

DIN EN 63185

ICS 17.220.20

Einsprüche bis 2018-11-28

Entwurf**Verfahren mit symmetrischem Kreisscheibenresonator zur Messung der komplexen Permittivität von verlustarmen dielektrischen Substraten (IEC 46F/415/CD:2018);
Text Deutsch und Englisch**

Balanced-type circular disk resonator method to measure the complex permittivity of low-loss dielectric substrates
(IEC 46F/415/CD:2018);
Text in German and English

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2018-09-28 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, 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 24 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE

Inhalt

	Seite
Nationales Vorwort.....	3
1 Anwendungsbereich.....	4
2 Normative Verweisungen	4
3 Messparameter.....	4
4 Theorie und Berechnungsgleichungen.....	5
5 Messsystem.....	7
6 Messverfahren.....	8
Anhang A (informativ)	10
A.1 Beispiel für Messergebnisse und zugehörige Unsicherheiten der komplexen Permittivität.....	10
Literaturhinweise.....	12
Bilder	
Bild 1 – Konstruktion eines Kreisscheibenresonators	6
Bild 2 – Beziehung zwischen f_0 und ϵ'	7
Bild 3 – Schematische Darstellung eines Vektor-Netzwerkanalysatormesssystems.....	8
Bild 4 – Frequenzgang von $ S_{21} $ symmetrischer Kreisscheibenresonatoren	9
Tabellen	
Tabelle A.1 – Parameter des Hohlraums und des Probenblattes	10
Tabelle A.2 – Resonanzfrequenzen und unbelastete Gütefaktoren.....	10
Tabelle A.3 – Messergebnisse der komplexen Permittivität.....	11

Nationales Vorwort

Das internationale Dokument IEC 46F/415/CD:2018 „Balanced-type circular disk resonator method to measure the complex permittivity of low-loss dielectric substrates“ (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 SC 46F „RF and microwave passive components“ der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) erarbeitet und 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 UK 412.4 „Passive HF- und Mikrowellenbauelemente“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE (www.dke.de) zuständig.

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.

Das Original-Dokument enthält Bilder in Farbe, die in der Papierversion in einer Graustufen-Darstellung wiedergegeben werden. Elektronische Versionen dieses Dokuments enthalten die Bilder in der originalen Farbdarstellung.

Verfahren mit symmetrischem Kreisscheibenresonator zur Messung der komplexen Permittivität von verlustarmen dielektrischen Substraten

1 Anwendungsbereich

Diese Internationale Norm bezieht sich auf ein Messverfahren für die komplexe Permittivität von dielektrischen Substraten bei Mikrowellen- und Millimeterwellenfrequenzen. Dieses Verfahren wurde entwickelt, um die dielektrischen Eigenschaften verlustarmer Werkstoffe zu bewerten, die in Mikrowellen- und Millimeterwellenschaltungen und -geräten verwendet werden. Es verwendet Moden höherer Ordnung eines symmetrischen Kreisscheibenresonators und ermöglicht Breitbandmessungen dielektrischer Substrate unter Verwendung eines einzelnen Resonators, wobei die Wirkung von Anregungsöffnungen auf der Grundlage der Modenanpassungsanalyse sorgfältig berücksichtigt wird.

Im Vergleich zu dem in IEC 62810 beschriebenen konventionellen Verfahren hat dieses Verfahren folgende Merkmale:

- die Werte von relativer Permittivität ϵ' und Verlustfaktor $\tan \delta$ normal zu den Proben der dielektrischen Platten können genau und zerstörungsfrei gemessen werden;
- dieses Verfahren stellt Breitbandmessungen durch die Verwendung von Moden höherer Ordnung durch einen einzelnen Resonator dar;
- dieses Verfahren ist für die Messung unter der folgenden Bedingung anwendbar:
 - Frequenz: $10 \text{ GHz} \leq f \leq 110 \text{ GHz}$;
 - relative Permittivität: $1 \leq \epsilon' \leq 10$;
 - Verlustfaktor: $10^{-4} \leq \tan \delta \leq 10^{-2}$.

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 60050 (all parts), *International Electrical Vocabulary*

ISO/IEC Guide 99:2007, *International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and associated terms (VIM)*

ISO/IEC Guide 98-3, *Uncertainty of measurement – Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995)*

IEC 61338-1 *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 Messparameter

Die Messparameter sind wie folgt definiert:

$$\epsilon_r = \epsilon' - j\epsilon'' \quad (1)$$

$$\tan \delta = \epsilon'' / \epsilon' \quad (2)$$

Dabei sind ϵ' und ϵ'' der Real- und der Imaginärteil der komplexen relativen Permittivität ϵ_r .

4 Theorie und Berechnungsgleichungen

Eine für dieses Verfahren verwendete Resonatorkonstruktion wird in Bild 1 gezeigt. Eine dünne, kreisförmige leitfähige Scheibe mit dem Radius R wird zwischen zwei zu messenden Proben dielektrischer Platten eingeklemmt, die dieselbe Dicke t und dieselben dielektrischen Eigenschaften ϵ' und $\tan \delta$ aufweisen. Dielektrische Proben werden zwischen zwei parallelen leitfähigen Platten eingeklemmt. Die Dicke der leitfähigen Kreisscheiben ist für die Analyse vernachlässigbar klein.

Der Resonator wird mittels Koaxialleitungen durch Anregungsöffnungen mit dem Radius a und der Länge M angeregt und erfasst. Da nur TM_{0m0} -Moden ein elektrisches Feld in der Mitte des Resonators aufweisen, werden nur diese Moden im Resonator selektiv angeregt, wobei die Komponenten des elektrischen Feldes für diese Moden im Resonator senkrecht zu den Plattenproben stehen.

ϵ' und $\tan \delta$ normal zu den dielektrischen Platten werden aus den Messwerten der Resonanzfrequenzen f_0 und dem unbelasteten Gütefaktor Q_u für die TM_{0m0} -Mode bestimmt, indem die folgende, aus der Modenanpassungsanalyse hergeleitete Resonanzbedingung gelöst wird, wobei die Anregungsöffnungen genau einbezogen werden:

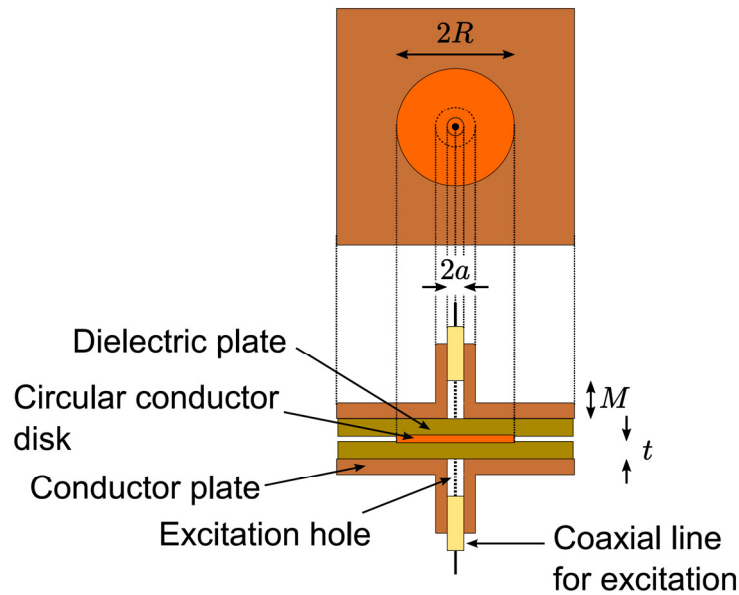
$$\det H(\epsilon', f_0, t, R, a, M) = 0 \quad (3)$$

$$\tan \delta = \left(\frac{1}{Q_u} - \frac{1}{Q_c} \right) + \left(1 + \frac{w_1}{w_2} \right) \quad (4)$$

Dabei ist H eine aus den Randbedingungen hergeleitete $N \times N$ -Matrix, N ist die Anzahl der Terme der Reihenentwicklung für die Modenanpassungsanalyse, Q_c ist der durch die Leiterdämpfung bedingte Gütefaktor, w_1 und w_2 sind die im dielektrischen Bereich bzw. im Bereich der Anregungsöffnungen gespeicherte elektrische Energie. w_1 und w_2 werden aus der Modenanpassungsanalyse errechnet, Q_c kann näherungsweise berechnet werden durch

$$Q_c = \frac{t}{\delta_s} = t \sqrt{\frac{2\pi f_0 \mu_0 \sigma}{2}} \quad (5)$$

Dabei ist δ_s die Eindringtiefe des Leiters, σ ist die Leitfähigkeit und μ_0 ist die Permeabilität im luftleeren Raum.

**Text im Bild:****Englisch**

Dielectric plate
Circular conductor disk
Conductor plate
Excitation hole
Coaxial line for excitation

Deutsch

dielektrische Platte
leitfähige Kreisscheibe
leitfähige Platte
Anregungsöffnung
Koaxialleitung für die Anregung

Bild 1 – Konstruktion eines Kreisscheibenresonators

Die höchste messbare Frequenz wird durch die folgenden drei Grenzfrequenzen begrenzt:

- (a) Grenzfrequenz von Koaxialleitungen zur Anregung des Resonators f_c^{Coax} ;
- (b) Grenzfrequenz von Anregungsöffnungen f_c^{Hole} ;
- (c) Grenzfrequenz für radiale Strahlung durch dielektrische Proben f_c^{Rad} .

f_c^{Hole} wird als eine Grenzfrequenz für die TM_{01} -Mode eines kreisförmigen Wellenleiters mit Radius a berechnet, gegeben durch

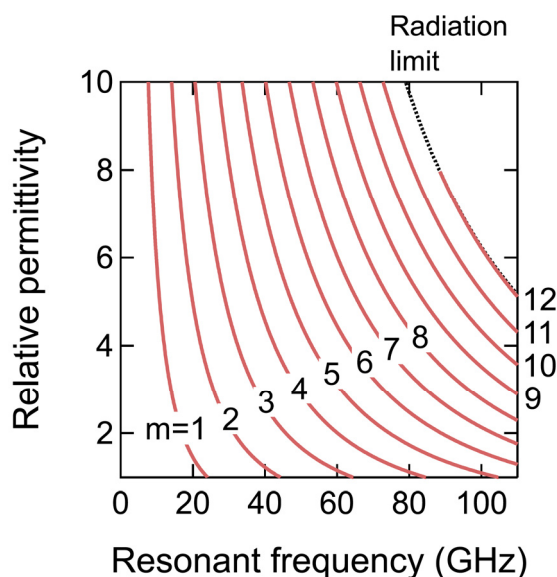
$$f_c^{\text{Hole}} = \frac{\chi_{01}}{2\pi a} c \quad (6)$$

Dabei ist $\chi_{01} \approx 2,4048$ die erste Lösung von $J_0(x) = 0$, $J_0(x)$ ist die Besselfunktion nullter Ordnung der ersten Art, c ist die Lichtgeschwindigkeit.

f_c^{Rad} wird bestimmt durch die Probendicke t und die relative Permittivität ϵ' , gegeben durch

$$f_c^{\text{Rad}} = \frac{c}{4t\sqrt{\epsilon'}} \quad (7)$$

Bild 2 zeigt die Beziehung zwischen f_0 und ϵ' für TM_{0m0} -Moden für $R = 7,5$ mm, $a = 0,6$ mm, $M = 5$ mm und $t = 0,3$ mm. Mehrfache Resonanzen erscheinen von 5 bis 110 GHz für $1 \leq \epsilon' \leq 10$ (5–11 Moden). Die Strahlungsgrenze (f_c^{Rad}) wird ebenfalls im selben Bild gezeigt.

**Text im Bild:****Englisch**

Relative permittivity
Radiation limit
Resonant frequency

Deutsch

Relative Permittivität
Strahlungsgrenze
Resonanzfrequenz

Legende

R 7,5 mm
 a 0,6 mm
 M 5 mm
 t 0,3 mm

Bild 2 – Beziehung zwischen f_0 und ϵ'

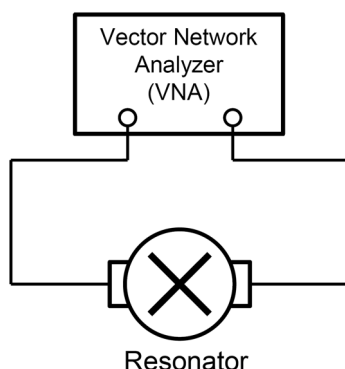
Die Leitfähigkeit σ wird durch ein Verfahren mit zwei dielektrischen Resonatoren gemessen. [5]¹

Messungenauigkeiten von ϵ' und $\tan \delta$ werden durch die Betrachtung der Unsicherheitsfortpflanzung der Resonanzfrequenz, des Gütefaktors, der Maße von Resonator und Proben und der Leitfähigkeit des Resonators ausgewertet, sowie durch die Schätzung der Wirkung des Fehlers der Modenanpassungsanalyse. [6]

5 Messsystem

Bild 3 zeigt eine schematische Darstellung eines Vektor-Netzwerkanalysatormesssystems für Resonatoren vom Übertragungstyp. Ein skalarer Netzwerkanalysator kann ebenfalls als Messeinrichtung verwendet werden, da Resonanzfrequenzen und Gütefaktoren aus der Frequenzabhängigkeit der Amplitude der Übertragung hergeleitet werden können, S_{21} . Ein Vektor-Netzwerkanalysator hat bei der Messgenauigkeit jedoch Vorteile. Weiterhin sind Resonanzfrequenzen und Gütefaktoren genauer und weniger empfindlich, wenn sie aus komplexen Werten gemessener S_{21} -Daten durch Verwendung der Kreisanpassung in der komplexen Ebene von S_{21} hergeleitet werden. [7]

¹ Verweise in eckigen Klammern beziehen sich auf das Literaturverzeichnis.



Text im Bild:

Englisch

Vector Network Analyzer (VNA)
Resonator

Deutsch

Vektor-Netzwerkanalysator (VNA)
Resonator

Bild 3 – Schematische Darstellung eines Vektor-Netzwerkanalysatormesssystems

Die Konstruktion des für die Messungen der komplexen Permittivität verwendeten Resonators wird in Bild 1 gezeigt. Ein Paar von zu messenden Proben dielektrischer Platten, eine dünne kreisförmige leitfähige Scheibe und zwei parallele leitfähige Platten bilden einen symmetrischen Kreisscheibenresonator. Der Resonator wird mittels Koaxialleitern durch Anregungsöffnungen angeregt und in gleichem Maße unterkritisch an die Eingangs- und Ausgangsanschlüsse gekoppelt.

Die Resonanzfrequenz f_0 und der belastete Gütefaktor Q_l werden aus der Frequenzabhängigkeit von S_{21} hergeleitet, das unter Verwendung eines Vektor-Netzwerkanalysators gemessen wird. [7] Der unbelastete Gütefaktor Q_u ist gegeben durch

$$Q_u = \frac{Q_l}{1 - 10^{LA_0(\text{dB})/20}} \quad (8)$$

Dabei ist LA_0 (dB) die Einfügungsdämpfung bei f_0 .

Der Kopplungsfaktor der elektromagnetischen Signalwellen muss an den Eingangs- und Ausgangsanschlüssen derselbe sein.

6 Messverfahren

6.1 Vorbereitung des Messaufbaus

Die Messeinrichtungen sind wie in Bild 4 gezeigt aufzubauen. Der Hohlraumresonator und die dielektrischen Proben müssen in einem sauberen und trockenen Zustand gehalten werden, da hohe Luftfeuchte unbelastete Gütefaktoren verschlechtert.

6.2 Einstellung der Messbedingungen

Die Messbedingungen eines Vektor-Netzwerkanalysators sind einzustellen. Der Abstand zwischen diskreten Frequenzpunkten muss vorzugsweise kleiner als ein Zehntel der halben Breite der resonanten Wellenform sein. IFBW wird so bestimmt, dass das Grundrauschen wenigstens 20 dB niedriger ist als die Spitzenwerte.

6.3 Kalibrierung eines Vektor-Netzwerkanalysators

Ein Vektor-Netzwerkanalysator muss unter Verwendung von Kalibriersätzen kalibriert werden.