

TEMPERATURKOMPENSIERTE QUARZOSZILLATOREN

# TCXO ist nicht gleich TCXO

Temperaturkompensierte Quarzoszillatoren oder TCXOs sind in den heutigen drahtlosen Kommunikationssystemen weit verbreitet. Tatsächlich sind sie eine wichtige Komponente in Mobiltelefonen, PDAs und anderen Produkten im Bereich der drahtlosen Anwendungen. Doch TCXO ist nicht gleich TCXO.

GERD REINHOLD  
RAMON M. CERDA

TCXOs oder temperaturkompensierte Quarzoszillatoren unterscheiden sich von einfachen Quarzoszillatoren vor allem dadurch, dass eine zusätzliche interne Schaltung die Temperaturkennlinien des Quarzes kompensiert beziehungsweise korrigiert. Diese Kompensationsschaltung lässt sich in drei wesentliche Kategorien unterteilen: digital, analog oder gemischt analog/digital. Die unkompensierte Oszillatorkurve ist die eines typischen Quarzes mit AT-Schnitt. Die Kurve bestimmt sich primär durch den Winkel, mit dem der Quarzrohling geschnitten wird, und die Frequenzabweichung als Funktion der Temperatur verhält sich entsprechend einer Gleichung dritten Grades (Gleichung 1). Dabei

ist  $t$  die Ist-Temperatur,  $t_0$  ist  $+26\text{ °C}$  und  $a$ ,  $b$  und  $c$  sind die so genannten Bechmann-Koeffizienten. Als Massenware hergestellte TCXOs, auch »Commodity«-TCXOs genannt, sind typischerweise mit einer Frequenzstabilität zwischen  $\pm 1,5\text{ ppm}$  und  $\pm 5\text{ ppm}$  im Arbeitstemperaturbereich von  $-40\text{ °C}$  bis  $+85\text{ °C}$  lieferbar, wobei die meisten im Bereich von  $-30\text{ °C}$  bis  $+75\text{ °C}$  bei  $\pm 2,5\text{ ppm}$  spezifiziert sind. Frequenzstabilitäten unter  $\pm 1,5\text{ ppm}$

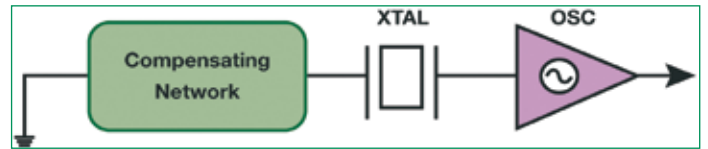


Bild 1: Blockschaltbild eines einfachen temperaturkompensierten Quarzoszillators (TCXO)

im Bereich von  $0\text{ °C}$  bis  $+70\text{ °C}$  sind vergleichsweise schwierig herzustellen und fallen daher eher in die Kategorie »High Performance«. In der Regel kostet die Massenware weniger als drei Euro pro Stück, während leistungsfähige Bausteine häufig bei zehn Euro je Stück und höher liegen. »Commodities« lassen sich in sehr kleinen Bauformen (z.B.  $5\text{ mm} \times 3,2\text{ mm} \times 1,5\text{ mm}$  oder sogar  $3,2\text{ mm} \times 2,5\text{ mm} \times 1\text{ mm}$ ) herstellen, wobei vereinzelt bereits noch kleinere Bauformen angeboten werden. Alle diese extrem kleinen Oszillatoren basieren auf einem ASIC, um die Produktion in großen Mengen kostengünstig zu ermöglichen. Aufgrund der spezifischen ASICs kann der Hersteller innerhalb der Produktfamilie nicht jede kundenspezifische Ausführung bezüglich Stabilität, Last, Phasenrauschen, etc. anbieten, jedoch

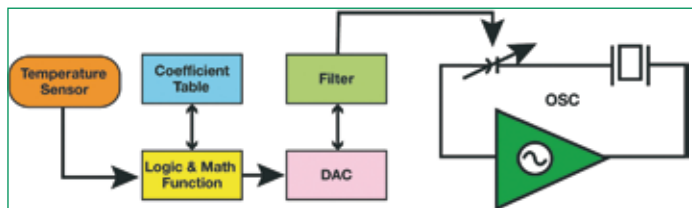
fast jede Frequenz innerhalb des Frequenzbereichs der Produktfamilie. Ferner sind alle diese kleinen TCXOs tatsächlich VC-TCXOs, das heißt, sie sind in der Regel mit einem Pin für elektrischen Abgleich (Voltage-Control-Funktion) versehen.

### Verschiedene Ausgangssignale möglich

Die möglichen Ausgangssignale bei diesen ASIC-basierten TCXOs sind grundsätzlich auf Ausgangssignale vom Typ Sinus oder »abgeschnittener Sinus« (Clipped Sinewave) beschränkt. Wird beispielsweise HCMOS benötigt, ist dies nur mit den größeren Bauformen möglich. High-Performance-TCXOs gibt es mit allen bekannten Ausgangssignalen (Sinus, HCMOS, LVPECL, usw.). Allerdings weist ein Oszillator mit Clipped-Sinewave-Signal einen wesentlichen Vorteil auf:

Oszillatortyp	Temperaturdrift zwischen $0\text{ °C}$ bis $+70\text{ °C}$	Temperatursensor	Mikroprozessor	Preisniveau
XO	$\pm 10\text{ ppm}$ bis $\pm 100\text{ ppm}$	nein	nein	am niedrigsten
VCXO	$\pm 10\text{ ppm}$ bis $\pm 100\text{ ppm}$	nein	nein	niedrig
TCXO	$\pm 0,1\text{ ppm}$ bis $\pm 5\text{ ppm}$	ja	nein	mittel
DTCXO/ ADTCXO	$\pm 1\text{ ppm}$ bis $\pm 5\text{ ppm}$	ja	nein	niedrig
DCXO	$\pm 0,05\text{ ppm}$ bis $\pm 5\text{ ppm}$	ja/nein	ja (in Host-Equipment)	niedrig
MCXO	$\pm 0,05\text{ ppm}$ bis $\pm 1\text{ ppm}$	ja	ja	am höchsten

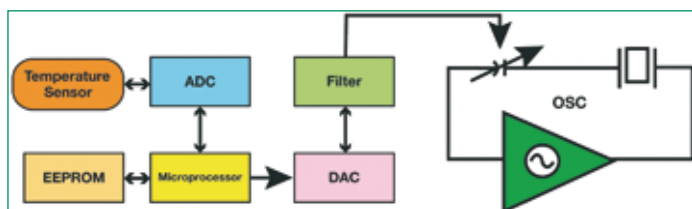
Tabelle 1: Vergleich verschiedener Oszillatortypen bezüglich Stabilität und Preis



**Bild 2: Blockschaltbild eines digital temperaturkompensierten Quarzoszillators (DTCXO)**

eine geringe Stromaufnahme. Der typische Wert dafür beträgt maximal 2 mA bei +3 V. Der interne Treiber für solche Ausgangssignale wird einfach durch den Kollektor eines bipolaren Transistors gespeist. Das bedeutet, dass die Last für den Oszillator eine hohe Impedanz aufweisen muss; in der

- TCXO: temperaturkompensierter Quarzoszillator (Bild 1),
- DTCXO: digital temperaturkompensierter Quarzoszillator (Bild 2),
- ADTCXO: analog/digital-temperaturkompensierter Quarzoszillator (ähnlich Bild 2, wobei D/A-Wandler (DAC) und Logik durch



**Bild 3: Blockschaltbild eines Mikroprozessor-kompensierten Quarzoszillators (MCXO)**

Regel ist eine Last von 10 kΩ erforderlich. Der Treiber für Clipped-Sinewave eignet sich somit besonders gut zum direkten Treiben von PLL-ICs (Phase-locked Loop) und bietet eine Lösung mit niedriger Stromaufnahme.

### Unterschiede in den Implementierungen

Technologisch stehen bei TCXOs vier digital implementierte und eine grundlegende analoge Ausführung zur Verfügung (Tabelle 1):

- eine Funktion dritten Grades beziehungsweise durch Analogverstärker ersetzt werden),
  - MCXO: Mikroprozessor-kompensierter Quarzoszillator (Bild 3) und
  - DCXO: digital gesteuerter Quarzoszillator.
- ADTCXOs kommen derzeit überwiegend bei Mobiltelefonen zum Einsatz und sind in Größen von 5 mm x 3,2 mm x 1,5 mm und kleiner lieferbar. Wegen ihrer geringen Größe und niedrigen Kosten

eignen sich diese Oszillatoren aber auch für viele andere Applikationen. Allerdings müssen Entwickler bei digital kompensierten Quarzoszillatoren (DTCXO) berücksichtigen, dass dabei wie bei den anderen digitalen Implementierungen Phasensprünge auftreten, wenn der Oszillator aufgrund einer erfassten Temperaturschwankung eine Korrektur ausführt. Dank ihres analogen »Back-Ends« führen ADTCXOs keine Phasensprünge aus. Ob ein Oszillator Phasen- oder Frequenzsprünge ausführt, ist in der Frequenz/Temperatur-Kurve eventuell nicht einfach erkennbar. Mit der ersten Ableitung der Frequenz/Temperaturdaten lassen sich Phasensprünge sichtbar machen. Eine andere Möglichkeit, diese Sprünge

**GERD REINHOLD** 

arbeitet im Produktmarketing FCP bei WDI


---

**RAMON M. CERDA**

leitet die Entwicklungsabteilung bei Crystek Crystals

intelligenz« kann folgende Punkte betreffen:

- Quarzfrequenz/Temperatur-Kurve,
- Taktgabe von einer externen Quelle (d.h. eine Basisstation kann den Takt für den PDA oder das Mobiltelefon liefern) und

**Formel 1** 

$$\frac{\Delta f}{f} \text{ in ppm} = a \cdot (t - t_0) + b \cdot (t - t_0)^2 + c \cdot (t - t_0)^3$$

darzustellen, ist die Durchführung eines Tests, wobei man den TCXO als Referenzfrequenz für einen Phasenregelkreis (PLL) verwendet und dann den Spannungsfehler am Phasenprüfer überwacht, während der TCXO über den Temperaturbereich betrieben wird. Wird ein großer Phasensprung nicht erfolgreich absorbiert, so kann er zahlreiche Kommunikationsverbindungen unterbrechen. Daher muss der Entwickler, der den Einsatz eines digital implementierten Oszillators in Erwägung zieht, im Vorfeld außerordentlich sorgfältig vorgehen.


### Digital gesteuerter Quarzoszillator

Der digital gesteuerte Quarzoszillator (DCXO) ist hier nicht als Blockschaltbild dargestellt, da er sich auf viele unterschiedliche Arten implementieren lässt. Ein DCXO wird definiert als ein Quarzoszillator, dessen Quarzfrequenz der (Host-)Mikroprozessor der Schaltung korrigiert. Die »Korrektur-

- Referenzfrequenz aus einer externen oder internen Quelle. Ein Entwickler eines DCXOs möchte eventuell nicht unbedingt die Stabilität eines guten TCXOs erreichen. Ziel kann es sein, einen Quarz mit ±25 ppm Grundgenauigkeit auf ±5ppm zu kompensieren beziehungsweise zu korrigieren – ohne die Kosten für einen separaten TCXO –, was für die gewünschte Performance der Applikation eventuell ausreicht. Wenn der Host-Mikroprozessor die Korrekturen durchführt, besteht auch der Vorteil, dass das Update bei der Übertragung – und möglicherweise beim Empfang – gehalten werden kann. (rh)

**WDI**  
**Telefon 0 41 03/18 00 0**  
**www.wdi.ag**

**Crystek Crystals**  
**Telefon 001/239/56 13 31 1**  
**www.crystek.com**

**Literatur** 

[1] John R. Vig, »Quartz Crystal Resonators and Oscillators«