

Quarzoszillatoren:

Handhabung und Messkonzepte

Dieser Applikationsbericht gibt Antworten auf häufig auftauchende Fragen im Zusammenhang mit der Handhabung und dem Test von Quarzoszillatoren. Noch mehr Details zu Test- und Messmethoden findet man im IEC-Standard 60679-1 und im Standard MIL-PRF-55310.

Mechanische Behandlung

Exzessive mechanische Einflüsse wie Schocks während der manuellen oder automatischen Verwendung eines Quarzoszillators sind zu vermeiden.

Falls der Oszillator heruntergefallen ist oder einer anderen Schockbelastung ausgesetzt wird, sollte man sich davon überzeugen, ob seine elektrischen Funktionswerte noch im vom Hersteller spezifizierten Bereich liegen. Man prüfe das Datenblatt auf spezielle Vorschriften bezüglich der mechanischen Behandlung bei Lagerung und im Betrieb.

Zum Thema ESD

Die Abkürzung ESD steht für Electrostatic Sensitive Devices. Quarzoszillatoren zählen zu diesen elektrostatisch empfindlichen Bauteilen. Man sollte daher das direkte Berühren der

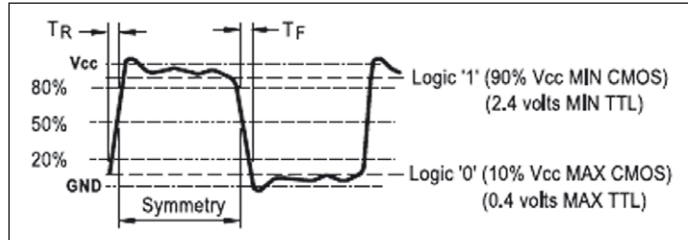


Bild 1: Einfaches Rechtecksignal und einige seiner Merkmale

Anschlüsse vermeiden. Der optimale Umgang mit hohem ESD-Schutz erfolgt im Einklang mit den Regeln gemäß dem Standard IEC 61340-5-1 und EN 100015-1. So sichert man sich gegen mögliche Herabminderungen der Oszillator-Performance infolge von Beschädigungen der internen Schaltung durch statische Spannungen ab. Falls nicht anders vorgegeben, werden die Oszillatoren von Axtal gemäß dem Human Body Model (HBM) nach IEC 61000-4-2 behandelt.

Zur Stromversorgung

Um das Entstehen undefinierter Potentiale zu vermeiden, sollten Quarzoszillatoren erst dann Betriebsspannung erhalten, wenn alle anderen Anschlüsse korrekt beschaltet sind. Ein „Hot Plug-in“, also das Einstecken oder Einsetzen eines an Betriebsspannung liegenden Quarzoszillators in seine andere Schaltungsumgebung muss vermieden werden. Eine zu hohe oder eine falsch gepolte Betriebsspannung kann

zu irreparablen Schäden des Oszillators führen.

Es wird ausdrücklich empfohlen, einen oder zwei Abblockkondensatoren mit kürzestmöglichen Verbindungen zwischen den Anschlüssen für DC Power (VCC) und Masse (GND) des Oszillators vorzusehen. Typische Werte sind 10 nF (X7R) und 100 pF (C0G). Ein zusätzlicher Bulk-Kondensator im Mikrofaraadbereich kann ebenfalls eingesetzt werden, wobei die Lage auf dem Board bzw. die Anschlusslänge unkritisch ist.

Eine gute und bewährte Layout-Technik zeichnet sich durch flächige Betriebsspannungs- und Masse-Zuleitungen aus, setzt also auf eine Multilayer-Platine.

Falls ein besonders geringes Phasenrauschen des Oszillatorsignals gefordert wird, muss man besonderes Augenmerk auf die Auswahl einer rauscharmen und von Nebensignalen (Spurious) freien Stromversorgung achten. Referenzmessungen an einer Batterie werden nachdrücklich empfohlen. Heute stehen

rauscharme Stromversorgungs-lösungen in Form von ICs oder Spezialschaltungen mit Operationsverstärkern bereit, welche eine dem Batteriebetrieb nahekommende Versorgung auf Netzbasis ermöglichen.

Zur Ausgangsbeschaltung

Der Ausgang des Oszillators muss mit der vom Hersteller spezifizierten Last abgeschlossen werden. Ein Sinus-Ausgang verlangt in der Regel einen ohmschen 50- oder 75-Ohm-Abschluss. Diese Last sollte möglichst nahe an den Ausgang gelegt werden. Falls das nicht möglich ist, benutzt man ein 50- oder 75-Ohm-Koaxialkabel. Dabei ist Folgendes zu beachten: Bei Fehlabschluss der Leitung (Nichtübereinstimmung des Lastwiderstands mit der Kabelimpedanz) kommt es zu einer Reflexion. Stimmen jedoch Oszillator-Ausgangswiderstand und Kabelimpedanz überein, so ist das Ergebnis identisch mit dem bei direktem Anschluss der Last an den Oszillator. Die Folge ist also nur eine gegenüber perfekter Anpassung reduzierte Leistung in die Last. Falls das Ausgangssignal auf mehrere Punkte geführt werden soll, beispielsweise auch an ein Oszilloskop, einen Frequenzzähler oder einen Leistungsmesser, so sollte man einen Power Splitter nutzen. Dieser verursacht allerdings einen Eigenverlust.

Bei einer Messung des Ausgangspegels muss der Eingangswiderstand des Messgeräts beachtet werden. Wenn eine Messeinrichtung ständig angeschlossen bleibt, so ist das kein Problem. Wird das Messgerät jedoch im Betrieb entfernt, so ist die damit verbundene Pegelerhöhung zu definieren. Bei Oszilloskopen und Frequenzzählern mit hochohmigem Eingang oder bei Verwendung von Tastköpfen ist der Anstieg des DC-Anteils des Eingangswider-

Die wichtigsten Punkte	
• mechanische Behandlung	• Messung des Phasenrauschens
• ESD-Verhalten	• Messung der Kurzzeitstabilität
• Stromversorgung	• Test der Alterung (Frequency Aging)
• Ausgangsbeschaltung	• Screening gemäß MIL-PRF-55310
• Electronic Frequency Control (EFC)	
• Temperaturstabilität der Frequenz	

Quelle: Application Note AXAN 011 - Rev. 2.3 Handling and Testing of Crystal Oscillators Axtal GmbH & Co. KG info@axtal.com www.axtal.com

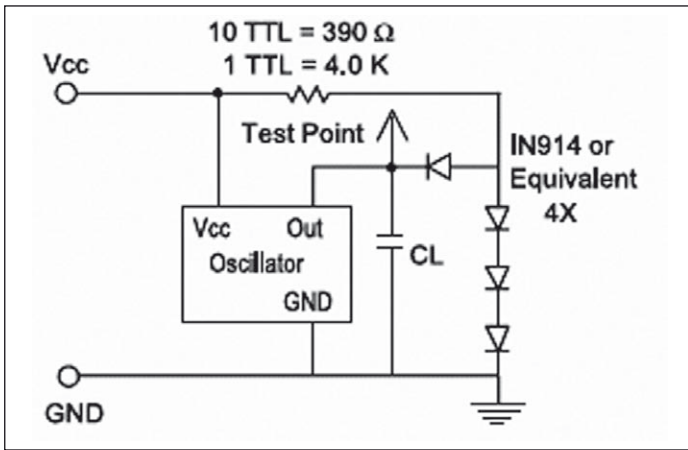


Bild 2: Kapazitive Last von 5 pF an einem TTL-Ausgang

stands zu beachten. Dieser ist leider oft nicht spezifiziert. In solchen Fällen kann man einen richtig abgeschlossenen 10-, 20- oder 30-dB-Attenuator zwischenschalten. Dieser mindert mit steigendem Dämpfungswert den störenden Einfluss der DC-Lastung durch das Messgerät.

Bild 1 zeigt einige Messparameter eines Rechtecksignals. Bei einfachen Rechteck-Ausgängen (logische Pegel) muss eine ganz andere, hochohmigere Beschaltung erfolgen als bei Sinus-Ausgängen. Ein TTL-Ausgang verlangt in der Regel gemäß Bild 2 noch 5 pF per Gate (fan-out). Bei vielen Oszilloskopen ist die Eingangskapazität an der Buchse schon größer. Man muss dann also über einen 1:10-Teiler messen.

Bei einem (H)CMOS oder LVC-MOS Output wird eine Lastkapazität zwischen 15 und 50 pF vorgeschrieben, je nach Oszillatortyp und Ausgangsspezifikation (Bild 3). Daher sind genaue Messungen unkritischer. Oft gibt es zwei (komplementäre, also phaseninverse) Rechteck-Ausgänge, wie in Bild 4 dargestellt. Die obigen Hinweise gelten für jeden dieser Ausgänge. Die typischen Beschaltungen für einen PECL-Ausgang und einen LVDS-Ausgang sind in den Bildern 5 und 6 abgebildet.

Koaxialkabel an Rechteck-Ausgängen sind kritisch. Durch den Schaltbetrieb der Oszillator-Endstufe wechselt sein Ausgangswiderstand im Betrieb, sodass eine perfekte Anpassung unmöglich wird. Zudem sind Kabel mit hoher Impedanz (entsprechend der Last) nicht möglich. Eine

Fehlanpassung am Ausgang des Kabels erzeugt jedoch eine Reflexion, sodass das Signal an der Last verformt erscheint. Dies ist bei Rechtecksignalen oft dramatisch. Weiter ist zu beachten, dass ein rein ohmscher Abschluss nicht möglich ist, da Logik-Eingänge mit einer nennenswerten Eingangskapazität beaufschlagt sind. Durch diesen Umstand wird das Signal an der Last weiter verzerrt.

Electronic Frequency Control (EFC)

Viele Quarzoszillatoren können mit einer DC-Steuerspannung in der Frequenz beeinflusst („gezogen“) werden. Diese Electronic Frequency Control muss sorgfältig vorgesehen und angewandt werden, um die Frequenz bestmöglich auf den Nominalwert zu bringen und vor allem dort zu halten. Auf keinen Fall sollte man einen EFC-Eingang (VC) offen lassen.

Zur Erzeugung der externen Steuerspannung gibt es verschiedene Möglichkeiten. Man muss jedoch dabei immer darauf achten, dass keine Masseschleifen zusammen mit dem Versorgungsstrom entstehen. Dies gelingt, wenn man den Masseanschluss des Oszillators als Sternpunkt betrachtet. Die Masseleitung der Steuerspannungsquelle ist also möglichst direkt an diesen zu legen. Weiter ist zu beachten, dass das Rauschen von der EFC-Versorgung ein erhöhtes Phasenrauschen und schlechtere Jitter-Performance des Oszillator-Ausgangssignals bewirken kann. Daher sind Batterien oder ultra-rauscharme

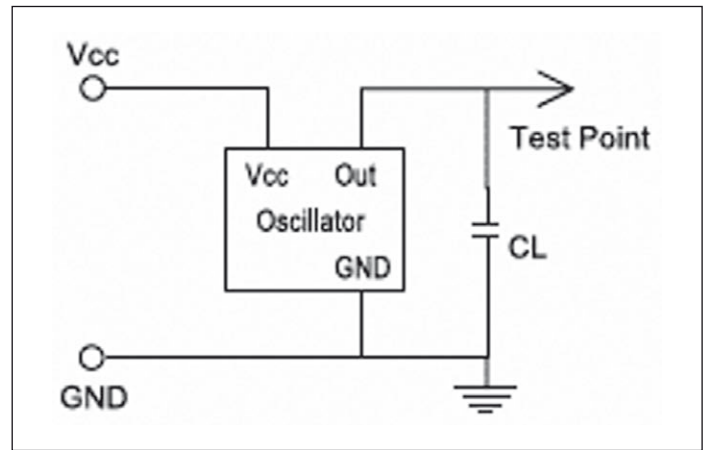


Bild 3: Kapazitive Last von 15 bis 50 pF an einen (H)CMOS-Ausgang

DC-Versorgungen für ein akkurates Phasenrausch- und Jitterverhalten des Quarzoszillators zu empfehlen.

Man kann oft die Steuerspannung von der Versorgungsspannung ableiten und benötigt dann im Prinzip nur ein Einstell-Potentiometer (Bild 6). Dessen Widerstand sollte geringer sein als die Eingangs-Impedanz des EFC (VC) Inputs, und zwar mindestens um Faktor 5.

Manche Oszillatoren (TCXOs und OCXOs) bieten einen Ausgang mit einer separaten Referenzspannung (VREF) für das Einstell-Potentiometer. Diese Referenzspannung weist geringes Rauschen und ein Temperaturverhalten auf, welches eine Kompensation des Temperaturgangs des Oszillators ermöglicht. Der Wert des Einstell-Potentiometers RC muss so ausgewählt werden, dass der maximal erlaubte Strom aus dem VREF Output (für gewöhnlich < 1 mA) nicht erreicht wird. Eine zusätzliche Filterung, im einfachsten Fall durch einen Kondensator am Oszillator-Stuer-

eingang gegen Masse, ist nur zu empfehlen.

Temperaturstabilität der Frequenz

Bezüglich des Verhaltens und Testens des Temperaturgangs bzw. Der Temperaturstabilität der Frequenz sollte man folgende wichtige Definitionen kennen:

- Betriebstemperaturbereich (Operating Temperature Range)

Das ist der Temperaturbereich, in welchem der Oszillator seine Spezifikationen einhält.

- Nutzbarer Temperaturbereich, Arbeitstemperaturbereich (Operable Temperature Range)

Das ist der über den Betriebstemperaturbereich hinausgehende Temperaturbereich, in welchem der Oszillator als solcher noch arbeitsfähig ist, wobei die Einhaltung einiger Parameter nicht mehr garantiert werden kann.

- Temperaturstabilität (Frequenz-Temperature Stability)

Das ist die maximal mögliche Änderung der Oszillatorfrequenz

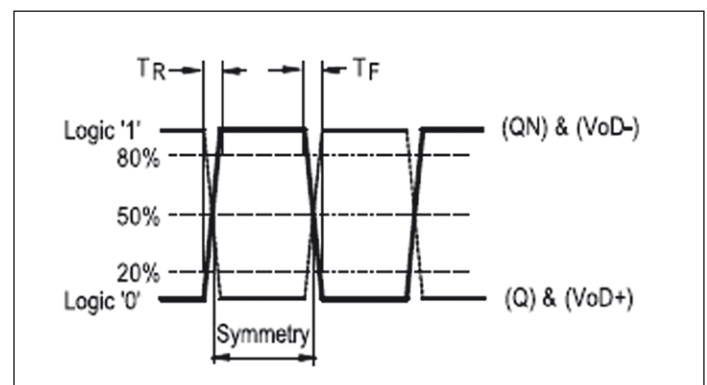


Bild 4: Zwei phaseninverse (komplementäre) Rechtecksignale

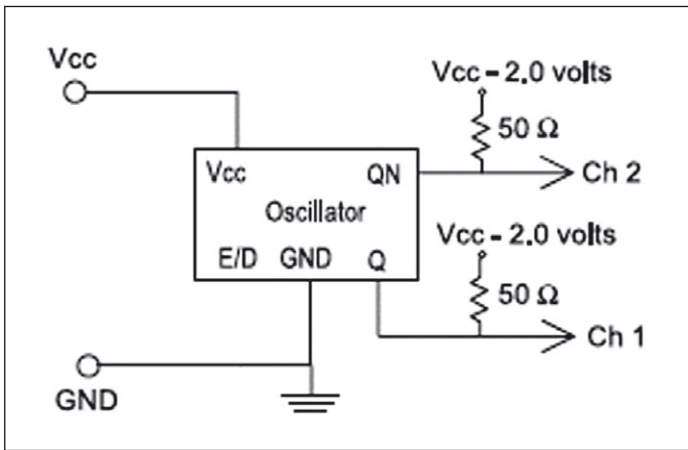


Bild 5: Ein komplementärer PECL-Ausgang mit seinen Pullup-Widerständen

ohne Bezugnahme auf eine Referenz über den gesamten Betriebstemperaturbereich bei nomineller Versorgungsspannung und Nennlast sowie konstanten anderen Einflüssen. Es gilt:

$$f\text{-T stability} = \pm (f_{\max} - f_{\min}) / (f_{\max} + f_{\min})$$

- Initial-Frequenz-Temperatur-Genauigkeit (Initial Frequency-Temperature Accuracy)

Das ist die maximale Abweichung der Oszillatorfrequenz vom Nennwert der Frequenz über den Betriebstemperaturbereich bei nomineller Versorgungsspannung und Nennlast sowie konstanten anderen Einflüssen. Es gilt:

$$f\text{-T accuracy} = \pm \max [\delta f_{\max}, \delta f_{\min}]$$

mit

$$\delta f_{\max} = |(f_{\max} - f_{\text{nom}}) / f_{\text{nom}}|$$

$$\delta f_{\min} = |(f_{\min} - f_{\text{nom}}) / f_{\text{nom}}|$$

Hinweis: Bei SPXOs und VCXOs wird manchmal die Frequenz bei einer Referenz-

temperatur f_{ref} von z.B. 25 °C statt f_{nom} genutzt.

Nun zum Testablauf: Der noch nicht versorgte Oszillator sollte in einer Temperaturkammer platziert und am Ausgang korrekt belastet werden. Bei VCXOs, VC-TCXOs und VC-OCXOs wird die Steuerspannung VC gemäß den Herstellerhinweisen gewählt. Man muss absichern, dass sie während des gesamten Tests konstant bleibt. Dann erst sollt man die Versorgungsspannung anlegen.

Der Oszillator sollte einer moderaten Luftzirkulation von 2 bis 3 m/s ausgesetzt sein. Dies ist besonders wichtig bei Messungen an OCXOs. Denn sonst ist es möglich, dass die Temperaturregelung des internen Ofens nicht mehr ordnungsgemäß funktioniert, wenn die Kammer Temperatur den oberen Wert der Betriebstemperatur erreicht.

Die Temperaturänderung (Temperature Ramp) sollte nicht höher als 5 K/min für PXOs und VCXOs und geringer als 1 K/min für OCXOs und für Testobjekte

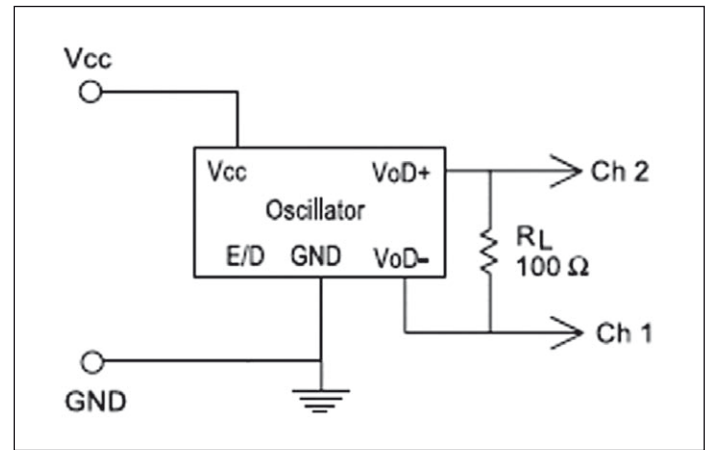


Bild 6: Hochohmiger Querwiderstand zwischen den Ausgängen eines LVDS-Bausteins

mit hoher thermischer Trägheit (Thermal Mass) sein.

Die Temperaturkammer sollte es erlauben, die Temperatur auf einem bestimmten Wert für eine angemessene Zeit (Soak Time) konstant zu halten.

Die Messung der Ausgangsfrequenz sollte mit ausreichender Genauigkeit und Auslösung nach dem Erreichen des thermischen Gleichgewichts (Thermal Equilibrium) erfolgen.

Messung des Phasenrauschens

Hier muss man verschiedene Voraussetzungen erfüllen, um präzise Resultate zu erhalten. So muss die Versorgungsspannung ein sehr geringes Rauschen aufweisen. Schaltregler sollte man auf jeden Fall vermeiden. Der Betrieb mit Batterien ist zu empfehlen. Auch hier sollte ein hochkapazitiver Abblockkondensator (> 100 µF) nicht fehlen.

Weiter zu beachten: Der EFC Input ist sehr sensibel gegenüber Rauschen, da über ihn der Quar-

zoszillator direkt moduliert wird. Daher muss die Steuerspannung VC einer extrem rauscharmen Quelle entstammen, möglichst einer Batterie. Einige Messinstrumente für das Phasenrauschen bieten eine geeignete Quelle an. Die Steuerspannung sollte über ein geschirmtes Kabel geleitet werden.

Falls der Oszillator einen Referenzspannungsausgang besitzt (VREF), so wird dringend empfohlen, diese Spannung als Steuerspannung zu verwenden. Alternativ kann der VC Input an Masse gelegt werden.

Um Interferenzen mit Nebenausstrahlungen der Umgebung zu vermeiden, wird empfohlen, den zu testenden Oszillator gegen die Umgebung elektromagnetisch abzuschirmen.

Ein Quarz ist ein piezoelektrisches Bauelement. Sein Verhalten kann also z.B. durch Druck oder Beschleunigung beeinflusst werden. So ist der Quarz in einem Oszillator sehr empfindlich gegenüber jedweder mechanischen Vibration. Daher sollte man ihn nicht auf den selben Tisch stellen, auf dem sich auch das Test Equipment befindet. Dieses kann aufgrund eines Lüfters oder Transformators durchaus die Quelle von Vibrationen sein.

Wenn man sehr geringe Rauschspannungen messen muss, dann ist auch darauf zu achten, dass das Eigenrauschen des Messinstruments in ausreichendem Maße geringer ist als der Messpegel. Bei dem Messverfahren der Kreuzkorrelation (Cross Correlation Test Mode) muss

Test	Level S	Level B
Random Vibration	MIL-STD-202, meth. 214, cond. I-B, 5 min/axis	N/A
Thermal Shock	MIL-STD-202, meth. 107, cond. A-1	MIL-STD-202, meth. 107, cond. A-1
Electrical Test:		
- Input Current/Power	X	N/A
- Output Waveform	X	N/A
- Output Level	X	N/A
- As specified	X	X
Burn-in (Load)	240 h @ max. Operating Temperature	160 h @ max. Operating Temperature
Seal Test	MIL-STD-202, meth. 112	MIL-STD-202, meth. 112
Radiographic	MIL-STD-202, meth. 209	N/A

dafür gesorgt werden, dass die Anzahl der Korrelationen hoch genug ist, um ein sicheres Messergebnis zu erhalten.

Messung der Kurzzeitstabilität

Die empfehlenswertesten Messverfahren für die Kurzzeitstabilität (Shortterm Stability) sind die sogenannte Allan Deviation (ADEV) oder die Overlapping Allan Deviation (OADEV).

Die Nutzung von modernen, hochauflösenden Zählern kann zu fehlerhaften Ergebnissen aufgrund des internen Interpolationsvorgangs führen.

Die folgenden Voraussetzungen müssen erfüllt sein, um Interferenzen und Triggerfehler auszuschließen:

- keine Masseschleifen im Testaufbau
- Nutzung einer phasenstabilen Verkabelung
- Das zu messende Signal (Rechteck) muss eine kurze Anstiegszeit und eine kurze Abfallzeit aufweisen sowie einen geringen Jitter-Anteil. Kurze Zeiten entstehen durch geringe kapazitive Belastung.

- Betreffs Versorgungs- und Steuerspannung gilt Dasselbe wie beim Phasenrauschen.
- Die Umgebungstemperatur muss so stabil sein wie nur möglich. Thermische Isolation gegenüber der Umgebung ist sehr zu empfehlen. Strömende Luft muss man tunlichst vermeiden.
- Akustische Schwingungen (Lärm) als auch mechanische Vibrationen dürfen nicht auftreten.
- Das elektromagnetische Abschirmen des Oszillators kann in Fällen hoher elektromagnetischer Empfindlichkeit des Oszillators erforderlich sein.

Vor der Gesamtanalyse sollte der Datensatz auf Kontinuität überprüft werden. Stark von der Gesamttendenz abweichende Ergebnisse („Außreißer“, Outliers) bezüglich Phase oder Frequenz sollten identifiziert und ausgeblendet werden, da sie vermutlich aufgrund externer Störeinflüsse entstanden sind oder grobe Messfehler darstellen.

Bevor die eigentliche Messung beginnt, muss der Oszillator

schon eine längere Zeit gelaufen sein, um sich zu stabilisieren. Temperaturstabilisierte Oszillatoren (OCXOs) erfordern eine längere Stabilisierungszeit als andere Oszillatortypen (SPXOs, VCXOs und TCXOs). Eine Daumenregel nennt für die Zeit der Stabilisierung mindestens zwölf Stunden. Für die Referenzmessungen sollte der Oszillator sich über 24 h stabilisieren können.

Test der Alterung (Frequency Aging)

Hierbei sollte der Oszillator bei einer bestimmten Temperatur kontinuierlich über mindestens 30 Tage laufen. Als Temperatur wählt man 70 °C oder die höchste spezifizierte Betriebstemperatur, falls diese geringer ist. Nach dem Einsetzen des Oszillators in den Temperaturofen sollte der Oszillator die Möglichkeit erhalten, die Lufttemperatur in dieser Kammer anzunehmen. Dann sollte der Oszillator angeschaltet und mindestens eine Stunde lang zwecks Stabilisierung betrieben werden. Stabilisierungszeiten bis zu 48 h werden vorgeschlagen. Nun können Messzyklen beginnen. Die

erste Messung sollte sofort nach der Stabilisierung erfolgen. Die weiteren Messungen sollten in Abständen bis höchstens 72 h über mindestens 30 Tage vorgenommen werden. Ausreichend ist stets eine tägliche Messung etwa zur selben Tageszeit. Bei nicht temperaturstabilisierten Oszillatoren kann man die zeitlichen Abstände mit der Zeit vergrößern.

Screening gemäß MIL-PRF-55310

Hundertprozentige Screening Tests müssen an hochzuverlässigen Oszillatoren erfolgen. Etwa für hochzuverlässige Weltraum-Applikationen ist der Screening Level S is vorgeschrieben, für andere hochzuverlässige Applikationen der Screening Level B.

Für Class 1 Oscillators (diskrete Technik) und Class 3 Oscillators (mixed Technology) umfasst die Screening-Prozedur die in der Tabelle aufgeführten Schritte. Für Details konsultiere man die letzte Ausgabe der Norm MIL-PRF-55310.

Übersetzung: FS

Alterungstest von nicht temperaturstabilisierten Oszillatoren

- Stabilisierung an Betriebsspannung über mindestens eine Stunde
- erste Messung der Frequenz bei einer Referenztemperatur von z.B. 25 °C
- Verbringung in einen Temperaturofen mit z.B. 85 °C, aber nicht höher als höchste Betriebstemperatur
- weitere Messungen können nach 1, 2, 5, 10, 20 Tagen erfolgen
- Zur Messung nimmt man den Oszillator aus dem Ofen und lagert ihn eine Stunde lang bei Raumtemperatur, um Temperaturschocks vorzubeugen.
- Messung der Frequenz bei Referenztemperatur
- letzte Messung nach 30 Tagen

Alterungstest von OCXOs

- Messung bei Raumtemperatur
- zunächst mindestens zwei Stunden Stabilisierung an Betriebsspannung
- Frequenzmessung mindestens fünfmal pro Woche (bei Axtal stündlich!)
- letzte Messung nach 30 Tagen
- Datennutzung erst ab Messung am dritten Tag

Die erhaltenen Messergebnisse sollten nach der Methode der geringsten Quadrierung (Method of Least Squares) gemäß einer der Funktionen

$$\text{Logarithmic Fit: } f(t)_{\text{Log}} = a_0 + a_1 \times \log(a_2 \times t + 1)$$

oder

$$\text{Polynomial Fit: } f(t)_{\text{poly}} = a_0 + a_1 \times t + a_2 \times t^{0.5}$$

verarbeitet werden. Darin ist $f(t)$ die Frequenz des Quarzoszillators, t die Anzahl der Tage nach dem Start der künstlichen Alterung und a_0 , a_1 , a_2 sind Konstanten gemäß der geringsten Quadrierung.

Die gesamte Frequenzänderung und die Alterungsrate am Ende der spezifizierten Periode sollten unter Nutzung der obigen und der folgenden Formeln ermittelt werden:

- Alterung pro Tag (Aging Rate) = $f(d_0 + 1) - f(d_0)$
- Alterung pro Monat = $f(d_0 + 30) - f(d_0)$
- Alterung pro Jahr = $f(d_0 + 365) - f(d_0)$

Hierin ist $f(t)$ eine der Alterungs-Approximationen aus obigem logarithmic oder polynomial Fit mit den festen Parametern a_0 , a_1 und a_2 und d_0 des letzten Tages der künstlichen Alterung plus 30 Tage.

Hinweis: Statt der absoluten Frequenz ist es üblich, die relative Frequenz $\Delta f/f$ (in ppm oder ppb) zu nutzen.