

## 8. Meßtechnik und Prüfung von Quarzoszillatoren

Die gebräuchlichsten Methoden zur Prüfung und Messung von Quarzoszillatoren ist in der Norm DIN IEC 679-1 ausführlich beschrieben. Zusätzliche Meßmethoden sind in der Fachgrundspezifikation DIN EN 169000 (CECC 69000) enthalten, die zur Zeit in die Neufassung der DIN IEC 679-1 eingearbeitet wird.

Messungen und Prüfungen, die in diesen Normen nicht oder nicht detailliert genug beschrieben sind, werden in Anlehnung an den MIL-Standard für Quarzoszillatoren MIL-O-55310 beschrieben.

### 8.1 Adaption

#### 8.1.1 Allgemeine Gesichtspunkte

Referenz: DIN IEC 679-1, Abschnitt 8.2.3, DIN EN 169000, Abschnitt 4.2

Um genaue Ergebnisse zu erzielen ist die Adaption des Meßobjekts an das Meßsystem sorgfältig durchzuführen. Das Prinzipschaltbild zeigt Bild 8.1.

Besondere Aufmerksamkeit ist auf folgende Punkte zu legen:

- Die Betriebsspannung  $U_B$  ist aus einer geeigneten stabilisierten Spannungsversorgung mit niedrigem dynamischen Innenwiderstand zu versorgen. Sie sollte HF-mäßig gut abgeblockt sein, üblicherweise erfolgt dies durch einen 10 nF-Kondensator, der direkt am  $U_B$ -Anschlußstift des Oszillators mit kurzer Masseableitung angebracht wird. Bei höheren Frequenzen oberhalb ca. 50 ... 100 MHz ist die Abblockung zusätzlich durch niedrigere Kapazitätswerte (1 nF, 100 pF) zu ergänzen. Wesentlich höhere Kapazitätswerte als 10 nF können bei der Messung des Anschwingverhaltens das Ergebnis verfälschen.
- Bei der Messung der Stromaufnahme  $I_B$  des Oszillators ist darauf zu achten, daß die Betriebsspannung  $U_B$  nicht verfälscht wird. Erforderlichenfalls ist am  $U_B$ -Anschlußstift die Senseleitung für die Spannungsregelung anzubringen. Der Strom durch die externe Last ist nicht mitzumessen.
- Die Ziehspannung  $U_Z$  muß von einem ausreichend genauen Netzgerät mit guter Auflösung gespeist werden, da die Ungenauigkeit durch die große Ziehsteilheit eines VCXOs zu erheblichen Frequenzfehlern führt. Empfehlenswert ist es, die Spannung über eine direkt am  $U_Z$ -Eingang des Oszillators angeschlossene Sense-Leitung zu regeln.
- Besondere Sorgfalt ist auf die korrekte Beschaltung des HF-Ausgangs zu legen. Die Größe und Form des Ausgangssignals hängen oft sehr stark von der Belastung - insbesondere von Blindwiderstand (Kapazität) der Last - ab. Für genaue Messungen ist es empfehlenswert, die effektive Lastimpedanz mit Hilfe eines Impedanzmeßgeräts bei der Betriebsfrequenz einzustellen. Die Beschaltung für die einzelnen Signalformen wird weiter unten genauer beschrieben. Die dort gezeigten Elemente sind mit möglichst kurzen Verbindungsleitungen direkt am Stift des HF-Ausgangssignals anzubringen. Wird ein Frequenzzähler und/oder ein Oszilloskop angeschlossen, ist zu beachten, daß deren Eingangsimpedanz Teil der HF-Last ist. Die Eingangskapazität vieler Oszilloskope und Frequenzzähler beträgt ca. 20 ... 30 pF. Hier sind dann unbedingt kapazitätsarme Tastköpfe (FET-Tastköpfe o.ä.) erforderlich. Viele Oszilloskope haben einen separaten Ausgang des verstärkten

X-Signals. In diesem Falle sollte der Frequenzzähler daran angeschlossen werden, wodurch er nicht mehr den HF-Ausgang des Oszillators belastet.

- Es empfiehlt sich, unter dem Meßobjekt eine großflächige Massefläche anzubringen. Ansonsten ist die Masseableitung von den verschiedenen Anschlüssen sternförmig zu einem gemeinsamen Massepunkt zu führen.

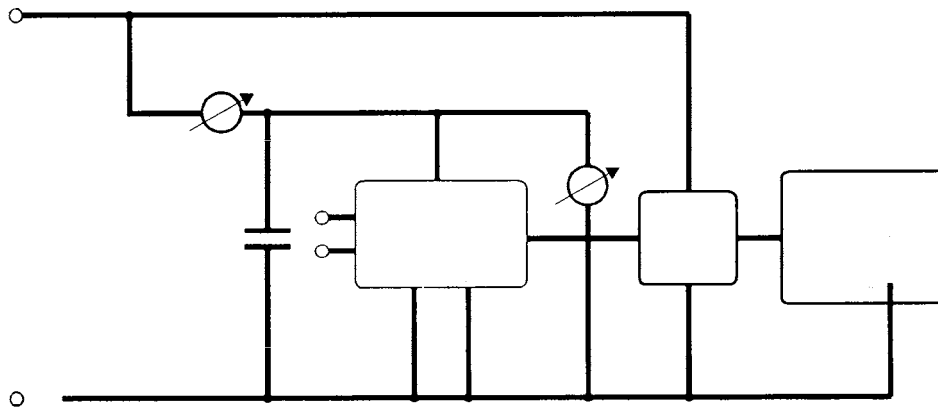


Bild 8.1: Schaltung des Meßadapters

### 8.1.2 Beschaltung des HF-Ausgangs und Messung des Ausgangssignals

Referenz: DIN IEC 679-1, Abschnitte 8.2.11 - 8.2.14, DIN EN 169000, Anhang A

Der HF-Ausgang des Oszillators ist in Bild 8.1 mit einer Last je nach Ausgangssignalart zu beschalten.

#### 8.1.2.1 Sinus-Ausgang

Bei sinusförmigen und sinusähnlichen („clipped sine-wave“) Ausgangssignalen ist die Ausgangslast durch einen ohmschen Widerstand  $R_L$  mit einer Parallelkapazität  $C_L$  gemäß Bild 8-2 definiert. Da die Ausgangsschaltung des Oszillators häufig einen abgestimmten Schwingkreis enthält, ist die Einhaltung der spezifizierten kapazitiven Ausgangslast unbedingt erforderlich. Dabei sind die Einflüsse der angeschlossenen Meßgeräte eingeschlossen. Zur Anpassung an ein  $50\ \Omega$ -Meßsystem kann  $R_L$  in die zwei Widerstände  $R_1$  und  $R_2$  unterteilt werden, wie in Bild 8.3 gezeigt. Ihre Werte errechnen sich nach den Formeln

$$R_1 = R_L - \frac{50\ \Omega}{\sqrt{1 - \frac{50\ \Omega}{R_L}}} \quad (1)$$

$$R_2 = \frac{50\ \Omega}{1 + \sqrt{1 - \frac{50\ \Omega}{R_L}}} \quad (2)$$

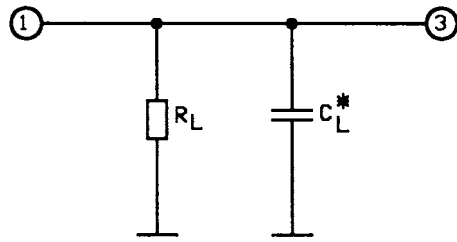


Bild 8.2

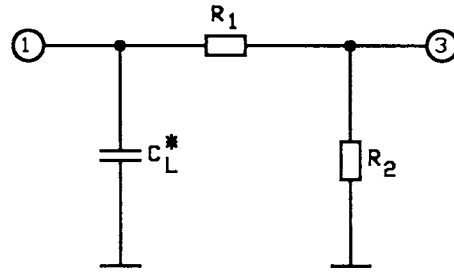


Bild 8.3

Die Pegelmessung erfolgt mit einem Oszilloskop oder einem HF-Millivoltmeter. Letzteres hat für sinusförmige Signale eine sehr hohe Genauigkeit, basiert aber meist auf einer Spitzenwertmessung und der angezeigte „Effektivwert“ ist für einen idealen Sinus daraus errechnet. Dies führt bei nichtsinusförmigen Signalen zu einem systematischen Meßfehler.

Das Ausgangsspektrum bestimmt man mit einem Spektrumanalysator, wobei je nach Aufbereitungssystem des Oszillators neben den Harmonischen (Oberwellen) auch Subharmonische (bei interner Frequenzvervielfachung) oder auch nichtharmonische Nebenwellen (z.B. bei PLL-Aufbereitung oder bei internen „wilden“ Schwingungen) auftreten können.

Referenz: DIN IEC 679-1, Abschnitte 8.2.20 - 8.2.21).

Zusätzliche Störfrequenzen oder Störbänder können z.B. durch

- FM-(Stör-)Modulation über den Zieheingang
- HF- und NF-Einströmung über den Betriebsspannungsanschluß (nichtideale HF-Abblockung)
- HF- und NF-Einströmung durch Stromkopplung über die endliche Länge der Massezuführung am Massestift
- Reziproke HF-Einstreuung von einem externen Generator in den HF-Ausgang hervorgerufen werden. Die Meßtechnik für derartige Effekte, die im Rahmen der EMV-Problematik bei dichtgepackten Baugruppen zunehmend wichtig werden, ist recht anspruchsvoll und übersteigt den Rahmen dieser Abhandlung.

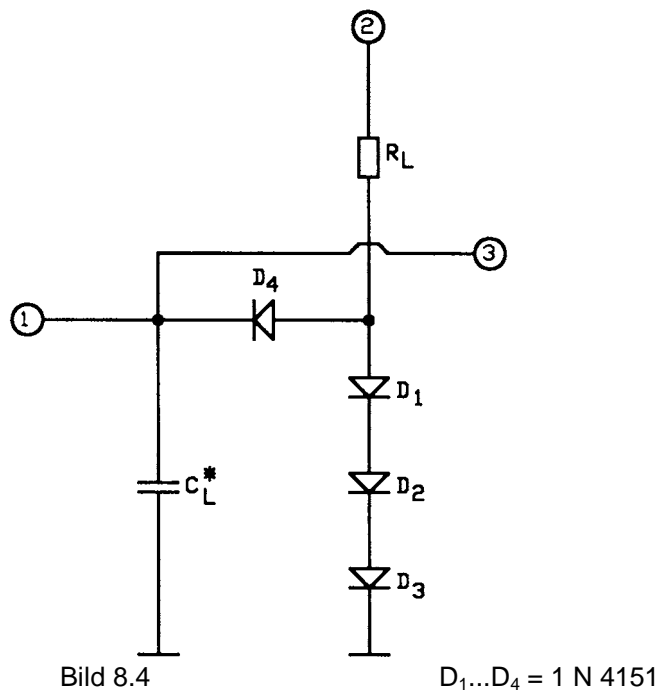
### 8.1.2.2. TTL-Ausgang

Ausgänge der TTL-Familie (TTL, LS-TTL, S-TTL, AS-TTL, ALS-TTL usw.) werden mit einer Dioden-Ersatzlast entsprechend Bild 8.4 abgeschlossen. Der Wert des Pull-up-Widerstands  $R_L$  ist abhängig von der Logikfamilie und vom Fan-out, d.h. der Zahl der angeschlossenen Gatter. Der Wert für Fan-out = 1 ist der Tabelle 1 zu entnehmen, für n Gatter ist  $R_L$  gleich dem Tabellenwert geteilt durch n.

			Standard TTL	LSTTL	STTL	ALSTTL	HCMOS	CMOS- komp.	ECL 10kH	ECL 100 k
U <sub>DL</sub> max			0.4 V	0.4 V	0.5 V	0.5 V	0.5 V	1.0 V	-1.63V	-1.62V
U <sub>DL</sub> min			0 V	0 V	0 V	0 V	0 V	0 V	-1.95V	-1.81V
U <sub>OH</sub> max			5.0 V	5.0 V	5.0 V	5.0 V	5.0 V	5.0 V	-0.81V	-0.88 V
U <sub>OH</sub> min			2.4 V	2.7 V	2.7 V	2.7 V	4.5 V	4.0 V	-0.98V	-1.025V
U <sub>T</sub>			1.5 V	1.5 V	1.5 V	1.5 V	2.5 V	2.5 V	-1.3V	-1.3 V
I <sub>OL</sub>			-1.6mA	-0.4mA	-2.0mA	-0.1mA	-		-	-
J <sub>OH</sub>			40µA	20µA	50µA	20µA	-	-	-	-
Fig.			8.4	8.4	8.4	8.4	8.2/8.3	8.2/8.3	8.6/8.7-	
$RL = \frac{RL}{Fanout}$	C <sub>L</sub> =C <sub>L</sub> •Fan out	R <sub>L</sub> C <sub>L</sub>	2.4k Ω 3pF	9.7k Ω 3pF	2.0k Ω 3pF	7.5k Ω 3pF	100k Ω 5pF	100k Ω 5pF	-	

Der Pull-up-Widerstand wird am Punkt 2 an die nominelle Betriebsspannung angeschlossen, der Strom durch  $R_L$  wird aber nicht zur Stromaufnahme des Oszillators gezählt.

Die Dioden sind Schaltdioden wie 1N4151 o.ä..



Der Tabellenwert für  $C_L$  gilt für Fan-out=1, für ein Fan-out=n ist  $C_L$  das n-fache des Tabellenwerts. In  $C_L$  sind die Einflüsse der angeschlossenen Meßgeräte eingeschlossen.

In der Tabelle sind noch die Grenzwerte der Low- und Highpegel  $U_{OL}$  und  $U_{OH}$  und die Spannung  $U_T$ , bei der das Tastverhältnis bestimmt wird, sowie die Ausgangsströme  $I_{OL}$  und  $I_{OH}$  angegeben. Die Definition der Pegel ist der Abb. 8.5 zu entnehmen.

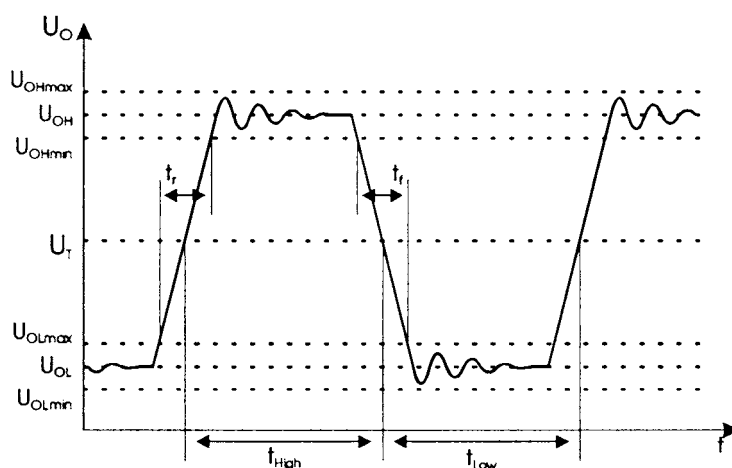


Bild 8.5

Tastverhältnis

$$= \frac{t_{\text{high}}}{t_{\text{high}} + t_{\text{low}}} \cdot 100\%$$

### 8.1.2.3 CMOS-Ausgang

Die C-MOS-Familien (C-MOS, HCMOS, AC MOS etc.) haben eine Ausgangslast, die durch einen (hochohmigen)  $R_L$  parallel zu einer Kapazität  $C_L$  bestimmt ist. Die Beschaltung ist gemäß den Bildern 8.2 bzw. 8.3 (für Anpassung an  $50\ \Omega$ ). Der Wert von  $R_L$  ist meist unkritisch und wird im Bereich von  $10\ \text{k}\Omega \dots 50\ \text{k}\Omega$  gewählt.  $C_L$  hat hier geringere Auswirkungen auf den Pegel als bei Sinusausgängen, sein Wert bestimmt aber die Stromaufnahme, weshalb er in Übereinstimmung mit der Spezifikation gewählt werden sollte.

In der Tabelle sind die Werte für  $C_L$  für Fan-out 1 angegeben, ebenso die Pegel für die 5V-Technik. Die neuen Logikfamilien mit 3,3V Betriebsspannung sind noch nicht berücksichtigt.

### 8.1.2.4 ECL-Ausgang

ECL-Ausgänge (ECL 10kH, ECL 100k, PECL, ECLinPS usw.) sind DC-gekoppelt und benötigen eine externe Hilfsspannung  $U_{EE}$ , die in der Anwenderschaltung durch das nachfolgende Gatter geliefert wird. Gleichzeitig muß HF-mäßig eine Abschlußimpedanz von  $50\ \Omega$  gegeben sein. Eine einfache Meßadaperschaltung zeigt Bild 8.6, an Stift 2 wird eine Vorspannung von -2V angelegt, um das benötigte  $U_{EE}$ -Potential zu erzeugen. Der Kondensator  $C_B = 1\ \text{nF} \dots 10\ \text{nF}$  dient zur HF-Abblockung.

Einen präziseren Abschluß für HF und DC erreicht man mit dem sog. „Magic-T“ wie in Bild 8.7 gezeigt. Zur DC-Abblockung des Ausgangs (Stift 3) wird in Reihe zu dem  $50\ \Omega$ -Längswiderstand noch ein Abblock-Kondensator von typ.  $1\ \text{nF}$  geschaltet. Magic-T-Abschlüsse sind kommerziell auch als fertige Bausteine erhältlich. Die Stromaufnahme von ECL-Oszillatoren wird z.T. mit angeschlossener Last spezifiziert, die oft einen großen Anteil des Gesamtstroms aufnimmt.

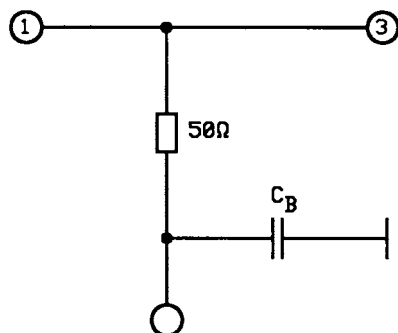


Bild 8.6

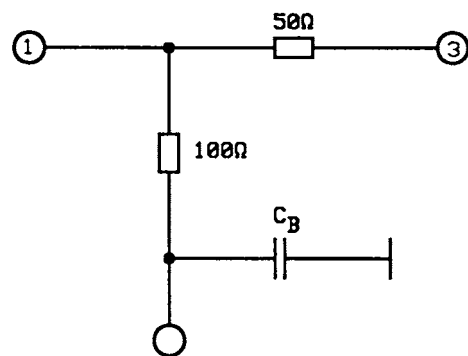


Bild 8.7

$C_B = 1\ \text{nF} \dots 10\ \text{nF}$

Die Tabelle zeigt die genormten Pegel für negative Betriebsspannung.

## 8.2 Frequenzmessungen

### 8.2.1 Erhöhung der Frequenzauflösung

Referenz: DIN IEC 679-1, Abschnitt 8.2.4, DIN EN 169000, Abschnitt 4.5.4

Die Frequenzauflösung bei konventionellen Frequenzzählern beträgt  $1\ \text{Hz}$  bei einer Torzeit von  $1\ \text{sec}$ , mit Reziprokszählern wird - insbesondere bei tiefen Frequenzen - eine bessere Auflösung erreicht. Modernste Frequenzzähler arbeiten mit speziellen Verfahren, die wesentlich höhere Auflösungen erreichen. Beispielsweise erreicht die

als PC-Einschubkarte lieferbare GT 200 der Fa. Guide Technology eine Auflösung von besser 1 ppm bei 1ms Torzeit und besser 1 ppb ( $= 10^{-9}$ ) bei 1 sec Torzeit. Zur weiteren Erhöhung der Frequenzauflösung bei gegebener Torzeit gibt es zwei Verfahren:

- Frequenzvervielfachung: Das Meßsignal wird um mehrere Größenordnungen vervielfacht. Eine Vervielfachung um Faktor 100 bringt bei gleicher Auflösung (z.B: 1 Hz) eine Verbesserung der Relativauflösung um Faktor 100 - solange der Frequenzzähler selbst ohne Vorteiler arbeitet. Dieses Verfahren ist sehr aufwendig und wird nur noch selten angewandt.
- Frequenzabmischung: Das Meßsignal wird mit einer stabilen Frequenz auf eine sehr niedere Frequenz, z.B. 10 Hz ... 1 kHz herabgemischt. Diese Frequenz kann mit einem Reziprozähler bis in den mHz oder mHz-Bereich aufgelöst werden, was bezogen auf die Ausgangsfrequenz eine enorme Steigerung der relativen Auflösung ergibt. Das Verfahren kann auch sukzessive mehrmals angewandt werden, was aber sehr aufwendig ist.
- Phasenmessung: Die Phasendifferenz zwischen der Ausgangsfrequenz (bzw. einer davon heruntergemischten niederen Frequenz) und dem Signal einer hochstabilen Referenzfrequenzquelle wird in engen Zeitabständen mit einem Vektorvoltmeter oder einem Phasendiskriminator gemessen. Aus dem

Differenzenquotient der Phasenänderung pro Zeiteinheit  $\frac{\Delta\phi}{\Delta t}$  kann die relative

Frequenzdifferenz  $\frac{\Delta f}{f_0}$  gemäß der Beziehung

$$\frac{\Delta f}{f_0} = \frac{1}{2\pi f_0} \frac{\Delta\phi}{\Delta t} \quad (3)$$

ermittelt werden.

Bei allen Verfahren zur Erhöhung der Auflösung ist darauf zu achten, daß die verwendete Referenzfrequenzquelle eine wesentlich bessere (Kurzzeit-)Stabilität als das Meßobjekt besitzt.

### 8.2.2 Abgleichtoleranz, Anliefertoleranz

Referenz: DIN IEC 679-1, Abschnitt 8.2.9, DIN EN 169000, Abschnitt 4.5.4

Die Abweichung der Oszillatorfrequenz von der Nennfrequenz wird bei vorgegebenen festen Randbedingungen (Referenztemperatur, Nennbetriebsspannung, Nennausgangslast) gemessen. Bei Oszillatoren mit elektrischer Frequenzabstimmöglichkeit (Ziehspannungseingang) wird die Ziehspannung auf den Nennmittelwert gestellt. Die Messung erfolgt nach thermischer Stabilisierung, die bei OCXOs bis zu 30 min betragen kann. Bei Oszillatoren mit Trimmer wird geprüft, ob die Nennfrequenz eingestellt werden kann und der Abstimbereich des Trimmers sowie - falls spezifiziert - die mögliche Frequenzauflösung - erreicht werden.

TCXOs werden häufig nicht auf Nennfrequenz eingestellt, sondern auf einen Offset, der auf dem Oszillator beschriftet ist. Die Prüfung erfolgt in diesem Fall gegen die Offsetfrequenz.

Wird der Oszillator längere Zeit nach Anlieferung gemessen, muß zur zulässigen Abgleich-/ Anliefertoleranz die in diesem Zeitraum maximal zulässige Alterung addiert werden.

Bei Oszillatoren, bei denen nur eine Gesamttoleranz definiert ist, muß zur gemessenen Abgleichtoleranz noch der Temperaturgang der Frequenz, der Frequenz-Belastungskoeffizient und der Frequenz-Spannungskoeffizient addiert werden.

### 8.2.3 Ziehbereich (VCXOs)

Referenz: DIN IEC 679-1, Abschnitte 8.2.9, 3.11 und 3.28, DIN EN 169000 Abschnitt 4.5.11

Die Frequenz-Spannungs-Kennlinie (Ziehkennlinie) von spannungsgesteuerten Quarzoszillatoren(VCXO) kann verschiedenartig spezifiziert werden (vgl. Bild 8.8):

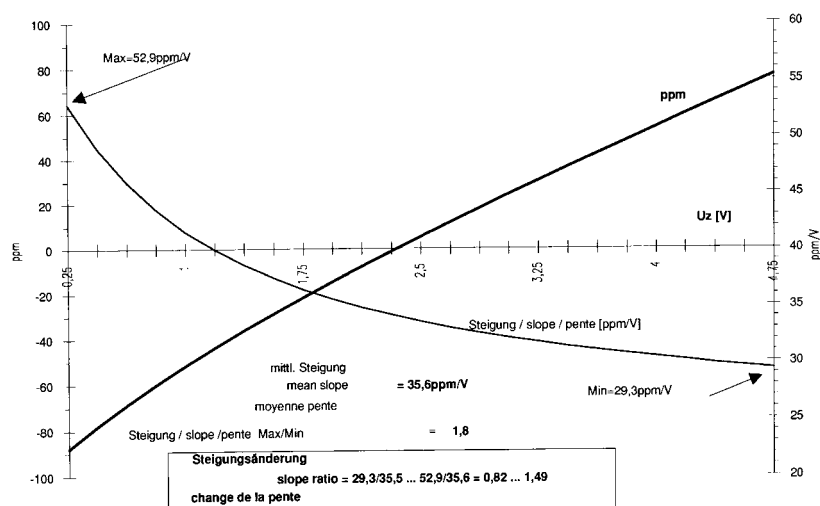
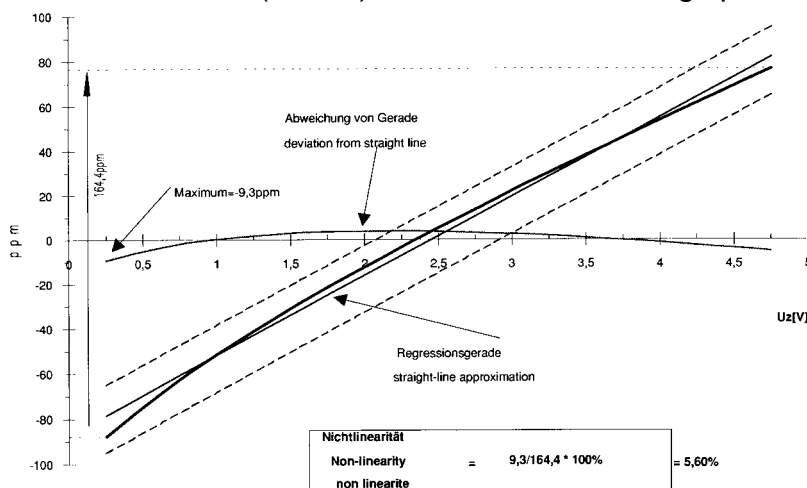


Bild 8.8

Ein Ziehspannungsbereich von  $2,5V \pm 2V$  bzw.  $2,5V \pm 2,25 V$  hat sich als Industriestandard herausgebildet, wobei meistens eine positive Ziehsteilheit (d.h. höhere Frequenz bei höherer Spannung) und seltener eine negative Ziehsteilheit spezifiziert wird.

- Im einfachsten Fall wird die Frequenztoleranz bezogen auf die Nennfrequenz bei der minimalen Ziehspannung  $U_{zmin}$  und bei der maximalen Ziehspannung  $U_{zmax}$  spezifiziert, bei der mittleren Ziehspannung aber keine Toleranz angegeben.

- Eine zweite einfache Spezifikation ist die Angabe eines Mindestwerts der Frequenzabweichung bei  $U_{zmin}$  und bei  $U_{zmax}$  sowie einer Abgleichtoleranz bei der mittleren Ziehspannung  $U_{zmitte}$ .
- Eine häufige Art ist die Spezifikation von Frequenztoleranzen bei den drei Ziehspannungen  $U_{zmin}$ ,  $U_{zmitte}$  und  $U_{zmax}$ .

Diese drei Arten lassen sich recht einfach und schnell messen.

- Für höhere Anforderungen wird zusätzlich noch die (Nicht-) Linearität der Ziehkennlinie vorgeschrieben. Die (Nicht-) Linearität ist die maximale Abweichung der Ziehkennlinie vom linearen Verlauf, der durch die Regressionsgerade durch die Meßwerte beschrieben wird. Sie wird ausgedrückt in Prozent des Gesamtziehbereichs. Dies ist im oberen Teil von Bild 8.8 erläutert.
- Statt der Linearitätsforderung wird zum Teil die Ziehsteilheit in ppm/V und deren maximal zulässige Änderung (in %) im gesamten Ziehbereich spezifiziert, wie im unteren Teil von 8.8 gezeigt.

Wie dem Bild zu entnehmen ist, stellt die Ziehsteilheitsforderung eine wesentlich schärfere Bedingung als die Nichtlinearitätsforderung dar: eine Nichtlinearität von 9,3% entspricht hier einer Änderung der Ziehsteilheit von -18% bis + 49%.

Die Meßtechnik für Nichtlinearität und Ziehsteilheit erfordert die Messung an einer größeren Anzahl von Punkten und deren rechnerischen Auswertung, wozu ein rechnergesteuerter Meßplatz zu empfehlen ist.

#### 8.2.4 Frequenz-Belastungskoeffizient

Referenz: DIN IEC 679-1, Abschnitte 3.18 & 8.2.6, DIN EN 169000, Abschnitt 4.5.6

Die genaue Messung der Frequenzänderung infolge Änderung der Ausgangslast erfordert einen sorgfältigen Entwurf des Meßadapters unter HF-Gesichtspunkten. Bei sinusförmigen Ausgangssignalen muß unterschieden werden zwischen dem Einfluß bei Änderung des ohmschen Abschlusses  $R_L$  (z.B.  $\pm 10\%$ ) und des kapazitiven Abschlusses  $C_L$ .

Bei Logik-Ausgängen (TTL-, CMOS- oder ECL-Familien) ist die Normung nicht ausreichend präzise. Zum Teil wird in der Praxis eine Änderung der Fan-out-Zahl spezifiziert oder es wird bei den TTL-Familien eine  $R_L$ -Änderung um  $\pm 10\%$  und bei den CMOS-Familien eine  $C_L$ -Änderung um  $\pm 10\%$  angenommen. Bei ECL ist die Messung wegen der hohen Frequenz noch wesentlich kritischer und muß im Einzelfall genauer definiert werden.

Da der Frequenz-Belastungskoeffizient bei vielen Quarzoszillatoren im Bereich 1 ppb bis 100 ppb liegt ist die Frequenzauflösung des Meßsystems entsprechend Abschnitt 6.2.1 anzupassen.

#### 8.2.5 Frequenz-Spannungskoeffizient

Referenz: DIN IEC 679-1, Abschnitt 8.2.7, DIN EN 169000, Abschnitt 4.5.7

Frequenzänderungen infolge von Betriebsspannungsänderungen werden durch direkte elektrische Schaltungseinflüsse und durch thermische Einflüsse bestimmt. Während die direkten elektrischen Einflüsse zur sofortigen Frequenzänderungen führen, haben die thermischen Einflüsse eine Zeitkonstante von Sekunden bis Minuten. Dies wird in den meisten Spezifikationen nicht unterschieden, weshalb es bei kritischen Anwendungen zu Unstimmigkeiten über Meßergebnisse kommen kann.



Bei PXOs, VCXOs und TCXOs ergibt sich eine Änderung der Leistungsaufnahme und damit eine Temperaturänderung, die über den Temperaturgang des Quarzes eine (langsame) Frequenzänderung hervorruft.

Bei OCXOs führt eine Betriebsspannungsänderung zu einer Änderung des thermischen Gleichgewichts innerhalb des Thermostaten und damit zu einem thermischen Regelvorgang. Die damit verbundenen sehr langsame Frequenzänderung wird nicht zum Frequenz-Spannungskoeffizienten gerechnet! Eine genaue Messung erfordert daher eine Aufzeichnung des zeitlichen Verlaufs der Frequenzänderung bei einem kompletten Spannungszyklus  $U_{\text{Bnenn}} \rightarrow (U_{\text{Bnenn}}+10\%) \rightarrow U_{\text{Bnenn}} \rightarrow (U_{\text{Bnenn}}-10\%) \rightarrow U_{\text{Bnenn}}$ . Für jedes Intervall wird die mittlere Frequenz nach Stabilisierung ermittelt und daraus der Frequenzsprung bei Betriebsspannungsänderung errechnet.

### **8.3 Messung des Temperaturverhaltens**

Referenz: DIN IEC 679-1, Abschnitte 8.1.7, 8.2.5 und 8.2.8, DIN EN 169000, Abschnitt 4.5.5

Die Messung des Temperaturgangs der Frequenz („TK-Messung“) ist bei Nennbedingungen durchzuführen. In Sonderfällen werden außer der Frequenz noch weitere Parameter wie z.B. Ausgangssignalpegel usw. über Temperatur geprüft. Geeignete komplette Meßsystem für die TK-Messung von Quarzoszillatoren sind kommerziell erhältlich.

In den meisten Fällen, d.h. zur Bestimmung des regulären TK-Verlaufs, ist bei PXOs, VCXOs und OCXOs eine Messung bei drei bis fünf Temperaturen ausreichend. Die Temperatur sollte vor jeder Messung ausreichend lange stabilisiert sein (mindestens 5 .. 15 min., bei OCXOs mindestens 30 ...45 min) und die Änderungsgeschwindigkeit beim Wechsel zur nächsten Meßtemperatur sollte nicht mehr als 10 K/min betragen, um Fehler durch thermische Überschwinger und Temperaturgradienten zu vermeiden.

Um schmalbandige TK-Einbrüche (sog. Frequenzdips) messen zu können, ist eine quasikontinuierliche Messung im Abstand von 1°C bis 5°C oder eine kontinuierliche Messung mit einer Temperaturrampe von ca. 0,5 K/min erforderlich. Letztere ist bei OCXOs nicht anwendbar. Derartige Messungen ergeben eine Verschiebung der TK-Kurve in Richtung des zeitlichen Temperaturgradienten.

Die Meßdaten der Frequenz werden meist auf eine Referenztemperatur bezogen, üblicherweise 25°C, und die Frequenzabweichung in ppm angegeben. Zur Messung der Gesamttoleranz werden die TK-Daten auf die Nennfrequenz bezogen.

#### **8.3.1 PXO/VCXO**

Zur Prüfung der Einhaltung der TK-Forderung im gesamten Arbeitstemperaturbereich können die ppm-Werte mathematisch an ein Polynom 3. oder 4. Ordnung angepaßt („gefittet“) werden. Grundlage ist die TK-Kurve von AT-Schwingquarzen, die sogenannte Bechmann-Formel. Die Meßgenauigkeit und sogenannte TK-Einbrüche (Frequenzdips durch gekoppelte Moden) werden durch die Abweichung der Meßdaten von der gefitteten Kurve charakterisiert. Es gilt das gleiche Verfahren wie in Abschnitt 4.6.2 beschrieben.

Bei VCXOs kann die Frequenzstabilität über Temperatur je nach Ziehspannung unterschiedlich sein. Die TK-Messung erfolgt dann bei der minimalen, der nominellen und der maximalen Ziehspannung, was in einem Temperaturlauf erledigt werden kann. Die spezifizierte Temperaturstabilität muß dann in jedem der drei TK-

Verläufe (bezogen auf die jeweilige Frequenz bei der Referenztemperatur) erfüllt sein.

Die TK-Hysterese wird üblicherweise durch die Frequenzdifferenz bei einer zweiten Ansteuerung der Referenztemperatur bestimmt.

### 8.3.2 TCXO

Durch die Temperaturkompensation ergibt sich eine TK-Kurve, die bei analog kompensierten TCXOs durch Polynome höherer Ordnung beschrieben werden kann, eine allgemeingültige Formel kann aber nicht angegeben werden. Die TK-Kurve von digitalkompensierten TCXOs (DTCXO) weist eine große Zahl kleinster „Wellen“ oder Frequenzsprünge auf. Die Überprüfung der TK-Stabilität erfordert daher die Messung bei einer größeren Zahl von Temperaturen (typisch mindestens 8 ... 10 Punkte).

Die Temperaturstabilität der Frequenz wird bei TCXOs meist nicht auf die Referenztemperatur bezogen, da der Verlauf nicht symmetrisch zu dieser ist. Eine TK-Forderung von z.B.  $\pm 1$  ppm wird dann als zulässige Gesamtabweichung im Temperaturbereich von 2 ppm interpretiert. In diesen Fällen wird dann der TCXO mit einem Offsetwert beschriftet, auf den die Frequenz bei Referenztemperatur (z.B. 25°C) einzustellen ist, damit die zulässige Stabilität im Temperaturbereich eingehalten wird.

Bei TCXOs kann sich je nach Stellung des Feinabgleichelements (Trimmer oder Abgleichspannung) die TK-Stabilität ändern. Dies kann geprüft werden, indem die TK-Messung mit drei verschiedenen Einstellungen des Trimmers bzw. der Abgleichspannung (bei der Referenztemperatur) durchgeführt wird:

- untere Abgleichtoleranz + Offset
- Offset
- obere Abgleichtoleranz + Offset

Die spezifizierte TK-Toleranz muß bei jeder der drei Stellungen einzeln eingehalten werden.

Die Stabilisierungszeit ist bei TCXOs länger als bei PXOs und VCXOs, da der interne Temperaturgradient zwischen den Temperatursensoren und dem Quarz sich ausgleichen muß.

Bei TCXOs mit einer TK-Stabilität kleiner 1 ppm (gesamt) kann die Hysterese einen nennenswerten Anteil an der TK-Toleranz haben. Sie sollte daher zumindest bei der Typprüfung gemessen werden. Dazu wird der Arbeitstemperaturbereich nacheinander in beiden Richtungen durchfahren. Beide TK-Kurven müssen innerhalb des Toleranz-Rechtecks liegen.

Die TK-Stabilität kann auch durch sogenannte Dips (Frequenzdiskontinuitäten des Quarzes) beeinflusst werden. Da diese oft nur in einem schmalen Temperaturbereich auftreten, ist eine TK-Messung im Abstand von 1 °C bis 5 °C oder eine quasikontinuierliche Messung erforderlich.

### 8.3.3 OCXO

Bei der TK-Messung von OCXOs ist zu beachten, daß die Eigenwärmeentwicklung der Oszillatoren der Temperaturregelung der Kammer entgegenwirkt. Die Meßergebnisse hängen auch von der Anordnung der Meßobjekte in der Kammer, dem sie umgebenden Luftstrom usw. ab. Der wärmeregelnde Luftstrom soll die Prüfobjekte nicht direkt anblasen. Die Oszillatoren müssen während der gesamten Prüfung an Betriebsspannung liegen.

Der TK-Verlauf bei OCXOs ist üblicherweise entweder eine monoton ansteigende bzw. abfallende Kurve oder eine flache Parabel 2.Ordnung. Zur Bestimmung der Temperaturstabilität reicht daher die Messung bei ca. 5 Temperaturen, die Zwischenwerte können durch Interpolation oder ein Polynomfitting zweiter Ordnung errechnet werden. Zu empfehlen ist, am Ende des Meßzyklus eine zweite Messung bei der Referenztemperatur durchzuführen, um die Meßunsicherheiten durch Hysterese und Kurzzeitalterung abschätzen zu können. Die Stabilisierungszeit muß mindestens 30 bis 45 min pro Temperatur betragen.

#### **8.4 Messung des Anschwingens**

Referenz DIN IEC 679-1 Amendment 49(Sec)264, DIN EN 169000, Abschnitt 4.5.9

Die in der jetzigen DIN EN 169000 angegebenen zwei Verfahren zur Messung der Anschwingzeit wurden überarbeitet und werden in der Neuauflage der DIN IEC 679-1 korrigiert.

Es wird unterschieden zwischen

- der Prüfung des Anschwingverhaltens. Das ist die Prüfung, ob der Oszillator auch zuverlässig anschwingt, wenn die Betriebsspannung als langsam ansteigende Rampe angelegt wird und
- der Messung der Anschwingzeit unter spezifizierten Bedingungen.

##### **8.4.1 Prüfung des Anschwingverhaltens**

Der Oszillator wird an eine programmierbare Spannungsversorgung angeschlossen und das HF-Ausgangssignal wird mit einem Oszilloskop registriert, wobei die X-Ablenkung so langsam eingestellt wird, daß der gesamte Anschwingvorgang beobachtet werden kann. Die Spannung des Netzteils wird rampenförmig von Null auf die Nenn-Betriebsspannung erhöht, wobei die Rampenzeit  $t_{\text{ramp}}$  das mindest 100- bis 1000-fache der spezifizierten oder erwarteten Anschwingzeit beträgt. (siehe Bild 8.9)

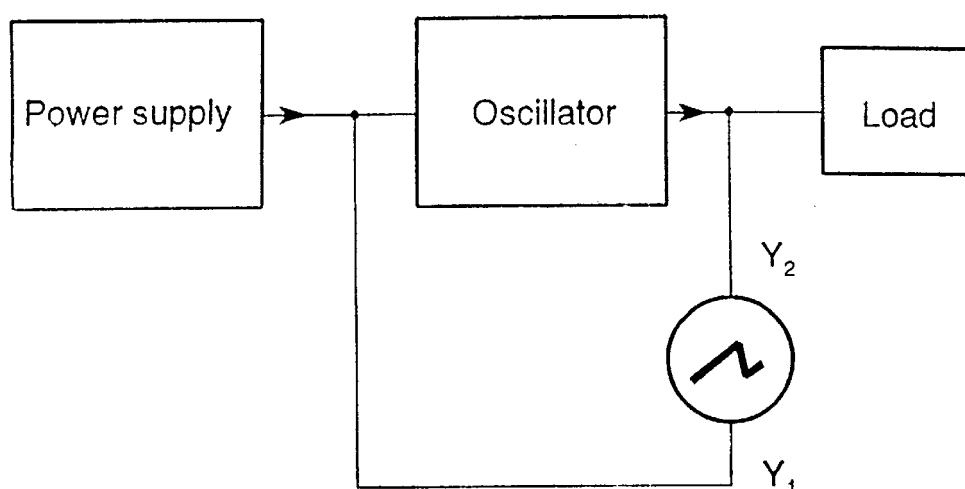


Bild 8.9

Der Oszillator muß ein reguläres und sich wiederholendes Anschwingverhalten zeigen, wie in Bild 8.10 gezeigt.

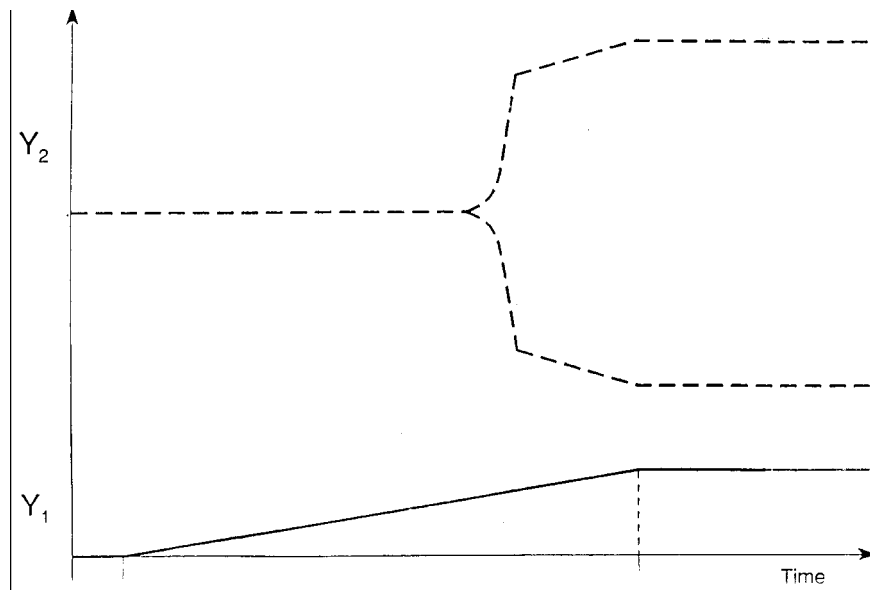


Bild 8.10

#### 8.4.2 Messung der Anschlagzeit

Der Oszillator wird wie in 8.4.1 gemäß Bild 8.9 an eine programmierbare Spannungsversorgung angeschlossen. Die X-Ablenkung des Oszilloskops wird auf ein Mehrfaches der spezifizierten oder erwarteten Anschlagzeit eingestellt (mehrere Millisekunden). Die Spannung des Netzteils wird rampenförmig von Null auf die Nenn-Betriebsspannung erhöht, wobei die Rampenzeit  $t_{\text{ramp}}$  weniger als ein Zehntel der spezifizierten oder erwarteten Anschlagzeit beträgt.

Die Anschlagzeit  $t_{\text{su}}$  ist die Zeitdifferenz zwischen dem Startpunkt der Spannungsrampe und dem Zeitpunkt, an dem die HF-Ausgangsspannung die folgenden Bedingungen erfüllt:

- bei (quasi-) sinusförmigem Ausgangssignal:  
Die Amplitude der Hüllkurve muß 90 % der Spitze-Spitze-Amplitude nach dem vollen Einschwingen betragen.
- bei Logikausgangssignal:  
Die Pulsfolge ist periodisch mit einer Frequenz in der Nähe der Endfrequenz. Der Low-Pegel  $V_{\text{Lo}}$  bleibt andauernd unter  $V_{\text{OL}}$  und der High-Pegel  $V_{\text{Hi}}$  oberhalb  $V_{\text{OH}}$ , wobei  $V_{\text{OL}}$  und  $V_{\text{OH}}$  durch die angewandte Logikfamilie bestimmt sind.

Zur Erläuterung siehe Bild 8.11.

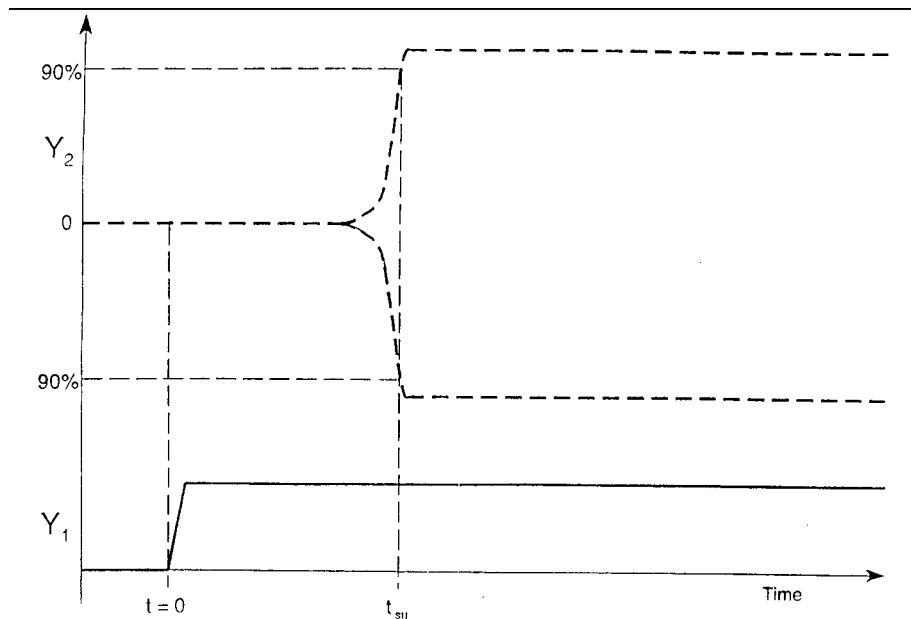


Bild 8.11

Es ist zu beachten, daß das Ausgangssignal für den Eintreten des eingeschwungenen Zustands irreguläre „wilde“ Schwingungen aufweisen kann. Ferner muß sicher sein, daß die internen Abblockkondensatoren des Oszillators vor dem Start der Messung entladen sind.

Die Messung kann entweder als Einmal-Rampe oder mit periodischer Rampe durchgeführt werden. Bei periodischem, repetierendem Betrieb müssen folgende Bedingungen gemäß Bild 8.12 erfüllt sein;

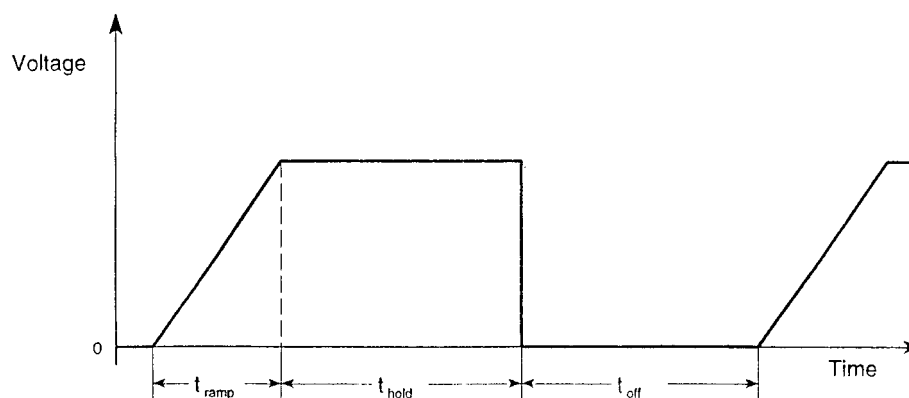


Bild 8.12

- $t_{ramp}$  wie angegeben
- $t_{hold} \geq 100 \cdot t_{su}$
- $t_{off}$ : die minimale Zeitdauer ist so zu wählen, daß eine weitere Verlängerung das Ergebnis für  $t_{su}$  nicht ändert, typisch ist  $t_{off} \geq 100 \cdot t_{su}$

Es ist zu empfehlen, daß während der  $t_{off}$ -Zeit die Betriebsspannung des Oszillators kurzgeschlossen ist, um die internen Abblockkondensatoren zu entladen.

Der Faktor 100 in den Formeln für  $t_{hold}$  und  $t_{off}$  kann verkleinert werden, wenn sichergestellt ist, daß die gemessene Anschwingzeit unverändert bleibt (insbesondere bei hoher Schwinggüte des Resonators).

## 8.5 Messung der Kurzzeitstabilität und des Phasenrauschens

Referenzen:

Kurzzeitstabilitätsmessung (Allan-Varianz): DIN IEC 679-1 Abschnitt 8.2.22.2

Phasenrauschen: DIN IEC 679-1 Abschnitt 8.2.22.1, DIN EN 169000, Abschnitt 4.5.25.

Die Meßverfahren für die Allan-Varianz  $\sigma_y^2(\tau)$  und das Einseitenband-Phasenrauschen  $L(f)$  sind übergreifend in dem Kapitel 7 beschrieben.

## 8.6 Prüfung der Langzeitstabilität (Alterung)

Referenz: DIN IEC 679-1, Abschnitt 9.3.1, DIN EN 169000, Abschnitte 4.7.1 und 4.7.2, MIL-O-55310, Abschnitt 4.9.34.

Es ist zu unterscheiden zwischen der allgemein gebräuchlichen 30-Tage-Alterung, die in DIN EN 169000 und MIL-O-55310 beschrieben ist und der sog. Erweiterten Alterungsprüfung über 1000 bis zu 8000 Stunden nach DIN EN 169000, die nur „zur Information“ dient.

### 8.6.1 30-Tage-Alterung

PXO, VCXO und TCXOs werden bei 85°C, OCXOs bei 25°C für die Dauer von 30 Tagen betrieben. Die Oszillatoren müssen während der Dauer der Prüfung in der Prüfkammer bleiben und dauernd mit der Betriebsspannung verbunden sein.

Nach DIN EN 169000 wird die Ausgangsfrequenz zum ersten Mal nach 24 Stunden und zum letzten Mal nach 30 Tagen gemessen. Die dazwischenliegenden Messungen werden im Abstand von einem, höchstens 5 Tagen durchgeführt, wobei mindestens 4 Zwischenmessungen erforderlich sind.

Die Alterungsforderung enthält entweder eine Angabe über die maximal zulässige Frequenzänderung in den 30 Tagen oder eine Alterungsforderung pro Tag, die aus der Frequenzänderung der letzten fünf Tagen aus mindestens drei Meßpunkten ermittelt wird (Regressionsgerade).

Bei OCXOs wird zusätzlich zur Frequenz noch die Stromaufnahme über Zeit protokolliert.

In MIL-O-55310 wird die Auswertung der Meßdaten der Frequenzalterung auf der Basis einer logarithmischen Funktion

$$\Delta f/f_0 [\text{in ppm}] = A_0 + A_1 \log (A_2 t + 1)$$

mit

$$\Delta f = f - f_0 \text{ (in Hz)}$$

$f_0$  = erste Frequenzmessung (in MHz) nach 48 Stunden

$t = 0$  am Beginn der Stabilisierung (1.Tag)

definiert. Die Messung muß bei TCXOs und OCXOs mindestens vier Mal pro Woche über 28 Tage erfolgen. Die Koeffizienten  $A_0$ ,  $A_1$  und  $A_2$  werden mit einer Kurvenanpassung nach der Methode der kleinsten Fehlerquadrate (least square fitting) aus den Meßdaten ermittelt (siehe auch Kapitel Meßtechnik von Schwingquarzen). Die Standardabweichung der Meßwerte von der gefitteten Kurve darf maximal 5 % der zulässigen 30-Tage-Alterung betragen.

Die Alterung über 30 Tage wird aus der gefitteten Kurve errechnet. Die Alterung pro Jahr wird mit den berechneten Koeffizienten hochgerechnet. Die meisten Spezifikationen geben die Alterung nach 20 oder 30 Tagen Betrieb in der Anwendung an, was bei der Hochrechnung zu berücksichtigen ist. Die Alterung pro Tag wird aus der Steigung der gerechneten Anpassungskurve am 30.Tag ermittelt.

Ist der Alterungstrend nicht monoton, wird die Alterungsprüfung fortgesetzt (bis zu max. 40 Tagen nach dem Auftreten der Nichtmonotonie. Die mathematische Auswertung der Alterung erfolgt dann aus den Daten der letzten 28 Tagen.

### 8.6.2 Erweiterte Alterung

Die Prüfung erfolgt wie in 8.6.1 beschrieben, jedoch über einen Zeitraum von 1000, 2000 oder 8000 Stunden. Die Messung kann ggf. auch bei 25°C erfolgen. Der Zeitraum zwischen den einzelnen Messungen wird im allgemeinen verlängert auf ca. eine Messung pro Woche.

Die Ergebnisse werden zur Information protokolliert, es erfolgt keine rechnerische Auswertung oder Hochrechnung (Extrapolation).

## 8.7 Spezielle OCXO-Messungen

### 8.7.1 Einlauf- und Wiederkehrverhalten (Retrace)

Referenz: DIN IEC 679-1, Abschnitte 8.2.17 und 8.2.10, DIN EN 169000, Abschnitte 4.5.10 und 4.5.12.

Das Einlaufverhalten wird durch zeitlich eng aufeinanderfolgende Frequenzmessungen unmittelbar nach dem Einschalten bis zur Stabilisierung des OCXO ermittelt. Die Einlaufzeit  $t_s$  beträgt typisch 5 min ... 30 min bis zu mehreren Stunden. Beurteilungskriterium ist, ab wann die im Gleichgewicht erreichte Endfrequenz mit einer bestimmten Abweichung (z.B. mit  $10^{-7}$  Toleranz) erreicht wird (siehe Bild 8.13).

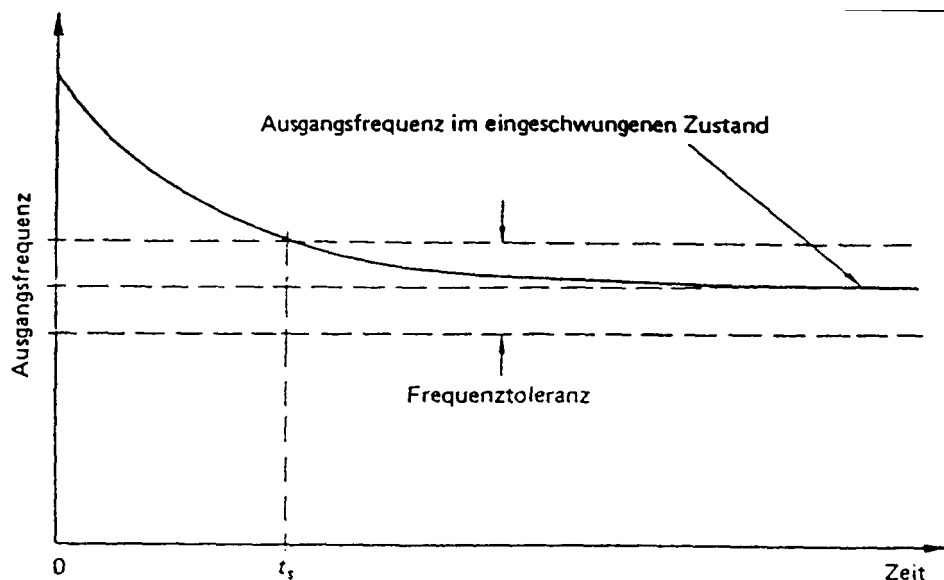


Bild 8.13

Als Einlaufdauer wird z.T. auch die Zeit verstanden, wenn die Stromaufnahme der OCXO-Heizung vom Aufheizstrom steil auf den Gleichgewichtswert abfällt. Das Wiederkehrverhalten oder Retrace wird nach einem längeren Dauerbetrieb des Oszillators bestimmt, in dem dieser für eine bestimmte Zeit (z.B. 24 Stunden) abgeschaltet und danach wiedereingeschaltet wird. Die Wiederholungszeit  $t_r$  ist die Zeit bis der Oszillator nach dem Wiedereinschalten innerhalb einer bestimmten Abweichung die neue Endfrequenz erreicht. Das Retrace oder Rückkehr-Frequenztoleranz ist die Frequenzdifferenz (in ppb), die sich zwischen der

Endfrequenz vor dem Ausschalten und der neuen Endfrequenz nach dem Wiedereinlauf einstellt, wie in Bild 8.14 gezeigt.

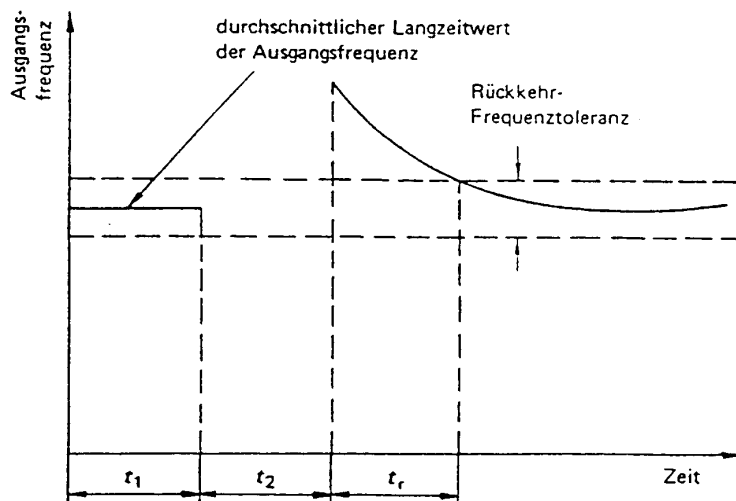


Bild 8.14

Für ein genaues Meßergebnis ist sicherzustellen, daß der Oszillator vor und nach dem Abschalten bei der gleichen Umgebungstemperatur betrieben wird, falls erforderlich sollte die Messung in einer Temperatorkammer erfolgen.

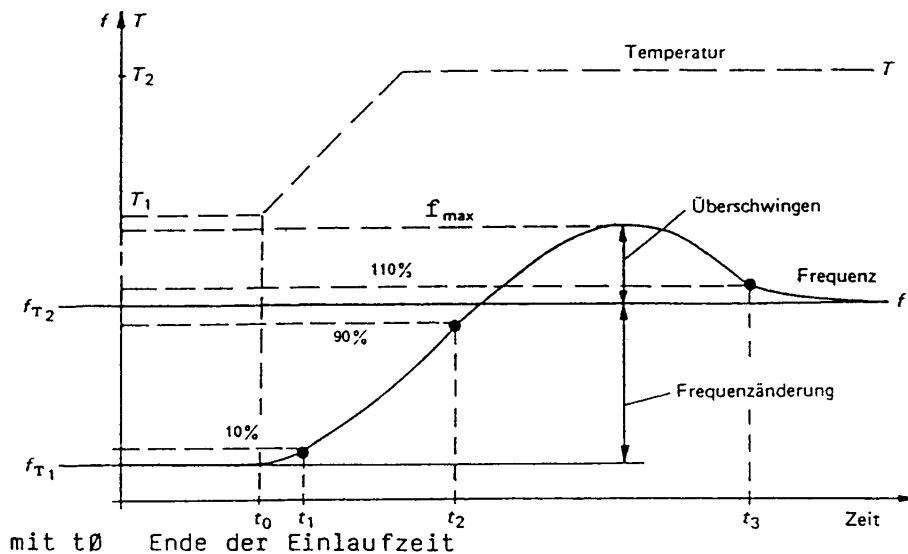
### 8.7.2 Thermisches Überspringen

Referenz: DIN IEC 679-1, Abschnitte 8.2.8, DIN EN 169000, Abschnitt 4.5.5

Der Oszillator wird in einer Temperatorkammer mit geeigneter Luftströmung betrieben. Nach der Stabilisierung bei einer Extremtemperatur werden die Ausgangsfrequenz und die Kammertemperatur fortlaufend aufgezeichnet. Die Prüfkammertemperatur wird dann in Schritten von 1,5 K bis zur anderen Extremtemperatur erhöht, wobei die Temperatur sich mit einer Rate von 0,5 K/min. ändert.

Es ergibt sich ein typisches Verhalten der Frequenzänderung über Zeit, wie in Bild 8.15 angegeben.





- $t_1$  Zeit, in der die Frequenz 10 % des endgültigen Wertes ihrer Änderung erreicht
- $t_2$  Zeit, in der die Frequenz 90 % des endgültigen Wertes ihrer Änderung erreicht
- $t_3$  Zeit, in der die Frequenz 110 % des endgültigen Wertes ihrer Änderung bei der Rückkehr nach dem Überschwingen erreicht (für Fälle, wo das Überschwingen größer als 10 % ist).

Bild 8.15

## 8.8 Sonstige Prüfungen

Die Prüfung der mechanischen und klimatischen Umweltaforderungen ist in DIN IEC 679-1 und in DIN EN 169000 (CECC 69000) beschrieben. Diese Normen geben Einzelheiten zur Durchführung der Tests sowie die für Quarzoszillatoren angemessenen Prüfschärfen der in der DIN IEC 68-... allgemein für die Elektronik genormten Prüfmethoden an.

Im ersten Abschnitt wird eine Übersicht über die gängigen Prüfverfahren mit Verweis auf die gültigen Normen gegeben. Einzelheiten können den zitierten Schriften entnommen werden.

### 8.8.1 Mechanische und klimatische Umweltprüfungen (Übersicht)

Die folgende Tabelle 3 zeigt einen Auszug der gebräuchlichsten Prüfungen für Quarzoszillatoren aus den zitierten Normen.

Prüfung	DIN IEC 68 Teil ...	DIN IEC 679-1 Kap...	DIN EN 169000 Kap. ...	MIL-O-55310 Kap. ...	Bemerkungen
Sichtprüfung, Abmessungen		6.1, 7.1, 7.2	4.4	4.9.1	Gehäuseabmessungen in DIN IEC 679-3
Mechanische Widerstandsfähigk. der Anschlüsse	2-21	9.2.1	4.6.1	4.9.51	Prüfungen Ua1, Ua2, Ub
Dichtheitsprüfung	2-17	9.2.2	4.6.2	4.9.2	Groblecktest (Qc), Feinlecktest (Qk)
Lötbarkeit der Anschlüsse	2-20; 2-54 2-58, 2-69	9.2.3	4.6.3	4.9.52	Prüfung Ta (Lötbad ( $235 \pm 5$ )°C) bzw. Benetzungswaage SMD: Prüfung Td (Lötbad); Prüfung Te

					(Benetzungswaage)
Lötwärme- beständigkeit	2-20 2-58		4.6.3	4.9.48	Prüfung Tb (Lötbad) SMD: Prüfung Td (Lötbad)
Schocken	2-27	9.2.7	4.6.8	4.9.40	Prüfung Ea, 3 x pro Achse 100g, 6 ms
Dauerschocken	2-29	9.2.5	4.6.6		Prüfung Eb, 4000 Schocks pro Achse, 40g, 6 ms
Freier Fall	2-32		4.6.9		Prüfung Ed Verfahren 1, 2 x aus 1m Höhe
Schwingen, sinusförmig	2-6	9.2.6	4.6.7	4.9.38.1 4.9.38.2	Prüfung Fc, 10 Zyklen pro Achse, 10 Hz - 55 Hz 0,75mm; 55 Hz - 2 kHz, 10g
Schwingen, rauschförmig	2-36		4.6.7	4.9.38.3	Prüfung Fdb (z.B. 100 Hz - 2 kHz, 0,04 g <sup>2</sup> /Hz); oft in Verbindung mit Phasenrauschmessung
Rascher Temperaturwechsel	2-14	9.2.4	4.6.5	4.9.44	Prüfung Na, 10 Zyklen an Extremtemp. des Arbeitstemperaturbereichs bei OCXOs: -40°C / +85°C
Trockene Wärme	2-2	9.2.10.1	4.6.14		Prüfung Ba, 16 h bei 100°C bzw. Temperatur entspr. Klimaklasse
Feuchte Wärme, zyklisch	2-30	9.2.10.2 9.2.10.4	4.6.15		Prüfung Db Variante 1 Schärfe b), 55°C über 6 Zyklen
Kälte	2-1	9.2.10.3	4.6.16		Prüfung Aa, 2 h bei -65°C bzw. Temperatur entspr. Klimaklasse
Klimafolge	1-7	9.2.10	4.6.17		ohne Prüfung M
Feuchte Wärme, konstant	2-3	9.2.11	4.6.18		Prüfung Ca, 56 Tage
Eintauchen in Reinigungsmittel	2-45 2-70		4.6.21		Prüfung Xa Verfahren 1 Prüfung Xb (Testfinger)

Tabelle 3: Übersicht über mechanische und klimatische Umweltprüfungen für Quarzoszillatoren

Weitere Tests für Umweltbedingungen können den angegebenen Normen sowie MIL-STD-202 und MIL-STD-883 entnommen werden. Ihre Anwendbarkeit auf Quarzoszillatoren und die geeigneten Prüfschärfen sind im Einzelfall festzulegen.

Für eine Qualifikationsprüfung müssen die oben genannten Prüfungen in geeigneter Art und Weise ausgewählt und kombiniert werden. Hierzu ist in DIN EN 169100 (CECC 69100) ist die Prüfplanung für die sog. Befähigungsanerkennung (Capability Approval CA) nach DIN EN 100114 (CECC 00114) Teil 3 für eine Klasse von strukturell ähnlichen Oszillatoren beschrieben.

### 8.8.2 Screening-Verfahren

Ein klassisches Verfahren zur Selektion von Bauteilen ausreichender Qualität ist das Screening, das aus den militärischen Normen stammt.

MIL-STD-883 definiert Screening-Methoden für Mikroelektronik-Bauelemente allgemein. Die dort beschriebenen Methoden 5004.6 und 5008.2 werden z.T. auch für Quarzoszillatoren herangezogen, obwohl nicht alle Prüfmethode immer anwendbar sind.

Speziell für Quarzoszillatoren zugeschnitten ist die MIL-O-55310. Die Klasse B unterscheidet zwischen Oszillatoren in diskreter Konstruktion und in Hybridkonstruktion.

Der Screening-Ablauf ist in der nachfolgenden Tabelle 4 dargestellt:

<b>Prüfung</b>	<b>diskrete Konstruktion</b>	<b>Hybridkonstruktion</b>
Interne Sichtprüfung	nach MIL-O-55310 Lötstellen 3.6.10 Ausführung 3.9	nach MIL-STD 883 Methode 2017
Stabilisierungs-Tempern	- - -	nach MIL-STD 883 Methode 1008, Cond. C 24 h bei 150°C
Wärmeschock	nach MIL-STD 202 Meth. 107, Cond. A-1	- - -
Temperaturzyklen	- - -	nach MIL-STD 883 Methode 1010, Cond. B
Konstante Beschleunigung	- - -	nach MIL-STD 883 Methode 2001, Cond. A nur y1-Richtung 5000g
Dichtheit (Grob- und Feinleck)	nach MIL-STD 202 Meth. 112	nach MIL-STD 883 Methode 1014
Erste elektrische Prüfung	nach Spezifikation	nach Spezifikation
Burn-in-Prüfung	bei höchster Arbeitstemperatur 160 h mit $U_B$ und Last	bei 125°C 160 h mit $U_B$ und Last
Elektrische Endprüfung	Strom-/ Leistungsaufnahme Ausgangs-Kurvenform Ausgangspegel usw. gemäß Spezifikation	Strom-/ Leistungsaufnahme Ausgangs-Kurvenform Ausgangspegel usw. gemäß Spezifikation

Tabelle 4: Screening-Verfahren für Quarzoszillatoren nach MIL-O-55310, Klasse B

Es soll an dieser Stelle darauf hingewiesen werden, daß das „Hineinprüfen“ von Qualität in die Produkte eine veraltete Philosophie ist, die nicht in der Lage ist, heutige Qualitätsanforderungen im ppm-Bereich zu erreichen. Moderne Qualitätsstrategien zielen darauf ab, die Qualität durch eine Absicherung der Fertigungsprozesse und des gesamten Qualitätssystems durch Überwachung und ständige Verbesserung zu erhöhen.

Das Verfahren der Technikanerkennung, das in DIN EN 100114-6 (CECC 00114-6) beschrieben ist, bildet hierfür eine Grundlage.

## 8.9 Normenübersicht zu Quarzoszillatoren

DIN IEC 50 (561)	Internationales Elektrotechnisches Wörterbuch, Untergruppe 561: Piezoelektrische Bauelemente zur Frequenzsteuerung und -Selektion
DIN IEC 68 DIN IEC 68-1 DIN IEC 68-2 DIN IEC 68-2-xx	Grundlegende Umweltprüfverfahren Teil 1: Allgemeines und Leitfaden Teil 2: Prüfungen Prüfung xx
DIN IEC 679 DIN IEC 679-1 DIN IEC 679-2 DIN IEC 679-3	Quarzoszillatoren Teil 1: Allgemeine Information, Prüfbedingungen und Verfahren Teil 2: Leitfaden zur Anwendung von Quarzoszillatoren Teil 3: Gehäuse für Quarzoszillatoren
DIN EN 169000 (≡CECC 69000)	Fachgrundspezifikation: Quarzoszillatoren
DIN EN 169100 (≡CECC 69100)	Rahmenspezifikation: Quarzoszillatoren (Befähigungsanerkennung)
DIN EN 169101 (≡CECC 69101)	Vordruck für Bauartspezifikation Quarzoszillatoren (Befähigungsanerkennung)
DIN EN 169200	Rahmenspezifikation: Quarzoszillatoren (Bauartzulassung)

(≡CECC 69200)	
DIN EN 169201 (≡CECC 69201)	Vordruck für Bauartspezifikation Quarzoszillatoren (Bauartzulassung)
MIL-O-55310	Military Specification, General Specification for Crystal Oscillators
MIL-STD 202	Test Methods for Electronic and electrical Component Parts
MIL-STD 883	Test Methods and Procedures for Microelectronics !