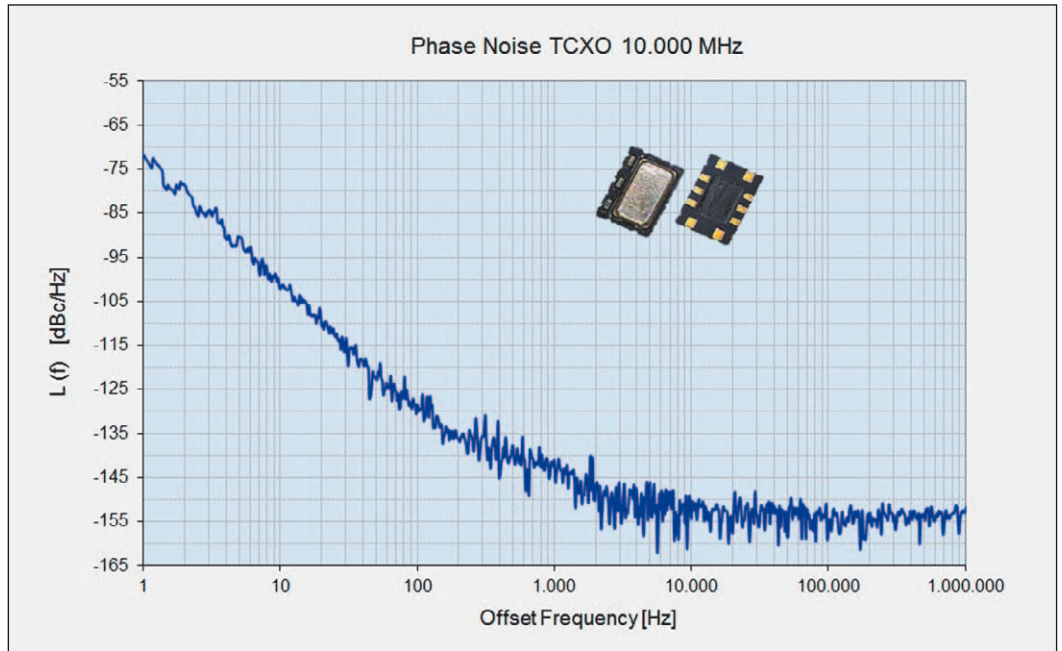


# Frequenzstabilität von OCXOs – noch immer unerreich

**OCXOs sind im Vergleich zu TCXOs oder TCMOs groß und schwer und benötigen ein Vielfaches an elektrischer Leistung. Zudem sind sie in der Regel auch noch wesentlich teurer. Kein Entwickler setzt daher gerne OCXOs ein, wenn es nicht sein muss.**

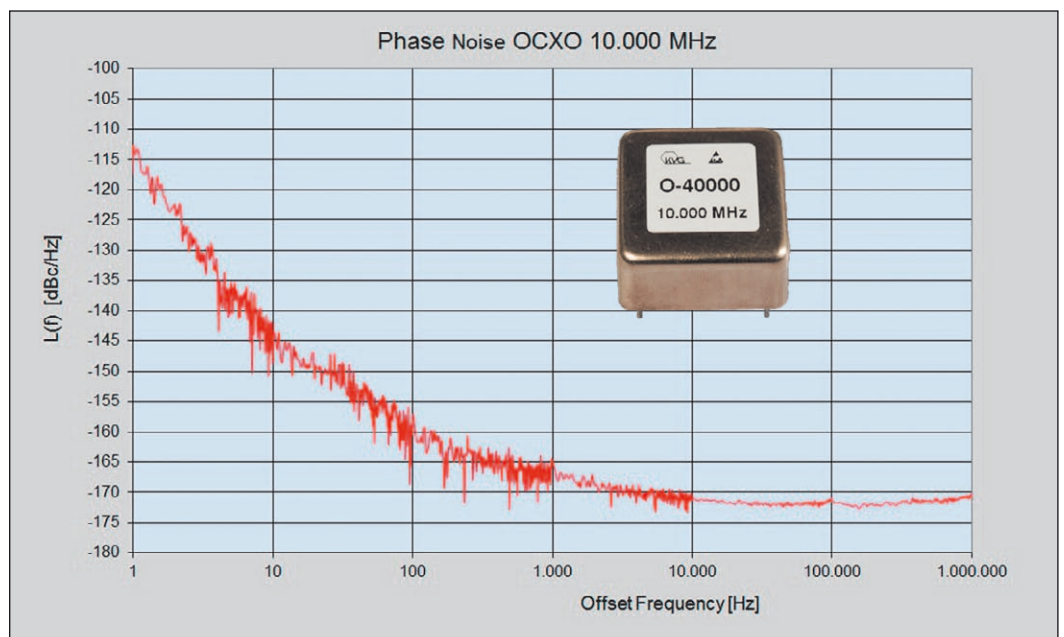


**Bild 1: Typisches Phasenrauschen eines guten 10-MHz-TCXOs**

Kleine TCXOs in den Größen 7 x 5 mm oder gar 5 x 3,2 mm und TCMOS im SOIC-8 (6,0 x 4,9) sind heute mit einer Frequenzstabilität bis zu  $\pm 0,1$  ppm (parts per million) bzw.  $\pm 100$  ppb (parts per billion) im Temperaturbereich von  $-40$  °C bis  $+85$  °C zu bekommen. Diese Frequenzstabilität war vor wenigen Jahren

noch ganz klar die Domäne von OCXOs. Daher hat es durchaus eine gewisse Berechtigung, wenn speziell die Hersteller von MEMS-Oszillatoren behaupten, OCXOs ersetzen zu können. Nichtsdestotrotz gibt es immer noch eine Vielzahl an Applikationen, für welche diese Performance der TCXOs und TCMOs

bei weitem nicht ausreicht. Dazu gehören sowohl Basisstationen für Mobilfunknetze, als auch die Referenzen für die höheren Hierarchie-Ebenen der Glasfaser-basierenden SDH und SONET-Netze. Die Mobilfunknetze und das Internet würden ohne OCXOs nicht funktionieren – jedenfalls nicht mit den



**Bild 2: Phasenrauschen eines sehr guten 10-MHz-OCXOs**

Harald Rudolph  
Leiter des  
Produktmanagements  
bei KVG Quartz Crystal  
Technology GmbH  
[www.kvg-gmbh.de](http://www.kvg-gmbh.de)

Typische Frequenzstabilität über der Temperatur $\Delta F/F(T)$				Typ. Nennfrequenz-toleranz	Typ. Alterung pro Jahr	Typ. Alterung in 10 Jahren
Typ	Temperaturbereich / °C			±ppm	±ppm	±ppm
	0 bis +50	-20 bis +70	-40 bis +85			
XO / VCXO	5 – 20ppm	10 – 30ppm	15 – 40ppm	5 – 20ppm	1 – 3ppm	5 – 20ppm
Standard TCXO	0,5 – 1ppm	1 – 2ppm	1 – 3ppm	1 – 2ppm	0,5 – 1ppm	5 – 10ppm
Precision TCXO	0,05 – 0,2ppm	0,1 – 0,3ppm	0,2 – 0,5ppm	0,2 – 0,5ppm	0,2 – 0,5ppm	2 – 5ppm
OCXO	1 – 50 ppb	2 – 100ppb	5 – 200ppb	0,05 – 0,2ppm	0,05 – 0,2ppm	0,2 – 2ppm
DOCXO	0,1 – 1 ppb	0,2 – 2ppb	0,5 – 5ppb	0,05 – 0,1ppm	0,02 – 0,1ppm	0,1 – 0,5ppm

**Tabelle 1: Vergleich der Frequenzgenauigkeit verschiedener (Quarz-) Oszillatortypen**

Geschwindigkeiten, wie wir sie heute gewohnt sind. Auch Satellitenkommunikation wäre ohne OCXOs nicht denkbar.

Weitere wichtige Anwendungsbereiche sind die traditionelle Nachrichten-Messtechnik mit Oszilloskopen und Spektrum- bzw. Netzwerkanalysatoren, aber auch Signal- und Protokoll-Analysatoren. Im Bereich der Medizintechnik sind die Kernspin- und Computertomographen zu nennen, deren Bildauflösung direkt mit der Qualität des verwendeten OCXOs zusammenhängt. Das Gleiche gilt für die Auflösung von Radar Imaging Verfahren wie SAR (Synthetic Aperture Radar) oder ISAR (Inverse Synthetic Aperture Radar).

Der Unterschied von OCXOs zu TCXOs oder TCMOs besteht aber nicht nur in der Frequenzstabilität über der Temperatur, welche für hochwertige OCXOs im Bereich von wenigen parts per billion (ppb) liegt und damit ca. 20-mal besser ist als die besten TCXOs, sondern auch in der Langzeitstabilität, auch Alterung genannt, d.h. der Frequenzdrift über längere Zeit. Sehr gute OCXOs bei 10 MHz kommen auf Alterungswerte von 100ppb in 10 Jahren. Sehr gute 10 MHz TCXOs kommen auf ca. 1-2ppm in 10 Jahren; Spezifikationen für Standard-TCXOs nennen eher 1ppm/Jahr.

Tabelle 1 zeigt eine Gegenüberstellung der Frequenzstabilität verschiedener (Quarz-) Oszillatortypen. Dabei ist zu beachten, dass es speziell bei den

OCXOs eine große Bandbreite der möglichen Frequenzstabilität gibt, die zum einen von der Oszillatorfrequenz und auch von der Baugröße abhängt. Einfach gesagt: je höher die Schwingfrequenz, desto schlechter die Frequenzstabilität.

Die letzte Zeile in der Tabelle beschreibt die typische Frequenzstabilität von sogenannten Doppelöfen (DOCXOs), welche zwei ineinander geschaltete Temperatur-Regelkreise beinhalten – ähnlich wie man es von einer modernen Heizung mit Außentemperaturfühler und Zimmerthermostat kennt. Desweiteren verwendet man für diese DOCXOs besonders hochwertige Quarze mit sehr geringer Frequenzalterungsdrift, was natürlich auch seinen Preis hat.

Weiterhin gibt es deutliche Unterschiede beim sogenannten Phasenrauschen (Betrachtung im Frequenzbereich) bzw. Phasenjitter (Betrachtung im Zeitbereich). TCXOs sind trägernah deutlich besser als TCMOs, aber dennoch weitaus schlechter als OCXOs der gleichen Frequenz. Wie Bild 1 zeigt, kommen gute 10 MHz TCXOs bei einem Trägerabstand von 10 Hz gerade mal auf -100 dBc/Hz und erreichen einen „noise floor“ von -155 dBc/Hz bei 100 kHz Trägerabstand.

Gute 10-MHz-OCXOs sind heute mit einem Phasenrauschen von -115 dBc/Hz bereits bei 1 Hz und -145 dBc/Hz bei 10 Hz Trägerabstand verfügbar und sind gekennzeichnet durch einen „Rauschboden“ (Noise floor) von besser als -170 dBc/Hz

(Bild 2). Bei speziellen ULPN OCXOs mit einem 100-MHz-Ausgangssignal und einem Pegel über +10 dBm liegt der noise floor bei -185 dBc/Hz.

Der integrierte RMS-Phasenjitter von 12 kHz bis 20 MHz liegt - für einen guten 100-MHz-TCXO - bei kleiner als 0,1 ps bzw. 100 fs (femto seconds) – TCMOs kommen gerade mal auf 0,35 ps (350 fs). Die besten OCXOs erreichen Werte von besser als 10 fs für ein 100 MHz-Signal. Die Betrachtung des Jitters im trägernahen Bereich von 1 Hz bis 10 kHz fällt noch stärker zu Gunsten der OCXOs aus. Die Hersteller von TCMOs vermeiden es tunlichst, Phasenrauschwerte oder Jitterwerte im trägernahen Bereich zu nennen.

Auch die Kurzzeitstabilität – meist in Form der sog. ‚Allan Variance‘ oder ‚Allan Deviation‘ (ADEV) ausgedrückt - ist für gute OCXOs weitaus besser als für TCXOs oder TCMOs. Gute 10-MHz-TCXOs und -TCMOs liegen bei einem tau von 1 sec im Bereich  $2 \times 10^{-10}$  bis  $2 \times 10^{-11}$ . Gute OCXOs mit der gleichen Frequenz liegen bei  $2 \times 10^{-12}$  bis  $2 \times 10^{-13}$ , sind also ca. 2 Dekaden besser. Beim Vergleich der Kurzzeitstabilität verschiedener Oszillatortypen ist es wichtig, darauf zu achten, welches Zeitfenster für die eigene Anwen-

dung wichtig ist und für welches Zeitfenster tau die Angaben des Herstellers gelten.

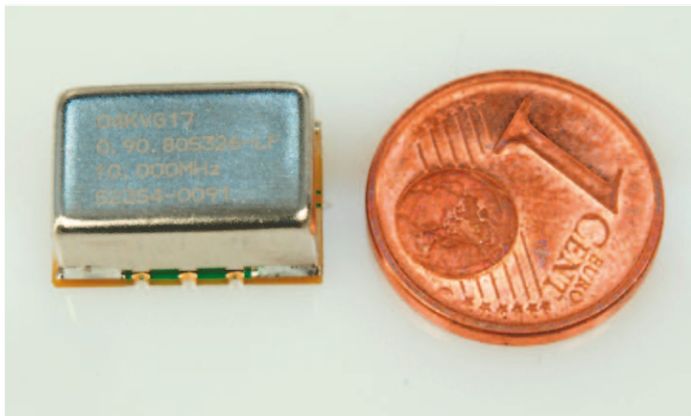
Wie bereits erwähnt, ist die Baugröße von OCXOs ein deutlicher Nachteil im Vergleich zu TCXOs oder TCMOs. Aber die Miniaturisierung hat auch vor den OCXOs nicht Halt gemacht. Vor 20 Jahren war ein OCXO mit den Abmessungen von 36 x 27 x 20 mm klein im Verhältnis zu den typischen Boliden mit 50 x 50 x 30 mm oder gar 60 x 50 x 40 mm. Sehr gute OCXOs haben auch heute noch Abmessungen von mindestens 25 x 25 x 15 mm; spezielle Typen auch nach wie vor die 36 x 27 x 15 mm. Aber wenn man etwas Abstriche bei der Performance macht, bekommt man heute kleine SMD-OCXOs in den auch von VCXOs bekannten Gehäusegrößen 14 x 9 x 6,5 mm oder gar 9 x 7 x 4 mm, die in ihrer Frequenzstabilität deutlich besser sind als TCXOs oder TCMOs.

Auch die Stromaufnahme moderner OCXOs ist in den letzten Jahren deutlich zurückgegangen. Kleine ‚Low Power‘ OCXOs kommen mit weniger als 500 mW steady state power aus, was natürlich immer noch deutlich mehr ist, als dass, was TCXOs oder TCMOs an Leistung benötigen. Der OCXO heißt ja auch ‚ovenized‘, weil er

## Hinweis

Definition, Messung und Berechnung der Kurzzeitstabilität in Form der Allan Deviation (ADEV) siehe:

<http://www.allanstime.com/AllanVariance/>

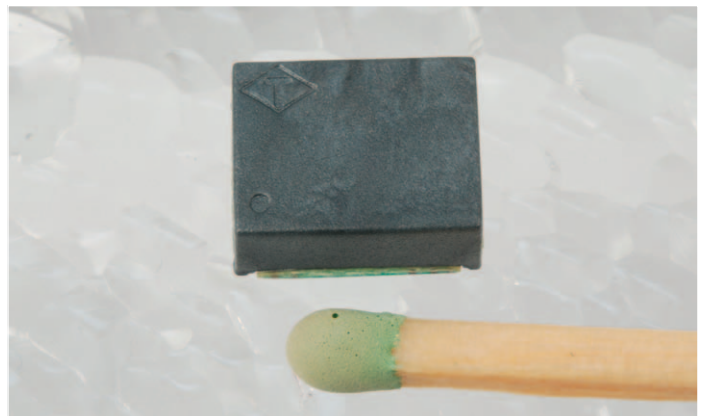


**Bild 3: Mini-SMD-OCXO (14.3 x 9.3 x 6.5 mm)**

einen Ofen beinhaltet. Gemeint ist, dass der Quarz auf einer relativ hohen Temperatur oberhalb der oberen Betriebstemperaturgrenze bei 70 bis 95 °C thermostatisiert wird, d.h. über einen Regelkreis thermisch stabil gehalten wird. Die thermische Leistung benötigt natürlich eine entsprechende elektrische Leistung. Dieses Funktionsprinzip in Verbindung mit der Verwendung von Oberton-Quarzen mit speziellen Schnitten (IT, SC, MSC) macht jedoch die gute Frequenzstabilität von OCXOs aus. Die auf dem Titelbild gezeigten OCXOs und ihre Messergebnisse sind technologisch gesehen die

derzeitigen TOP-Produkte der Fa. KVG. Da ist zum einen ein 100-MHz-OCXO (ULPN) mit einem Phasenrauschen von besser als -135 dBc/Hz bei 100 Hz Träger-Offset und einem Noise Floor von besser als -185 dBc/Hz, was die Grenze des derzeit physikalisch machbaren ist.

Der zweite Typ ist ein 100 MHz Ultra Low G Sensitivity (ULGS) OCXO mit einer besonders geringen Empfindlichkeit gegenüber Vibrationen oder auch Luftschall. Da Quarz ein piezoelektrisches Kristall ist, sind grundsätzlich alle Quarzoszillatoren mehr oder weniger empfindlich gegenüber Schock und Vibration



**Bild 4: Micro-SMD-OCXO (9 x 7 x 4 mm)**

oder andere Beschleunigungseffekte. Dies wirkt sich in Form einer Frequenzmodulation des Oszillatorsignals aus, was im Frequenzspektrum des Ausgangssignals als Störlinie oder Störband zu sehen ist. Gerade bei OCXOs mit besonders gutem Phasenrauschen macht sich dieser Effekt störend bemerkbar – ganz besonders, wenn der OCXO in einer gestörten Umgebung eingesetzt wird. Deshalb hat KVG einen speziellen ULGS OCXO entwickelt, der mit einer sogenannten G-Sensitivity von nur 0,1 ppb/g ca. 10-mal unempfindlicher ist als vergleichbare andere OCXOs am Markt. ◀

## Fazit

OCXOs werden heute mehr gebraucht denn je und werden vermutlich noch lange gebraucht werden, auch wenn die Hersteller von MEMS-Oszillatoren bereits vor mehreren Jahren das Ende der Quarzoszillatoren proklamiert haben. OCXOs sind die Königsklasse der Quarzoszillatoren und speziell in unserer heutigen, breitbandig vernetzten Welt nicht mehr wegzudenken und durch nichts anderes zu ersetzen. ◀