

DIN EN IEC 60444-6

ICS 31.140

EntwurfEinsprüche bis 2021-08-11
Vorgesehen als Ersatz für
DIN EN 60444-6:2014-02**Messung von Schwingquarz-Parametern –
Teil 6: Messung von Belastungsabhängigkeit (DLD)
(IEC 49/1344/CD:2020);
Text Deutsch und Englisch**

Measurement of quartz crystal unit parameters –
Part 6: Measurement of drive level dependence (DLD)
(IEC 49/1344/CD:2020);
Text in German and English

Mesure des paramètres des résonateurs à quartz –
Partie 6: Mesure de la dépendance du niveau d'excitation (DNE)
(IEC 49/1344/CD:2020);
Texte en allemand et anglais

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2021-06-11 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfs besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal von DIN unter www.din.de/go/entwuerfe bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an dke@vde.com möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an die DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE oder Stresemannallee 15, 60596 Frankfurt am Main.

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 38 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE

Nationales Vorwort

Das internationale Dokument IEC 49/1344/CD:2020 „Measurement of quartz crystal unit parameters – Part 6: Measurement of drive level dependence (DLD)“ (CD, en: Committee Draft) ist unverändert in diesen Norm-Entwurf übernommen worden. Dieser Norm-Entwurf enthält eine noch nicht autorisierte deutsche Übersetzung.

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung des CD entsprechend der diesbezüglich durch die IEC erteilten Erlaubnis beigefügt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen IEC-Text.

Das internationale Dokument wurde vom IEC/TC 49 „Piezoelectric, dielectric and electrostatic devices and associated materials for frequency control, selection and detection“ der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) erarbeitet und unterliegt dem Copyright der IEC . Das Dokument wurde den nationalen Komitees zur Stellungnahme vorgelegt.

Die Internationale Elektrotechnische Kommission (IEC) und das Europäische Komitee für Elektrotechnische Normung (CENELEC) haben vereinbart, dass ein auf IEC-Ebene erarbeiteter Entwurf für eine Internationale Norm zeitgleich (parallel) bei IEC und CENELEC zur Umfrage (CDV-Stadium) und Abstimmung als FDIS (en: Final Draft International Standard) bzw. Schluss-Entwurf für eine Europäische Norm gestellt wird, um eine Beschleunigung und Straffung der Normungsarbeit zu erreichen. Dokumente, die bei CENELEC als Europäische Norm angenommen und ratifiziert werden, sind unverändert als Deutsche Normen zu übernehmen.

Da der Abstimmungszeitraum für einen FDIS bzw. Schluss-Entwurf FprEN nur 6 Wochen beträgt, und dann keine sachlichen Stellungnahmen mehr abgegeben werden können, sondern nur noch eine „JA/NEIN“-Entscheidung möglich ist, wobei eine „NEIN“-Entscheidung fundiert begründet werden muss, wird bereits der CD als DIN-Norm-Entwurf veröffentlicht, um die Stellungnahmen aus der Öffentlichkeit frühzeitig berücksichtigen zu können.

Für dieses Dokument ist das nationale Arbeitsgremium DKE/K 642 „Piezoelektrische Bauteile zur Frequenzstabilisierung und -selektion“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE (www.dke.de) zuständig.

Aktuelle Informationen zu diesem Dokument können über die Internetseiten von DKE (www.dke.de) und DIN (www.din.de) durch eine Suche nach der Dokumentennummer aufgerufen werden.

Für den Fall einer undatierten Verweisung im normativen Text (Verweisung auf ein Dokument ohne Angabe des Ausgabedatums und ohne Hinweis auf eine Abschnittsnummer, eine Tabelle, ein Bild usw.) bezieht sich die Verweisung auf die jeweils aktuellste Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments.

Für den Fall einer datierten Verweisung im normativen Text bezieht sich die Verweisung immer auf die in Bezug genommene Ausgabe des Dokuments.

Der Zusammenhang der zitierten Dokumente mit den entsprechenden deutschen Dokumenten ergibt sich, soweit ein Zusammenhang besteht, grundsätzlich über die Nummer der entsprechenden IEC-Publikation. Beispiel: IEC 60068 ist als EN 60068 als Europäische Norm durch CENELEC übernommen und als DIN EN 60068 ins Deutsche Normenwerk aufgenommen.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. IEC ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Änderungen

Gegenüber DIN EN 60444-6:2014-02 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) im gesamten Dokument wurden einige Schreibfehler berichtigt;
- b) einige Gleichungen wurden entfernt oder berichtigt;

- c) in ANMERKUNG wurde festgelegt, dass ein anderer anwendbarer Bereich als der AT-Schnitt und ein Beispiel für ein im Handel erhältliches Messsystem verwendet werden können;
- d) Abschnitt 2 wurde an den aktuellen Standardtext angepasst.

Inhalt

	Seite
Einleitung.....	5
1 Anwendungsbereich.....	6
2 Normative Verweisungen.....	6
3 Begriffe.....	6
4 Effekte der Belastungsabhängigkeit (DLD-Effekte).....	6
4.1 Reversible Frequenz- und Widerstandsänderungen.....	6
4.2 Irreversible Frequenz- und Widerstandsänderungen.....	7
4.3 Ursachen von DLD-Effekten.....	7
5 Belastungspegel der DLD-Messung.....	7
6 Prüfverfahren.....	8
6.1 Verfahren A (schnelles Standard-Messverfahren).....	8
6.1.1 Prüfung bei zwei Belastungen.....	8
6.1.2 Prüfung nach Spezifikation.....	9
6.2 Verfahren B (Referenzmessverfahren mit mehreren Belastungspegeln).....	10
Anhang A (normativ) Beziehung zwischen elektrischer Belastung und mechanischer Verschiebung in Schwingquarzen.....	12
Anhang B (normativ) Verfahren C: Messung der Belastungsabhängigkeit mit Oszillatorschaltung.....	15
Literaturhinweise	19
 Bilder	
Bild 1 – Höchstzulässiges Widerstandsverhältnis y für die Belastungsabhängigkeit als Funktion des Widerstands R_{r2} oder R_{r3}	9
Bild B.1 – Einsetzen eines Schwingquarzes in einen Oszillator.....	15
Bild B.2 – Verlustwiderstand des Schwingquarzes als Funktion der Verlustleistung.....	16
Bild B.3 – Verhalten des Resonanzwiderstandes R_r eines Schwingquarzes.....	17
Bild B.4 – Blockdiagramm einer Schaltungsanordnung.....	17
Bild B.5 – Kurvenverlauf des eingebauten –ROSC über den erfassten Belastungsbereich.....	18
Bild B.6 – Belastungsverhalten eines Schwingquarzes bei Verwendung von –ROCS = 70 Ω als Prüfgrenzwert in der Prüfung nach Anhang B.....	18
Bild B.7 – Prinzipielle schematische Darstellung der Gut/Schlecht-Prüfschaltung.....	18

Einleitung

Die Belastung (ausgedrückt als Leistung/Spannung über dem oder Strom durch den Schwingquarz) veranlasst den Resonator wegen des piezoelektrischen Effekts zu mechanischen Schwingungen. Dabei wird die Beschleunigungsarbeit in kinetische und elastische Energie und der Leistungsverlust in Wärme umgewandelt. Letzteres ist durch die innere und äußere Reibung des Schwingquarz-Resonators bedingt.

Die Reibungsverluste hängen von der Geschwindigkeit der schwingenden Massen ab und nehmen zu, wenn die Schwingung nicht mehr linear ist oder wenn kritische Geschwindigkeiten, Dehnungen oder andere verformende Spannungen, Auslenkungen oder Beschleunigungen im Schwingquarz-Resonator oder an seinen Oberflächen und Befestigungspunkten auftreten (siehe Anhang A). Diese verursachen Widerstands- und Frequenzänderungen und auch weitere Veränderungen, die durch die Temperaturabhängigkeit dieser Parameter bedingt sind.

Bei „hohen“ Belastungen (z. B. über 1 mW oder 1 mA für AT-Schnitt-Schwingquarze) werden bei allen Schwingquarzen Änderungen beobachtet, die auch zu irreversiblen Amplituden- und Frequenzänderungen führen können. Jede weitere Zunahme der Belastung kann den Resonator zerstören.

Außer diesem Effekt werden Frequenz- und Widerstandsänderungen bei „niedrigen“ Belastungen bei einigen Schwingquarzen beobachtet (z. B. unter 1 μ W oder 50 μ A bei AT-Schnitt-Schwingquarzen). In diesem Fall wird der Einsatz der Schwingung verhindert, wenn die Verstärkung in der Rückkopplungsschleife nicht ausreicht. In Schwingquarzfiltern ändern sich Dämpfung und Welligkeit des Übertragungssystems.

Ferner hängt auch die Kopplung zwischen einem vorgeschriebenen Schwingungsmodus und anderen Modi (z. B. dem Resonator selbst, der Befestigung und dem Füllgas) von der Belastung ab.

Bedingt durch das unterschiedliche Temperaturverhalten dieser Modi führen diese Kopplungen innerhalb enger Temperaturbereiche zu Frequenz- und Widerstandsänderungen des vorgeschriebenen Modus. Diese Änderungen nehmen mit größer werdender Belastung zu. Dieser Effekt wird jedoch in diesem Teil von IEC 60444 nicht weiter betrachtet.

Die erste Ausgabe der IEC 60444-6 wurde 1995 veröffentlicht. Bis heute wurde sie jedoch nicht überarbeitet. In der Zwischenzeit hat die Forderung nach einer genaueren Festlegung und Messung der Belastungsabhängigkeit (DLD) zugenommen.

In dieser Neuausgabe wird das in IEC 60444-6:1995 verwendete Konzept der Belastungsabhängigkeit beibehalten. Seine Definition aber wurde an die strengen Anforderungen seitens der Kunden angepasst. Außerdem werden die auf der Sitzung in Stanford im Juni 2011 getroffenen Festlegungen berücksichtigt.

Messung von Schwingquarz-Parametern – Teil 6: Messung von Belastungsabhängigkeit (DLD)

1 Anwendungsbereich

Dieser Teil von IEC 60444 gilt für die Messungen der Belastungsabhängigkeit (DLD, en: drive level dependence) von Schwingquarzen. Zwei Prüfverfahren (A und C) und ein Referenzverfahren (B) werden beschrieben. Verfahren A basiert auf dem Verfahren in einem π -Netzwerk nach IEC 60444-1 und kann im gesamten Frequenzbereich, für den dieser Teil von IEC 60444 zutrifft, eingesetzt werden. Referenzverfahren B basiert auf dem Verfahren in einem π -Netzwerk oder dem Reflexionsverfahren nach IEC 60444-1, IEC 60444-5 oder IEC 60444-8 und kann im gesamten Frequenzbereich, für den dieser Teil von IEC 60444 zutrifft, eingesetzt werden. Verfahren C ist ein Oszillatorverfahren, das besonders für Messungen von Grundton-Schwingquarzen in größerer Stückzahl mit festen Messbedingungen geeignet ist.

ANMERKUNG In diesem Dokument festgelegte Messverfahren sind nicht nur auf AT-Schnitte anwendbar, sondern auch auf andere Quarzschnitte und Schwingungsmodi, wie doppelt gedrehte Schnitte (IT, SC), und auf Stimmgabel-Schwingquarze (durch Verwendung einer Hochimpedanz-Prüfvorrichtung).

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

IEC 60444-1, *Measurement of quartz crystal unit parameters by zero phase technique in a π -network – Part 1: Basic method for the measurement of resonance frequency and resonance resistance of quartz crystal units by zero phase technique in a π -network*

IEC 60444-5, *Measurement of quartz crystal units parameters – Part 5: Methods for the determination of equivalent electrical parameters using automatic network analyzer techniques and error correction*

IEC 60444-8, *Measurement of quartz crystal unit parameters – Part 8: Test fixture for surface mounted quartz crystal units*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

ISO und IEC stellen terminologische Datenbanken für die Verwendung in der Normung unter den folgenden Adressen bereit:

- IEC Electropedia: verfügbar unter <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online Browsing Platform: verfügbar unter <http://www.iso.org/obp>

4 Effekte der Belastungsabhängigkeit (DLD-Effekte)

4.1 Reversible Frequenz- und Widerstandsänderungen

Reversible Änderungen sind Frequenz- und Widerstandsänderungen, die jeweils bei den gleichen Belastungen auftreten, nachdem Wiederholungsmessungen abwechselnd bei niedrigen und bei hohen Belastungen durchgeführt wurden oder nach kontinuierlichen oder quasi-kontinuierlichen Messungen von der niedrigsten zur höchsten Belastung und zurück, wenn diese Änderungen innerhalb der Grenzen der Messgenauigkeit gleich bleiben.

4.2 Irreversible Frequenz- und Widerstandsänderungen

Irreversible Änderungen sind deutliche Frequenz- und/oder Widerstandsänderungen, die bei einer niedrigen Belastung nach einer Zwischenmessung bei hoher Belastung auftreten, z. B. wenn sich ein vorher hoher Widerstand bei niedriger Belastung bei der Wiederholungsmessung in einen niedrigen Widerstand bei hoher Belastung ändert. Insbesondere wenn der Schwingquarz für mehrere Tage nicht in Betrieb war, könnte sich sein Widerstand auf einen hohen Wert zurück geändert haben, wenn er wieder bei niedriger Belastung betrieben wird. Dem irreversiblen Effekt sollte größere Aufmerksamkeit geschenkt werden, da er die Eigenschaften von Geräten, die nur sporadisch betrieben werden, stark beeinträchtigen kann.

4.3 Ursachen von DLD-Effekten

Während die meist reversiblen Effekte durch eine übermäßige Belastung des Schwingquarzes zustande kommen, sind die irreversiblen Effekte durch die Herstellung bedingt, insbesondere durch unvollkommene Herstellungstechniken. Beispiele hierfür sind:

- Teilchen auf der Oberfläche des Resonators (teilweise durch Öl, Reinigungs- oder Lösemittel oder elektrostatisch gebunden);
- mechanische Beschädigung des Resonators (z. B. Risse als Folge von übermäßig groben Schleifmitteln, die größer werden können);
- Gas- und Öleinschlüsse in den Elektroden (z. B. durch ein schlechtes Vakuum oder eine unangemessene Beschichtungsgeschwindigkeit während des Aufdampfens);
- schlechter Kontakt zwischen Elektroden an der Befestigung (z. B. der leitfähige Klebstoff verfügt über eine ungeeignete Metallkomponente, war ungenügend ausgeheizt oder überhitzt; auch zu großer Kontaktwiderstand zwischen leitfähigem Klebstoff und Elektroden oder Befestigung);
- mechanische Spannungen zwischen Befestigung, Elektroden und Schwingquarz.

5 Belastungspegel der DLD-Messung

Für die DLD-Messung werden eine niedrige und eine hohe Belastung (und möglicherweise weitere Belastungen) angewendet. Die hohe Belastung ist die Nennbelastung, die der Belastung für den Anwendungsfall im eingeschwungenen Zustand entsprechen sollte.

Es wird darauf hingewiesen, dass diese Belastung unter der in Anhang A abgeleiteten anwendbaren Höchstbelastung liegen sollte. Wenn nicht anders angegeben, muss für den Schwingquarzstrom ein Normwert von 1 mA, entsprechend der Geschwindigkeit von $v_{\max} = 0,2$ m/s für AT-Schnitt-Schwingquarze, benutzt werden. Die Belastung in W wird dann aus dem Mittelwert des vorgeschriebenen höchsten und niedrigsten Widerstands berechnet.

Die niedrigste Belastung, die beim Schwingquarzeinsatz eines Oszillators auftritt, kann wegen der Rauschgrenzen der Messgeräte bei Messungen nach IEC 60444-1 bei annähernd 1 nW oder 10 μ A (abhängig vom Gerät kann der niedrigste Belastungswert auf 0,1 nW bzw. 1 μ A verringert werden) nur in wenigen Fällen durch aktive oder passive Messverfahren bestimmt werden.

Als praktischer Wert bei Messungen in einem π -Netzwerk (siehe Verfahren A) hat sich eine Geschwindigkeit von $v_{\max} = 0,01$ m/s, entsprechend 50 μ A bei AT-Schnitt-Schwingquarzen, erwiesen.

In den folgenden Absätzen werden zwei Prüfverfahren und ein Referenzverfahren zur DLD-Messung beschrieben.

Verfahren A basiert auf dem Verfahren in einem X-Netzwerk nach IEC 60444-1 und kann im gesamten Frequenzbereich, für den diese Norm zutrifft, eingesetzt werden. Es gestattet die schnelle Selektion von belastungsempfindlichen Schwingquarzen durch eine Folge von drei Messungen. Die zulässige Änderung des Resonanzwiderstands, wie in Bild 1 angegeben, beruht auf Langzeituntersuchungen von Schwingquarzen verschiedener Hersteller und hat sich als zuverlässiger Indikator für Schwingquarze mit Schwierigkeiten beim Anschwingen erwiesen. Wenn nötig, sollte dieses Verfahren auch auf die Messung einer großen Anzahl

unterschiedlicher Belastungen erweitert werden. Dies hat sich jedoch bei den meisten Fällen in der Praxis als nicht notwendig erwiesen (siehe 5.1).

ANMERKUNG Im Industriebereich sind einige Prüfsysteme für Quarze im Handel erhältlich, wie etwa Saunders 250B oder Kolinker KH1820. Die dazugehörige Software bietet mehrere Varianten für die Messung der DLD.

Verfahren B wird bei Bauelementen, die strenge Anforderungen an den Schwingeneinsatz erfüllen müssen, und bei hochzuverlässigen Bauelementen angewendet.

Verfahren C in Anhang B ist ein Oszillatorverfahren, das besonders für die ökonomische Messung von Grundton-Schwingquarzen in größerer Stückzahl mit festen Messbedingungen (höchste Belastung, R_r max) geeignet ist.

Wenn die vorgeschlagenen Messtechniken in bestimmten Fällen nicht ausreichen, sollte der Anwender einen Originaloszillator mit leicht reduzierter Rückkopplung oder einen Originalfilter benutzen.

Verfahren B ist genauer als Verfahren A.

Referenzverfahren B basiert auf dem Verfahren in einem π -Netzwerk oder dem Reflexionsverfahren nach IEC 60444-1, IEC 60444-5 oder IEC 60444-8 und kann im gesamten Frequenzbereich, für den diese Norm zutrifft, eingesetzt werden.

Empfehlung: Diese Verfahren können für alle Schwingquarztypen verwendet werden, aber:

- Verfahren A wird für Filter und Oszillatoren empfohlen.
- Verfahren B wird für Anwendungen mit strengen Schwingeneinsatzbedingungen sowie für Anwendungen mit hoher Zuverlässigkeit oder hoher Stabilität empfohlen. Es ist das Referenzverfahren für die Fehleranalyse usw.
- Verfahren C in Anhang B ist ein Verfahren zur Gut/Schlecht-Messung von Oszillatoren.

6 Prüfverfahren

6.1 Verfahren A (schnelles Standard-Messverfahren)

6.1.1 Prüfung bei zwei Belastungen

Die Prüfung erfolgt bei einer niedrigen und einer hohen Belastung wie in Abschnitt 3 beschrieben, wobei die Messungen von Resonanzfrequenz und -widerstand nach IEC 60444-1 durchgeführt werden. Die Grenzabweichungen betragen ± 10 % für die als Strom ausgedrückten und ± 20 % für die als Leistung ausgedrückten Belastungen.

- a) Lagerung für mindestens einen Tag bei 105 °C und danach für mindestens 2 h bei Raumtemperatur oder Lagerung für eine Woche bei Raumtemperatur.
- b) Die Temperatur sollte während der Messung (nach IEC 60444-1 und IEC 60444-5) konstant gehalten werden.
- c) Messung bei niedriger Belastung (10 μ A): $f_r = f_{r1}$, $R_r = R_{r1}$.
- d) Messung bei hoher Belastung (1 mA): $f_r = f_{r2}$, $R_r = R_{r2}$.
- e) Messung bei niedriger Belastung (10 μ A): $f_r = f_{r3}$, $R_r = R_{r3}$.
- f) Berechnung von $\gamma_{12} = R_{r1}/R_{r2}$. Der Wert von γ_{12} muss kleiner sein als der Höchstwert von γ , der durch die Linie in Bild 1 angegeben wird (Abszisse $= R_{r2}$).
- g) Die zulässige Frequenzänderung $|f_{r2} - f_{r1}|$ muss $5 \times 10^{-6} \times f_{r1}$ betragen, sofern in der Bauartspezifikation nicht anderweitig festgelegt.

- h) Berechnung von $\gamma_{13} = R_{r1}/R_{r3}$. Der Wert von γ_{13} muss kleiner sein als $(\gamma + 1)/2$, wobei der Wert von γ Bild 1 entnommen wird (Abszisse = R_{r3}).
- i) Die zulässige Frequenzänderung $|f_{r3} - f_{r1}|$ muss $2,5 \times 10^{-6} \times f_{r1}$ betragen, sofern in der Bauartspezifikation nicht anderweitig festgelegt.
- j) Der Widerstandswert darf bei keiner Belastung den in der Bauartspezifikation angegebenen Höchstwert überschreiten.

6.1.2 Prüfung nach Spezifikation

Die Prüfung wird zunächst bei niedriger, dann bei hoher und anschließend wieder bei niedriger Belastung durchgeführt, wie in 5.1.1 beschrieben. Diese und, falls notwendig, weitere Belastungen mit ihren Grenzabweichungen, den zulässigen Frequenz- und Widerstandsabweichungen sowie den Lagerungsbedingungen müssen in der Bauartspezifikation festgelegt werden.

ANMERKUNG 1 Die abgebildete γ -Kurve wurde durch Ergebnisse bestätigt, die aus jahrelangen Erfahrungen mit Schwingquarzen für viele Oszillatortypen gewonnen wurden. In den meisten Fällen ergeben sich keine Probleme beim Anschwingen; bei kritischen Oszillatoreinstellungen können jedoch Probleme auftreten. Da es nicht möglich ist, Schwingquarze herzustellen, die einen konstanten Widerstand bei jeder Belastung aufweisen, zeigt die abgebildete γ -Kurve zulässige Widerstandsverhältnisse.

Die Festlegung der Belastungswerte kann zwischen Hersteller und Kunde vereinbart werden.

Die in der Bauartspezifikation angegebene Nennbelastung wird als Wert für die hohe Belastung verwendet. Für Messungen bei sehr hohen Belastungen kann ein zusätzlicher Verstärker erforderlich sein.

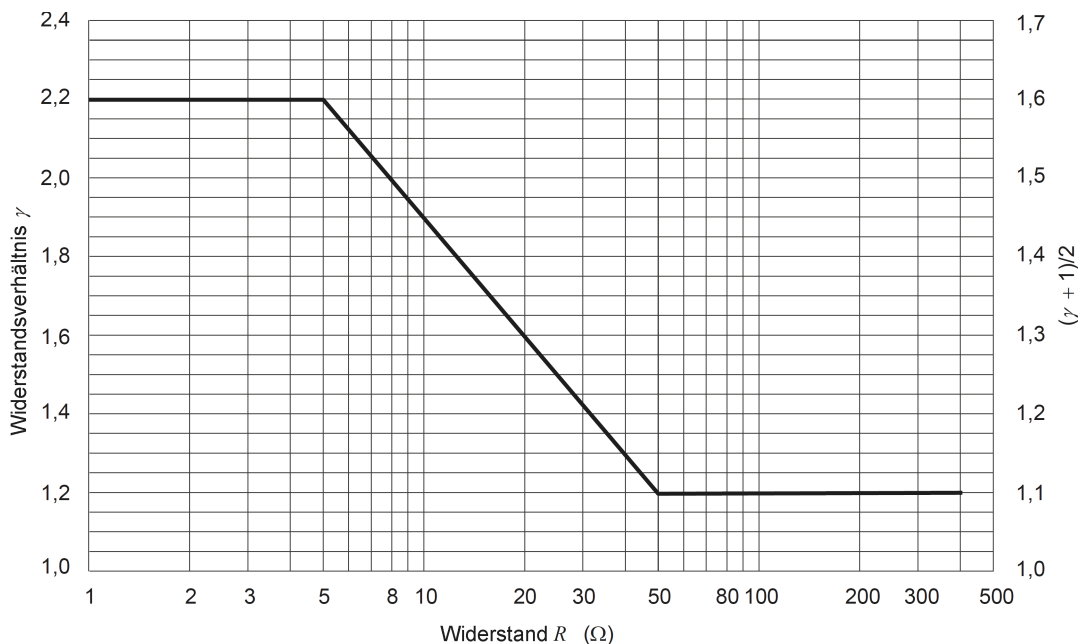


Bild 1 – Höchstzulässiges Widerstandsverhältnis γ für die Belastungsabhängigkeit als Funktion des Widerstands R_{r2} oder R_{r3}

ANMERKUNG 2 Die empfohlene Höchstbelastung muss so ausgewählt werden, dass eine weitere Zunahme der Belastung um 50 % nicht zu einer reversiblen Erhöhung des Widerstandswertes um mehr als 10 % oder einer Frequenzänderung von mehr als $0,5 \times 10^{-6}$ führt.

$$I_q = K \cdot \frac{nA}{\sqrt{f}}$$

Dabei ist

I_q	der empfohlene Stromwert für den Schwingungszustand;
n	der Oberton, Grundschwingungsmodus, $n = 1$;
A	die Elektrodenfläche in mm^2 ;
f	die Frequenz in MHz;
K	$0,35 \text{ mA} \cdot \text{mm}^{-2} \cdot \text{S}^{-1/2}$.

6.2 Verfahren B (Referenzmessverfahren mit mehreren Belastungspegeln)

Die Prüfung erfolgt bei einer niedrigen und einer hohen Belastung wie in Abschnitt 3 beschrieben, wobei die Messungen von Resonanzfrequenz und -widerstand nach IEC 60444-5 durchgeführt werden. Die Grenzabweichungen betragen $\pm 10 \%$ für die als Strom ausgedrückten und $\pm 20 \%$ für die als Leistung ausgedrückten Belastungen.

- a) Lagerung für mindestens einen Tag bei 105°C und danach für mindestens 2 h bei Raumtemperatur oder Lagerung für eine Woche bei Raumtemperatur.

ANMERKUNG Falls erforderlich, vereinbaren Kunde und Hersteller eine höhere Temperatur und eine längere Dauer für die Lagerung vor der DLD-Messung.

- b) Die Temperatur sollte während der Messung (nach IEC 60444-5) konstant gehalten werden.
- c) Für die Belastungen gelten zwei Arten von Maßeinheiten. Sie sollten auch nacheinander angelegt werden, und zwar ausgehend vom geringsten bis hin zum größten Belastungswert und dann zurück zum geringsten Wert. Die Festlegung der Einheit für die Belastung muss zwischen dem Hersteller der Schwingquarze und dem Anwender vereinbart werden.
- 1) Wenn eine Belastung in mA angegeben wird;
Belastung bei der Messung: von $2 \mu\text{A}$ bis zur Nennbelastung unter Anwendung von mindestens 7 Belastungspegeln, die logarithmisch gestaffelt sind. (Siehe die Gleichung unter f).)
 - 2) Wenn eine Belastung in μW angegeben wird;
Belastung bei der Messung: von 2 nW bis zur Nennbelastung unter Anwendung von mindestens 7 Belastungspegeln, die logarithmisch gestaffelt sind. (Siehe die Gleichung unter f).)
- d) Die höchste Frequenzabweichung über alle Belastungspegel muss den folgenden Festlegungen entsprechen.

$$(1) \frac{f_r(i)_{\max} - f_r(i)_{\min}}{f_{\text{NOM}}} < 5 \times 10^{-6}$$

oder

$$(2) \frac{f_r(i)_{\max} - f_r(i)_{\min}}{f_{\text{NOM}}} < 0,5 \times f_{\text{ADJ}}$$

Dabei ist

$f_r(i)_{\max}$	der höchste Frequenzmesswert bei $i = 1$ bis $2 \cdot N - 1$ Belastungen;
$f_r(i)_{\min}$	der kleinste Frequenzmesswert bei $i = 1$ bis $2 \cdot N - 1$ Belastungen;
f_{NOM}	die Nennfrequenz;
f_{ADJ}	die geeignete Festlegung für die Grenzabweichung der Frequenzeinstellung.

- e) Das höchste Verhältnis der Widerstandsänderung und der höchste Widerstandswert über alle Belastungspegel müssen den folgenden Festlegungen entsprechen:

$$(1) \frac{R_r(i)_{\max}}{R_r(i)_{\min}} < \gamma$$

und

$$(2) \frac{R_r(1)}{R_r(2 \cdot N - 1)} < \frac{(\gamma + 1)}{2}$$

und

$$(3) R_r(i)_{\max} < R_{r,\max}$$

Dabei ist

$R_r(i)_{\max}$ der höchste Widerstandsmesswert bei $i = 1$ bis $2 \cdot N - 1$ Belastungen;

$R_r(i)_{\min}$ der kleinste Widerstandsmesswert bei $i = 1$ bis $2 \cdot N - 1$ Belastungen;

$R_{r,\max}$ der in der Bauartspezifikation festgelegte höchste Widerstandswert;

γ das Widerstandsverhältnis.

- f) Die N Belastungen sollten logarithmisch gestaffelt sein, d. h. $DL_{N+1} = DL_N \times K$. Die Gleichung für die empfohlene Belastung (falls in der Bauartspezifikation nicht anderweitig festgelegt) lautet wie folgt:

$$K = \left(\frac{DL_{\max}}{DL_{\min}} \right)^{\frac{1}{N-1}}$$

- g) Bei speziellen Beanspruchungen, die z. B. durch die mechanische Kopplung mit nichtlinearen Störresonanzen (Dips) verursacht werden, und bei Fehleranalysen kann eine größere Anzahl von Belastungspegeln erforderlich sein.

Anhang A (normativ)

Beziehung zwischen elektrischer Belastung und mechanischer Verschiebung in Schwingquarzen

Die Verlustleistung eines Schwingquarzes in W beträgt:

$$P_c = I^2 \cdot R_1$$

Dabei ist

I der Strom durch den Schwingquarz in A;
 R_1 der dynamische Widerstand in Ω .

Die Blindleistung beträgt:

$$P_B = \frac{I^2}{2\pi f \cdot C_1} = P_c \cdot Q$$

Dabei ist

f die Resonanzfrequenz in Hz;
 C_1 die dynamische Kapazität in F;
 Q der Gütefaktor.

Die elektrische Energie in Ws beträgt:

$$A_{EL} = \frac{P_B}{f} = \frac{I^2}{2\pi f^2 \cdot C_1}$$

Die mechanische Energie eines Schwingquarzes kann durch die folgenden Ausdrücke dargestellt werden:

$$A_{kin} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V \cdot v^2 \quad (\text{kinetische Energie})$$

$$A_{elast} = \frac{1}{2} \cdot c \cdot V \cdot x^2 \quad (\text{elastische Energie})$$

$$A_{pot} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V \cdot s^2 \cdot (2\pi f)^2 \quad (\text{potentielle Energie})$$

$$A_B = \frac{1}{2} \cdot \frac{\rho \cdot V \cdot b^2}{(2\pi f)^2} \quad (\text{Beschleunigungsarbeit})$$

$$\rho = 2\,650 \text{ kg/m}^3 \quad (\text{Dichte})$$

Dabei ist

V das Volumen der Schwingungsebene in m^3 ;
 $v = ds/dt$ die Geschwindigkeit in m/s ;
 c das Elastizitätsmodul des Schwingungsmodus (für AT-Schnitt-Schwingquarze,
 $c = c_{66} = 2,93 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$);