

DIN EN 60195

ICS 31.040.10

**Messverfahren für das Stromrauschen in Festwiderständen
(IEC 60195:2016);
Deutsche Fassung EN 60195:2016**

Method of measurement of current noise generated in fixed resistors
(IEC 60195:2016);
German version EN 60195:2016

Méthode pour la mesure du bruit produit en charge par les résistances fixes
(IEC 60195:2016);
Version allemande EN 60195:2016

Gesamtumfang 32 Seiten

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



Anwendungsbeginn

Anwendungsbeginn für die von CENELEC am 2016-05-12 angenommene Europäische Norm als DIN-Norm ist 2017-02-01.

Nationales Vorwort

Vorausgegangener Norm-Entwurf: E DIN EN 60195:2014-06.

Für dieses Dokument ist das nationale Arbeitsgremium GK 613 „Widerstände“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE (www.dke.de) zuständig.

Die enthaltene IEC-Publikation wurde vom TC 40 „Capacitors and resistors for electronic equipment“ erarbeitet.

Das IEC-Komitee hat entschieden, dass der Inhalt dieser Publikation bis zu dem Datum (stability date) unverändert bleiben soll, das auf der IEC-Website unter „<http://webstore.iec.ch>“ zu dieser Publikation angegeben ist. 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 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.

Messverfahren für das Stromrauschen in Festwiderständen
(IEC 60195:2016)

Method of measurement of current noise
generated in fixed resistors
(IEC 60195:2016)

Méthode pour la mesure du bruit produit en
charge par les résistances fixes
(IEC 60195:2016)

Diese Europäische Norm wurde von CENELEC am 2016-05-12 angenommen. 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 CEN-CENELEC Management Centre 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 CEN-CENELEC Management Centre mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

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

CENELEC

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

CEN-CENELEC Management Centre: Avenue Marnix 17, B-1000 Brüssel

© 2016 CENELEC – Alle Rechte der Verwertung, gleich in welcher Form und in welchem Verfahren, sind weltweit den Mitgliedern von CENELEC vorbehalten.

Ref. Nr. EN 60195:2016 D

Europäisches Vorwort

Der Text des Schriftstücks 40/2431/FDIS, zukünftige 2. Ausgabe von IEC 60195, ausgearbeitet von dem IEC/TC 40 „Capacitors and resistors for electronic equipment“, wurde der IEC-CENELEC Parallelen Abstimmung unterworfen und von CENELEC als EN 60195:2016 angenommen.

Nachstehende Daten wurden festgelegt:

- spätestes Datum, zu dem dieses Dokument auf nationaler Ebene durch Veröffentlichung einer identischen nationalen Norm oder durch Anerkennung übernommen werden muss (dop): 2017-02-12
- spätestes Datum, zu dem nationale Normen, die diesem Dokument entgegenstehen, zurückgezogen werden müssen (dow): 2019-05-12

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

Anerkennungsnotiz

Der Text der Internationalen Norm IEC 60195:2016 wurde von CENELEC ohne irgendeine Abänderung als Europäische Norm angenommen.

In der offiziellen Fassung sind unter „Literaturhinweise“ zu den aufgelisteten Normen die nachstehenden Anmerkungen einzutragen:

IEC 60027 (Reihe) ANMERKUNG Harmonisiert in der Reihe EN 60027.

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	2
1 Anwendungsbereich	5
2 Normative Verweisungen	5
3 Begriffe	5
4 Messverfahren	6
4.1 Grundlagen des Rauschens	6
4.1.1 Rauschen	6
4.1.2 Wärmerauschen	7
4.1.3 Stromrauschen	7
4.2 Messprinzip	8
4.3 Messanordnung	9
4.3.1 Vorschlag einer geeigneten Messanordnung	9
4.3.2 Alternative Messanordnung	10
4.4 Anforderungen an die Messanordnung	10
4.4.1 Eingangsschaltung	10
4.4.2 Trennwiderstand R_M	11
4.4.3 Gleichspannungsquelle	11
4.4.4 Gleichspannungsmessgerät	11
4.4.5 Referenzwiderstand R_E	11
4.4.6 Referenzstromquelle	12
4.4.7 Bestimmung der Referenzspannung	12
4.4.8 Wechelspannungsbandpassverstärker	14
4.4.9 Effektivwertspannungsmesser	15
4.4.10 Prüfhaltung	15
4.5 Überprüfung der Messanordnung	16
4.5.1 Kontrolle des Messgeräts und des Wärmerausches	16
4.5.2 Kontrolle durch den Vergleich wiederholter Messungen	16
5 Durchführung der Messung	17
5.1 Umgebungsbedingungen	17
5.2 Vorbereitung des Prüflings	17
5.3 Verfahren	17
5.3.1 Allgemeines	17
5.3.2 Einstellung der Verstärkung	17
5.3.3 Messung des Eigenrauschens S	18
5.3.4 Messung des Gesamtrauschens T	18
5.4 Vorsichtsmaßnahmen	21
6 Bewertung der Messergebnisse	21
6.1 Term für den Beitrag des Eigenrauschens	21

	Seite
6.2 Bestimmung des Stromrauschindex A_1	23
6.3 Bestimmung des Stromrauschspannungsverhältnisses CNR_U	24
6.4 Genauigkeit	25
6.5 Anforderungen	25
7 Erforderliche Angaben in der entsprechenden Bauelemente-Spezifikation	25
Anhang A (informativ) Formelzeichen und Abkürzungen	26
A.1 Formelzeichen	26
A.2 Abkürzungen	27
Anhang X (informativ) Verweisliste mit Verweisen zur vorherigen Ausgabe dieser Norm	28
Literaturhinweise	29
Anhang ZA (normativ) Normative Verweisungen auf internationale Publikationen mit ihren entsprechenden europäischen Publikationen	30
 Bilder	
Bild 1 – Schaltplan einer geeigneten Messanordnung	10
Bild 2 – Typische Übertragungsfunktion des Bandpassverstärkers	15
Bild 3 – Beitrag des Eigenrauschens, $f(T - S)$	22
 Tabellen	
Tabelle 1 – Zulässige Grenzwerte für das Eigenrauschen	16
Tabelle 2 – Empfohlene Arbeitsbedingungen	19
Tabelle 3 – Zahlenwerte für den Beitrag des Eigenrauschens, $f(T - S)$	23
Tabelle X.1 – Verweisliste mit Verweisen zur 1. Ausgabe dieser Norm	28

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 Stromrauschen in Widerstandsmaterialien resultiert aus der granularen Struktur des Widerstandsmaterials. Bei einigen Technologien, die homogene Widerstandsschichten verwenden, wird angenommen, dass das Stromrauschen einen Hinweis auf Fehlstellen liefert, die als Ursache für die ungewöhnlich schnelle Alterung des Bauelementes unter dem Einfluss von Temperatur und Zeit gelten.

Das in dieser Internationalen Norm beschriebene Verfahren ist keine allgemeine Spezifikationsanforderung und wird daher angewandt, wenn dies in einer entsprechenden Bauelemente-Spezifikation 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 der Ladungsträger (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, in μV , zu angelegter Prüfgleichspannung, in V , der als Kennzahl für das Rauschen eines individuellen Widerstands verwendet wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Stromrauschindex wird in dB angegeben. Da das Verhältnis $\mu\text{V}/\text{V}$ in diesem Index nicht berücksichtigt wird, beträgt sein Wert 120 dB weniger als der mathematische Stromrauschindex A_1' . Dieser praktische Index entspricht der Historie früherer Revisionen dieses Verfahrens.

3.3

mathematischer Stromrauschindex

A_1'

logarithmischer Index des Verhältnisses von Effektivwert der Leerlauf-Stromrauschspannung in einer Frequenzdekade zu angelegter Prüfgleichspannung, der in gleichen Einheiten und deren Vielfachen angegeben wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Der mathematische Stromrauschindex wird in dB angegeben. Dieser Index wurde für die mathematische Ableitung der betrachteten Parameter eingeführt.

3.4

Stromrauschspannungsverhältnis

CNR_U

Verhältnis von Effektivwert der Leerlauf-Stromrauschspannung in einer Frequenzdekade zu angelegter Prüfgleichspannung, angegeben in $\mu\text{V}/\text{V}$, das als Kennzahl für das Rauschen eines individuellen Widerstands verwendet wird

3.5

Funkelrauschen rosa Rauschen

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

3.6

Rauschen

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

3.7

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

3.8

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 1 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.

Im Allgemeinen sind nicht die Momentanwerte der Spannungsamplituden, sondern deren „zeitlich gemittelter“ Wert von wesentlichem Interesse.

Das üblicherweise verwendete und in dieser Internationalen Norm übernommene Amplitudenmaß ist der in einem bestimmten Frequenzdurchlassbereich ermittelte Effektivwert der Spannung E_n .

4.1.2 Wärmerauschen

Das Wärmerauschen eines Widerstands tritt als eine schwankende Spannung auf, die durch die zufällige, thermisch angeregte 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 Anwendung der Nyquist-Gleichung berechnet werden:

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

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, $k \approx 1,38 \times 10^{-23}$ J/K;
- T die absolute Temperatur;
- R der Widerstandswert;
- Δf die effektive Bandbreite des Bandpassfilters für das betrachtete Frequenzband.

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 beobachteten Gesamttrauschens auf einen Wert, der über der Größe des Wärmerauschens liegt. Unabhängig von der Art seiner Entstehung wird dieses zusätzliche Rauschen als Stromrauschen bezeichnet.

$$E_{\text{t}}^2 = E_{\text{th}}^2 + E_{\text{c}}^2$$

Dabei ist

- E_{t} der Effektivwert der Gesamttrauschspannung in einer gegebenen Bandbreite;
- E_{th} der Effektivwert der Wärmerauschspannung in einer gegebenen Bandbreite;
- E_{c} der Effektivwert der Stromrauschspannung in einer gegebenen Bandbreite.

Somit ist das Stromrauschen die geometrische Differenz zwischen dem Gesamttrauschen und dem Wärmerauschen.

$$E_{\text{c}}^2 = E_{\text{t}}^2 - E_{\text{th}}^2$$

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 Stromrauschspannung 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.

4.2 Messprinzip

Die Stromrauschspannung E_c verhält sich im Allgemeinen nahezu proportional zur angelegten Prüfgleichspannung U_T . Es wird dennoch 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 geometrischen Mittenfrequenz von 1 000 Hz entspricht.

Aus der Messung ergibt sich der mathematische Stromrauschindex in einer Frequenzdekade, A_1' , wie folgt:

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

Dabei ist

- E_c' der Effektivwert der Leerlauf-Stromrauschspannung in einer Frequenzdekade, angegeben in V;
 U_T die an den zu prüfenden Widerstand angelegte Gleichspannung, angegeben in V.

Der üblicherweise im Mikrovoltbereich und nicht im Voltbereich liegende Wert der Stromrauschspannung in einer Frequenzdekade wird in dem gängigen Stromrauschindex A_1 berücksichtigt.