

DIN EN 61338-2



ICS 31.140; 33.120.10

**Dielektrische Resonatoren vom Wellenleitertyp –
Teil 2: Leitfaden für Oszillator- und Filter-Anwendungen
(IEC 61338-2:2004);
Deutsche Fassung EN 61338-2:2004**

Waveguide type dielectric resonators –
Part 2: Guidelines for oscillator and filter applications (IEC 61338-2:2004);
German version EN 61338-2:2004

Résonateurs diélectriques à modes guidés –
Partie 2: Guide pour l'application aux filtres et aux oscillateurs (CEI 61338-2:2004);
Version allemande EN 61338-2:2004

Gesamtumfang 32 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE

Beginn der Gültigkeit

Die von CENELEC am 2004-07-01 angenommene EN 61338-2 gilt als DIN-Norm ab 2005-02-01.

Nationales Vorwort

Vorausgegangener Norm-Entwurf: E DIN EN 61338-2:2003-06.

Für die vorliegende Norm ist das nationale Arbeitsgremium K 642 „Piezoelektrische Bauteile zur Frequenzstabilisierung und -selektion“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE zuständig.

Die enthaltene IEC-Publikation wurde vom TC 49 „Piezoelectric and dielectric devices for frequency control and selection“ erarbeitet.

Das IEC-Komitee hat entschieden, dass der Inhalt dieser Publikation bis zum Jahr 2008 unverändert bleiben soll. Zu diesem Zeitpunkt wird entsprechend der Entscheidung des Komitees die Publikation

- bestätigt,
- zurückgezogen,
- durch eine Folgeausgabe ersetzt oder
- geändert.

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

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

Der Zusammenhang der zitierten Normen mit den entsprechenden Deutschen Normen 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.

Dielektrische Resonatoren vom Wellenleitertyp
Teil 2: Leitfaden für Oszillator- und Filter-Anwendungen
(IEC 61338-2:2004)

Waveguide type dielectric resonators
Part 2: Guidelines for oscillator and filter
applications
(IEC 61338-2:2004)

Résonateurs diélectriques à modes guidés
Partie 2: Guide pour l'application aux filtres et
aux oscillateurs
(CEI 61338-2:2004)

Diese Europäische Norm wurde von CENELEC am 2004-07-01 angenommen. Die CENELEC-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist.

Auf dem letzten Stand befindliche Listen dieser nationalen Normen mit ihren bibliographischen Angaben sind beim Zentralsekretariat oder bei jedem CENELEC-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

Diese Europäische Norm besteht in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch). Eine Fassung in einer anderen Sprache, die von einem CENELEC-Mitglied in eigener Verantwortung durch Übersetzung in seine Landessprache gemacht und dem Zentralsekretariat mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CENELEC-Mitglieder sind die nationalen elektrotechnischen Komitees von Belgien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Schweden, der Schweiz, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.

CENELEC

Europäisches Komitee für Elektrotechnische Normung
European Committee for Electrotechnical Standardization
Comité Européen de Normalisation Electrotechnique

Zentralsekretariat: rue de Stassart 35, B-1050 Brüssel

Vorwort

Der Text des Schriftstücks 49/656/FDIS, zukünftige 1. Ausgabe von IEC 61338-2, ausgearbeitet von dem IEC/TC 49 „Piezoelectric and dielectric devices for frequency control and selection“, wurde der IEC-CENELEC Parallelen Abstimmung unterworfen und von CENELEC am 2004-07-01 als EN 61338-2 angenommen.

Nachstehende Daten wurden festgelegt:

- spätestes Datum, zu dem die EN auf nationaler Ebene durch Veröffentlichung einer identischen nationalen Norm oder durch Anerkennung übernommen werden muss (dop): 2005-04-01
- spätestes Datum, zu dem nationale Normen, die der EN entgegenstehen, zurückgezogen werden müssen (dow): 2007-07-01

Der Anhang ZA wurde von CENELEC hinzugefügt.

Anerkennungsnotiz

Der Text der Internationalen Norm IEC 61338-2:2004 wurde von CENELEC ohne irgendeine Abänderung als Europäische Norm angenommen.

Inhalt

	Seite
Vorwort.....	2
Einleitung	5
1 Anwendungsbereich	5
2 Normative Verweisungen	5
3 Technische Einführung	6
4 Grundlagen zu dielektrischen Hohlleiterresonatoren	6
4.1 Grundlegende Betriebsweise	6
4.2 Grundaufbau.....	7
5 Kennwerte dielektrischer Resonatoren	7
5.1 Kennwerte der Werkstoffe für dielektrische Resonatoren.....	7
5.2 Kennwerte von Schirmleitern.....	9
5.3 Kennwerte von Resonanzmoden	9
5.4 Anwendungsbeispiele.....	14
6 Anwendungsleitfaden für Oszillatoren.....	15
6.1 Praktische Anmerkungen zu Oszillatoren	15
6.2 Oszillatoren mit einem $TE_{01\delta}$ -Modenresonator.....	16
Anhang A (normativ) Prüfliste für die Spezifikation dielektrischer Resonatoren	26
Literaturhinweise.....	28
Anhang ZA (normativ) Normative Verweisungen auf internationale Publikationen mit ihren entsprechenden europäischen Publikationen	29
Bild 1 – Elektromagnetische Welle durch einen dielektrischen Wellenleiter mit einer relativen Permittivität ϵ'	18
Bild 2 – Dielektrischer $TE_{01\delta}$ -Modenresonator, TM_{010} -Modenresonator und $\lambda/4$ -TEM- Modenresonator	18
Bild 3 – Ersatzschaltungen dielektrischer Resonatoren, die an äußere Stromkreise gekoppelt sind	19
Bild 4 – Querschnitt eines $TE_{01\delta}$ -Modenresonators mit Anregungsanschluss.....	19
Bild 5 – Maße des $TE_{01\delta}$ -Modenresonators	19
Bild 6 – Modendiagramm des $TE_{01\delta}$ -Modenresonators	20
Bild 7 – Querschnitt des TM_{10} -Modenresonators mit Anregungsanschluss	20
Bild 8 – Rechteckiger $\lambda/4$ -TEM-Modenresonator auf einer Leiterplatte	20
Bild 9 – TEM-Modenresonator mit einem in Harz eingegossenen Metallanschluss	21
Bild 10 – Zylindrischer und rechteckiger $\lambda/4$ -TEM-Modenresonator	21
Bild 11 – $\lambda/4$ -TEM-Modenresonator mit abgestuftem Innendurchmesser.....	21
Bild 12 – Mikrostreifenleitungsresonator.....	21
Bild 13 – Streifenleitungsresonator.....	22
Bild 14 – Beispiel für einen Frequenzabstimmmechanismus eines dielektrischen Resonators.....	22
Bild 15 – Beispiel für einen Reflexionsoszillator	22

	Seite
Bild 16 – Beispiel für einen Rückkopplungssoszillator	23
Bild 17 – Vereinfachtes Schaltbild eines Reflexionsoszillators	23
Bild 18 – Beispiel für einen spannungsgesteuerten Reflexionsoszillator	23
Bild 19 – Beispiel für einen spannungsgesteuerten Rückkopplungssoszillator	24
Bild 20 – Aufbau eines VCO mit TEM-Modenresonator	24
 Tabelle 1 – Kennwerte verfügbarer Werkstoffe für dielektrische Resonatoren	 24
Tabelle 2 – Kennwerte des Substratmaterials	25
Tabelle 3 – Vergleich der Größe und des unbelasteten Gütefaktors dielektrischer Resonatoren mit drei Resonanzmoden	 25
Tabelle 4 – Anwendungsbeispiele	25
Tabelle A.1 – Verweisungen auf einschlägige Publikationen	26

Einleitung

Dieser Teil von IEC 61338 ist ein Praxisleitfaden zur Anwendung von dielektrischen Hohlleiterresonatoren zum Einsatz in der Telekommunikation und in Radaranlagen (bezüglich der allgemeinen Informationen, Normwerte und Prüfbedingungen siehe die anderen Teile dieser Reihe).

Die Merkmale dieser dielektrischen Resonatoren sind die geringe Größe ohne Verschlechterung des Gütefaktors, eine geringe Masse, eine hohe Zuverlässigkeit sowie eine hohe Beständigkeit gegen Temperatur und Alterung. Dielektrische Resonatoren sind geeignet für Anwendungen in miniaturisierten Oszillatoren und Filtern mit hoher Leistungsfähigkeit.

Die vorliegende Norm wurde als Reaktion auf den allgemein geäußerten Wunsch von Anwendern und Herstellern nach einem Leitfaden zur Anwendung von dielektrischen Resonatoren erstellt, um die vorteilhafteste Anwendung der Resonatoren zu ermöglichen. Dafür werden in diesem Leitfaden allgemeine und grundlegende Eigenschaften erläutert.

1 Anwendungsbereich

Dieser Teil von IEC 61338, der einen Leitfaden zur Anwendung enthält, ist auf dielektrische Hohlleiterresonatoren in Oszillatoren und Filtern begrenzt. Die Anwendung dieser Arten von Resonatoren ist gegenwärtig weit verbreitet in Oszillatoren für direkt strahlende oder Nachrichten-Satellitensysteme, in Oszillatoren für Funkverbindungen, in spannungsgesteuerten Oszillatoren für Mobilkommunikationssysteme usw. Darüber hinaus werden diese dielektrischen Resonatoren auch als wesentlicher Bestandteil miniaturisierter Filter für die gleichen Anwendungen benutzt.

Theoretische Erklärungen oder der Versuch der Berücksichtigung aller beim praktischen Einsatz auftretenden Fälle ist nicht die Zielstellung dieses Leitfadens. Diese Norm richtet sich auf grundlegende Aspekte, die vom Anwender berücksichtigt werden sollten, bevor er dielektrische Resonatoren für eine neue Anwendung bestellt. Dieses Verfahren ist die Absicherung für den Anwender gegen ein ungenügendes Betriebsverhalten.

Normspezifikationen, wie diejenigen der Reihe IEC 61338, von der der vorliegende Leitfaden einen Teil bildet, und nationale Spezifikationen oder vom Hersteller herausgegebene Bauartspezifikationen legen die verfügbaren Kombinationen von Resonanzfrequenz, Gütefaktor, Temperaturkoeffizient der Resonanzfrequenz usw. fest. Diese Spezifikationen enthalten einen großen Bereich dielektrischer Resonatoren mit normiertem Betriebsverhalten. Es muss immer wieder betont werden, dass der Anwender seine dielektrischen Resonatoren möglichst aus diesen Spezifikationen auswählen sollte, falls sie verfügbar sind, auch wenn zur Anwendung der Normresonatoren kleine Veränderungen in deren Schaltung vorzunehmen sind. Das gilt vor allem für die Auswahl der Nennfrequenz.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Verweisungen sind für die Anwendung dieses Dokuments unentbehrlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die zitierte Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des Bezugsdokuments (einschließlich aller Änderungen).

IEC 60068-1, *Environmental testing – Part 1: General and guidance*

IEC 60068-2-1, *Environmental testing – Part 2: Tests – Test A: Cold*

IEC 60068-2-2, *Environmental testing – Part 2: Tests – Tests B: Dry heat*

IEC 60068-2-6, *Environmental testing – Part 2: Tests – Test Fc: Vibration (sinusoidal)*

IEC 60068-2-7, *Environmental testing – Part 2: Tests – Test Ga: Acceleration, steady state*

IEC 60067-2-13, *Environmental testing – Part 2: Tests – Test M: Low air pressure*

IEC 60068-2-14, *Environmental testing – Part 2: Tests – Test N: Change of temperature*

IEC 60068-2-20, *Environmental testing – Part 2: Tests – Test T: Soldering*

IEC 60068-2-21, *Environmental testing – Part 2-21: Tests – Test U: Robustness of terminations*

IEC 60068-2-27, *Environmental testing – Part 2: Tests – Test Ea and guidance: Shock*

IEC 60068-2-29, *Environmental testing – Part 2: Tests – Test Eb and guidance: Bump*

IEC 60068-2-30, *Environmental testing – Part 2: Tests – Test Db and guidance: Damp heat, cyclic (12 + 12-hour cycle)*

IEC 60068-2-58, *Environmental testing – Part 2-58: Tests – Test Td: Test methods for solderability, resistance to dissolution of metallization and to soldering heat of surface mounting devices (SMD)*

IEC 60068-2-78, *Environmental testing – Part 2-78: Tests – Test Cab: Damp heat, steady state*

IEC 61338-1-1, *Waveguide type dielectric resonators – Part 1-1: General information and test conditions – General information*

IEC 61338-1-2, *Waveguide type dielectric resonators – Part 1-2: General information and test conditions – Test conditions*

IEC 61338-1-3, *Waveguide type dielectric resonators – Part 1-3: General information and test conditions – Measurement method of complex relative permittivity for dielectric resonator materials at microwave frequency*

3 Technische Einführung

Das grundlegende Interesse eines Anwenders besteht darin, dass die Resonatorkennwerte bestimmte Spezifikationen erfüllen sollten. Die Auswahl der Schwingkreise und der dielektrischen Resonatoren zur Erfüllung dieser Spezifikationen sollte zwischen Anwender und Hersteller vereinbart werden.

Als Resonatorkennwerte werden gewöhnlich die Resonanzfrequenz, der Gütefaktor usw. angegeben. Diese Kennwerte beziehen sich auf die dielektrischen Kennwerte in 5.3.

Die Spezifikationen müssen zwischen der niedrigsten und der höchsten Temperatur des festgelegten Betriebstemperaturbereichs sowie vor und nach den Umweltprüfungen erfüllt werden.

4 Grundlagen zu dielektrischen Hohlleiterresonatoren

4.1 Grundlegende Betriebsweise

Wenn eine elektromagnetische Welle einen dielektrischen Hohlleiter mit der relativen Permittivität ϵ' durchläuft, bildet die Grenzfläche zwischen Luft und Dielektrikum einen idealen Reflektor, wenn der Einfallswinkel größer als der Grenzwinkel θ mit $\theta = \arcsin(1/\sqrt{\epsilon'})$ ist, wie in Bild 1 dargestellt.

In einer groben Näherung kann die Grenzfläche zwischen Luft und Dielektrikum als magnetische Wand (offener Stromkreis) betrachtet werden, an dem die Normalkomponente des elektrischen Felds und die Tangentialkomponente des magnetischen Felds verschwinden. Folglich wirkt ein dielektrischer Stab mit endlicher Länge aufgrund der internen Reflexion elektromagnetischer Wellen an der Grenzfläche Luft/Dielektrikum als Resonator.

Ein dielektrischer Resonator kann bei der gleichen Frequenz beträchtlich kleiner als ein leerer Resonanzraum sein. Der Grund dafür ist, dass die Resonanzfrequenz hervorgerufen wird, wenn die Resonatormaße der halben Wellenlänge der elektromagnetischen Welle entsprechen, und weil sich die Wellenlänge im Dielektrikum nach folgender Gleichung verkürzt:

$$\lambda_g = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\varepsilon'}} \quad (1)$$

Dabei sind λ_g und λ_0 die Wellenlängen in einem Dielektrikum mit der relativen Permittivität ε' und im Vakuum. Der Effekt der Größenreduzierung ist der größte Vorteil der Anwendung dielektrischer Resonatoren in Mikrowellenbauelementen.

4.2 Grundaufbau

Ein dielektrischer Resonator ist gewöhnlich eine Scheibe oder ein Zylinder, die (der) einen dielektrischen Wellenleiterstab mit endlicher Länge darstellt. Obwohl die Grenzfläche Luft/Dielektrikum in etwa als magnetische Wand wirkt, tritt tatsächlich vor allem an den Endflächen ein Teil des Felds aus (strahlt ab), wenn der Einfallswinkel kleiner als der Grenzwinkel ist. Um derartige Strahlungsverluste zu verhindern, muss der Resonator in einen Schirmleiter eingesetzt werden.

Wie bei herkömmlichen Metallwand-Hohlraumresonatoren gibt es mehrere Bauarten dielektrischer Resonatoren und bei jeder Bauart kann eine Anzahl von Moden bestehen. Unter diesen Moden ist derjenige mit der geringsten Resonanzfrequenz für ein bestimmtes Verhältnis von Durchmesser/Länge der Grundmode. In Bild 2 werden die drei am häufigsten verwendeten Grundmoden für dielektrische Resonatoren dargestellt.

Der dielektrische $TE_{01\delta}$ -Modenresonator ist durch eine transversal-elektrische (TE) Grundmodenfeldverteilung gekennzeichnet, dessen Feld in Richtung der Wellenausbreitung austritt. Dieser Modenresonator besteht aus einem scheiben- oder zylinderförmigen dielektrischen Resonator, einer dielektrischen Halterung mit geringem ε' -Wert und einem Schirmleiter aus gut leitendem Metall wie Kupfer oder Silber. Mit diesem Mode kann ein hoher unbelasteter Gütefaktor erreicht werden.

Der dielektrische TM_{010} -Modenresonator ist durch eine transversal-magnetische (TM) Modenfeldverteilung gekennzeichnet. Dieser Modenresonator besitzt einen mittleren Pegel des unbelasteten Gütefaktors und die Größenreduzierung liegt zwischen $TE_{01\delta}$ - und TEM-Modenresonatoren. TM_{010} -Modenresonatoren werden aufgrund ihres Aufbaus, der die Freisetzung von Wärme unterstützt, oft für Hochleistungsanwendungen wie Filter für Mobilfunkbasisstationen eingesetzt.

Der dielektrische transversal-elektromagnetische (TEM) Modenresonator ist durch eine geführte Modenfeldverteilung eines TEM-Modes mit einer stehenden Welle der Viertelwellenlänge gekennzeichnet. Innenseite, Außenseite und ein Wandende des zylindrischen dielektrischen Resonators sind mit einem gut leitenden Metall, wie Kupfer oder Silber, beschichtet. Mit diesem dielektrischen Modenresonator kann eine wesentliche Größenreduzierung erreicht werden.

5 Kennwerte dielektrischer Resonatoren

5.1 Kennwerte der Werkstoffe für dielektrische Resonatoren

Die zur Herstellung dielektrischer Resonatoren verwendeten Werkstoffe sollten eine hohe relative Permittivität (ε'), einen geringen Verlustfaktor ($\tan \delta$) und einen minimalen Temperaturkoeffizienten der Resonanzfrequenz (TCF) aufweisen. In Tabelle 1 ist die Zusammensetzung verschiedener Resonatorwerkstoffe mit ihren dielektrischen Eigenschaften bei Mikrowellenfrequenzen dargestellt.

In Tabelle 2 sind die dielektrischen Eigenschaften der Substratwerkstoffe angegeben. Auf diese Träger werden dielektrische Resonatoren montiert.

5.1.1 Relative Permittivität (ε')

Die relative Permittivität des Werkstoffs eines dielektrischen Resonators ist über den angewandten Mikrowellen-Frequenzbereich frequenzunabhängig (d. h. konstant), weil die Werkstoffe aus parelektrischer Keramik hergestellt sind. Gegenwärtig werden für dielektrische Resonatoren Werkstoffe mit einem Wert für ε' von 20 bis 100 verwendet.

5.1.2 Verlustfaktor ($\tan \delta$)

Der Gütefaktor eines Werkstoffs (Q_0) ist definiert als der reziproke Wert des Verlustfaktors:

$$Q_0 = 1/\tan \delta \quad (2)$$

Da bei Ionenkristallen $\tan \delta$ proportional mit der Frequenz steigt, ist bei Mikrowellenfrequenzen das Produkt aus Q_0 und der Frequenz annähernd konstant. Deshalb wird das Produkt $Q_0 f$ oft als Gütezahl für den jeweiligen Werkstoff verwendet. Werkstoffe mit einem geringeren Wert für ε' besitzen im Allgemeinen einen geringeren $\tan \delta$.

5.1.3 Temperaturkoeffizient der Resonanzfrequenz (TCF)

Der Temperaturkoeffizient der Resonanzfrequenz wird mit folgender Gleichung als Werkstoffkonstante angegeben:

$$TCF = -\frac{1}{2}TC\varepsilon - \alpha \quad (3)$$

Dabei ist:

$TC\varepsilon$ der Temperaturkoeffizient der relativen Permittivität und

α der Koeffizient der thermischen Ausdehnung des dielektrischen Resonators.

TCF wird mit folgender Gleichung berechnet:

$$TCF = \frac{f_T - f_{\text{ref}}}{f_{\text{ref}}(T - T_{\text{ref}})} \times 10^6 \quad (4)$$

Dabei ist:

f_T die Resonanzfrequenz bei der Temperatur T und

f_{ref} ist die Resonanzfrequenz bei der Referenztemperatur T_{ref} .

Der TCF des Werkstoffs eines dielektrischen Resonators kann mit einer Genauigkeit von $\pm 1 \times 10^{-6}/\text{K}$ ausgewählt werden.

Wenn ein Werkstoff eine im Wesentlichen nichtlineare Abhängigkeit von der Temperatur aufweist, wird der folgende Temperaturkoeffizient der Resonanzfrequenz zweiter Ordnung TCF'' verwendet:

$$\frac{f_T - f_{\text{ref}}}{f_{\text{ref}}} = TCF'(T - T_{\text{ref}}) + TCF''(T - T_{\text{ref}})^2 \quad (5)$$

5.1.4 Isolationsdurchschlagspannung

Die Durchschlagspannung des Werkstoffs eines dielektrischen Resonators liegt gewöhnlich über 10 kV/mm. Bei Hochleistungsanwendungen, wie z. B. Filter für Mobilfunkstationen, sollten Maßnahmen für eine ausreichende Wärmeableitung vom dielektrischen Resonator ergriffen werden, um eine Absenkung der Durchschlagspannung zu verhindern.

5.1.5 Linearer thermischer Ausdehnungskoeffizient (α)

Dielektrische Resonatoren besitzen einen linearen thermischen Ausdehnungskoeffizienten von $+6 \times 10^{-6}/\text{K}$ bis $+12 \times 10^{-6}/\text{K}$. Wenn der Resonator direkt auf eine Leiterplatte gelötet wird, muss darauf geachtet werden, dass es durch die unterschiedlichen linearen thermischen Ausdehnungskoeffizienten von dielektrischem Resonator und Leiterplatte nicht zu einem Bruch des Keramikkörpers kommt.