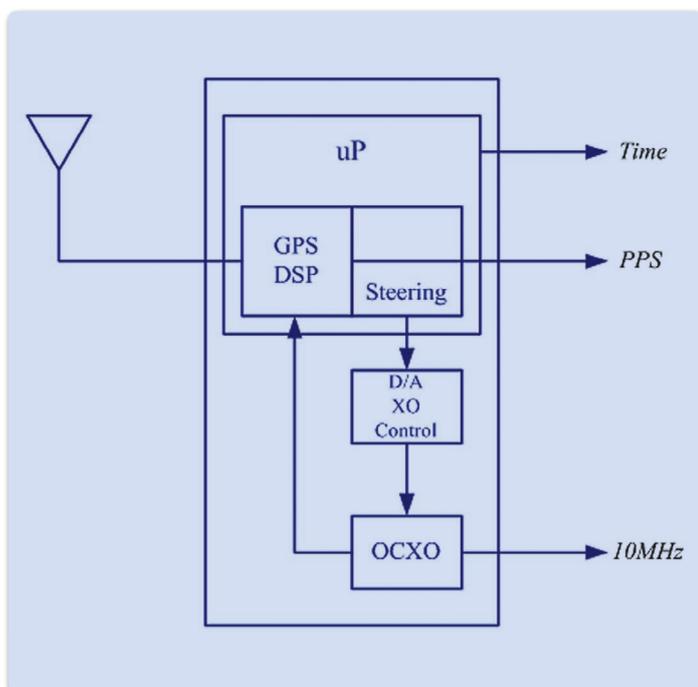


## Der richtige Takt für jede Anwendung

# Kleines Oszillator-Lexikon

Oszillatoren spielen eine zentrale Rolle in Hochfrequenz-, Funk- und Datentechnik.

Um jedoch für eine bestimmte Anwendung den richtigen Oszillator zu finden, muss man zumindest die verschiedenen Grundtypen kennen.



### APR

s. VCXO

### Betriebstemperaturbereich

Je größer der spezifizierte Betriebstemperaturbereich (Operational Temperature Range), umso geringer ist sukzessive und grundtypabhängig die mögliche Stabilität des Oszillators. Richtwerte für TCXOs:

- 0...40 °C: 0,1...0,5 ppm
- 0...70 °C: 0,2...1 ppm
- -20...+70 °C: 0,3...2 ppm
- -40...+85 °C: 0,4...3 ppm
- -55...+ 105 °C: 0,5...5 ppm

Die kleineren Werte der Frequenzänderung gelten mehr für digitale TCXOs, die größeren mehr für analoge TCXOs. Das heißt in etwa: Mikroprozessor-gesteuerte TCXOs (DCTCXOs) erreichen etwa um eine Zehnerpotenz bessere Werte.

### CXO

Das C in dieser nicht allzu oft bemühten und eigentlich überflüssigen Abkürzung steht für Crystal (Quarz) oder Clock (Takt). Sinn macht höchstens letztere Interpretation, kann man damit doch auf die Zeit als Ziel der ganzen Takterei hinweisen. Paradebeispiel ist der „Uhrenquarz“ mit seinen 32,768 kHz. Warum dieser Wert? Die Antwort liegt tief in der Geschichte der Schwingquarze. Im Laufe dieser wurde schnell klar, dass Quarze auch bei der Zeitmessung gute Dienste leisten können. So präsentierten die Bell Labs im Jahr 1928 stolz die erste quarzgesteuerte Uhr der Welt. Der Quarz sorgte dafür, dass die Uhr „wusste“, wie lang eine Sekunde (1/Hz) ist. Aber warum 32,768 kHz? Dazu muss man wissen, dass die Schwingfrequenz eines Quarzes auch von seiner Größe abhängt. Ein 1-Hz-Quarz wäre viel zu groß. Daher verfiel man auf einen Trick: Quarze für 32,768 kHz sind relativ leicht herzustellen. Diese Frequenz wird mithilfe von Flipflops geteilt. Jedes Flipflop halbiert die Frequenz. Schaltet man 15 Flipflops in Reihe, landet man bei genau einem Hertz.

### DCTCXO

Bei einem Digital Controlled TCXO wird die Temperatur des Quarzes z.B. mit einem NTC-Element gemessen und dann per A/D-Wandler digitalisiert und einem Prozessor zugeführt. Entsprechend der im Speicher abgelegten Messwerte wird der zur Kompensation des Temperaturgangs erforderliche digitale Spannungswert an einen D/A-Wandler gegeben, der eine entsprechende analoge Spannung zur Steuerung der Kapazitätsdiode bereitstellt. So lassen sich

beliebige Temperaturkurven und damit große Temperaturbereiche präzise kompensieren.

Gegenüber analogen TCXOs haben digitale TCXOs den Vorteil einer präziseren Funktion innerhalb eines größeren Umgebungstemperaturbereichs.

### DCXO

Das Kürzel steht allgemein für Digital Controlled XO. „Controlled“ bedeutet sowohl Steuerung als auch Regelung.

### EMXO

Der Evacuated Miniature XO heizt seinen Quarz in einem Vakuum. Clever, denn im Vakuum gibt es keine Wärmeleitung, sondern nur Wärmestrahlung. So bleiben die Wärmeverluste minimal und der Quarz kann optimal (hochstabil) arbeiten.

### GPSDO

Ein GPS-synchronisierter Oszillator (GPS-Disciplined Oscillator) ist eine Quarzoszillatorschaltung, deren Frequenz mit den Signalen von GNSS-Systemen geregelt wird, wodurch sich eine um Größenordnungen höhere Stabilität und Genauigkeit gegenüber dem Quarzbetrieb allein ergibt. Das Prinzip besteht darin, einen Quarzoszillator (TCXO), der ansonsten frei schwingen und driften würde, mittels geringer Temperaturänderungen in seiner Frequenz zu beeinflussen und ihn so mit einer Atomuhr zu synchronisieren. Die erreichbare langfristige Genauigkeit liegt im Bereich von  $10^{-11}$ . Mit einem Quarzofen (OCXO) oder einem Rubidium-Oszillator kann die Stabilität und Genauigkeit noch weiter erhöht werden.

Aufgrund der geringen zeitlichen Informationsdichte der

Quelle: <https://de.rs-online.com/web/generalDisplay.html?id=ideen-und-tipps/oszillatoren-leitfaden>

GPS-Signale und der benötigten Datenmenge für die zeitliche Glättung der Zeitinformationswerte benötigen derartige Schaltungen oft mehrere Minuten, bis sie ausreichend genau eingeschwenkt sind. Dies gilt mit hin auch für die eventuell eingesetzten Heizelemente.

## Low-G Oscillator

Oszillatoren mit geringer g-Empfindlichkeit (Beschleunigung) spielen eine wichtige Rolle als stabile Referenzquellen in vielen der heutigen Kommunikations-, Luft- und Raumfahrt- und Verteidigungsprogramme und -anwendungen. Die g-Empfindlichkeit eines Oszillators ist ein Maß dafür, wie stark sich die Frequenz durch ein Beschleunigungsereignis ändert und wird in der Regel mit dem griechischen Buchstaben Gamma (G) angegeben. G wird oft bei einem bestimmten Schwingungspegel bewertet, aber es ist wichtig zu beachten, dass Frequenzverschiebungen auch durch einen Stoßimpuls oder manchmal sogar durch normale Handhabung auftreten können.

Wenn ein Oszillator während des normalen Betriebs irgendwelchen Vibrationen ausgesetzt ist, können die Auswirkungen auf die spektrale Reinheit (Phasenrauschen) erheblich sein. Unabhängig davon, wie gering das Phasenrauschen eines Oszillators im Ruhezustand sein mag, wird das Phasenrauschen bei Vibrationen in erster Linie durch die g-Empfindlichkeit des Geräts bestimmt. Bei Kenntnis der g-Empfindlichkeit eines Oszillators, der Nennfrequenz und des angelegten Schwingungspegels lässt sich das resultierende Phasenrauschen berechnen. Durch die Berechnungen wird ermittelt, welche g-Empfindlichkeit erforderlich ist, um einen bestimmten Phasenrauschpegel bei den erwarteten Schwingungspegeln zu erreichen.

## Low-Phasenoise/ Jitter Oscillator

Das Phasenrauschen ist ein Maß für die spektrale Rein-

heit eines Signals und kann für viele Anwendungen kritisch sein. Das Phasenrauschen ist definiert als Rauschleistung in einer Bandbreite von 1 Hz bei einer bestimmten, vom Träger entfernten Frequenz, und das Phasenrauschen des Quarzoszillators kann die gesamte Systemleistung beeinträchtigen.

Digitale Systeme erfahren die Auswirkungen des Phasenrauschens im Zeitbereich als Jitter. Jitter beeinträchtigt die Qualität der digitalen Modulation und führt zu einer erhöhten Bitfehler rate.

Die Auswahl eines geeigneten Quarzoszillators mit geringem Phasenrauschen ist entscheidend für die Gewährleistung der Gesamtleistung und Zuverlässigkeit des Systems und der Anwendung.

## LPXO

Der Low-Power XO bietet aufgrund seiner geringen Eigen erwärmung ein gutes Einlaufverhalten.

s. XO

## MEMS-Oszillator

Elektronische Schaltungen, die als frequenzbestimmendes Element einen Resonator anstelle eines Schwingquarzes aus Polysilizium enthalten, kommen mit besonders kleinen Abmessungen einher. Sie enthalten eine Phasenregelschleife (PPL), mit denen sich die Ausgangsfrequenzen in Form und Stärke individuell programmieren lassen. Diese MEMS-Oszillatoren sind sehr klein und kostengünstig und lassen sich gut verbauen. Sie werden daher oft genutzt, obwohl sie anfällig für Temperaturschwankungen sind und ein vergleichsweise hohes Phasenrauschen aufweisen. MEMS-Oszillatoren sind also nur eine Alternative zu Quarzoszillatoren in bestimmten Anwendungsszenarien, wie Smartphones.

## OCXO

Der Oven Controlled XO fasst den Quarz und andere temperaturabhängige Bauteile in einer

geschlossenen Kammer zusammen. Deren Innentemperatur wird so geregelt, dass der Quarz in einem Arbeitspunkt schwingt, wo die Temperatur-Frequenz-Kennlinie durch Null geht. Der „Ofen“ ist also ein Thermostat. Solche Oszillatoren erreichen die bestmögliche Stabilität von bis zu 0,001 ppm. Die typische OCXO-Frequenz ist 10 MHz (gängige Referenz).

Die Regelung basiert auf der Wärmeabgabe an die Umgebung. Die Thermostattemperatur muss also deutlich über der höchsten Betriebstemperatur liegen. Dies bringt den Nachteil einer schnellen Alterung.

Der Thermostat besteht aus der temperierten Kammer, dem Thermostatkörper, dem Temperaturfühler, der Heizung und der Regelschaltung mit Leistungsstufe und Heizvorrichtung. Um die Wärmeabfuhr nach außen zu drosseln und die Auswirkung schneller Umgebungstemperaturänderungen zu minimieren, befindet sich diese Anordnung in einem Thermogehäuse.

## Programmable Oscillator

Programmierbare Oszillatoren sind in verschiedenen Oszillatorkonzepten, wie XO, VCO oder MEMS, möglich. In der heutigen schnelllebigen Entwicklungsumgebung bieten programmierbare Oszillatoren Flexibilität für Designs auf Board-Ebene. Sie unterstützen Standard- und Nicht-Standard-Frequenzen und erlauben schnelle Frequenzexperimente für die zügige Prototypenerstellung. Die Programmierung der Eigenschaften, wie der Frequenz, erfolgt über einen Standard-Bus wie I<sup>2</sup>C.

## Pullability

Oszillatoren sind nicht rückwirkungsfrei. Die Frequenz stellt sich je nach Belastung ein. Daher werden Bürdekapazitäten vorgegeben. Die „Bereitschaft“ eines Oszillators, seine Frequenz entweder durch veränderte Last oder durch eine Kapazität/Induktivität in Reihe zum Quarz bei entsprechender Erregung zu verändern, nennt man Pullability.

Sie lässt sich durch einen „Ziehbereich“ charakterisieren, in dem der Oszillator noch sicher anschwingt und stabil funktioniert. Hinweis: „Gezogen“ wird nicht der Quarz, denn dieser bleibt unverändert, sondern die Frequenz.

## SPXO

Der Simple oder Single Package XO, also der einfach gehäuste Crystal Oscillator, ist preiswert und genügt oft als Taktoszillator.

s. XO

## SSCG

s. SSXO

## SSXO

Der Spread-Spectrum XO verwendet eine proprietäre PLL- und Spread-Spectrum-Clock-Generator-Technologie (SSCG), um die Frequenz des Eingangsquarzes zu synthetisieren und zu modulieren. Die gemessene Strahlungsenergie bei den Grund- und Oberwellenfrequenzen wird reduziert, um die Anforderungen der elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV) zu erfüllen. Die interne Werkzeugeinstellungsfunktion ermöglicht eine flexible Auswahl von Ausgangsfrequenz, Modulationsrate und Spreizungsverhältnissen.

## TCVCO

Über den Temperature Compensated Voltage Controlled XO erfährt man nicht allzu viel im Netz. Wenn man sich mit diesem Kandidaten einlassen will, rufe man entsprechende Produkte auf und konsultiere die Datenblätter.

## TCXO

Der Temperature Compensated XO baut auf dem VCXO auf. Auch er nutzt eine reaktive Komponente in Serie zum Quarz, um diesen zu ziehen. Hinzu kommt noch ein Temperatursensor (meist NTC, negativer Temperaturkoeffizient), um die Frequenz zu regeln. Mit dieser Technik lässt sich eine Genauigkeit von bis zu 0,1 ppm erreichen. Bei einem 100-MHz-Quarz wäre

## Tipps zum Kauf von Quarzoszillatoren

Welcher ist der Richtige? Achten Sie beim Kauf auf einige technische Parameter. Die wichtigsten hat RS Electronic für Sie zusammengestellt.

### • Frequenzbereich

Quarzoszillatoren setzt man gewöhnlich in Frequenzbereichen von 32,768 kHz bis 50 MHz ein. Sie sind aber auch für Hochfrequenzanwendungen bis 200 MHz erhältlich.

### • Frequenztoleranz

Sie bestimmt die maximal zu erwartende Abweichung von der Nennfrequenz bei von 25 °C.

### • Ausgangsleistung

Wenn die Anwendung über die reine Signalzeugung hinausgehen und beispielsweise eine Spannungsquelle erzeugt werden soll, benötigt man einen Oszillator mit höherer Ausgangsleistung.

### • Tuning-Spannung/Tuning-Empfindlichkeit

Bei den meisten Oszillatoren lassen sich die Frequenzen zum Beispiel für Modulationen oder für fabrikbedingte Abweichungen anpassen. Dabei kommt es auf die Tuning-Spannung und Tuning-Empfindlichkeit an, das heißt, in welchem Bereich man mit welchen Abstufungen justieren kann.

### • Montageart

Oszillatoren sind traditionell mit einem Gehäuse für die Durchsteckmontage (THT) bestückt. Kompakter sind allerdings Gehäuse für die

Oberflächenmontage (SMT), die über lötfähige Anschlussflächen statt Drahtanschlüssen verfügen.

### • Größe

Oszillatoren sind heute mit Abmessungen im Millimeterbereich zu haben, das spart Platz und erlaubt immer kleinere Geräte. Besonders wichtig ist die Größe bei Ersatzbeschaffungen, damit der Oszillator auch in den vorhandenen Schaltkreis passt.

### • Betriebsspannung

Um eine präzise Frequenz zu erreichen, benötigt man eine genau definierte und konstante Betriebsspannung, sonst werden die Schwingungen des Taktgebers ungenau. Diese beträgt in der Regel 2,5, 3, 3,3 oder 5 V. Mittlerweile existieren aber auch Oszillatoren, die bei variabler Spannung in einer bestimmten Bandbreite stabile Frequenzen erzeugen.

### • Kompatibilität des Ausgangssignals

Als Bestandteil in ICs müssen Oszillatoren mit verschiedenen Halbleitertechnologien wie TTL, CMOS oder HCMOS kompatibel sein.

### • Betriebstemperatur

Hohe Temperaturen können Oszillatorsignale selbst bei beständigen Quarzoszillatoren verfälschen. Der zulässige Arbeitstemperaturbereich reicht von -40 bis über +100 °C. Wie sich das Schwingverhalten mit Temperaturänderungen im angegebenen Bereich verändert, geben die Hersteller im Datenblatt an.

dann resonant auf seiner spezifizierten Frequenz ist, wenn die Lastkapazität (Load, Bürde) CL am Oszillatorknoten einen bestimmten Wert  $CL_{nom}$  aufweist, den der Hersteller angibt. Ein üblicher Wert ist 15 pF. Im Falle  $CL > CL_{nom}$  schwingt der Quarz unterhalb der Center-Frequenz, im Falle  $CL < CL_{nom}$  oberhalb dieser. Auf diese Weise lässt sich die Schwingfrequenz normalerweise nur um bis zu etwa 100 pps verändern. Ein 10-MHz-Quarz könnte um 1 kHz verstimmt werden. In der Praxis werden solche Feineinstellungen durchaus gewünscht. Ein VCXO nutzt in aller Regel eine eingebaute Kapazitätsdiode in Reihe zum Quarz.

Bezüglich Frequenzstabilität und Einstellbereich (Absolute Pull Range, APR) können sich VCXOs beträchtlich unterscheiden. Die Frequenzvariation kann nur einen Bruchteil eines ppm betragen oder bis zu über 1000 ppm. Weitere wesentliche Eigenschaften sind die Linearität der Abstimmung, die Frequenzstabilität, das Phasenrauschen und der Ausgangspegel in Abhängigkeit von der Frequenzvariation. Die Linearität der Abstimmung wird als die prozentuale Abweichung vom gesamten Abstimmbereich definiert. Etwa 3% besagt, dass innerhalb eines Abstimmbereichs von beispielsweise 100 kHz die Frequenzabweichung 3 kHz betragen kann.

das also eine Stabilität von 10 Hz. Wichtig ist die Energieeffizienz der Regelschaltung. Ist diese hoch, wird eine zusätzliche Erwärmung weitgehend vermieden und bestmögliche Frequenzstabilität erreicht. Für eine möglichst lineare Regelkennlinie sind die Anforderungen an die Stabilität des Kompensationsnetzwerks hoch. Eine sehr stabile Speisespannung ist weiterhin erforderlich.

Analoge TCXOs haben gegenüber DCTCXOs den Vorteil eines wesentlich einfacheren Aufbaus und einer geringeren Stromaufnahme.

Die Epson-TCX-Oszillatoren werden in zwei Typen unterteilt.

Der eine ist ein TCXO des direkten Typs mit einem in die Schwingungsschleife integrierten Temperaturkompensationskreis. Bei dem anderen handelt es sich um einen indirekten TCXO mit einem Temperaturkompensationskreis außerhalb der Schwingungsschleife, bei dem die Schwingungsfrequenz also indirekt gesteuert wird.

### Umgebungs-temperaturbereich

Da sich jeder Oszillator selbst erwärmt, muss die höchste zulässige Betriebstemperatur über der höchsten auftretenden Umgebungstemperatur (Ambient Temperature) liegen.

## VCXO

Der Voltage Controlled SAW Oscillator (Surface Acoustic Waves) ist ein Hochfrequenzoszillator mit extrem niedrigem Phasenrauschen und hoher Erschütterungsfestigkeit. Das Bauteil ist daher nahezu ideal geeignet für Anwendungen in rauen Umgebungen. Eine akustische Oberflächenwelle ist eine Körperschallwelle, die sich planar auf einer Oberfläche, also nur in zwei Dimensionen, ausbreitet.

## VCXO

Control kann steuern als auch regeln bedeuten. Ein Voltage Controlled XO nutzt die Tatsache aus, dass ein Quarz nur

## XO

Das X steht für Crystal = Quarz, das O für Oscillator. Hinweis: Man verwendet das X recht universell, man denke an RX (Receiver) oder TX (Sender), wo das X als „Gerät“ zu interpretieren wäre. XO meint einfachen, unkompenzierten Quarzoszillator. Er genügt bereits vielen Ansprüchen:

- Abweichungen: meist <50 ppm/K
- typische Alterung: 3 ppm/Jahr
- typisches Kurzzeitverhalten: 20 ppm bei 0 bis 70 °C

s. auch EMXO, LPXO und SPXO ◀