

VON DIPL.-ING. DAPHNE POPESCU, PRODUCT AND SALES MANAGEMENT, UND
DIPL.-ING. HANNES EHRENBURG, LEITER DESIGN- UND TESTCENTER, BEIDE BEI GEYER
ELECTRONIC

Den Takt vorgeben mit TCXO - klein, präzise, zuverlässig

*Entwicklung des Bedarfs an TCXOs (Temperature Compensated Crystal Oscillators)
und welche Vorteile dieser Oszillatortyp mit sich bringt.*

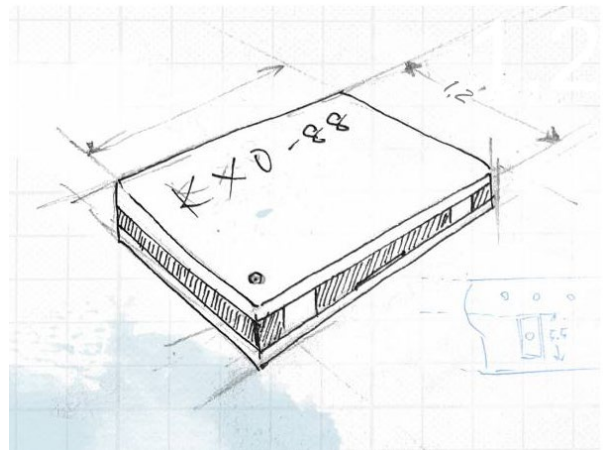
ABSTRACT

Der Trend zur Miniaturisierung bei immer anspruchsvolleren technischen Parametern macht sich auch im TCXO Bereich immer deutlicher bemerkbar.

Nicht nur die explosive Entwicklung der 5G Netze und der Automobilindustrie, sondern auch der IoT-Bereich, die mobile Kommunikationstechnik, die Medizintechnik verlangen nach Präzision.

Der TCXO war bereits 2019 der meistverkaufte Oszillatortyp und die Marktprognosen waren sehr gut.

Durch die letzten Krisenjahre wurde die Entwicklung in manchen Bereichen sehr gedämpft und Prioritäten neu gesetzt. Der deutliche Wiederaufschwung in diesem Oszillatorsegment, wird von den Herstellern mit extrem performanten Komponenten unterstützt.



GRUNDLAGEN

Im Folgenden fassen wir das Prinzip der Oszillatoren gemäss dem aktuellsten Stand der Technik zusammen. Die Änderungen, die den Fortschritt ausmachen, beziehen sich hauptsächlich auf die Frequenzstabilität, das Phasenrauschen und die Leistungsaufnahme.

Die folgenden 3 Gruppen von Quarzoszillatoren unterscheiden sich in den Maßnahmen zur Temperaturkompensation:

- **XO, Crystal Oscillator**, Quarzoszillator ohne besondere Maßnahmen zur Temperaturkompensation. Sein Temperaturverhalten ist gleich dem des eingesetzten Quarzes.
- **TCXO, Temperature Compensated Crystal Oscillator**, temperaturkompensierter Quarzoszillator, in dem durch temperaturabhängige Widerstände o.ä. eine Korrekturspannung erzeugt wird, welche zur Frequenzkorrektur verwendet wird. Analoge TCXOs können eine etwa 20fache Verbesserung gegenüber dem Quarz allein erreichen.
- **OCXO, Oven Controlled Crystal Oscillator**, thermostat geregelter Quarzoszillator, in welchem sich der Quarz und andere temperaturempfindliche Teile in einer Kammer befinden, deren Temperatur so gewählt wird, daß der Quarz keinen nennenswerten Temperaturgang mehr hat. OCXOs können eine mehr als 1000fache Verbesserung gegenüber dem Quarz allein erreichen.



Ein XO für den erweiterten Temperaturbereich hat typischerweise eine Frequenzstabilität von ca. 10 bis 50 ppm über den gesamten Temperaturbereich. Ein TCXO kann das in der Regel auf ca. 0,5-1 ppm reduzieren. Ein OCXO kann das unterbieten auf 0,01 ppm, aber mit dem Nachteil einer wesentlich höheren Leistungsaufnahme.

Inzwischen gibt es auf dem Markt auch spezielle TCXOs wie z.B. für Luft- und Raumfahrttechnik, mit deutlich besseren Frequenzstabilitäten und erweiterten Temperaturbereichen, allerdings sind diese hochpreisig und somit nicht für alle Anwendungsbereiche wirtschaftlich einsetzbar.

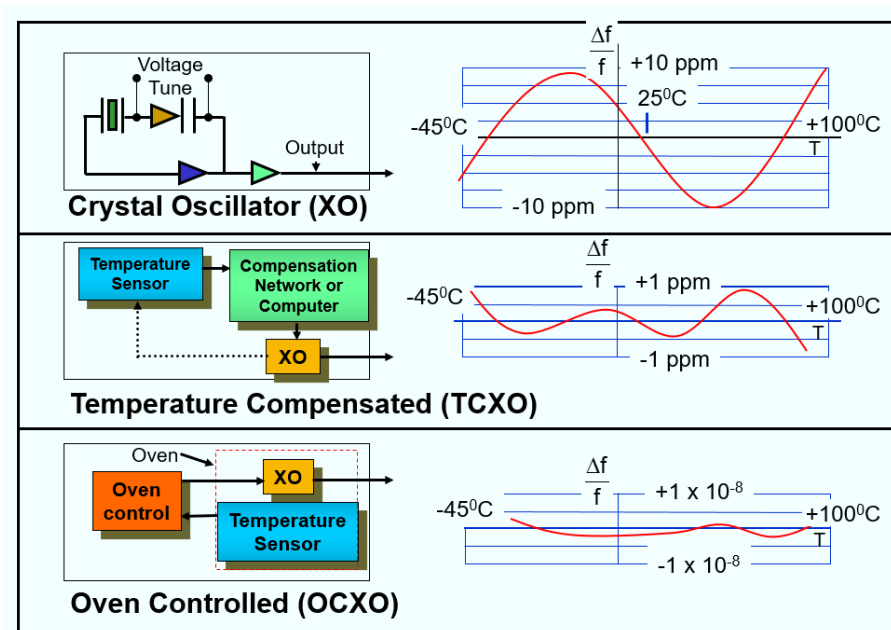
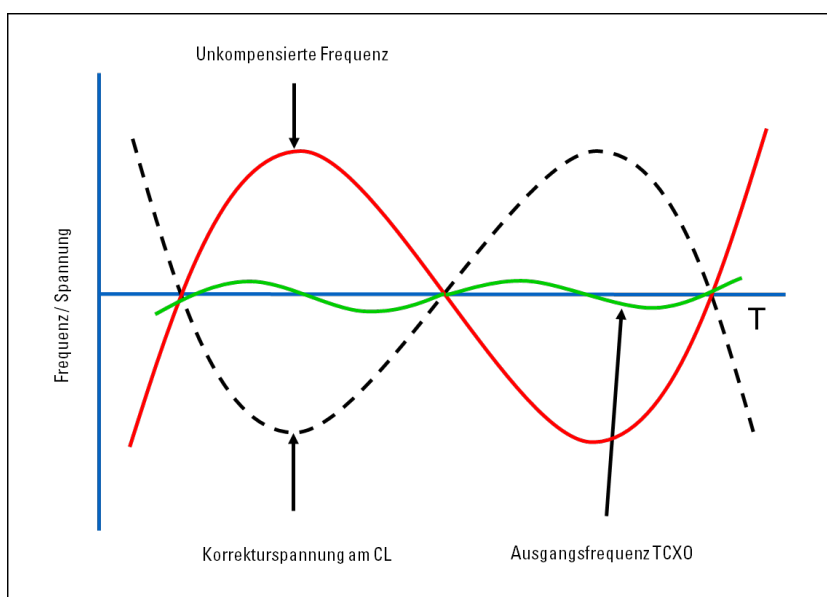


Bild 1: Prinzip und Frequenzabweichung der wichtigsten Oszillatortypen

Sollte eine zusätzliche Regelung über die Spannung notwendig sein, wird ein **VCTCXO (Voltage Controlled Temperature Compensated Oscillator)** eingesetzt. In diesem Fall wird die Frequenz mit Hilfe einer Steuerspannung (V_c) innerhalb gewisser Grenzen (pulling range - i.a. einige zehn ppm) verändert (gezogen).



Der Graph in dem Bild 2 zeigt die Korrekturspannung, die dem Oszillator zugeführt wird, um die Abweichung über den Temperaturbereich zu minimieren.

Bild 2: Regelpinzip des TCXOs

Die wichtigsten Kriterien bei der Oszillatorauswahl sind:

- Signal-Ausgang
- Frequenzgenauigkeit bzw. –stabilität
- Umgebungsbedingungen, z.B. Temperatur, Schock, etc.
- Stromverbrauch
- Phasenrauschen
- Baugröße
- Kosten

Während die gängigen Oszillatoren vorwiegend HCMOS- bzw. TTL Ausgänge haben, werden die TCXOs mit Sinus- oder HCMOS-Ausgang gefertigt. Diese unterscheiden sich im Wesentlichen durch:

Sinus-Ausgang = Clipped sine wave (CSW)

- u.a. geringere Leistungsaufnahme
- u.a. geringfügig weniger Phasenrauschen
- bessere EMV wegen weniger Oberwellen

HCMOS-Ausgang

- Definierte Schaltflanken
- Angepaßte Pegel für die entsprechenden Logik-Familien ($L < 0,1 V_{DD}$; $H > 0,9 V_{DD}$)

Quarzoszillatoren haben keine prinzipbedingte Ausfallmechanismen. Sie funktionieren in der Regel über Jahre innerhalb der Spezifikation. Wenn ein Quarzoszillator ausfällt, dann aus Gründen wie:

- Schlechte Lötstellen
- Verlust des Vakuums durch mechanischen Einfluß
- „Weglaufen“ der Temperaturkompensation bei Betrieb außerhalb der Spezifikation
- Nuklearstrahlung
- Schock und/oder Vibration

Eine Übersicht der gängigsten Oszillatortypen mit Standard-Parametern finden Sie in der nachfolgenden Tabelle. Die Werte sind nur beispielhaft. Sie sind hersteller- und typabhängig.

	XOs	VCXOs	TCXOs	VCTCXOs
Gehäusetypen	1.6x1.2 mm bis 7.0x5.0 mm	3.2x2.5 mm bis 7.0x5.0 mm	1.6x1.2 mm bis 7.0x5.0 mm	2.0x1.6 mm bis 7.0x5.0 mm
Oszillatorausgang	HCMOS + LVDS	HCMOS + LVDS	HCMOS + Clipped Sinewave	
Frequenzbereich	1.0–200.0 MHz (10.0-800 MHz LVDS)	1.0-170.0 MHz (20.0-700 MHz LVDS)	6-60 MHz	
Frequenzstabilität (typ)	±25 ppm @ -20°~+70°C ±25 ppm; ±50 ppm @ -40°~+85°C		±0.5 ~ 2.5 ppm @-40°~+85°C (typabhängig)	

Tabelle 1: Oszillatortypen im Vergleich

ANSPRUCHSVOLLE APPLIKATIONEN UND TRENDS

Während der Oszillatormarkt gemäss der allgemeinen wirtschaftlichen Situation in den Pandemie Jahren einen Einbruch erlitten hat, hat er sich inzwischen wieder erholt und weist laut Analysten auf einen signifikanten Anstieg in den nächsten 5 Jahren hin. Somit wird der ursprüngliche Wachstumstrend von 2019 weitergeführt und überschritten.

TCXOs finden immer mehr Resonanz in einzelnen Industriezweigen, sowohl im kommerziellen Bereich, im Rüstungsbereich, als auch im Industrie- und Medizinbereich.

Jede Schaltung für eine Applikation, die eine präzise und stabile Zeitreferenz benötigt, kann theoretisch mit einem TCXO gebaut werden.

In der Herstellung der TCXOs wird grossen Wert auf hochfertige Quarzblanks (Quarzscheiben) und der entsprechenden Beschaltungselektronik gelegt, um das Phasenrauschen und den Stromverbrauch zu minimisieren. Diese 2 Parameter bestimmen nebst der Frequenzstabilität maßgeblich die technische Performance des Oszillators und somit indirekt den Anwendungsbereich.

Die Evolution der 5G Netze, der Luft- und Raumfahrt- und der Rüstungsindustrie, bestimmen massgebend die Entwicklung der speziellen TCXOs mit einer Frequenzstabilität von ca. 10 ppb über einen erweiterten Temperaturbereich von -40 bis +105°C.

Der Consumer Bereich, der Automatisierungsbereich und immer häufiger die Medizintechnik greifen auf die eher gängigen TCXOs zu, wobei man hier ganz deutlich den Trend zur Miniaturisierung bei immer besseren Frequenzverhalten spürt.

Die Tabelle bietet einen einfachen Überblick zu den heutigen gängigsten Anforderungen und Trends bzgl. Frequenzpräzision und Gehäusotyp in den jeweiligen Bereichen. Es sind Richtwerte, die von Fall zu Fall mehr oder weniger stringent sind. Die Güte eines TCXOs wird, wie bereits beschrieben, von wesentlich mehr Parametern bestimmt, die man im Detail auf den Homepages der einzelnen Hersteller findet.

Applikation	Frequenzstabilität	Gehäuse
Telekommunikation	±0.5 ~ 2.5 ppm @-40°~+85°C	3.2x2.5 mm
Industry Automation	±1.5 ~ 2.0 ppm @-30°~+85°C	3.2x2.5 mm 2.5x2.0 mm
Medizintechnik	±0.5 ~ 2.0 ppm @-30°~+85°C	2.5x2.0 mm 2.0x1.6 mm 1.6x1.2 mm
IIoT	±0.5 ~ 1.5 ppm @-30°~+85°C	2.0x1.6 mm 1.6x1.2 mm
5G Netze, hochbitratige & geringe Latenz Netze, IEEE15588 BC und TC	Stratum3 konforme Stabilität <±0.4 ppm	7.0x5.0 mm 5.0x3.2 mm
Automotive	±2.5 ~ 5.0 ppm @-40°~+105°C	2.5x2.0 mm 2.0x1.6 mm
Luft- und Raumfahrt	±10 ppb @-40°~+105°C	7.0x5.0 mm
Verteidigungstechnik	±10 ppb @-40°~+105°C	7.0x5.0 mm

Tabelle 2: Applikationen für TCXOs und die gängigsten Frequenzstabilitäten

UNSERE PRODUKTE DAZU

Als langjähriger Hersteller von Quarzen und Oszillatoren gehen wir bei GEYER quartz technology immer mit der Zeit.

Mit unseren Produkten verfolgen wir die aktuellsten Marktanforderungen und bieten unseren Kunden stets die Möglichkeit, ihre Designs für die hoch präzisen Applikationen in der Mobilen Kommunikationstechnik, dem IOT-Bereich, in der Medizintechnik, u.a. mit TCXOs der neuesten Generation zu entwerfen.

Zuverlässige Signalübertragung, exzellente Frequenzgenauigkeit und ein niedriger Stromverbrauch sind nur einige der Parameter, die unsere TCXO Familie bietet. Die Liste der vollständigen Parameter finden Sie auf der GEYER Electronic Homepage: <https://www.geyer-electronic.de/produkte/oszillatoren/#4c7fae2048cc225e1ent>

	KXO-84	KXO-86	KXO-81	KXO-88
Gehäusetyp	3.2x2.5 mm	2.5x2.0 mm	2.0x1.6 mm	1.6x1.2 mm
Oszillatorausgang	HCMOS Clipped Sinewave	HCMOS Clipped Sinewave	HCMOS Clipped Sinewave	Clipped Sinewave
Frequenzbereich	8.0–70.0 MHz	13.0-56.0 MHz	9.5-60 MHz	13.0-52 MHz
Frequenzstabilität (typ)	±0.5 ~ 2.5 ppm @-40°~+85°C (typabhängig)		±0.5 ~ 2.5 ppm @-40°~+85°C (typabhängig)	
Stromverbrauch	2~2.5 mA max (typabhängig)			

Tabelle 3: GEYER Elektronik TCXOs

Neben den bereits etablierten Gehäusetypern der neuen Generation, KX-86, KX-84 und KX-81, haben wir im letzten Jahr einen weiteren Schritt in die Miniaturisierung gemacht und den KXO-88 über seinen breiten Frequenzbereich in den Markt eingeführt.

Mit einer Größe von nur 1.6 x 1.2 mm Grundfläche ist dieser TCXO für den Einsatz in allen Anwendungen mit geringem Platzbedarf und niedrigem Stromverbrauch bestens geeignet.

Die wichtigsten Leistungsmerkmale dieser TCXO Familie sind:

- Abmessung: 1.6 x 1.2 mm
- Bauhöhe: max. 0.8 mm
- Arbeitstemperaturbereich: -30° C bis +85° C
- Frequenzbereich: 13 bis 52 MHz
- Frequenzstabilität: +/- 0.5 ppm
- Stromverbrauch: nur noch 2 mA max.
- Phase Noise: -145 dBc/Hz bei 10 kHz

Ob Stromzähler, medizinisches Diagnosegerät oder Gesundheitstracker - unsere hochpräzisen Quarze und Oszillatoren erfüllen effizient und kostenoptimiert die technischen Anforderungen.

FAZIT

Der Markt für TCXOs ist unter den Oszillatoren derjenige, der sich weltweit am schnellsten entwickelt und auch wenn erneut unvorhergesehene Ereignisse eintreten sollten, ist die aktuelle Entwicklung doch nicht aufzuhalten.

Es wird immer präziser „getaktet“. Jedoch benötigen nicht alle Anwendungen den Oszillator mit der best möglichen Genauigkeit.

Wenn man die Analogie zu einer Autobahn wählt, dann fährt jedes Gerät mit seinem eigenen Takt, in seiner eigenen Bauform auf dem Highway und darf dabei nicht viel verbrauchen.

Wichtig ist, dass man die Freiheitsgrade und die Einschränkungen der Applikationen gut kennt – dann ist die Auswahl des Bauteils schon gegeben.

GEYER Electronic GmbH unterstützt Sie bei der Auswahl des Produktes, das am besten aus Preis- bzw. Leistungssicht zu Ihrer Applikation passt.