswert aus einem PROM oder EPROM ausgelesen und über einen DA-Wandler auf die Kapazitätsdiode gegeben wurde, mit der die Frequenz nachgestimmt wird. Der Nachteil dieses Verfahrens ist, dass es beim Wechsel der Temperatur um ein Bit unvermeidlich Frequenzsprünge und u. U. Jitter gibt. Die heute verwendeten DTCXOs verwenden ein modernes gemischt analog-digitales Verfahren. Mit diesem Verfahren wer-

den Frequenzsprünge vermieden und man erhält ein niedriges Phasenrauschen. DTCXOs gibt es auch als spannungsgesteuerte Oszillatoren (DTC/VCXO).

Evakuierter Miniatur-Quarzoszillator EMXO

Der Evacuated-Miniature-Crystal-Oscillator (EMXO) schließt die Lücke zwischen dem hochpräzisen OXCOS und dem TCXO. Er ist die Lösung, wenn es auf spektrale Reinheit, hohe Kurz- und Langzeitstabilität, kleine Abmessungen und einen extrem reduzierten Stromverbrauch ankommt. Der EX-380/385 von Vectron z. B. ist ein kompakter DIP4-evakuierter, temperatur-

stabilisierter Quarzoszillator, der mit verschiedenen Frequenzen von 10 bis 80 MHz verfügbar ist und an 3,3 V, 5 V oder 12 V arbeitet.

Er misst nur 20,8 mm x 13,2 mm x 7,6 mm. Die Alterungsrate beträgt im Mittel $< 1 \times 10^{-9}$ /Tag, im ersten Jahr $< 1 \times 10^{-7}$ und über zehn Jahre immer noch $< 1 \times 10^{-6}$ bei einer Temperaturstabilität von $\pm 1 \times 10^{-7}$ über den Bereich von -40 bis 85 °C. Ein Temperatur-

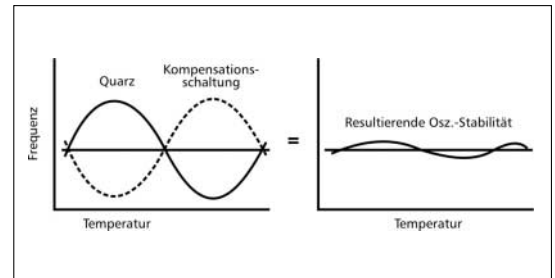


Bild 4: Resultierende Genauigkeit des TCXOs durch die Kompensation des Temperaturgangs. (Quelle: Vectron)

SI-OSZILLATOR ERSETZT QUARZ-OSZILLATOREN



Linear Technology liefert mit dem LTC6905 (Bild) einen sogenannten Siliziumoszillator, Maxim hat mit dem EconOscillator DS1088L ein vergleichbares Produkt im Programm. Diese frequenzgebenden ICs ersetzen Keramikresonator – bzw. Quarzbasierende Oszillatoren dort, wo Platz, Leistungsaufnahme, Anlaufzeit und Schock-/Vibrationsverhalten die Kriterien sind. Der LTC6905 im ThinSOT (nur 1 mm hoch) wird mittels externem Widerstand von 10 K...25 K auf Werte zwischen 17 und 170 MHz (CMOS-Rechteckausgangssignal) eingestellt, er schwingt in 100 µs ein und ist $\pm 0,5$ % frequenzgenau im Bereich 0...70 °C. Der externe Widerstand ist Bestandteil des frequenzbestimmenden RC-Gliedes, dessen C durch geschaltete Kapazitäten gebildet

wird. Der DS1088L dagegen wird in der Fabrik auf eine Frequenz zwischen 312 kHz und 133 MHz eingestellt (Abgleich eines RC-Gliedes), benötigt so keine weiteren Komponenten für die Frequenzeinstellung. Er liefert ebenfalls ein Rechtecksignal und ist $\pm 0,3$ % genau bei 25 °C und 3,3 V bzw. ± 1 % genau im Bereich -20...+85 °C/2,7...3,6 V. Untergebracht im microMAX8 Gehäuse benötigt er nur 25 % eines vergleichbaren Quarzoszillators, schwingt aber mit 100 µs wesentlich schneller ein.

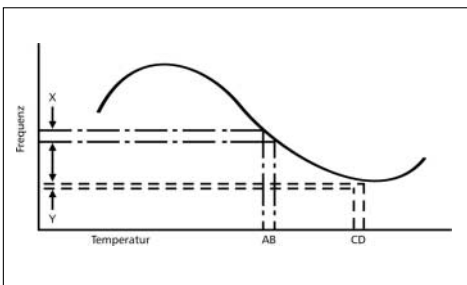


Bild 6: Einfluss der Ofentemperatur auf die Frequenzänderung eines OXCOS. (Quelle: Vectron)

KONTAKT

Linear Technology Kennz. 440

Maxim/Dallas Kennz. 441

Das Datenblatt des LTC6905 gibt es über

infoDIRECT **440EI0905**

Das Datenblatt des DS1088L gibt es über

infoDIRECT **441EI0905**

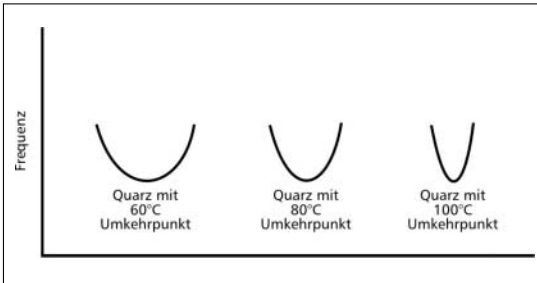


Bild 7: Mit zunehmender Temperatur wirken sich Temperaturänderungen verstärkt auf Frequenzänderungen eines Quarzes im OCXO aus. (Quelle: Vectron)

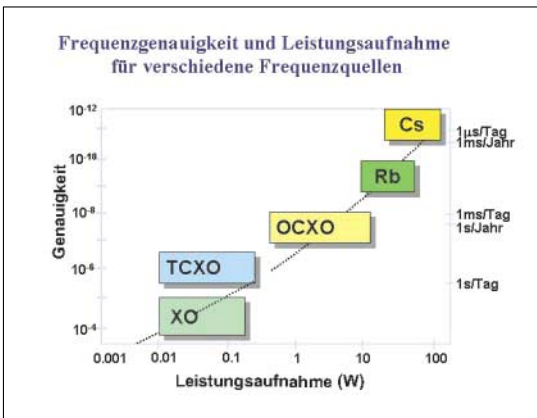


Bild 8: Frequenzgenauigkeit und Leistungsaufnahme für verschiedene Frequenzquellen. Rb ist Rubidium-Normal und Cs ist Cäsium-Normal. (Quelle: KVG)

bereich von -55 bis 85 °C ist ebenso verfügbar, ebenso eine SMD-Type.

Ofen-kontrollierter Quarzoszillator OCXO

Können die Stabilitätsanforderungen, die für eine Applikation gefordert werden, nicht von einem Quarzoszillator oder TCXO erfüllt werden, kommt der OCXO (Oven Controlled Quartz Oscillator) zum Einsatz. Die frequenzbestimmenden Teile des Oszillators sind in einem temperaturgere-

	XO	TCXO	OCXO	VCXO
Gesamtstabilität* 0...+50 °C	10...50	2,5...5	0,01...3	10...50
Gesamtstabilität* -20...+70 °C	20...100	3,0...10	0,01...5	20...50
Gesamtstabilität* -40...+85 °C	30...100	3,5...20	0,01...5	30...70
Applikationsbereiche	µC-Takt, Frequenzreferenz in Datenkommunikation, Zeitbasis	Messgeräte/ Systeme, Telekommunikation (GSM Handy), GPS-Empfänger	Frequenz/ Referenz-Takt, GSM Basisstationen, Messgeräte/-systeme	Spannungs-/ Frequenz-Wandler, Datensynchronisation, Takt- und Datenregeneration
Kosten	<10 Euro	5...50 Euro	10...1000 Euro	5...50 Euro

* Gesamtstabilität in ±ppm einschließlich Alterung über 10 Jahre

Tabelle 1: Typische Gesamtstabilität, Applikationsbereiche und Kosten der verschiedenen Oszillatortypen. (Quelle: KVG)

gelten Ofen untergebracht, dessen Temperatur in Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur gesteuert wird (Bild 5). Durch die Unterbringung des Quarzes in den temperaturgeregelten Ofen wird der Quarz bei konstanter Temperatur betrieben und es wird eine wesentlich höhere Stabilität erreicht z. B. von ±1 x 10⁻⁵ bis ±1 x 10⁻⁹ im Bereich 0...50 °C. Allerdings sind OCXOs wegen folgender Einschränkungen auch nicht perfekt:

- ▶ Die Schleifenverstärkung (offen) der Ofentemperaturregelung ist nicht unendlich.
- ▶ Innerhalb der Ofens gibt es Temperaturgradienten.
- ▶ Schaltungsteile, die nicht im Ofen sind und der Umgebungstemperatur ausgesetzt, können die Frequenz ziehen.

Diese Einschränkungen führen zu kleinen Änderungen der

Ofentemperatur bei Änderungen der Umgebungstemperatur. Welchen Einfluss die Wahl der Ofentemperatur auf Frequenzänderungen hat, zeigt Bild 6. Die Ofentemperatur muss immer einige Grad über der höchsten Umgebungstemperatur liegen. Allerdings haben hohe Ofentemperaturen den Nachteil, dass mit zunehmender Temperatur die Abhängigkeit der Frequenz immer größer wird (Bild 7). Außerdem altern Quarze bei höheren Temperaturen schneller.

Die Ausgangsfrequenz eines OCXO mit Quarz mit AT-Schnitt ist beim Einschalten (d.h. bei Raumtemperatur) gegenüber der später sich einschwingenden Betriebstemperatur wesentlich höher (typisch etwa 30 x 10⁻⁶). Nach dem Einschalten steigt die Frequenz schnell an und typischer Weise

wird je nach Design des OCXOs nach 5...30 Minuten die stabile Ausgangsfrequenz erreicht. OCXOs mit Quarzen mit SC-Schnitt erreichen schneller ihre Bezugsfrequenz als solche mit AT-Schnitt. OCXOs gibt es auch als spannungsgesteuerte Oszillatoren (OC/VCXO). Einen ausführlichen Artikel zum Thema OCXOs finden Sie auf Seite 40.

Zusammenfassung

Das Angebot an Quarzoszillatoren ist sehr breit gefächert. Je nach Anwendung und geforderter Stabilität kommen die genannten unterschiedlichen Oszillatortypen zum Einsatz, die in Tabelle 1 zusammengefasst sind. Diese Tabelle zeigt auch die wesentlichen Applikationsgebiete für die einzelnen Oszillator-Technologien. Im Bild 8 werden Frequenzgenauigkeit und Leistungsaufnahme der verschiedenen Oszillatortypen verglichen.

Im zweiten Teil dieses Artikels in *elektronik industrie* 10-2005 werden die wesentlichen Parameter von Oszillatoren einmal näher betrachtet. Diese sind: Frequenzstabilität, Temperaturstabilität, Phasenrauschen, Jitter, Ausgangspegel, Last, Alterung usw.

(wird fortgesetzt)

ANBIETER VON QUARZOSZILLATOREN	
Axal/Globes	Kennz. 420
Epson/Channel	Kennz. 431
FOQ	Kennz. 432
Geyer	Kennz. 433
Jauch	Kennz. 434
KVG	Kennz. 435
Micro Crystal	Kennz. 436
Siward/Compton	Kennz. 437
Unverdross Technik	Kennz. 438
Vectron	Kennz. 439

KONTAKT

Eine 34-seitige englische Applikations-schrift der Firma Vectron über die wesentlichen Merkmale und Parameter von PXOs, VCXOs, TCXOs und OCXOs gibt es über

infoDIRECT **420EI0905**