

DIN EN 60195

ICS 31.040.10

Einsprüche bis 2014-07-16

Entwurf**Messverfahren für das Stromrauschen in Festwiderständen
(IEC 40/2284/CD:2014)**

Method of measurement of current noise generated in fixed resistors
(IEC 40/2284/CD:2014)

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2014-05-16 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

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

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal des DIN unter www.entwuerfe.din.de 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@din.de möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/stellungnahme 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 im DIN und VDE (Hausanschrift: 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 50 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE
Normenstelle Elektrotechnik (NE) im DIN

Inhalt

	Seite
Nationales Vorwort.....	3
1 Anwendungsbereich.....	4
2 Normative Verweisungen	4
3 Begriffe	4
4 Messverfahren.....	5
4.1 Grundlagen des Rauschens.....	5
4.2 Messprinzip	7
4.3 Messanordnung.....	7
4.4 Anforderungen an die Messanordnung	8
4.5 Überprüfung der Messanordnung	13
5 Durchführung der Messung.....	14
5.1 Umgebungsbedingungen	14
5.2 Vorbereitung des Prüflings	14
5.3 Verfahren	14
5.4 Vorkehrungen	18
6 Bewertung der Messergebnisse.....	18
6.1 Term für den Beitrag des Eigenrauschens.....	18
6.2 Bestimmung des Stromrauschindex A_1	20
6.3 Genauigkeit	21
6.4 Anforderungen.....	21
7 Erforderliche Angaben in der entsprechenden Bauelemente-Spezifikation.....	21
Anhang A (informativ) Formelzeichen und Abkürzungen.....	22
Anhang X (informativ) Verweisliste mit Verweisen zur vorherigen Ausgabe dieser Norm.....	24
Literaturhinweise.....	25
 Bilder	
Bild 1 – Blockschaltbild einer geeigneten Messanordnung.....	8
Bild 2 – Typische Übertragungsfunktion des Bandpassverstärkers	12
Bild 3 – Beitrag des Eigenrauschens, $f(T - S)$	19
 Tabellen	
Tabelle 1 – Zulässige Grenzwerte für das Eigenrauschen.....	13
Tabelle 2 – Empfohlene Arbeitsbedingungen.....	16
Tabelle 3 – Zahlenwerte für den Beitrag des Eigenrauschens, $f(T - S)$	20
Tabelle X.1 – Verweisliste mit Verweisen zur 1. Ausgabe dieser Norm.....	24

Nationales Vorwort

Das internationale Dokument IEC 40/2284/CD:2014 „Method of measurement of current noise generated in fixed resistors“ (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 TC 40 „Capacitors and resistors for electronic equipment“ der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) erarbeitet und den nationalen Komitees zur Stellungnahme vorgelegt.

Die 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 prEN nur 2 Monate 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 GK 613 „Widerstände“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE (www.dke.de) zuständig.

Für den Fall einer undatierten Verweisung im normativen Text (Verweisung auf eine Norm ohne Angabe des Ausgabedatums und ohne Hinweis auf eine Abschnichtsnummer, 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.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. ISO [und/oder] IEC sind nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Messverfahren für das Stromrauschen in Festwiderständen

1 Anwendungsbereich

Diese Internationale Norm legt ein Messverfahren sowie die zugehörigen Prüfbedingungen zur Bewertung des Rauschens beziehungsweise der Größe des Stromrauschens in Festwiderständen aller Art fest. Das Verfahren gilt für alle Klassen von Festwiderständen. Zweck ist es, vergleichbare Ergebnisse zur Bestimmung der Eignung von Widerständen für die Verwendung in elektronischen Schaltungen mit hohen Anforderungen an das Rauschverhalten zu ermitteln.

Das in dieser Internationalen Norm beschriebene Verfahren ist nicht als eine allgemeine Spezifikationsanforderung vorgesehen und wird daher angewandt, wenn dies in einer entsprechenden Bauelementespezifikation festgelegt ist oder zwischen Kunde und Hersteller vereinbart wird.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente, die in diesem Dokument teilweise oder als Ganzes zitiert werden, sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. 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 60068-1:2013, *Environmental testing – Part 1: General and guidance*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

3.1

Stromrauschen

Kombination aller Zufallsschwankungen des durch einen Widerstand fließenden Stromes, die nicht auf die thermische Bewegung von Ladungsträgern (Wärmerauschen) zurückzuführen sind und die vom angelegten Gleichstrom abhängen

3.2

Stromrauschindex

A_1

logarithmischer Index des Verhältnisses von Effektivwert der Leerlauf-Stromrauschspannung in einer Frequenzdekade zu angelegter Prüfgleichspannung, der als Kennzahl für das Rauschen eines individuellen Widerstands verwendet wird

Anmerkung zum Begriff: Der Stromrauschindex wird in dB angegeben.

3.3

Funkelrauschen

rosa Rauschen

in den meisten elektronischen Bauelementen auftretende und üblicherweise mit den inneren Eigenschaften des entsprechenden Bauelementes verbundene Zufallsschwankung, die gleichstromabhängig ist und deren spektrale Leistungsdichte umgekehrt proportional zur Frequenz ist

3.4

Rauschen

Zufallsschwankung in einem elektrischen Signal mit Momentanwerten der Spannungsamplitude, die aufgrund der statistischen Verteilung der Werte nur in Form von Wahrscheinlichkeitsaussagen vorausgesagt werden kann

3.5**Schrotrauschen**

temperaturunabhängige Zufallsschwankung eines elektrischen Stroms, die darauf zurückzuführen ist, dass sich der fließende Strom aus einzelnen Ladungsträgern zusammensetzt, und deren spektrale Leistungsdichte über das gesamte Frequenzspektrum nahezu konstant ist

3.6**Wärmerauschen**

Zufallsschwankung, hervorgerufen durch die thermische Bewegung der Ladungsträger (üblicherweise der Elektronen) in einem elektrischen Leiter bei thermodynamischem Gleichgewicht, die unabhängig von einer angelegten Spannung ist und deren spektrale Leistungsdichte über das gesamte Frequenzspektrum nahezu konstant ist

Anmerkung zum Begriff: Das Wärmerauschen wird auch als Johnson-Rauschen oder als Nyquist-Rauschen bezeichnet.

4 Messverfahren**4.1 Grundlagen des Rauschens****4.1.1 Rauschen**

Das Rauschen tritt als eine spontan schwankende Spannung $e_n(t)$ mit Momentanwerten der Spannungsamplitude auf.

Die Rauschspannung ist eine statistisch unabhängige Zufallsvariable, bei der für die meisten Rauscharten die Amplitudenfrequenzverteilung einer Gauß'schen Verteilungskurve entspricht. Daher kann die Rauschspannung nicht vorausgesagt werden, außer in Form von Wahrscheinlichkeitsaussagen.

Gewöhnlich sind nicht die Momentanwerte der Spannungsamplituden, sondern deren „zeitlich gemittelter“ Wert von besonderem Interesse.

Bei der üblicherweise verwendeten und in dieser Internationalen Norm übernommenen Amplitudenmessung wird der Effektivwert der Spannung E_n in einem bestimmten Frequenzdurchlassbereich ermittelt.

4.1.2 Wärmerauschen

Das Wärmerauschen eines Widerstands tritt als eine schwankende Spannung auf, die durch die zufällige thermische Bewegung von Ladungsträgern verursacht wird und in allen Widerständen vorkommt. Der Effektivwert der an den offenen Anschlüssen eines Widerstands auftretenden schwankenden Spannung, der von dem Messgerät angezeigt wird, kann unter Verwendung der Nyquist-Gleichung berechnet werden:

$$E_{th} = \sqrt{e_{th}^2} = \sqrt{4 \cdot k \cdot T \cdot R \cdot \Delta f}$$

Dabei ist:

E_{th} der Effektivwert der Wärmerauschspannung in einer gegebenen Bandbreite;

e_{th} der Momentanwert der Wärmerauschspannung in einer gegebenen Bandbreite;

k die Boltzmann-Konstante, $k \approx 1,38 \cdot 10^{-23}$ J/K;

T die absolute Temperatur;

R der Widerstandswert;

Δf die effektive Bandbreite des Bandpassfilters in der Messanordnung.

Das Wärmerauschen des zu prüfenden Widerstands kann nicht vernachlässigt werden, weil es häufig eine Hauptursache für Störungen der Messung ist.

4.1.3 Stromrauschen

Ein durch einen Festwiderstand fließender Gleichstrom bewirkt einen Anstieg des betrachteten Gesamt-rauschens auf einen Wert, der über der Größe des Wärmerauschens liegt. Unabhängig von der Art seiner Entstehung wird dieses zusätzliche Rauschen als Stromrauschen bezeichnet.

$$E_t^2 = E_{th}^2 + E_c^2$$

Dabei ist:

E_t der Effektivwert der Gesamtrauschspannung in einer gegebenen Bandbreite;

E_{th} der Effektivwert der Wärmerauschspannung in einer gegebenen Bandbreite;

E_c der Effektivwert der Stromrauschspannung in einer gegebenen Bandbreite.

Das Stromrauschen ist somit die geometrische Differenz zwischen dem Gesamtrauschen und dem Wärme-rauschen.

$$E_c^2 = E_t^2 - E_{th}^2$$

Der Effektivwert der Stromrauschspannung je 1-Hz-Bandbreite ist im Wesentlichen umgekehrt proportional zur Frequenz.

$$[e(f)]^2 \sim \frac{I^2}{f}$$

Dabei ist:

$e(f)$ der Momentanwert der Stromrauschspannung als Funktion der Frequenz;

I der Gleichstrom durch den Widerstand;

f die Frequenz, bei der die Stromrauschspannung betrachtet wird.

Der Effektivwert der Stromrauschspannung für eine gegebene Bandbreite wird durch Integration der Strom-rauschspannung über das Frequenzband berechnet.

$$E_c^2 = \int_{f_1}^{f_2} [e(f)]^2 df$$

$$\sim \int_{f_1}^{f_2} \frac{I^2}{f} df$$

$$\sim I^2 \ln \left(\frac{f_2}{f_1} \right)$$

Dabei ist:

E_c der Effektivwert der Stromrauschspannung in einer gegebenen Bandbreite;

f_1 die untere Grenzfrequenz des idealen Bandpasses;

f_2 die obere Grenzfrequenz des idealen Bandpasses.

Wenn der Effektivwert der Spannung umgekehrt proportional zur Frequenz ist, dann liefern Bandpässe mit ideal rechteckförmiger Durchlasskurve und gleichem Verhältnis von oberer zu unterer Grenzfrequenz bei gegebener Stromrauschspannung gleiche Effektivwerte.

Ein Stromrauschen aufweisender Widerstand kann dargestellt werden als eine Rauschquelle, bei der ein Nullimpedanz-Stromrauschspannungsgenerator mit einem unabhängigen Wärmerauschspannungsgenerator und einem rauschfreien Widerstand in Reihe geschaltet ist.

Das Stromrauschen in Widerstandsmaterialien reflektiert die körnige Struktur des Materials und liefert einen Hinweis auf Fehlstellen, die verantwortlich sind für die ungewöhnlich schnelle Alterung des Bauelementes in Abhängigkeit von Temperatur und Zeit.

4.2 Messprinzip

Die Stromrauschspannung E_c verhält sich im Allgemeinen nahezu proportional zur angelegten Prüfgleichspannung U_T . Es wird jedoch empfohlen, harmonisierte Arbeitsbedingungen zu verwenden, um weitestgehend vergleichbare Messungen für alle Widerstände sicherzustellen.

In Tabelle 2 sind Arbeitsbedingungen angegeben, die für die Prüfung von Widerständen mit Widerstandswerten im Bereich von 100 Ω bis 22 M Ω empfohlen werden. Die dort angegebenen Werte verhindern auch, dass der Prüfling und die Eingangsschaltung überlastet werden.

Die Frequenzabhängigkeit der Rauschspannungen erfordert für diese Messung die Festlegung eines Durchlassbereichs, der einer ideal rechteckförmigen Durchlasskurve von einer Frequenzdekade mit einer Mittenfrequenz von 1 000 Hz entspricht.

Aus der Messung ergibt sich der Stromrauschindex in einer Frequenzdekade, A_1 , der wie folgt definiert wird:

$$A_1 = 20 \cdot \lg \left(\frac{E_c}{U_T} \right) \text{ dB}$$

Dabei ist:

E_c der Effektivwert der Leerlauf-Stromrauschspannung in einer Frequenzdekade;

U_T die an den zu prüfenden Widerstand angelegte Gleichspannung.

Da das Leistungsspektrum des Stromrauschens annähernd ein $1/f$ -Verhalten zeigt, liefert der Index einen Schätzwert für das Stromrauschen in jeder Frequenzdekade.

4.3 Messanordnung

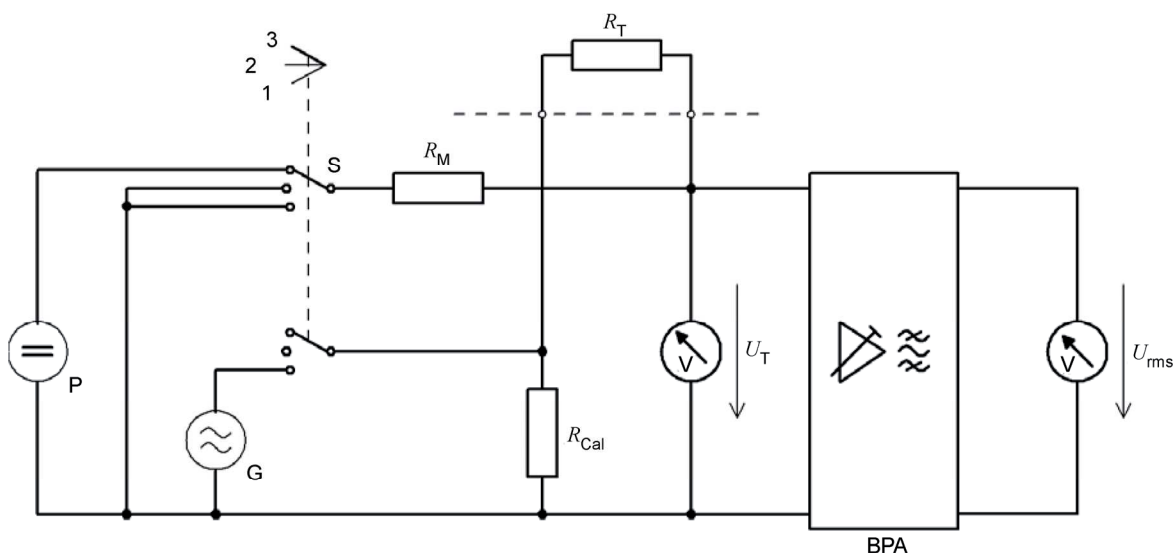
4.3.1 Vorschlag einer geeigneten Messanordnung

In Bild 1 ist das Blockschaltbild einer geeigneten Messanordnung dargestellt.

Ein Dreistellungsschalter kann verwendet werden, um auf eine der drei Betriebsarten, die üblicherweise bei der Durchführung der Messung nacheinander angewählt werden, zu schalten:

- Einstellung der Verstärkung;
- Messung des Eigenrauschens;
- Messung des Gesamtrauschens.

Die Eingangsschaltung besteht aus dem zu prüfenden Widerstand R_T , dem Trennwiderstand R_M und dem Eichwiderstand R_{Cal} , wobei der Trennwiderstand R_M zur Verringerung des Überbrückungseffekts der Gleichspannungsquelle, der sich auf das Rauschen im zu prüfenden Widerstand auswirkt, erforderlich ist.



Legende

P	Gleichspannungsquelle		
G	Referenzstromquelle, $f = 1 \text{ kHz}$		
S	Dreistellungsschalter	Position 1:	Einstellung der Verstärkung
		Position 2:	Eigenrauschen
		Position 3:	Gesamtrauschen
R_M	Trennwiderstand		
R_{Cal}	Eichwiderstand, $R_{Cal} = 1 \Omega$		
R_T	zu prüfender Widerstand		
U_T	Prüfgleichspannung		
BPA	Bandpassverstärker mit einstellbarer Verstärkung		
U_{rms}	Rauschspannung, Effektivwert		

Bild 1 – Blockschaltbild einer geeigneten Messanordnung

Sofern nicht ausdrücklich ein anderer Verweis erfolgt, bezieht sich der weitere Inhalt dieser Internationalen Norm auf diese geeignete Messanordnung.

4.3.2 Alternative Messanordnung

Mit der in 4.3.1 vorgeschlagenen Messanordnung ist beabsichtigt, die zur Bewertung des Stromrauschens in Festwiderständen verwendeten Prüf- und Messverfahren zu vereinheitlichen. Diese Messanordnung aber ist nicht unbedingt die einzige Anordnung, die eingesetzt werden kann, außer sie ist ausdrücklich als Schieds- oder Bezugsverfahren bestimmt.

Der Lieferant und der Anwender einer alternativen Messanordnung müssen nachweisen, dass mit dieser Anordnung die gleichen Ergebnisse erzielt werden wie mit der vorgeschlagenen Messanordnung.

4.4 Anforderungen an die Messanordnung

4.4.1 Eingangsschaltung

Die Eingangsimpedanz der Messanordnung wird von der Impedanz des Gleichspannungsmessgeräts beeinflusst, das parallel zum Trennwiderstand R_M und auch zum zu prüfenden Widerstand angeschlossen wird und dadurch das Rauschsignal im Prüfling dämpft.

Die Eingangsimpedanz des Gleichspannungsmessgeräts muss die in 4.4.4 angegebenen Impedanzanforderungen erfüllen, um einen nachteiligen Einfluss auf die Messung zu vermeiden.

4.4.2 Trennwiderstand R_M

Um den Bereich der Widerstandswerte des Prüflings abzudecken, wird eine Anzahl stromrauschfreier Trennwiderstände R_M benötigt, die, wie erforderlich, in die Schaltung eingefügt werden können. Die Trennwiderstände müssen stromrauschfrei sein (zum Beispiel Drahtwiderstände hoher Güte). Jeder Trennwiderstand muss eine Bemessungsbelastbarkeit von mindestens 1 W aufweisen und die Grenzabweichung des Widerstandswertes muss $\pm 1\%$ betragen.

Wenn sich der Widerstandsbereich des Prüflings von $100\ \Omega$ bis $22\ \text{M}\Omega$ erstreckt, sind mindestens vier Trennwiderstände R_M mit geeigneten Werten von beispielsweise $1\ \text{k}\Omega$, $10\ \text{k}\Omega$, $100\ \text{k}\Omega$ und $1\ \text{M}\Omega$ erforderlich; diese Werte werden zur Festlegung der Prüfbedingungen nach Tabelle 2 verwendet.

4.4.3 Gleichspannungsquelle

Die Gleichspannungsquelle muss geeignete Spannungen liefern können, die vom Widerstandswert des Prüflings R_T , von der geforderten Prüfspannung U_T und vom Trennwiderstand R_M abhängen. Die eingestellte Prüfgleichspannung muss während einer gesamten Messung hinreichend stabil bleiben.

Tabelle 2 enthält empfohlene Arbeitsbedingungen für den Widerstandswert des Prüflings R_T im Bereich von $100\ \Omega$ bis $22\ \text{M}\Omega$, woraus sich Prüfspannungen U_T im Bereich von $3,2\ \text{V}$ bis $250\ \text{V}$ ergeben. Zur Erfüllung dieser Bedingungen muss die Gleichspannungsquelle eine im Bereich von $14\ \text{V}$ bis $500\ \text{V}$ einstellbare Spannung liefern können.

Durch die Gleichspannungsquelle bedingte Rauschstörungen können auftreten, wenn diese einen Strom durch den zu prüfenden Widerstand treibt. Die sich dadurch ergebende Erhöhung des ermittelten Rauschindex darf höchstens $0,5\ \text{dB}$ betragen, wenn der angeschlossene Prüf Widerstand selbst rauschfrei ist (z. B. ein Draht- oder Metallfolienwiderstand hoher Güte).

4.4.4 Gleichspannungsmessgerät

Das zur Messung der Prüfgleichspannung U_T verwendete Spannungsmessgerät muss im Frequenzbereich von $0\ \text{Hz}$ bis $1\ 600\ \text{Hz}$ eine konstante Eingangsimpedanz von mindestens $4\ \text{M}\Omega$ aufweisen.

Das Spannungsmessgerät, in Verbindung mit einer Eichleitung, muss die geforderten Prüfgleichspannungen mit einer Messunsicherheit von $\pm 3\%$ anzeigen können. Die Zeitkonstante der Anzeige muss kleiner als $0,5\ \text{s}$ sein.

Das Spannungsmessgerät muss die Prüfgleichspannung U_T in Volt und den Index der Prüfgleichspannung D in dB anzeigen; letzterer wird definiert als

$$D = 20 \cdot \lg\left(\frac{U_T}{1\ \text{V}}\right) \text{ dB}$$

Durch das Spannungsmessgerät bedingte Rauschstörungen können auftreten, wenn es an die Eingangsschaltung angeschlossen wird. Die sich dadurch ergebende Erhöhung des ermittelten Rauschindex darf höchstens $0,2\ \text{dB}$ betragen.

4.4.5 Eichwiderstand R_{Cal}

Der Eichwiderstand R_{Cal} muss folgende Festlegungen erfüllen:

$$R_{\text{Cal}} = 1,00\ \Omega$$

$$P_r \geq 0,5 \text{ W}$$

Es ist ein möglichst stromrauschfreier Eichwiderstand zu wählen (z. B. ein Draht- oder Metallfolienwiderstand hoher Güte).

4.4.6 Referenzstromquelle

Die Referenzstromquelle muss ein Generator sein, der eine stabile sinusförmige Spannung mit einer Frequenz von $(1\,000 \pm 20)$ Hz liefert. Er muss am Eichwiderstand R_{Cal} eine von 0,6 mV bis 0,7 mV einstellbare Spannung erzeugen, wobei der genaue Wert dieser Spannung nach 4.4.7 zu bestimmen ist. Der zulässige Fehler der eingestellten Referenzspannung beträgt weniger als $\pm 2 \%$.

Die Referenzstromquelle wird nur in der Betriebsart „Einstellung der Verstärkung“ an die Messanordnung angeschlossen.

4.4.7 Bestimmung der Referenzspannung

Die Referenzspannung U_{Cal} wird für eine Rauschanzeige entsprechend einer Stromrauschspannung mit einem Effektivwert von 1 mV je Frequenzdekade bestimmt.

Die Referenzspannung wird unter Verwendung der folgenden Gleichung berechnet:

$$U_{\text{Cal}} = \sqrt{\frac{A}{\ln 10}} \text{ mV} = \sqrt{A} \cdot 0,659 \text{ mV}$$

Dabei ist:

A ein dimensionsloser Wert für die Fläche unterhalb der Durchlasskurve.

Die Referenzstromquelle ist so einzustellen, dass sie an den Anschlüssen des Eichwiderstands R_{Cal} die Effektivwertspannung U_{Cal} mit einer relativen Messunsicherheit von weniger als $\pm 2 \%$ erzeugt.

Für ein ideales Bandpassfilter mit rechteckförmiger Durchlasskurve ist der Wert A definiert als

$$A = \ln \frac{f_2}{f_1}$$

Dabei ist:

f_1 die untere Grenzfrequenz des idealen Bandpasses;

f_2 die obere Grenzfrequenz des idealen Bandpasses.

Für das gewünschte ideale Bandpassfilter mit einer Bandbreite von 1 kHz sowie einer Mittenfrequenz von 1 kHz und folglich mit einer unteren Grenzfrequenz $f_1 = 618$ Hz und einer oberen Grenzfrequenz $f_2 = 1\,618$ Hz ergibt sich ein berechneter Wert $A_i = 0,963$.

Für ein bestimmtes nicht ideales Bandpassfilter kann der Wert A wie folgt berechnet werden:

- 1) Die Spannungsverstärkung wird im gesamten Durchlassbereich über der Frequenz gemessen, wobei die Spannungsverstärkung das Verhältnis der am Ausgangsmesser angezeigten Ausgangsspannung zur an den Anschlüssen des Eichwiderstands anliegenden Eingangsspannung ist.
- 2) Die Leistungsverstärkung wird durch Quadrierung der Spannungsverstärkung für jede Frequenz berechnet.
- 3) Die Werte der Leistungsverstärkung werden durch die jeweilige Frequenz dividiert und im linearen Maßstab über der Frequenz dargestellt.

- 4) Der Bereich unterhalb der resultierenden Kurve wird planimetriert, und es ergibt sich der Wert A für das entsprechende nicht ideale Bandpassfilter, der mit einem Fehler von höchstens $\pm 2,5 \%$ bestimmt werden muss.

Wenn für ein bestimmtes Bandpassfilter das Ergebnis einer numerischen Simulation der üblicherweise in dB angegebenen Verstärkung über der Frequenz zur Verfügung steht, kann das zuvor beschriebene Verfahren numerisch, d. h. unter Verwendung einer Tabellenkalkulation, durchgeführt werden.

Der sich ergebende Wert A sollte nahe bei dem Ergebnis für einen idealen Bandpass, $A_i = 0,963$, liegen.

ANMERKUNG Die numerische Bestimmung der Fläche unterhalb der in Bild 2 dargestellten Durchlasskurve ergibt einen Wert $A = 0,959$.

4.4.8 Wechsellspannungsbandpassverstärker

Der Verstärker muss eine Empfindlichkeit haben, die zur Messung des Eigenrauschens bei kurzgeschlossenen Eingangsanschlüssen ausreicht, wobei die nachfolgend beschriebene einstellbare Verstärkungssteuerung auf die nahezu kleinste Verstärkungsstufe einzustellen ist.

Bei der Prüfung mit einem Trennwiderstand $R_M \geq 100 \text{ k}\Omega$ darf das Eigenrauschen ohne anliegenden Gleichstrom nicht größer als das Wärmerauschen eines Festwiderstands von $6,2 \text{ k}\Omega \pm 5 \%$ sein. Das heißt, bei Ersatz des Kurzschlusses am Eingang durch diesen Widerstand muss die Ausgangsanzeige bei unveränderter Verstärkungsregelungsstellung um mindestens 3 dB ansteigen.

Der Verstärker muss zur Messung von Eingangssignalen von bis zu $650 \text{ }\mu\text{V}$ geeignet sein. Diese Signalamplitude entspricht einem Skalenwert von etwa 60 dB, wenn das Messgerät geeicht ist.

Der Verstärker muss mit einer kontinuierlich einstellbaren Verstärkungsregelung versehen sein, damit die Gesamtverstärkung, die sich ansonsten mit den Eingangsbedingungen nach Tabelle 2 ändern würde, auf einem festgelegten Wert gehalten wird. Die erforderliche Einstellmöglichkeit der Verstärkungsregelung beträgt etwa 33 dB.

Die Durchlasskurve muss flach sein, eine festgelegte Halbwertsbreite von etwa $(1\,000 \pm 50) \text{ Hz}$ haben und die Mittenfrequenz muss $(1\,000 \pm 50) \text{ Hz}$ betragen. Die Welligkeit im flachen oberen Bereich der Kurve darf $\pm 0,2 \text{ dB}$ nicht überschreiten.

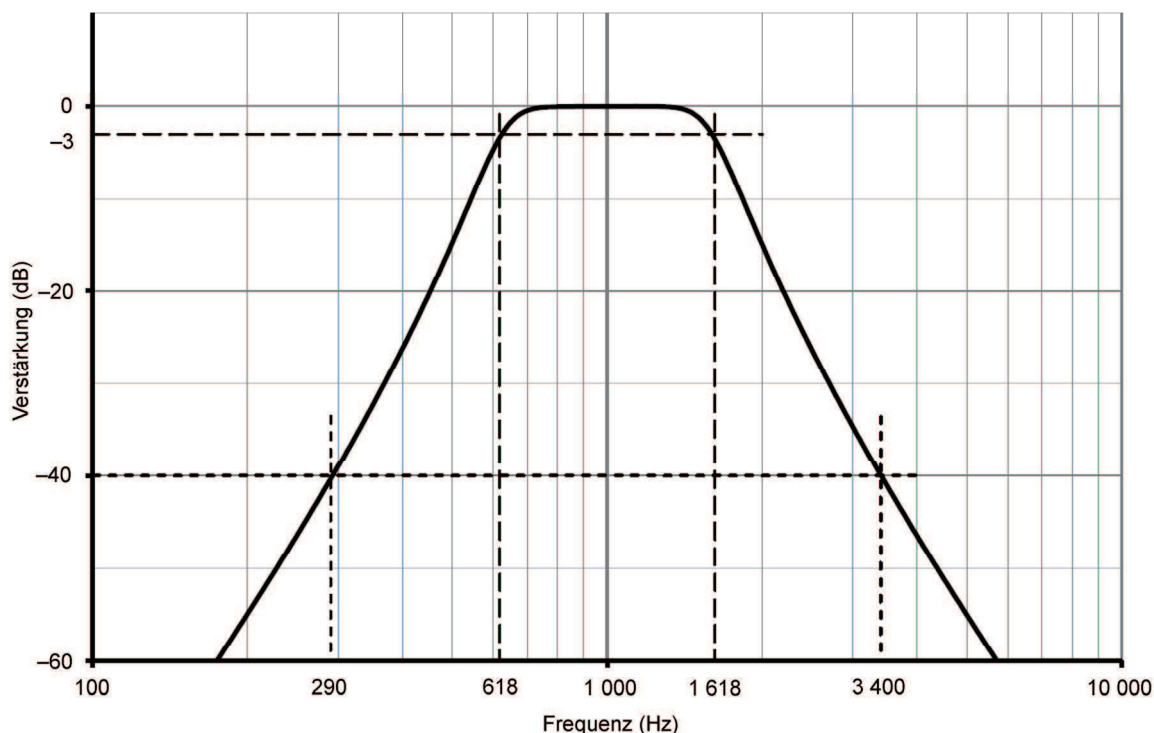


Bild 2 – Typische Übertragungsfunktion des Bandpassverstärkers

Diese Anforderungen müssen für alle in Tabelle 2 angegebenen Messbedingungen erfüllt werden. Weder die Fläche unterhalb der Durchlasskurve, A , wie in 4.4.7 bestimmt, noch die Halbwertsbreite dürfen bei allen empfohlenen Messbedingungen um mehr als $\pm 4\%$ abweichen. Die Übereinstimmung bei $100\ \Omega$ und bei $22\ M\Omega$ gilt als ausreichend.

Der Wechselspannungsverstärker muss Rauschsignale ohne Beschneidung der Spitzen verarbeiten können. Die dazu erforderliche Reserve im Aussteuerbereich muss mindestens 10 dB über dem angezeigten Effektivwert betragen.

4.4.9 Effektivwertspannungsmesser

Das Effektivwertmessgerät muss in dB von -20 dB bis mindestens $+60\text{ dB}$ geeicht sein; dabei müssen 0 dB $1\ \mu\text{V}$ Rauschspannung in einer Frequenzdekade entsprechen. Die Messunsicherheit des Effektivwertspannungsmessers muss $\pm 0,4\text{ dB}$ betragen. Die Zeitkonstante der Anzeige muss $0,8\text{ s}$ bis $1,5\text{ s}$ betragen.

4.4.10 Prüfhaltung

Die Prüfhaltung für den zu prüfenden Widerstand R_T muss eine sichere elektrische Verbindung und eine hinreichende Abschirmung von äußeren Feldern ermöglichen.

Die Kapazitäten zwischen den Anschlüssen des zu prüfenden Widerstands in seiner Prüfhaltung und zwischen Anschluss und Masse sowie zwischen den Anschlüssen und dem Eingang des Bandpassverstärkers müssen klein gehalten werden, z. B. durch die Verwendung kurzer Anschlüsse und angemessener Abstände sowie durch eine sorgfältige Befestigung.

Bei der Konstruktion der Messanordnung muss ein gutes Abschirmverfahren angewandt werden. Die Eingangsschaltung arbeitet bei extrem niedrigen Signalpegeln, weshalb es erforderlich ist, dass alle Teile und Anschlüsse in der Eingangsschaltung sehr gut abgeschirmt sind. Bauelemente mit großen Signalen sollten sich nicht in der Nähe der Eingangsschaltung befinden.

4.5 Überprüfung der Messanordnung

4.5.1 Kontrolle des Messgeräts und des Wärmerauschens

Es wird empfohlen, die Funktion der Messanordnung durch Überprüfung der Größe des Eigenrauschens, einschließlich des Wärmerauschens, ohne Prüfling zu kontrollieren.

Bei einer Messanordnung, wie in 4.3 vorgeschlagen, sollte folgendes Verfahren angewandt werden:

- 1) Der Betriebsartenschalter ist auf die Stellung „Einstellung der Verstärkung“ zu schalten und die Anschlüsse des Prüflings R_T sind kurzzuschließen.
- 2) Die Verstärkung des Bandpassverstärkers ist entsprechend der Eichkurve des Effektivwertspannungsmessers einzustellen.
ANMERKUNG Die Eichkurve ist üblicherweise eine Mittengerade auf der Anzeigeskala des Effektivwertspannungsmessers. Das Messgerät wird ohne Dämpfungsnetzwerk angeschlossen, während sich die Messanordnung in der Betriebsart „Einstellung der Verstärkung“ befindet.
- 3) Der Betriebsartenschalter ist auf die Stellung „Eigenrauschen“ zu schalten und der Rauschindex S_k ist abzulesen.
- 4) Der Kurzschluss an den Anschlüssen des Prüflings R_T ist aufzuheben.
- 5) Der Rauschindex S_o ist für jeden Trennwiderstand R_M abzulesen.

Die Anzeigewerte für den Rauschindex sollten den Grenzwerten nach Tabelle 1 entsprechen, sofern keine anderen Empfehlungen für eine spezielle Messanordnung angegeben sind.

Tabelle 1 – Zulässige Grenzwerte für das Eigenrauschen

R_M	R_T	Zulässige Grenzwerte der Eigenrauschanzeige in dB
beliebig	kurzgeschlossen	$S_k \leq -5$ dB
1 k Ω	–, Anschlüsse offen	-9 dB $\leq S_o \leq -4,5$ dB
10 k Ω	–, Anschlüsse offen	-5 dB $\leq S_o \leq -2$ dB
100 k Ω	–, Anschlüsse offen	5 dB $\leq S_o \leq 7,5$ dB
1 M Ω	–, Anschlüsse offen	14 dB $\leq S_o \leq 18$ dB

ANMERKUNG Die ersten beiden Anzeigewerte sind im Wesentlichen Messwerte für das Eigenrauschen des Verstärkers, während die letzten beiden Anzeigewerte in erster Linie Messwerte für das Wärmerauschen des Trennwiderstands R_M im Durchlassbereich des Messgeräts sind. Der dritte Anzeigewert ist durch beide Faktoren beeinflusst.

Zur Funktionskontrolle kann es abweichende Verfahren und zulässige Grenzwerte geben, die entsprechend der praktischen Umsetzung der vorgeschlagenen Messanordnung nach 4.3.1 oder für alternative Messanordnungen nach 4.3.2 festgelegt sind.

4.5.2 Kontrolle durch den Vergleich wiederholter Messungen

Es wird empfohlen, die Funktion der Messanordnung durch Überprüfung des Stromrauschens eines bestimmten Widerstandsprüflings nach wiederholten Messungen zu kontrollieren.

Ein bewährtes Mittel zur Kontrolle der Stabilität der Messanordnung ist die Aufzeichnung der Messwerte für eine Reihe spezieller Musterwiderstände, wobei diese Musterwiderstände unterschiedliche Widerstandsarten umfassen und einen großen Bereich an Widerstands- und Stromrauschwerten repräsentieren sollten.

Als ein einfaches und wirksames Mittel zur Feststellung von Unregelmäßigkeiten in der Messanordnung wird die grafische Darstellung der Messwerte über der Zeit in Form einer Regelkarte für jeden Prüfling vorgeschlagen.

5 Durchführung der Messung

5.1 Umgebungsbedingungen

Die Messung ist vorzugsweise bei Normalklima für Schiedsmessungen und -prüfungen nach IEC 60068-1:2013, 4.2, durchzuführen:

- Temperatur: $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$
- Relative Luftfeuchte: 45 % bis 55 %
- Luftdruck: 86 kPa bis 106 kPa

Eine entsprechende Spezifikation darf andere Umgebungsbedingungen für diese Messung festlegen.

ANMERKUNG Das üblicherweise angewandte Normalklima für Prüfungen mit einem größeren zulässigen Temperaturbereich wird für diese Prüfung aufgrund des Temperatureinflusses auf die Messung, z. B. durch das Wärmerauschen, nicht empfohlen.

5.2 Vorbereitung des Prüflings

Bevor eine Messung durchgeführt wird, ist der Prüfling für mindestens 24 h bei den in 5.1 festgelegten Umgebungsbedingungen zu lagern.

5.3 Verfahren

5.3.1 Allgemeines

Bevor eine Messung durchgeführt wird, ist die Messanordnung für mindestens 24 h bei den in 5.1 festgelegten Umgebungsbedingungen zu lagern.

Der gesamte Messvorgang besteht aus drei aufeinanderfolgenden Schritten:

- 1) Einstellung der Verstärkung;
- 2) Messung des Eigenrauschens;
- 3) gleichzeitige Messung des Gesamtrauschens und der Gleichspannung am Prüfling.

Durch Nutzung der Stabilität der jeweiligen Messausrüstung kann eine beträchtliche Zeitersparnis erreicht werden, wenn Gruppen ähnlicher Widerstände zu prüfen sind. Die Abstände, in denen die Verstärkungseinstellung und die Eigenrauschmessungen zu wiederholen sind, hängen von der Stabilität der Ausrüstung und der erforderlichen Genauigkeit ab.

5.3.2 Einstellung der Verstärkung

Der zu prüfende Widerstand R_T ist in die Prüfhalterung einzusetzen und der dazugehörige Trennwiderstand R_M in den Stromkreis einzuschalten. Es gelten die Zuordnungswerte nach Tabelle 2, sofern in der entsprechenden Spezifikation keine anderen Festlegungen getroffen sind.

Während sich die Messanordnung in der Betriebsart „Einstellung der Verstärkung“ befindet, wird der Trennwiderstand R_M an Masse statt an die Gleichspannungsquelle angeschlossen und die Referenzspannung mit einer Frequenz von 1 000 Hz wird an den Eichwiderstand R_{Cal} angelegt.

Die Verstärkungsregelung des Bandpassverstärkers ist so einzustellen, dass der Rauschspannungsmesser +60 dB oder den entsprechenden Wert von 1 mV in einer Frequenzdekade anzeigt.

5.3.3 Messung des Eigenrauschens S

Der Prüfling R_T und der Trennwiderstand R_M müssen so angeschlossen bleiben, wie in 5.3.2 beschrieben.

Während sich die Messanordnung in der Betriebsart „Messung des Eigenrauschens“ befindet, wird der Trennwiderstand R_M an Masse statt an die Gleichspannungsquelle angeschlossen und der Eichwiderstand R_{Cal} wird von der Referenzspannung getrennt.

Der Eigenrauschindex S wird nach frühestens 5 s abgelesen, sodass der Rauschspannungsmesser einen repräsentativen Mittelwert anzeigen kann.

5.3.4 Messung des Gesamtrauschens T

Der Prüfling R_T und der Trennwiderstand R_M müssen so angeschlossen bleiben, wie in 5.3.2 beschrieben.

Während sich die Messanordnung in der Betriebsart „Messung des Gesamtrauschens“ befindet, wird der Trennwiderstand R_M an die Gleichspannungsquelle angeschlossen, um einen Strom durch den zu prüfenden Widerstand R_T zu leiten. Der Eichwiderstand R_{Cal} wird von der Referenzspannung getrennt.

Die Gleichspannung U_T ist nach Tabelle 2 einzustellen, sofern in der entsprechenden Spezifikation keine anderen Festlegungen getroffen sind, z. B. unter Berücksichtigung der tatsächlichen Bemessungsbelastbarkeit einer bestimmten Widerstandsform. Für Werte von R_T , die nicht in Tabelle 2 enthalten sind, sollten die Parameter für den nächst kleineren angegebenen Wert verwendet werden.

Der Gleichspannungsindex D wird am Gleichspannungsmesser und der Index der Gesamtrauschspannung T am Rauschspannungsmesser nach frühestens 5 s abgelesen, sodass die Messgeräte einen jeweils repräsentativen Mittelwert anzeigen können.