

BY DIPL.-ING. DAPHNE POPESCU, PRODUCT AND SALES MANAGEMENT, UND
DIPL.-ING. HANNES EHRENBURG, HEAD R&D CENTER, BEIDE BEI GEYER ELECTRONIC

Quarz oder TCXO basiertes Design - Wo liegt der 'technische Break-Even'?

*Für welche Anwendung/Spezifikationsbereich reicht ein präziser Quarz aus
und wann ist ein TCXO empfehlenswert?*

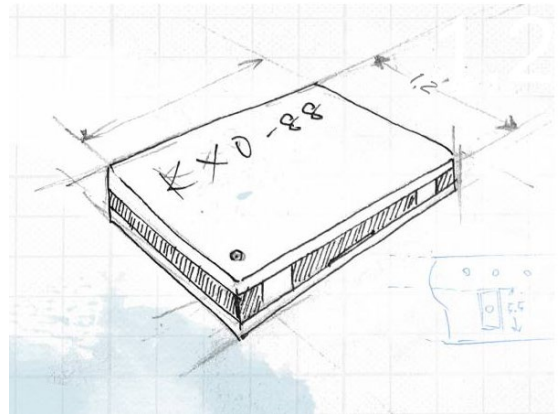
ABSTRACT

TCXOs spielen eine immer größere Rolle, da es zunehmend mehr Anwendungen gibt, bei denen Entwickler die Verwendung eines präzisen Oszillators anstelle eines Quarzes in Betracht ziehen, wobei sie die Mehrkosten für den Übergang in Kauf nehmen.

Viele Artikel und White Papers in der Bauelementebranche befassen sich mit der Definition und der Funktion eines temperaturkompensierten Quarzoszillators (TCXO) und beschreiben Anwendungsfälle, in denen ein TCXO besser geeignet ist als ein normaler Oszillator.

Es gibt jedoch nur wenige Informationen über die Antwort auf die Frage: wann ist ein Design mit hochpräzisen Quarzen gut genug oder wann erfüllt ein TCXO die Anwendungsanforderungen besser?

In diesem kurzen Beitrag zeigen wir paar Beispiele auf, bei denen selbst ein sehr präziser, kundenspezifischer Quarz für die strengen Anforderungen des Anwendungsfalls nicht ausreicht, und nennen dies den „technischen Break-even“ eines TCXO im Vergleich zu Quarzen, auch wenn diese Formulierung nicht ganz zutreffend ist.



Grundlagen

Ein TCXO ist ein Oszillator, der einen Quarz mit einer Temperaturkompensationsschaltung integriert, um den Frequenzdrift aufgrund von Temperaturschwankungen zu minimieren. Die Kompensationsschaltung verwendet in der Regel eine analoge oder digitale Schaltung, um die Ausgangsfrequenz des Oszillators auf der Grundlage von Temperaturänderungen anzupassen.

Die wichtigsten Merkmale von TCXOs sind:

- hohe Frequenzstabilität über einen bestimmten Temperaturbereich
- Geringes Phasenrauschen
- Verschiedene Ausgangstypen: Clipped Sine Wave, HCMOS
- Unterschiedliche Spannungsversorgungen
- Vielfältige SMD-Gehäusetypen



Ein Standardquarz ist für eine typische Frequenzstabilität von 12-50 ppm über die Temperatur ausgelegt, während ein normaler XO-Oszillator in der Regel eine Frequenzstabilität von etwa 25-50 ppm über denselben industriellen Temperaturbereich aufweist.

Mit einem TCXO kann der Frequenzdrift je nach Anforderung auf etwa 0.5-2 ppm reduziert werden.

Mit einem OCXO kann dieser Wert auf 0.01 ppm gesenkt werden, allerdings mit dem Nachteil eines wesentlich höheren Stromverbrauches.

Eine typische TCXO-Temperaturkurve sieht relativ flach aus, mit nur geringen Schwankungen, im Vergleich zu einem unkompenzierten Quarz, der eine parabolische Form aufweist (siehe Abbildung 1).

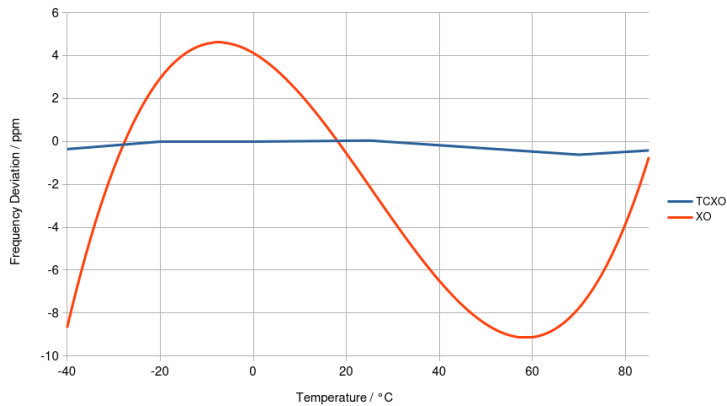


Abb 1: TCXO-Kompensationskurve im Temperaturverlauf

Der Temperatursensor misst die Umgebungstemperatur, die die Kompensationsschaltung aktiviert, und passt die Frequenz des Oszillators wieder an die Nennfrequenz an.

Unabhängig von der Art des Kompensationsmechanismus - analog, digital oder hybrid - ist dies das Merkmal des TCXO.

ANWENDUNGSFÄLLE für TCXO

Wenn die Vorteile einer Temperaturkompensation überwiegen, bleibt die Frage: wann entscheidet sich ein R&D-Entwickler für den Einsatz eines TCXO? Die Antwort ist eigentlich ganz einfach: der TCXO ist unverzichtbar für Anwendungen, die eine präzise Zeitmessung und Signalsynchronisation erfordern.

In diesen beiden Fällen gibt es keine andere gute Lösung als ein TCXO-basiertes Design, sowohl vom technischen Standpunkt aus als auch aus Kostengründen.

In einem früheren Whitepaper hatten wir uns auf die unterschiedlichen TCXO Typen und die häufigsten Anwendungen konzentriert, in denen diese Bauteile verwendet werden.

Die Anforderungen der Anwendungsfälle ändern sich ständig, da sich auch die Technologie weiterentwickelt.

Während die Entwicklung der Rüstungsindustrie, der 5G-Netzwerke und der Luft- und Raumfahrt die Entwicklung von Hochleistungs-TCXOs über einen weiten Temperaturbereich maßgeblich vorantreibt, werden im Automatisierungssektor, in dem Smart-Environment Bereich, bei IoT-Anwendungen und zunehmend auch im Gesundheitswesen häufiger TCXOs verwendet, bei denen die Anforderungen an Präzision, Miniaturisierung und geringem Stromverbrauch Hand in Hand gehen.

In den folgenden Beispielen für gängige Anwendungsfälle haben wir untersucht, inwiefern reguläre TCXOs das Verhalten der Geräte verbessern können.

SMART Metering - TCXO oder Quarz Design?

Alle intelligenten Zähler, unabhängig vom Typ, benötigen:

- drahtlose Kommunikation (hauptsächlich protokollunabhängig)
- präzise Zeitsynchronisation für genaue Datenanalyse und zuverlässige Datenübertragung innerhalb des Netzwerks
- Betrieb über einen erweiterten Temperaturbereich für den Einsatz in unterschiedlichen Umgebungen
- geringen Stromverbrauch für eine lange Batterielebensdauer

Quarze erfüllen diese Anforderungen perfekt, da sie:

- Kommunikationsbus-unabhängige Komponenten sind
- ausgelegt für eine Alterung von ca. ± 10 ppm über 20 Jahre
- geringe Toleranzen von ± 10 -15 ppm über den gesamten Industrietemperaturbereich bieten
- eine Gesamtlebensdauer-Toleranz von ± 20 ppm bis ± 25 ppm aufweisen
- ein ausgezeichnetes Preis-/Leistungsverhältnis aufzeigen

Warum also das Design auf einen TCXO umstellen?

Geringerer Stromverbrauch zur Verlängerung der Batterielebensdauer in abgelegenen und netzunabhängigen Zählern und verbesserte Zuverlässigkeit in Außenumgebungen mit erheblichen Temperaturschwankungen sind nur zwei Gründe, die den Einsatz eines TCXOs rechtfertigen. Bei einer typischen Frequenz von 32 MHz können Sie bei einer 10-fachen Verbesserung der Toleranz über den Temperaturbereich beim Umstieg von einem Quarz zu einem TCXO damit rechnen, anfangs etwa das 3-4-fache des Preises eines Quarzes zu zahlen.

Das mag angesichts der Preisempfindlichkeit des Marktes viel klingen. Der Preisvergleich ist jedoch nicht ganz akkurat, da man auch die R&D Kosten sowie die Komponentenkosten berücksichtigen muss, die aufgewendet werden, um in der Anwendung mit einem herkömmlichen Quarz eine ähnliche Stabilität zu erreichen. Darüber hinaus sinken die Preise für TCXOs kontinuierlich aufgrund des ansteigenden Bedarfs und somit höheren Produktionsmengen.

Umweltüberwachung und Smart Cities - die Rolle der TCXOs in der Nachhaltigkeit

Oszillatoren werden in der Umweltüberwachung und Smart-City-Infrastrukturen eingesetzt, wo IoT-Geräte eine wichtige Rolle bei der Verbesserung der Lebensqualität und Nachhaltigkeit spielen.

Wetterstationen, Luftqualitätsüberwachung und landwirtschaftliche IoT-Sensoren sind nur einige Beispiele für IoT-Geräte, die eine genaue Datenerfassung und Berichterstattung mit einem präzisen Zeitstempel benötigen, um Luftverschmutzung, Wasserqualität und andere Umweltfaktoren zuverlässig zu überwachen.

TCXOs und VCTCXOs helfen dabei, die für die langfristige Überwachung erforderliche Präzision zu gewährleisten.

Während ein niedriger Stromverbrauch und ein präziser Zeitstempel auch mit Quarzen erreicht werden können, kann die Synchronisierung der Daten über ein drahtloses Protokoll wie LoRa, Zigbee, NB-IoT usw. gepaart mit einer korrekten Überwachung unter allen Wetterbedingungen nur mit Komponenten erreicht werden, die den Temperaturdrift geringhalten.

IoT und Low Power Geräte – ein TCXO Beitrag zur Energieeffizienz

TCXOs bieten ein gutes Gleichgewicht zwischen Stabilität, geringem Stromverbrauch und Kosteneffizienz und sind daher eine optimale Wahl für IoT-Geräte, die häufig batteriebetrieben sind und bei denen Energieeffizienz eine ihrer obersten Prioritäten ist.

Stromsparende IoT-Systeme, wie z. B. Sensoren, nutzen den so genannten „Sleep-mode“, d. h. sie arbeiten intermittierend, „wachen“ auf, um Messungen vorzunehmen, und kehren dann in einen energiesparenden Schlafmodus zurück. TCXOs werden in Sensoren, im Industriemonitoring, bei der Fernüberwachung von Umgebungen usw. eingesetzt, um ein genaues Timing aufrechtzuerhalten, während sie während der Ruhephasen sehr wenig Strom verbrauchen. Sie arbeiten mit stromsparenden Mikrocontrollern zusammen und bilden so ein Komponentenpaar, das zur Energieeffizienz des Geräts beiträgt, die Batterielebensdauer verlängert und gleichzeitig ein optimales Verhältnis zwischen Leistung und Stromverbrauch schafft.

Viele IoT-Geräte, wie z. B. Wearables oder Umweltsensoren, erfordern eine kontinuierliche Überwachung und Aufzeichnung von Daten. TCXOs helfen dabei, genaue Zeitstempel für die gesammelten Daten zu erhalten, um eine zuverlässige zeitbasierte Analyse zu gewährleisten.

SoCs (System on a Chip) mit sehr niedrigem Stromverbrauch passen perfekt zu kleinen Quarzen mit einer Gehäusegröße von nur 2.0x1.6 mm. Sie können auch mit einem TCXO in dieser Gehäusegröße arbeiten, was den Vorteil einer hohen Frequenzstabilität über einen weiten Temperaturbereich mit sich bringt, während die Synchronisation erhalten bleibt und Paketverluste reduziert werden.

HealthCare und medizinische Geräte – TCXO für bessere Zuverlässigkeit

Die Gesundheitsbranche ist eine der Branchen, die sehr breit gefächert ist und gleichzeitig extrem hohe technische Anforderungen stellt.

Die ständige Weiterentwicklung der medizinischen Geräte in den letzten Jahren hat zu einer anspruchsvolleren Auswahl der elektrischen Komponenten geführt, die bei der Herstellung der Geräte verwendet werden. Immer häufiger werden TCXOs verwendet, da ihre Leistung die Zuverlässigkeit verschiedener Geräte gewährleistet, wie zum Beispiel:

- Patientenüberwachungssysteme
- MRT- und CT-Scanner
- Ultraschallgeräte
- Hörgeräte und Implantate
- Medizinische IoT-Sensoren
- Wearable Health Devices

Medizinische Geräte werden zwar häufig in kontrollierten Umgebungen wie Krankenhäusern oder Arztpraxen eingesetzt, können aber dennoch Temperaturschwankungen ausgesetzt sein. Daher ist eine hohe Frequenzstabilität von 0.5 bis 1 ppm von Nutzen.

Geringes Phasenrauschen und stabile Frequenzen gewährleisten eine stabile drahtlose Verbindung und verhindern Signalverluste oder Interferenzen mit anderen Geräten.

Alle bildgebenden Verfahren (Ultraschall, MRT, Röntgen usw.) erfordern hochpräzise Komponenten, um hochauflösende, kontrastreiche und scharfe Bilder auch in klimatisch unterschiedlichen Umgebungen zu erstellen.

Überwachungs- und lebenserhaltende Systeme, z. B. in der Intensivmedizin, müssen auch unter problematischen Bedingungen einen absolut sicheren Betrieb gewährleisten.

Autonomes Fahren und Mobilität – TCXO – ein Muss für die Sicherheit

Die Automobilindustrie stellt seit jeher hohe Anforderungen an die Präzision, da selbst die kleinste Abweichung von der vorgesehenen Funktionalität die Sicherheit der Menschen und die Zuverlässigkeit der Anwendung beeinträchtigen kann. Mit der Entwicklung zum autonomen Fahren wird die Genauigkeit der Zeit- und Frequenzsteuerung noch wichtiger und die Sicherheitsanforderungen werden stringenter. Die dynamische Erkennung der „Umgebung“ eines autonomen Fahrzeugs (Kameras, Radar, LIDAR usw.) muss auch unter den widrigsten Bedingungen zuverlässig und sicher funktionieren.

Bei Elektroautos müssen Energiemanagement, Ladevorgang, Batteriemanagement und korrekte Abrechnung unter allen Wetterbedingungen funktionieren.

Schwingquarze und Standardoszillatoren haben in dieser Branche gute Dienste geleistet und werden dies auch in Zukunft tun. Sie sind klein, zuverlässig und werden speziell für die von der Automobilindustrie geforderten Zertifizierungen hergestellt und getestet.

TCXOs sorgen für eine weitere Genauigkeitsstufe, indem sie die Temperaturabweichungen unter allen klimatischen Bedingungen geringhalten und gleichzeitig eine zusätzliche Präzision für die Automobilanwendungen bieten.

TCXOs sowie alle anderen Frequenzkomponenten, die in der Automobilindustrie verwendet werden, erfordern spezielle AEC-Q-Zertifizierungen.

UNSERE PRODUKTE für DESIGNS mit TCXO

Als zuverlässiger Entwicklungspartner für unsere Kunden und als langjähriger Komponentenhersteller greifen wir bei GEYER Quartz Technology die neuesten Industrietrends auf und behalten dabei die Flexibilität in Design und Fertigung. Wir bieten eine breite Palette von Oszillatoren an. Je nach Anwendung bieten wir Oszillatoren der Typen PXO/XO/SSO, VCXO/LVDS/PECL, TCXO/VCTCXO aus unserem Produktportfolio an oder erfüllen die kundenspezifischen Anforderungen. Kontinuierliche technische Verbesserungen bei Parametern wie Phasenrauschen und Stabilität sowie die Senkung der Produktionskosten qualifizieren uns für Kundendesigns mit TCXOs der neuesten Generation.

Wie einige unserer Anwendungsbeispiele zeigen, kann die TCXO-Produktfamilie von GEYER (siehe Tabelle 1) in hochpräzisen Anwendungen wie IoT, Smart Environment, Medical und vielen anderen Bereichen eingesetzt werden.

	KXO-83	KXO-84	KXO-86	KXO-81	KXO-88
Gehäuse	5.0x3.2 mm	3.2x2.5 mm	2.5x2.0 mm	2.0x1.6 mm	1.6x1.2 mm
Oszillator Ausgang	HCMOS Clipped Sinewave	HCMOS Clipped Sinewave	HCMOS Clipped Sinewave	HCMOS Clipped Sinewave	Clipped Sinewave
Frequenzbereich	6.0–40.0 MHz	8.0–70.0 MHz	13.0-56.0 MHz	9.5-60.0 MHz	13.0-52.0 MHz
Frequenzstabilität (typ.)	±0.5 ~ 2.5 ppm @-40°~+85°C (Typ-abhängig)				

Tabelle 1: GEYER Electronic TCXOs

Zuverlässige Signalübertragung, hervorragende Frequenzgenauigkeit und geringer Jitter sind nur einige der Parameter, die unsere TCXO-Produktfamilien bieten. Die Liste der wichtigsten Parameter finden Sie auf der Produktseite der GEYER-Oszillatoren:

<https://www.geyer-electronic.de/produkte/oszillatoren/>

Unser Webshop unterstützt Sie bei der Auswahl des Produkts, das Ihren Anforderungen in Bezug auf Leistung und Preis am besten entspricht. Für anspruchsvolle Anwendungen stellen wir kundenspezifische Komponenten her, die auf die Anforderungen Ihres Anwendungsfalls und der Lebensdauer zugeschnitten sind.

Basierend auf der Marktentwicklung bieten wir spezialisierte Entwicklungskits und Referenzdesigns für die Kombination aus Ihrem IC/SoC und dem TCXO Ihrer Wahl. In unserem R&D-Labor beraten wir Sie nicht nur bei der Auswahl der besten Komponenten für Ihr Design, sondern optimieren auch Ihre Oszillatorschaltung für die spezifischen Anforderungen Ihrer Anwendung.

FAZIT

Die Bedeutung des TCXO in HW-Designs nimmt, angetrieben durch Anwendungen mit immer höheren Anforderungen, kontinuierlich zu.

Die Ergebnisse unserer Analyse in einzelnen Anwendungsfällen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- TCXOs sind überall dort unverzichtbar, wo eine äußerst präzise Zeitmessung und Signalsynchronisation erforderlich ist, da sie die Temperaturschwankungen am besten kompensieren.
- Die Entscheidung zwischen Quarzen und Oszillator/TCXO muss von Fall zu Fall von den R&D-Entwicklern auf der Grundlage eines mittelfristigen/langfristigen Business Case getroffen werden: Anwendungspräzision vs. Kosten. Das ist keine Entscheidung allein auf Komponentenebene. Ein Quarz wird immer die kostengünstigste Frequenzkomponente sein, aber für die besten Genauigkeit über die Temperatur bedarf es noch zusätzlichen Komponenten.
- Bei steigendem Volumen aber auch Präzision sinken die Produktionskosten für TCXOs kontinuierlich
- TCXOs werden bald zu „Commodity-Ware“.

Anders als beispielsweise bei 5G-Netzen und in der Luftfahrt erfordert nicht jede Anwendung extrem leistungsfähige oder spezielle TCXOs.

Letztendlich gibt es keinen generellen „technischen Break-Even“ für TCXOs. Es handelt sich um eine bewusste technische Entscheidung, die den mittelfristigen Kostenanstieg des Produkts oder der Dienstleistung berücksichtigt.

Für technische Beratung, Design-Unterstützung und Angebote mit TCXO und anderen Komponenten, kontaktieren Sie uns einfach über unsere Website, Webshop oder per E-Mail.