

OCXO: Ofengeregelter Quarzoszillator

Wenn die Stabilitätsanforderungen in einem System zu hoch sind, um von einem einfachen Grundwellenoszillator oder TCXO erfüllt zu werden, können der Quarz und die kritischen Schaltungen durch eine Heizung temperaturregelmäßig kontrolliert werden. Das Blockdiagramm eines Vectron-OCXO ist dem eines TCXO von Vectron sehr ähnlich, außer dass die Varaktordiode und das zugehörige Thermistor-Kompensationsnetzwerk fehlen und der Oszillator stattdessen durch einen proportional geregelten Ofen in der Temperatur kontrolliert wird.

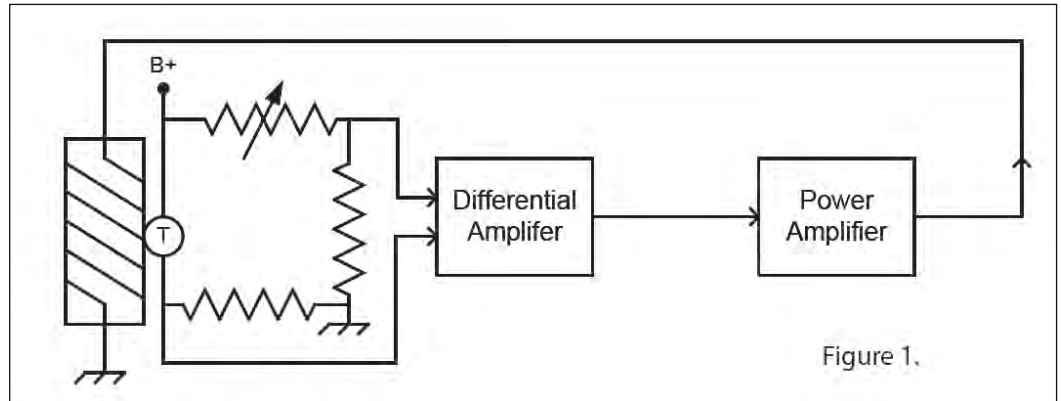


Figure 1.

Bild 1: Der Thermistor ist ein Bein einer Widerstandsbrücke

Proportional geregelter Ofen

Eine proportionale Steuerung ist ein elektronisches Servosystem, das den Ofen ständig mit Strom versorgt; es verändert die Höhe der Ofenleistung und kompensiert damit beständig Änderungen in der Umgebungstemperatur. In vielen

OCXOs von Vectron wird ein Thermistor in das Metallgehäuse des Ofens versenkt, um die Temperatur zu erfassen. Der Thermistor ist ein Bein einer Widerstandsbrücke, wie das Diagramm in Bild 1 zeigt.

Die Brücke arbeitet wie folgt: Wenn die Temperatur am Ofen aufgrund einer Änderung der Umgebungstemperatur abnimmt, bewirkt die Änderung des Thermistorwiderstands, dass die Brücke aus dem Gleichgewicht gerät und die Brücken-Ausgangsspannung ansteigt. Diese Spannung wird in einem Differenz-Verstärker hoch verstärkt. Das Ausgangssignal des Differenz-Verstärkers wird in einem Leistungsverstärker weiter verstärkt, der direkt die Ofen-Heizwicklung

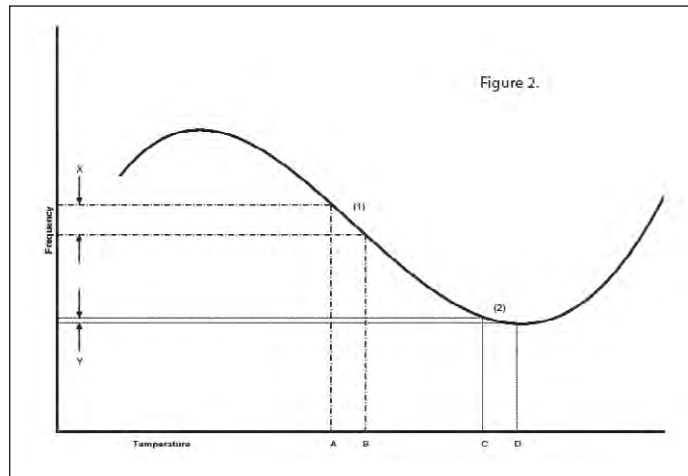


Figure 2.

Bild 2: Die tatsächliche Temperatur ist kritisch beim Minimieren der Auswirkungen der Umgebungstemperatur.

versorgt. Auf diese Art generiert die kleine Spannungszunahme, aufgrund der Brückenunsymmetrie, eine große Spannungszunahme über der Ofenwicklung. Diese Leistungszunahme im Ofen generiert mehr Wärme, um die Temperaturabnahme zu kompensieren, die vom Thermistor festgestellt wurde. Ebenso verursacht eine Zunahme der Ofen-Temperatur eine Reduktion der Brückenausgangsspannung, was zu einer reduzierten Leistungszufuhr zum Ofen und einem kompensierenden Temperaturrückgang führt.

Einen proportional geregelten Ofen einzusetzen kann die Temperaturstabilität des Oszillators - verglichen mit der inhärenten Stabilität um mehr als das

5000fache (von $\pm 1 \times 10^{-5}$ zu $\pm 1 \times 10^{-9}$ über 0 - 50 °C zum Beispiel). Jedoch ist das Ofensteuersystem nicht perfekt weil

- a) die Verstärkung bei offener Schleife nicht unendlich groß ist
- b) es interne Temperaturgradienten innerhalb des Ofens gibt und
- c) Schaltkreise des Ofens, die Änderungen der Umgebungstemperatur ausgesetzt sind, die Frequenz "ziehen" können. Daher führt eine Änderung der Umgebungstemperatur zu kleinen Änderungen in der Ofen-Temperatur.

Einstellen der Ofentemperatur

Wie Bild 2 zeigt, ist die tatsächliche Temperatur, auf die der

Ofen eingestellt ist, kritisch beim Minimieren der Auswirkungen von Umgebungstemperaturänderungen.

Wenn die Ofentemperatur (gemäß Bild 2) auf den Punkt 1 eingestellt wäre, würde eine Änderung der Umgebungstemperatur von A nach B eine Frequenzänderung der Größenordnung X hervorrufen. Würde die Ofentemperatur jedoch auf Punkt 2 gestellt werden, würde eine Temperatur-Änderung um die gleiche Höhe (C zu D) zu einer bedeutend reduzierten Änderung der Frequenz (Größenordnung Y) führen. Deshalb wird jeder Vectron-Ofen individuell auf die Turn-over-Temperatur des Quarzes eingestellt, der im Ofen eingesetzt wird. Diese Einstellung erfolgt mit dem in Bild 1 gezeigten Regelwiderstand.

Aufwärmvorgang mit AT-Schnitt-Quarzen

Wenn ein Oszillator erstmals bei Zimmertemperatur eingeschaltet wird, ist seine Frequenz äußerst hoch, verglichen mit der Frequenz nach der Ofenstabilisierung, normalerweise bis 30×10^{-6} . Dies ist einfach durch die Tatsache verursacht, dass die Frequenz eines AT-Schnitt-Quarzes beträchtlich höher bei Zimmertemperatur als bei seiner oberen Umkehrtemperatur ist. Während der Ofen sich aufheizt, nimmt die Quarzfrequenz sehr schnell ab. In Standard-Oszilla-

Unter Verwendung der Application Note: OCXO: Oven Controlled Crystal Oscillator Vectron International www.vectron.com

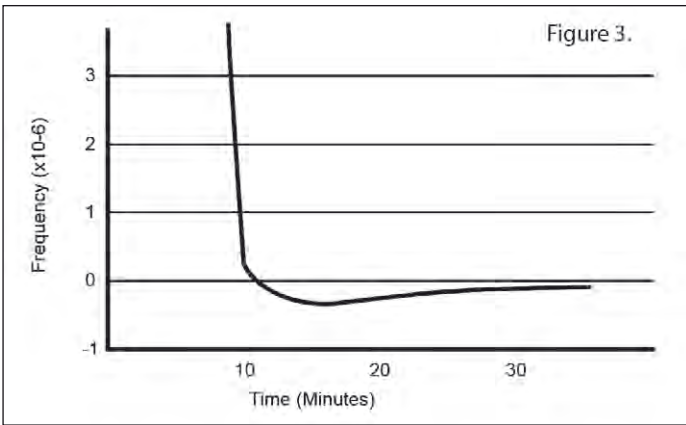


Bild 3: Die Quarzfrequenz zeigt ein Gummiband-Verhalten und schießt zunächst über ihre Zielfrequenz hinaus, bevor sie sich stabilisiert.

toren von Vectron erreicht der Ofen nach 10 - 15 Minuten seine Solltemperatur, aber die Quarzfrequenz zeigt ein Gummiband-Verhalten und schießt zunächst über ihre Zielfrequenz hinaus, bevor sie sich stabilisiert (siehe Bild 3). Typischerweise wird ein relativ hoher Grad von Stabilität innerhalb von 30 Minuten nach dem Einschalten erreicht; diese Zeit kann auf weniger als 5 Minuten in speziellen Designs mit schneller Aufwärmung reduziert werden.

Umkehrtemperatur

Die Ofenbetriebstemperatur (Umkehrtemperatur des Quarzes) muss mehrere Grade höher als die höchste Umgebungstemperatur sein, in der der Oszillator laufen soll, damit der Ofen gut geregelt werden kann. Schließlich muss auch der interne Wärmeanstieg berücksichtigt werden, der durch den Oszillator selbst hervorgerufen wird.

Es ergeben sich jedoch auch Nachteile beim Betrieb mit hoher Ofentemperatur. Zunächst einmal ist die Kurve der Frequenzänderung über der Temperatur schmäler und steiler bei Quarzen mit höherem Umkehrpunkt, was zu einer größeren Empfindlichkeit gegenüber kleinen Änderungen der Ofentemperatur führt, wie Bild 4 zeigt.

Ein weiterer und bedeutenderer Nachteil ist, dass die Quarzalterung sich mit steigender Tempe-

ratur verschlechtert. Daher wird man bei der Entwicklung eines ofenstabilisierten Quarzoszillators bei der Festlegung der gewünschten Ofen-Betriebstemperatur mit einem Kompromiss konfrontiert: sie sollte so niedrig wie praktisch möglich sein, aber hoch genug, um eine gute Regelung bei der maximalen Umgebungs-Betriebstemperatur zu gewährleisten.

Stabilität

A: Altern - Altern bezieht sich auf die kontinuierliche Änderung der Quarzfrequenz mit der Zeit, wobei alle anderen Parameter konstant gehalten werden. Vor Auslieferung wird jeder ofenkontrollierte Oszillator von Vectron vorgealtert, bis er seine spezifizierte Alterungsrate erreicht. Alterungsrate wird oft synonym mit dem Wort Stabilität verwendet; daher wird ein

Oszillator mit einer Alterungsrate von 1 Teil in 10E-8 pro Tag ($1 \times 10E-8$) manchmal als „one part in 108 oscillator“ benannt. Das ist eine unkorrekte Terminologie, da die Alterungsrate (Langzeitstabilität) auf die Zeit bezogen werden muss und nur eine Facette der Oszillatorstabilität repräsentiert.

B: Temperaturstabilität – Da kein Ofensteuerungssystem perfekt ist, bewirkt – wie bereits erwähnt - eine Änderung der Umgebungstemperatur eine kleine Änderung der Ausgangsfrequenz. Diese Frequenzverschiebung ist ein Versatz von der Alterungskurve des Oszillators. Die Abweichung von der normalen Alterungscharakteristik ist nicht auf die Zeit bezogen, sondern ist ein fester Offset. Daher ist der Frequenzoffset gegenüber der Temperatur (Temperaturstabilität) für eine gegebene Temperaturänderung zum Beispiel $5 \times 10E-9$, nicht $5 \times 10E-9$ /Tag. Dies verdeutlicht Bild 5.

Umgebungstemperaturänderungen bewirken keine Hysteresis-Effekte; d.h., wenn auf eine Änderung in der Umgebungstemperatur eine Rückkehr zur ursprünglichen Temperatur folgt, dann ist die endgültige Frequenz genau die, die sich auch ohne Temperaturänderung eingestellt hätte.

Wenn die geforderte Temperaturstabilität jenseits dessen liegt, was man mit einem standardmäßigen kontrollierter Ofen erreichen kann, kann auch ein doppeltes Ofensystem verwendet

werden, in dem der Standardofen in einem zweiten Ofen untergebracht ist. Der äußere Ofen puffert dann die Änderungen der Umgebungstemperatur gegenüber dem inneren Ofen, der die Oszillatorschaltung enthält.

C. Restabilisierung: Wenn ein Quarzoszillator für einige Zeit ausgeschaltet war und dann wieder in Betrieb genommen wird, benötigt der Quarz eine Restabilisierungs-Periode. Das charakteristische Verhalten ist ähnlich wie bei der ersten Alterung in der Produktion. Aber hohe Stabilität wird jetzt bedeutend schneller erreicht, weil der Quarz schon im Werk vorgealtert wurde.

In den meisten Anwendungen bleiben ofenkontrollierte Quarzoszillatoren immer eingeschaltet. In diesem Fall ist Alterung die kritische Charakteristik, während die Aus-/Einschaltcharakteristik ohne Bedeutung ist. Manche Anwendungen erfordern aber ein häufiges Aus- und Einschalten des OCXOs (was man möglichst vermeiden sollte). Wenn Anwendungen jedoch häufiges Abschalten erfordern, müssen eine Reihe zusätzlicher Charakteristiken beachtet werden.

In Bild 6 wird angenommen, dass ein Oszillator bis zur Zeit T2 eingeschaltet ist, dann für eine gewisse Zeit abgeschaltet und zum Zeitpunkt T3 wieder aktiviert wird. Drei Charakteristika können dann von Bedeutung sein:

1. Wie nahe kehrt der Oszillator zu der Ausgangsfrequenz beim Abschalten zurück, und zwar

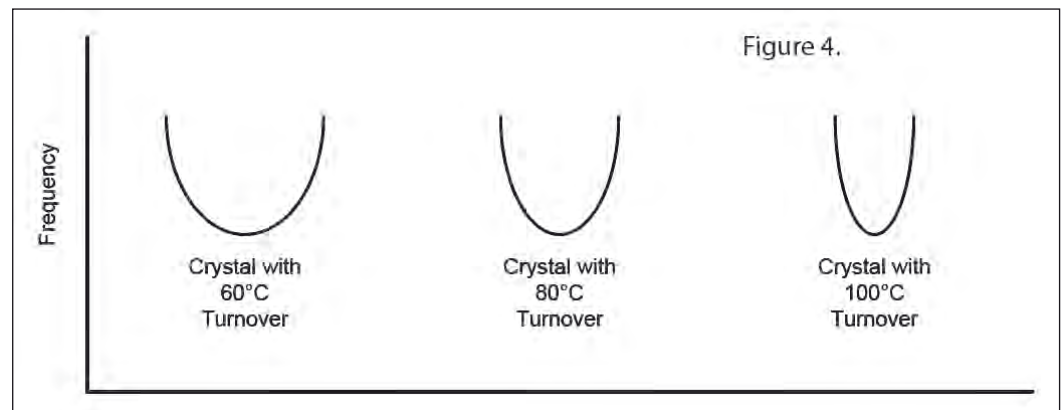


Bild 4: Größere Empfindlichkeit gegenüber kleinen Änderungen der Ofentemperatur.

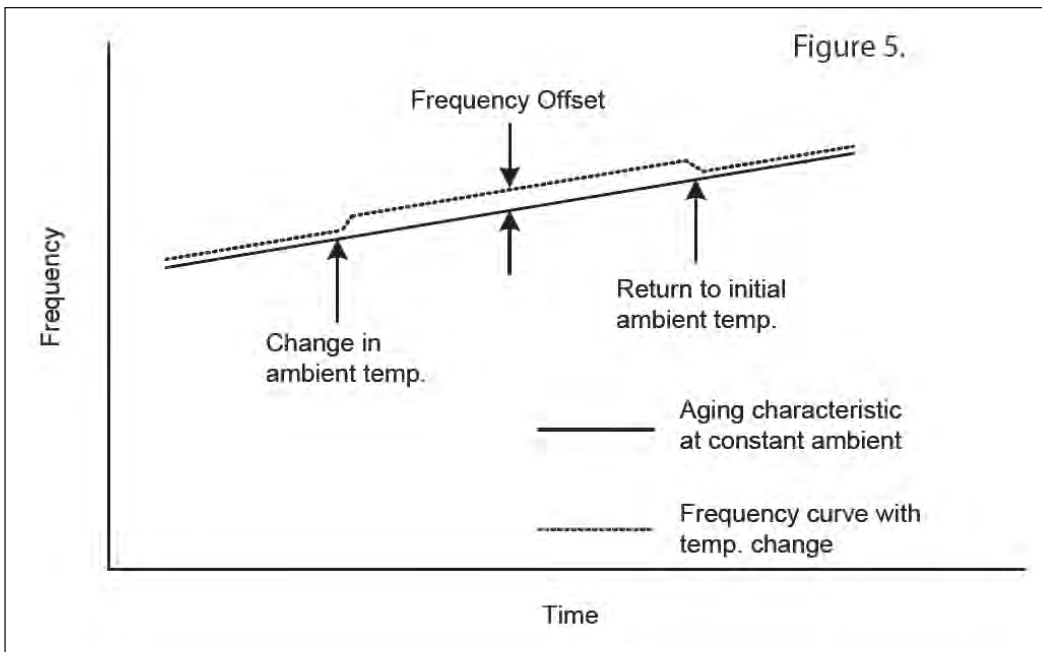


Bild 5: Frequenzoffset gegenüber der Temperatur (Temperaturstabilität) für eine gegebene Temperaturänderung.

zu einer spezifizierten Zeit nach dem Einschalten? Dies wird die Rücklaufcharakteristik genannt. Der Rücklauffehler zur Zeit T4 ergibt sich zu: $T4 = F1 - f3$.

2. Wie stark wird sich die Frequenz im Zeitraum von einigen Stunden ändern, nachdem der Ofen sich stabilisiert hat? Dies wird als Restabilisierungs- oder Aufwärm-Charakteristik bezeichnet. Die Restabilisierungs-Rate von T4 bis T5 ergibt sich zu $(f3 - f2)/(T5 - T4)$.

3. Wie lange benötigt der Oszillator nach einer definierten Abschaltzeit bis er wieder seine spezifizierte Alterungs-

rate erreicht hat? Dies wird als „Reaging“ bezeichnet.

Viele Faktoren beeinflussen die Rücklauf-, Restabilisierungs und Reaging-Charakteristika. Optimaler Schaltungsentwurf und richtige Komponentenauswahl minimieren ihre Effekte, so dass nur der Quarz und die Länge der Ausschaltzeit vor dem erneuten Einschalten des Oszillators als die wesentlichen Faktoren übrig bleiben. Es gibt signifikante Schwankungen in diesen Charakteristika von Quarz zu Quarz und sie sollten nur spezifiziert werden wenn sie unbedingt erforderlich sind und dann auch

nur in dem Maße wie es nötig ist, denn exakte Spezifikationen in diesem Bereich können einen entscheidenden Einfluss auf die Oszillatorkosten haben, aufgrund der geringen Ausbeute. Diese Charakteristiken sind jedoch von geringer Bedeutung für Oszillatoren die kontinuierlich eingeschaltet sind.

Doppelt-rotierte Quarze (SC- und IT-Schnitt)

Während die meisten Quarzoszillatoren hoher Stabilität Quarze im AT-Schnitt verwenden, finden sich Quarze im SC- und IT-Schnitt häufig in Ausführungen mit höchster Stabilität.

Ein Quarz im SC-Schnitt ist einer aus einer Familie von doppelt rotierten Quarzen (Quarze die in einem Winkel zu zwei der drei kristallographischen Achsen geschnitten wurden). Andere Mitglieder dieser Familie sind der IT- und der FC-Schnitt. Der SC-Schnitt repräsentiert die optimale doppelt rotierte Variante, da sein spezieller Winkel maximale Stress-Kompensation erreicht, aber der IT-Schnitt bietet ähnliches Verhalten. Nachfolgend ein Vergleich zwischen doppelt

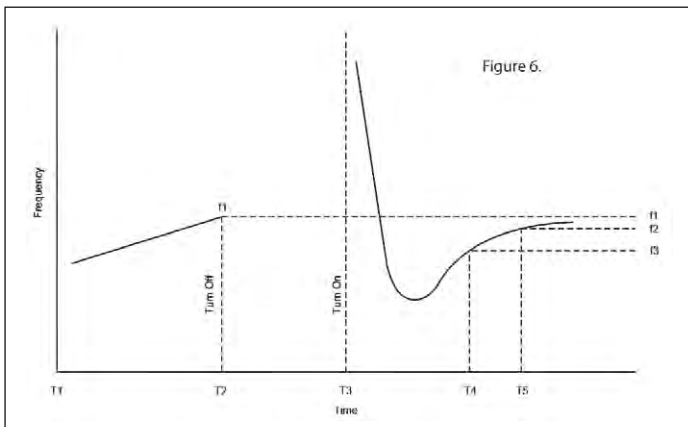


Bild 5: Frequenzoffset gegenüber der Temperatur (Temperaturstabilität) für eine gegebene Temperaturänderung.

rotierten (SC-Schnitt) und AT-Schnitt-Quarzen.

Vorteile von SC-Kristallen:

1. Verbessertes Altern. Für eine gegebene Frequenz und gegebenen Oberton (z.B. 10 MHz, dritter Oberton), bietet der SC-Quarz eine Verbesserung der Alterung um 2:1 bis 3:1 verglichen mit AT-Quarzen.

2. Aufwärmen. In Ofenkontrollierten Oszillatoren mit einem gegebenen Ofen-Design und Einschaltleistung, erreicht der SC-Quarz seine endgültige Frequenz in beträchtlich kürzerer Zeit als der AT-Kristall.

3. Phasenrauschen. Bei gegebenem Oszillatordesign, Quarzfrequenz und Oberton hat der SC-Quarz eine höhere Güte und verbesserte Phasen-Rauschcharakteristik. Diese Verbesserung erfolgt in erster Linie nahe zum Träger, da der Rauschflur mehr durch den Schaltungsentwurf als durch den Quarz bestimmt wird.

4. Hohe Betriebsumgebungstemperatur. Bild 7 zeigt die relativen Frequenz-/Temperaturcharakteristika von AT-, IT- und SC-Quarzen. Der obere Umkehrpunkt der AT-Quarze (A in Bild 7) und der untere Umkehrpunkt des SC-Quarzes (Punkt B in Bild 7) sind optimal für den Temperaturbereich von 70 bis 90 °C. Der IT-Schnitt-Quarz ist besonders empfehlenswert für Betrieb bei höheren Temperaturen und ist daher der bevorzugte Quarz in Öfen mit einer maximalen Betriebstemperatur im Bereich von 85 bis 95 °C.

5. Orientierungs-Empfindlichkeit. Wenn die physikalische Ausrichtung eines Oszillators geändert wird, gibt es eine kleine Frequenzänderung (normalerweise nicht mehr als einige Teile von 10E-9 im Jahr für jede beliebige 90°-Grad-Rotation), durch die Änderung der mechanischen Beanspruchung des Quarzkörpers, die aus den Auswirkungen der Schwerkraft auf die Quarzalterungen resultiert.

6. Nebenwellen durch Vibrationen. Wenn ein Quarzoszil-

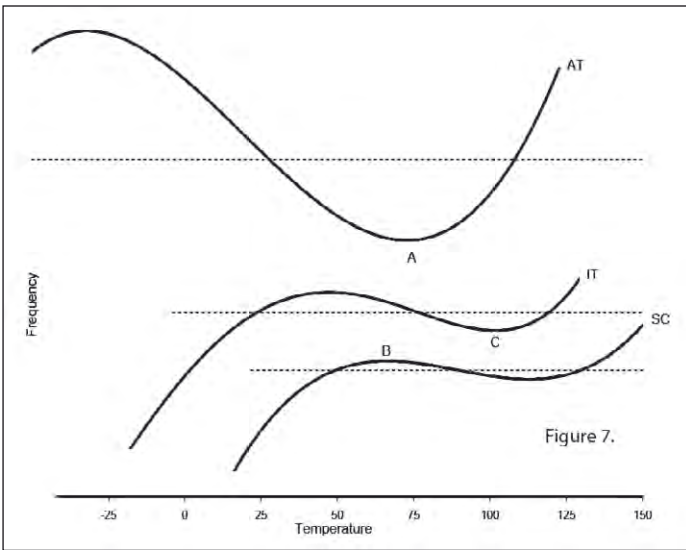


Bild 7: Relative Frequenz-/Temperaturcharakteristika von AT-, IT- und SC-Quarzen.

lators Vibrationen ausgesetzt wird, werden unerwünschte Nebenwellen erzeugt, die um die Vibrationsfrequenz gegenüber der Quarzfrequenz versetzt sind. Die Amplitude dieser

Nebenwellen steht in Relation zur Amplitude der Vibration, dem mechanischen Design der Quarzhalterung und der mechanischen Ausführung des Oszillators. Der SC-Quarz produziert Signale mit niedrigerer Amplitude als der AT-Quarz; diese Eigenschaft ist jedoch mehr auf die mechanische Ausführung des Quarzes und des Oszillators als auf den Quarzschnitt selbst zurückzuführen.

Nachteile von SC-Kristallen

1. Kosten. Wegen der Schwierigkeiten, die mit den beiden genau kontrollierten Winkeldrehungen um zwei Achsen bei der Herstellung von SC-Quarzen gegenüber nur einer Achse beim AT-Schnitt ist der SC-Quarz wesentlich teurer als ein AT-Quarz gleicher Frequenz und gleichem Oberton.

2. Ziehbarkeit. Die Kapazität eines SC-Kristalls ist mehrmals geringer als die eines AT-Quarzes mit gleicher Frequenz und Oberton, was die Möglichkeit einschränkt die Frequenz des Quarzes zu ziehen. Dies schränkt die Möglichkeit des Einsatzes von SC-Quarzen in konventionellen TCXOs und VCXOs oder sogar in Öfen ein, in denen die Notwendigkeit besteht, die Quarzfrequenz um einen gewissen Betrag verändern zu können.

Zusammenfassend kann man sagen, dass die Eignung von doppelt rotierten Quarzen für den Einsatz auf die in Oszillatoren beschränkt ist, bei denen die verbesserte Alterung, das schnellere Aufwärmen, und das niedrigere Phasenrauschen nahe beim Träger einen deutlichen Kostenanstieg rechtfertigen. ◀

© 2013 AWR Corporation. All rights reserved.



A National Instruments Company™

AWR®, der Innovationsführer bei Hochfrequenz-EDA-Software, liefert Software, welche die Entwicklung von High-Tech-Produkten beschleunigt.

Mit AWR als Ihre Hochfrequenz-Design-Plattform können Sie neuartige, preiswerte Produkte schneller und zuverlässiger entwickeln.

Finden Sie heraus, was AWR für Sie tun kann:

- Microwave Office® für die Entwicklung von MMICs, Modulen und HF-Leiterplatten
- AXIEM® für 3D-Planar-Elektromagnetik-Analyse
- Analog Office® für das Design von RFICs
- Visual System Simulator™ für die Konzeptionierung von Kommunikationsarchitekturen

Laden Sie eine KOSTENLOSE 30-Tage-Testversion herunter und überzeugen Sie sich selbst. www.awrcorp.com

AWR
Germany

Olivier Pelhatre
olivier@awrcorp.com
+49 170 916 4110