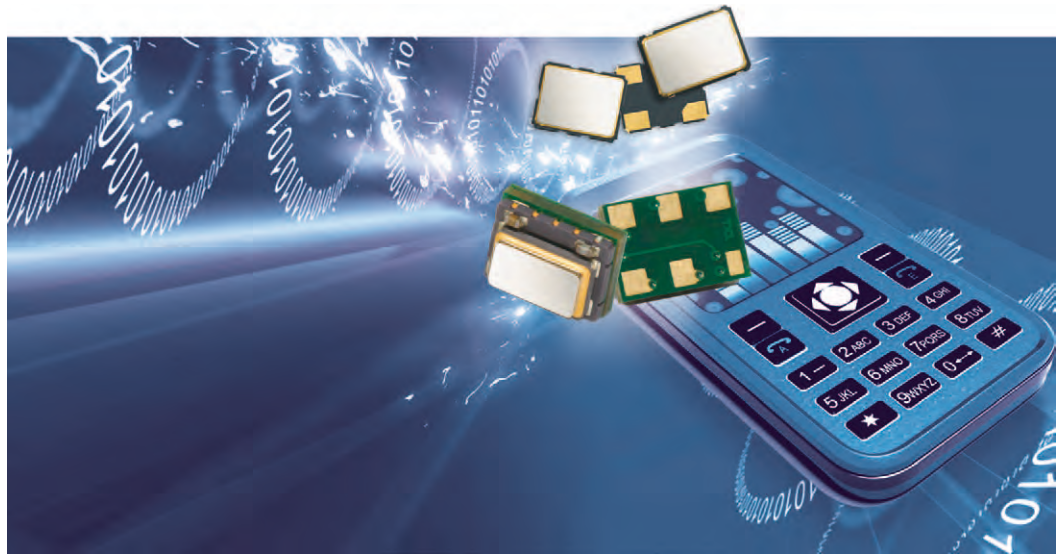


Funktionsprinzipien von TCXOs

Temperaturkompensierte Quarzoszillatoren (TCXOs) sind in den heutigen drahtlosen Kommunikationssystemen weit verbreitet. Sie sind inzwischen eine wichtige Komponente in Mobiltelefonen, PDAs und der wachsende Anzahl von Produkten im Bereich der „Wireless“-Anwendungen.



TCXOs unterscheiden sich von einfachen Quarzoszillatoren vor allem dadurch, dass diese durch zusätzliche interne Schaltungen die Temperaturkennlinien des Quarzes kompensieren bzw. korrigieren. Bild 1 veranschaulicht auf einfache Weise, wie der Quarz korrigiert wird. Die zusätzliche Kompensationschaltung ist in drei wesentliche Kategorien unterteilt: Digital, analog oder eine Kombination aus analog und digital.

Die unkompenzierte, in Bild 1 dargestellte Frequenzstabilität ist die eines typischen Quarzes mit AT-Schnitt. Es handelt sich um eine Kurvenfamilie, die primär durch den Winkel bestimmt ist, mit dem der Quarzrohling geschnitten wird. Diese Kurven verhalten sich entsprechend einer Gleichung dritten Grades folgender Form:

Als Massenware hergestellte TCXOs, auch „commodity“-TCXOs genannt, sind typi-

scherweise lieferbar mit einer Frequenzstabilität zwischen ± 1.5 ppm und ± 5 ppm im Arbeitstemperaturbereich von -40 °C bis $+85$ °C, wobei die meisten Standardspezifikationen im Bereich von -30 °C bis $+75$ °C bei ± 2.5 ppm spezifiziert sind. Frequenzstabilitäten unter ± 1.5 ppm im Bereich von 0 °C bis $+70$ °C sind vergleichsweise schwierig herzustellen und fallen daher eher in die Kategorie „high performance“-TCXOs. In der Regel kosten „commodity“-TCXOs weniger als 3,00 €/Stück, während „high performance“-TCXOs häufig bei 10,00 €/Stück und höher liegen.

„Commodity“-TCXOs können in sehr kleinen Bauformen - wie z.B. $5 \times 3,2 \times 1,5$ mm und sogar $3,2 \times 2,5 \times 1$ mm hergestellt werden, wobei noch kleinere Bauformen bereits vereinzelt angeboten werden. Alle diese extrem kleinen Oszillatoren sind ASIC-basiert, um die Produktion in

großen Mengen kostengünstig zu ermöglichen. Aufgrund der spezifischen ASIC's kann der Hersteller innerhalb der Produktfamilie nicht jede kundenspezifische Ausführung bzgl. z.B. Stabilität, Last, Phasenrauschen etc. anbieten, jedoch fast jede Frequenz innerhalb des Frequenzbereichs der Produktfamilie. Ferner sind alle diese kleinen TCXOs tatsächlich VC-TCXOs - d.h. sie sind i.d.R. mit einem Pin für elektrischen Abgleich (sog. Voltage-Control-Funktion) versehen.

Die möglichen Ausgangssignale bei diesen ASIC-basierten TCXOs sind grundsätzlich auf „clipped sinewave“ oder „sinewave“ Ausgangssignale beschränkt. Wird z.B. HCMOS benötigt, ist dies nur mit den größeren Bauformen möglich. „High-performance“-TCXOs gibt es mit allen bekannten Ausgangssignalen (Sinewave, HCMOS, LVPECL, usw.).

Das „clipped sinewave“-Signal weist überdies einen wesentlichen Vorteil auf: Die geringe Stromaufnahme. Die typische Stromaufnahme für „clipped sinewave“ beträgt max. 2 mA bei +3 V. Der interne Treiber für „clipped sinewave“-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 Regel ist eine Last von 10 kOhm erforderlich. Der Treiber für „clipped sinewave“ ist somit ideal geeignet zum direkten Treiben von PLL-ICs und bietet so eine Lösung mit niedriger Stromaufnahme.

Technologisch stehen bei TCXOs vier digital implementierte und eine grundlegende analoge Ausführung zur Verfügung:

- TCXO: Temperaturkompensierter Quarz-oszillator (Bild 2)
- ADTCXO: Analog/Digital temperaturkompensierter Quarzoszillator (Bild 3, hier gezeigt mit der Ausnahme, dass DAC und Logik durch eine kubische Funktion bzw. durch Analogverstärker ersetzt werden)
- DTCXO: Digital temperaturkompensierter Quarzoszillator (Bild 3)
- MCXO: Mikroprozessor-kompensierter Quarzoszillator (Bild 4)
- DCXO: Digital gesteuertes Quarzoszillator

Der in Abb. 3 dargestellte ADTCXO kommt derzeit überwiegend in der Mobiltelefonindustrie zur Anwendung und ist in Größen von $5 \times 3,2 \times 1,5$ mm

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

Wobei: t = Isttemperatur
 $t_0 = 26^\circ\text{C}$
 a, b und c = Bechmann-Koeffizienten

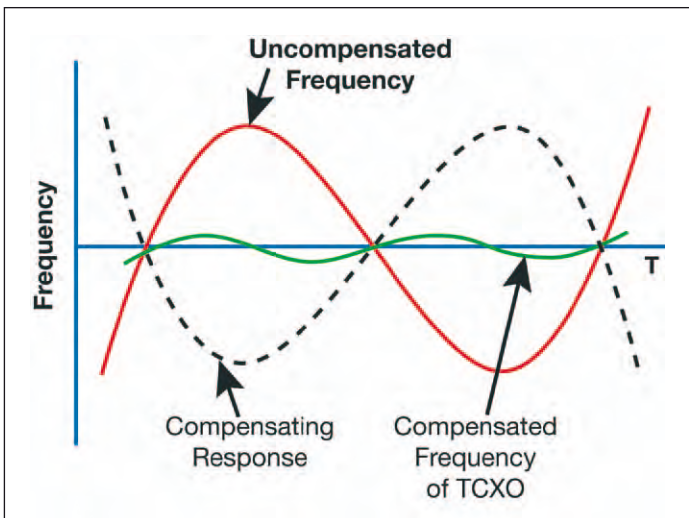


Bild 1: Unkompensierte Frequenzstabilität

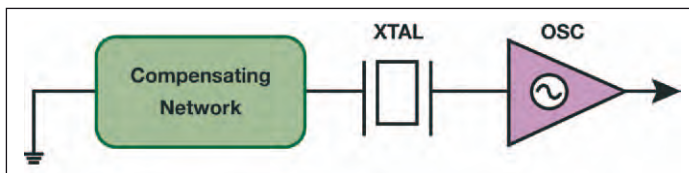


Bild 2: Temperaturkompensierter Quarzoszillator

und kleiner lieferbar. Diese Oszillatoren werden ebenfalls dank ihrer geringen Größe und niedrigen Kosten in vielen anderen Applikationen eingesetzt. Allerdings müssen Entwickler bei digital kompensierten Quarzoszillatoren (DTCXO) berücksichtigen, dass mit der DTCXO-Ausführung gemäß Abb. 3 und den anderen digitalen Implementierungen Phasensprünge auftreten, wenn der Oszillator aufgrund einer erfassten Temperaturschwankung eine Korrektur ausführt. Dank ihres analogen „Back-Ends“ führt die in Bild 3 gezeigte ADTCXO-Version keine Phasensprünge aus.

Ob ein Oszillator Phasen- oder Frequenzsprünge ausführt, ist in der Frequenz-vs-Temperaturkurve eventuell nicht einfach erkennbar. Mit der ersten Ableitung der Frequenz-/Temperaturdaten können Phasensprünge sichtbar gemacht werden. Eine andere Möglichkeit zur Darstellung der Phasensprünge ist die Durchführung eines Tests, wobei der TCXO als Referenzfrequenz für einen Phasenregelkreis (PLL) verwendet wird und der Span-

nungsfehler am Phasenprüfer überwacht wird, 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.

Der digital gesteuerte Quarzoszillator (DCXO) ist hier nicht als Block-Bild dargestellt, da er

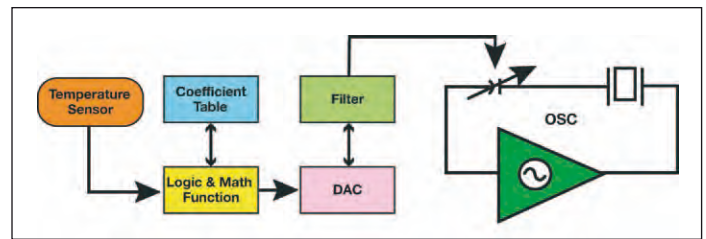


Bild 3: Digital temperaturkompensierter Quarzoszillator

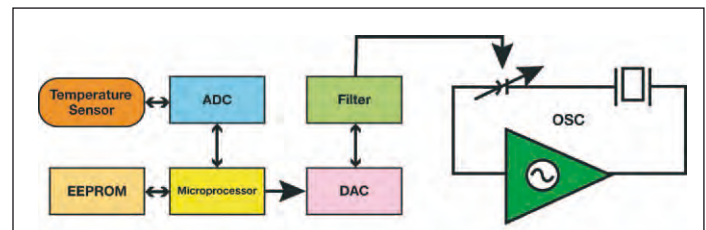


Bild 4: Mikroprozessorkompensierter Quarzoszillator

auf viele unterschiedliche Arten implementiert werden kann. Ein DCXO wird definiert als ein Quarzoszillator, dessen Frequenz des Quarzes durch den (Host-) Mikroprozessor der Schaltung korrigiert wird. Die Korrekturintelligenz kann folgende Punkte betreffen:

- 1) Quarzfrequenz-vs.-Temperaturkurve
- 2) Taktgabe von einer externen Quelle, d.h. eine Mobiltelefonstation kann den Takt für den PDA oder das Mobiltelefon liefern
- 3) Referenzfrequenz aus einer externen oder internen Quelle

Ein Entwickler eines DCXO's möchte eventuell nicht unbedingt die Stabilität eines guten TCXO's erreichen. So kann die Kompensation bzw. Korrektur

eines ± 25 ppm Quarzes auf ± 5 ppm – ohne die Kosten für einen separaten TCXO – das Ziel sein und für die gewünschte Performance der Applikation ausreichen. Ein weiterer Vorteil des Host-Mikroprozessors für die Durchführung von Korrekturen besteht darin, dass das Update bei der Übertragung – und möglicherweise beim Empfang – gehalten werden kann.

Tabelle 1 zeigt übersichtlich verschiedene Varianten von TCXOs, VCXOs und XOs in Bezug auf deren typische Frequenzstabilität vs. Preis.

Literaturhinweise

John R. Vig, "Quartz Crystal Resonators and Oscillators"

■ WDI AG
www.wdi.ag

Osc. Type	Freq VS Temp 0° to 70°C (± ppm)	Temp Sensor	µP	Price Range
XO	10 to 100	No	No	Lowest
VCXO	10 to 100	No	No	Low
TCXO	0.1 to 5	Yes	No	Medium
DTCXO/ ADTCXO	1 to 5	Yes	No	Low
DCXO	0.05 to 5	Yes and No	Yes (in host eqpt)	Low
MCXO	0.05 to 1	Yes	Yes	Highest