

DIN EN IEC 60268-22

ICS 33.160.50

Einsprüche bis 2020-01-29

Entwurf

**Elektroakustische Geräte –
Elektrische und mechanische Messungen an Wandlern
(IEC 100/3233/CD:2019);
Text Deutsch und Englisch**

Sound system equipment –
Electrical and mechanical measurements
(IEC 100/3233/CD:2019);
Text in German and English

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2019-11-29 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 105 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE
DIN/VDI-Normenausschuss Akustik, Lärminderung und Schwingungstechnik (NALS)

Nationales Vorwort

Das internationale Dokument IEC 100/3233/CD:2019 „Sound system equipment – Electrical and mechanical measurements“ (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 100/TA 20 „Analogue and digital audio“ 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 742.5 „Lautsprecher“ 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.

Die Deutsche Fassung wurde im Abschnitt 2 an den aktuellen Standardtext angepasst.

Inhalt

	Seite
Einleitung	8
1 Anwendungsbereich	9
2 Normative Verweisungen	9
3 Begriffe	10
4 Typbeschreibung	10
5 Kennzeichnung der Anschlüsse und Steuerungen	10
6 Physikalische Eigenschaften	10
6.1 Maße	10
6.2 Gewicht	10
6.3 Steckverbinder und Kabelsätze	11
7 Bedingungen	11
7.1 Bemessungsbedingungen	11
7.2 Klimatische Bedingungen	11
7.2.1 Bedingungen für normale Prüfungen	11
7.2.2 Bedingungen für klimatische Prüfungen	11
7.3 Standard-Messbedingungen	11
8 Prüfsignale	12
8.1 Kleinsignalbedingung	12
9 Akustische Umgebung	12
9.1 Freifeldbedingungen	12
9.2 Halbraum-Freifeldbedingungen	13
9.3 Freiluftbedingungen	13
9.4 Bedingungen der Zielanwendung	13
9.5 Vakuumbedingung	13
9.5.1 Messverfahren	13
9.6 Bedingung für Messung mit Kundtschem Rohr	13
9.7 Bedingung für nichtakustische Messungen	14
10 Positionierung des Strahlers	14
10.1 Geometrische Bemessungsbedingungen	14
10.1.1 Bezugsebene und Normalenvektor	14
10.1.2 Bezugspunkt	14
10.1.3 Orientierungsvektor	15
10.1.4 Bedingungen der Zielanwendung	15
11 Messeinrichtung und Prüfergebnisse	15
12 Messunsicherheit der mechanischen und elektrischen Messung	15
13 Aufstellung des DUT	15
13.1 Aufstellung und akustische Last der Antriebseinheiten	15

	Seite
13.2	Aufstellung und akustische Last eines elektroakustischen Systems 16
13.3	Anforderungen an die Laser-Schwingungsmessung 16
14	Vorbehandlung 16
15	Bemessungsumgebungsbedingungen 16
15.1	Temperaturbereiche 16
15.1.1	Eigenschaftsbegrenzter Temperaturbereich 16
15.1.2	Festzulegende Bedingungen 16
15.1.3	Schadensbegrenzter Temperaturbereich 17
15.1.4	Festzulegende Bedingungen 17
15.2	Feuchtebereiche 17
15.2.1	Bereich der relativen Feuchte 17
15.2.2	Festzulegende Bedingungen 17
15.2.3	Schadensbegrenzter Feuchtebereich 17
16	Elektrische Signale an den Anschlüssen des Wandlers 17
16.1	Höchster Bemessungseingangswert 17
16.1.1	Festzulegende Bedingungen 17
16.1.2	Direkte Messung 17
17	Elektrische Eingangsleistung 18
17.1	Eingangswirkleistung 19
17.2	Verlustleistung im Gleichstromwiderstand 19
17.3	Verlustleistung in der Nennimpedanz 19
17.4	Höchste Bemessungseingangsleistung 19
18	Elektrische Eingangsimpedanz 19
18.1	Komplexe elektrische Impedanz 19
18.1.1	Messverfahren 20
18.2	Nennimpedanz 20
18.3	Festzulegender Kennwert 20
19	Schwingung der Strahleroberfläche 20
19.1	Auslenkung eines Oberflächenpunktes r_f 21
19.1.1	Messverfahren 21
19.2	Mittlere Schwingspulenauslenkung 21
19.2.1	Messverfahren 22
19.3	Größt- und Kleinstwerte der Auslenkung 22
19.3.1	Messverfahren 22
19.4	Gleichanteil in der Auslenkung 23
19.4.1	Messverfahren 23
19.5	Auslenkungsübertragungsfunktion 23
19.5.1	Messverfahren 23
19.6	Kumulierter Beschleunigungspegel 24

	Seite
19.6.1 Messverfahren	24
20 Konzentrierte Kleinsignalparameter	24
20.1 Elektrische Parameter	25
20.1.1 Gleichstromwiderstand	25
20.1.2 Verlustbehaftete Induktivität	25
20.1.3 Elektrische Darstellung des Grundschwingungsresonators	26
20.2 Relative konzentrierte Parameter	27
20.2.1 Resonanzfrequenz	27
20.2.2 Elektrischer Gütefaktor	27
20.2.3 Mechanischer Gütefaktor	28
20.2.4 Gesamtgütefaktor	28
20.3 Konzentrierte mechanische Parameter	29
20.3.1 Messverfahren	30
20.4 Reine konzentrierte mechanische Parameter	32
20.4.1 Messverfahren	32
20.5 Nachgiebigkeit in Abhängigkeit von Frequenz	33
20.5.1 Messverfahren	33
20.6 Verteilte mechanische Parameter	34
20.6.1 Mechanische Übertragungsfunktion	34
20.6.2 Modalanalyse	34
20.6.3 Relativer Schaukelpegel	35
20.6.4 Schwerpunkt	35
20.6.5 Steifigkeitszentrum	36
20.6.6 Zentrum des Kraftfaktors	37
20.7 Konzentrierte akustische Parameter	37
20.7.1 Mechanoakustische Kopplungsfunktion	37
20.7.2 Effektiver Strahlungsbereich	38
20.7.3 Akustische Lastimpedanz	39
20.7.4 Konzentrierte Parameter eines gekoppelten Resonators	40
21 Elektroakustischer Wirkungsgrad	41
21.1.1 Messverfahren	41
21.2 Durchlassbereich-Wirkungsgrad	42
21.2.1 Messverfahren	42
22 Bezugsübertragungskoeffizient	43
22.1 Durchlassbereich-Übertragungskoeffizient	44
23 Großsignal-Kenngrößen	44
23.1 Elektrische und mechanische Nichtlinearitäten	44
23.1.1 Nichtlineare Steifigkeit $K_{MS}(x)$	44
23.1.2 Nichtlinearer Kraftfaktor $Bl(x)$	44

	Seite
23.2	Andere Nichtlinearitäten von Lautsprechern 45
23.3	Asymmetrie der Nichtlinearität 45
23.3.1	Asymmetrie der Steifigkeit A_K 45
23.3.2	Asymmetrie des Kraftfaktors A_{BI} 45
23.3.3	Symmetriepunkt des Kraftfaktors X_{sym} 46
23.4	Versatz der Schwingspule von ihrer Bezugs-Ruhelage, x_{off} 47
23.5	Maximale Schwingspulenauslenkung 48
23.5.1	Abstände zu den Grenzen 48
23.5.2	Mechanisch begrenzte Spitzenauslenkung, X_{mech} 49
23.5.3	Verzerrungsbegrenzte Spitzenauslenkung, X_{MAXd} 49
23.5.4	Nachgiebigkeitsbegrenzte Auslenkung, x_C 49
23.5.5	Kraftfaktorbegrenzte Auslenkung, x_{BI} 50
24	Thermische Eigenschaften 50
24.1	Steigerung der Schwingspulentemperatur 50
24.1.1	Messverfahren 50
24.2	Effektiver Wärmewiderstand 51
24.2.1	Messverfahren 51
24.3	Thermische Parameter 51
24.3.1	Messverfahren 51
24.4	Thermische Zeitkonstante der Schwingspule 51
24.4.1	Messverfahren 52
24.5	Wärme-Bypass-Faktor 52
25	Zeitabhängigkeit der Lautsprecher-Kenngrößen 52
25.1	Ermüdung und lastinduzierte Alterung 52
25.1.1	Steifigkeit in Abhängigkeit von der Scheinarbeit 52
25.1.2	Parameter des Modells der lastinduzierten Alterung 53
25.1.3	Steifigkeit in Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur 53
26	Messunsicherheit 54
Anhang A (informative Angaben)	 55
A.1	Anwendungen 55
Literaturhinweise	 56

Bilder

Bild 1 – Zur Beschreibung der Geometrie des Strahlers und seiner Position im Koordinatensystem verwendete Bemessungsbedingungen	14
Bild 2 – Elektrische Ersatzschaltung der elektrischen Eingangsimpedanz unter Verwendung des LR2-Modells für die verlustbehaftete Induktivität	25
Bild 3 – Analoge Schaltung mit konzentrierten Parametern, die die elektrischen, mechanischen und akustischen Elemente bei niedrigen Frequenzen repräsentiert	29
Bild 4 – Eine asymmetrische Massenverteilungsfunktion $DM(y, z_0)$ im mechanischen System eines	

	Seite
Mikrolautsprechers verschiebt den Schwerpunkt weg vom Drehpunkt.	36
Bild 5 – Elektrische Ersatzschaltung eines in einer Schallwand betriebenen Wandlers, der durch reine mechanische Elemente und zusätzliche akustische Elemente repräsentiert wird	39
Bild 6 – Elektrische Ersatzschaltung der elektrischen Eingangsimpedanz eines Bassreflex- Lautsprechersystems	41
Bild 7 – Kennlinie des nichtlinearen Kraftfaktors $Bl(x)$ eines DUT (durchgezogene Linie) im Vergleich zur Bezugskurve (gepunktete Linie) mit Versatz x_{off} der Schwingspule von der Bezugslage.....	47

Einleitung

Messungen der elektrischen und mechanischen Zustandsgrößen haben aus den folgenden Gründen zunehmend an Bedeutung gewonnen:

- Die Schalldruckausgabe wird durch eine Erwärmung der Schwingspule und durch Nichtlinearitäten des Wandlers nach oben hin begrenzt. Das Großsignalverhalten von Lautsprechern kann mit nichtlinearen und thermischen Modellen mit konzentrierten Parametern beschrieben werden. Diese physikalischen Eigenschaften sind relevant für die Konstruktion und die Systemintegration von Wandlern.
- Die mechanische Schwingung der Membran bestimmt den abgestrahlten Schall. Die modale Schwingung der Oberfläche des Strahlers kann mithilfe der numerischen Simulation (FEA) vorhergesagt und mithilfe der Laser-Schwingungsmessung direkt gemessen werden. Diese Daten repräsentieren wichtige Eigenschaften von Wandlern, anhand derer bei der Konstruktion des Systems die gewünschte Bündelung der akustischen Ausgabe berücksichtigt werden kann.
- Die digitale Signalverarbeitung mit DSPs spielt in aktiven Systemen eine wichtige Rolle. Für eine digitale Vorverarbeitung des Audiostroms sind zuverlässige Daten über die Wandlereigenschaften notwendig, damit der Wandler gegen thermische und mechanische Überlastung geschützt und im Ausgangssignal erzeugte lineare und nichtlineare Verzerrungen aktiv kompensiert werden können.

Elektroakustische Geräte – Elektrische und mechanische Messungen an Wandlern

1 Anwendungsbereich

Diese internationale Norm gilt für Wandler. Wenn die elektrischen Eingangsanschlüsse und die Oberfläche des Strahlers zugänglich sind, kann diese Norm jedoch auch auf passive und aktive Schallsysteme wie z. B. Lautsprecher, Kopfhörer, Fernsehempfänger, Multimediageräte, persönliche tragbare Audiogeräte, Schallsysteme für Fahrzeuge und professionelle Geräte angewendet werden. Diese Norm beschreibt nur solche elektrischen und mechanischen Messungen, die für die Bewertung des Übertragungsverhaltens des zu prüfenden Geräts (DUT) von Nutzen sind. Dies betrifft den Betrieb des DUT im Klein- ebenso wie im Großsignalbereich. Der Einfluss der akustischen Grenzen der Zielanwendung (z. B. der Innenraum eines Autos) kann bei der physikalischen Bewertung des Schallsystems ebenso berücksichtigt werden. Die Wahrnehmung und kognitive Auswertung des wiedergegebenen Klangs und die Auswirkungen auf die wahrgenommene Klangqualität fallen nicht in den Anwendungsbereich dieser Norm.

ANMERKUNG Diese Norm gilt nicht für Mikrofone und andere Sensoren. Für die Umsetzung dieser Norm wird kein Zugriff auf die im Nah- oder Fernfeld des Strahlers erzeugten Schalldrücke benötigt. Die Bündelung und andere Kenngrößen, die die elektroakustischen Übertragungseigenschaften beschreiben, sind in IEC 60268-21 beschrieben, welche akustische Messungen behandelt.

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 60263, *Scales and sizes for plotting frequency characteristics and polar diagrams*

IEC 60268-1:1988-07, *Sound system equipment – Part 1: General*

IEC 60268-2:1987, *Sound system equipment – Part 2: Explanation of general terms and calculation methods*

IEC 61094-4:1995, *Measurement microphones – Part 4: Specifications for working standard microphones*

IEC 61260-1:2014, *Electroacoustics – Octave-band and fractional-octave-band filters – Part 1: Specifications*

IEC 60268-21, *Draft Sound System Equipment – Acoustical (Output Based) Measurements, version (2017)*

ISO 3:1973, *Preferred numbers – Series of preferred numbers*

ISO 3741:2011, *Acoustics – Determination of sound power levels and sound energy levels of noise sources using sound pressure, – Precision methods for reverberation test rooms*

ISO/IEC 1995, *Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM)*

IEC 62458:2010, *Sound System Equipment – Electroacoustical Transducers – Measurement of Large Signal Parameters*

IEC 62459:2010, *Sound System Equipment – Electroacoustical Transducers – Measurement of Suspension Parts*

IEC 60050-151:2001, *Electrotechnical terminology – Electrical and magnetic devices*

IEC 60068-2-1:2007, *Environmental Testing – Part 2-1: Tests – Test A: Cold, Ab*

IEC 60068-2-2:2007, *Environmental Testing – Part 2-2: Tests – Test B: Dry Heat, Bb*

IEC 60068-2-14:2009, *Basic environmental testing procedures – Part 2: Tests — Test N: Change of temperature, Na*

IEEE 260.4-2018 – Standard for Letter Symbols and Abbreviations for Quantities Used in Acoustics

ANMERKUNG Informative Referenzen sind im Literaturverzeichnis gelistet.

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>

3.1

DUT

Die Abkürzung „DUT“ steht für „device under test“, also das zu prüfende Gerät.

3.2

lineares Verhalten

Verhalten des DUT bei kleinen Amplituden, bei dem das Verhältnis zwischen Eingangs- und Ausgangssignal mit einem linearen System modelliert und mit einer linearen Übertragungsfunktion beschrieben werden kann

3.3

Bezugseinheit

DUT, dessen gemessene Eigenschaften repräsentativ für die Einheiten in dem Stichprobenlos sind, das der End-of-Line-Prüfung unterzogen wird

4 Typbeschreibung

Die Typbeschreibung muss vom Hersteller bereitgestellt werden und die folgenden Informationen umfassen:

- Beschreibung des Systems einschließlich der Funktionsweise und der Anzahl der in dem Lautsprecher-system verwendeten Wandler
- akustische Last (z. B. Hornladung und Gehäusetypen wie Bassreflex, Säule, Lautsprecherzeile usw.)
- Leistungsverstärkung (z. B. höchste Ausgangsleistung, Klassentyp, Mindest-Lastimpedanz usw.)
- DSP-Verarbeitung (z. B. Entzerrer, aktiver Schutz), sofern vorhanden

5 Kennzeichnung der Anschlüsse und Steuerungen

Die Anschlüsse und Steuerungen müssen nach IEC 60268-1 und IEC 60268-2 gekennzeichnet werden.

6 Physikalische Eigenschaften

6.1 Maße

Die Außenmaße des DUT nach IEC 60268-14 müssen festgelegt werden.

6.2 Gewicht

Das Gesamtgewicht des betriebsbereiten DUT muss festgelegt werden.

6.3 Steckverbinder und Kabelsätze

Die Kabelsätze und Steckverbinder müssen IEC 60268-11 und IEC 60268-12 entsprechen.

ANMERKUNG Unter bestimmten Bedingungen sind die derzeit genormten Steckverbinder nicht geeignet, so dass die Verwendung anderer Typen unvermeidbar ist.

7 Bedingungen

7.1 Bemessungsbedingungen

Die Standard-Messbedingungen sind unter 7.3 definiert. Um die tatsächlichen Messbedingungen herzustellen, müssen einige Werte (die als „Bemessungsbedingungen“ bezeichnet werden) den Festlegungen des Herstellers entnommen werden.

Diese Bemessungsbedingungen sind selbst nicht Gegenstand der Messung, sondern bilden die Grundlage für die Durchführung der Messungen zur Bestimmung der anderen Kenngrößen.

Hierzu gehören die folgenden Bemessungsbedingungen; diese müssen vom Hersteller angegeben werden:

- höchste Bemessungseingangsspannung (oder der höchste Bemessungs-Schalldruckpegel)
- höchste Bemessungseingangsleistung
- Auswertungspunkt der Schwingspulenauslenkung
- Bemessungsfrequenzbereich
- Nennimpedanz
- Bemessungswerte der klimatischen Bedingungen

7.2 Klimatische Bedingungen

7.2.1 Bedingungen für normale Prüfungen

IEC 60268-1 besagt, dass die Prüfungen in der folgenden Umgebung durchgeführt werden sollten, um solche Einflüsse von Temperatur und Feuchte, welche die Eigenschaften der Aufhängung der Antriebseinheit beeinträchtigen können, zu vermeiden.

- Umgebungstemperatur T_{norm} : 15 °C ~ 35 °C;
- relative Luftfeuchte: 25 % ~ 75 %;
- Luftdruck: 86 kPa ~ 106 kPa.

7.2.2 Bedingungen für klimatische Prüfungen

Der Hersteller muss die Umgebungstemperatur T_A sowie weitere klimatische Bedingungen festlegen, unter denen das DUT während der thermischen Prüfungen nach 25.1.3 betrieben wird.

7.3 Standard-Messbedingungen

Die Bedingungen, unter denen die Messungen an dem DUT durchgeführt werden, gelten als standardmäßig, wenn alle folgenden Bedingungen festgelegt und erfüllt sind:

- a) Das zu messende DUT wird nach Abschnitt 13 montiert.
- b) Die akustische Umgebung wird festgelegt und aus den in Abschnitt 9 angegebenen Bedingungen ausgewählt.

ANMERKUNG Die Umgebung (z. B. der Innenraum eines Autos) kann die akustische Last und den mechanischen Zustand des Wandlers beeinflussen. Wenn die Amplitude des bei den Messungen verwendeten Stimulus auf Grundlage

des höchsten Bemessungs-(Ausgangs-)Schalldruckpegels $SPL_{\max}$ angepasst wird, so muss die akustische Umgebung berücksichtigt werden.

- c) Unerwünschte elektrische, mechanische oder akustische Signale (z. B. Rauschen) von anderen Quellen müssen auf den kleinstmöglichen Pegeln gehalten werden, da sie Kleinsignale verdecken können. Daten, die zu Signalen gehören, welche weniger als 20 dB oberhalb des Rauschpegels im betrachteten Frequenzband liegen, müssen verworfen oder als rauschbehaftet gekennzeichnet werden.
- d) Das DUT wird an die normalen klimatischen Bedingungen (normale Umgebungstemperatur $TA = T_{\text{norm}}$) nach 7.2.1 akklimatisiert.
- e) Wenn die Amplitudenkompression nach IEC 60268-21 $C(f) > 0,5$ dB ist, sind zwischen aufeinanderfolgenden Prüfungen zusätzliche Kühlphasen erforderlich.
- f) Dem DUT wird bei einem festgelegten effektiven Eingangswert $\tilde{u}$ für den Bemessungsfrequenzbereich nach Abschnitt 8 ein Prüfsignal mit festgelegten Eigenschaften (Spektrum, Dauer usw.) nach Abschnitt 16 zugeführt.
- g) Abschwächer, Entzerrer und dynamische oder andere aktive Steuerelemente müssen auf ihre „Normalstellung“ entsprechend der Angabe des Herstellers gestellt werden. Wenn andere Stellungen gewählt werden, beispielsweise solche, die für einen maximal flachen Frequenzgang oder die kleinste Dämpfung sorgen, müssen diese festgelegt werden.
- h) Es wird eine Messeinrichtung, die zur Ermittlung der betrachteten Kennwerte geeignet ist, nach Abschnitt 11 angeschlossen.

8 Prüfsignale

Bei einigen Messungen kann ein beliebiges Audiosignal $s(t)$ als Eingangssignal (Stimulus) an das zu prüfende elektroakustische Gerät (DUT) angelegt werden, wohingegen bei anderen Messtechniken Prüfsignale nach IEC 60268-21 verwendet werden.

8.1 Kleinsignalbedingung

Das zu prüfende Gerät muss mit einem Stimulus $s(t)$ angeregt werden, der an den Anschlüssen die Spannung $u(t) = \alpha \tilde{u}_{\max} s(t)$ erzeugt und durch den höchsten Eingangswert $\tilde{u}_{\max}$ und den Skalierungsfaktor α skaliert wird. Der höchste Bemessungseingangswert $\tilde{u}_{\max}$ muss vom Hersteller des DUT nach 16.1 angegeben werden. Der Skalierungsfaktor α muss weniger als 0,1 betragen, um sicherzustellen, dass die Erwärmung der Schwingspule vernachlässigbar ist ($\Delta T_v < 5$ K) und sich das zu prüfende Gerät linear verhält. Die nichtlinearen Verzerrungsanteile, die mittels Anregung mit einem Einton-, Zweiton- oder Mehrtonstimulus gemessen werden, müssen 40 dB unterhalb der Grundschwingungsanteile des Signals liegen.

9 Akustische Umgebung

Die elektrischen und mechanischen Messungen müssen unter einer der in den folgenden Unterabschnitten aufgeführten Bedingungen erfolgen. Es muss angegeben werden, welche akustische Umgebung verwendet wird.

9.1 Freifeldbedingungen

Es dürfen akustische Bedingungen zum Einsatz kommen, die annäherungsweise denen eines freien Raums entsprechen. Eine Umgebung gilt dann als zufriedenstellend, wenn die reflektierten Schallanteile so hinreichend unterdrückt werden, dass eine Messunsicherheit von $\pm 0,5$ dB bzw. $\pm 10^\circ$ der gemessenen Schalldruckamplitude bzw. der Phasenwerte bei der festgelegten Frequenz sichergestellt ist. Wenn die Umgebung (z. B. reflexionsfreier Raum bei niedrigen Frequenzen) diese Freifeldbedingungen nicht über den gesamten Frequenzbereich der Messung erfüllt, muss der Hersteller den gültigen Frequenzbereich angeben.

9.2 Halbraum-Freifeldbedingungen

Es dürfen akustische Bedingungen zum Einsatz kommen, bei denen das Freifeld, nach 9.1, in einem Halbraum vorliegt. Diese Bedingungen sind mit einer reflektierenden, ausreichend großen Ebene hinreichend erfüllt. Der äquivalente Durchmesser d_e der Reflexionsfläche muss zehnmal größer sein als die Wellenlänge λ der niedrigsten Arbeitsfrequenz oder der niedrigsten vom Hersteller festgelegten oder als Bemessungswert angegebenen Frequenz. Der äquivalente Durchmesser wird wie folgt bestimmt:

$$d_e = 2\sqrt{\frac{A}{\pi}}$$

Dabei ist A die Oberfläche der Reflexionsfläche.

Reflexionen des abgestrahlten Schalls von anderen Reflexionsflächen (z. B. Wänden) müssen so hinreichend unterdrückt werden, dass eine Messunsicherheit von $\pm 0,5$ dB bzw. $\pm 10^\circ$ der gemessenen Schalldruckamplitude bzw. der Phasenwerte bei der festgelegten Frequenz sichergestellt ist. Wenn die Umgebung (z. B. reflexionsfreier Halbraum bei niedrigen Frequenzen) diese Halbraum-Freifeldbedingungen nicht über den gesamten Frequenzbereich der Messung erfüllt, muss der Hersteller den gültigen Frequenzbereich angeben.

9.3 Freiluftbedingungen

Es müssen akustische Bedingungen zum Einsatz kommen, die über den gesamten betrachteten Frequenzbereich annäherungsweise denen eines freien Raums entsprechen. Andere Umgebungen gelten dann als zufriedenstellend, wenn die reflektierten Schallanteile so hinreichend unterdrückt werden, dass eine Messunsicherheit von ± 5 % der gemessenen Amplitude bzw. der Phasenwerte der Kurve der elektrischen Eingangsimpedanz bei der festgelegten Frequenz sichergestellt ist. Wenn die Umgebung (z. B. kleiner Messraum bei niedrigen Frequenzen) diese Bedingungen nicht über den gesamten Frequenzbereich der Messung erfüllt, muss der Hersteller den gültigen Frequenzbereich angeben.

ANMERKUNG Die Freiluftbedingung wird üblicherweise auf Wandler angewandt, die ohne Gehäuse betrieben werden, aber in einer Halterung fixiert sind, um den elektrischen und mechanischen Zustand des Wandlers zu messen.

9.4 Bedingungen der Zielanwendung

Akustische Bedingungen, die der Zielanwendung des zu prüfenden Geräts entsprechen (z. B. ein in einem Auto montiertes Schallsystem, ein an einem Horn montierter Horn-Kompressionstreiber).

9.5 Vakuumbedingung

Akustische Bedingungen, die annäherungsweise denen eines Vakuums (d. h. luftleeren Raums) entsprechen.

9.5.1 Messverfahren

Die elektrische Impedanz des Wandlers wird gemessen und notiert. Dann wird der Wandler in eine Vakuumkammer verbracht und es wird mit der Evakuierung begonnen. Etwaige Ausgasungen von Klebstoffen oder Kunststoffen verlängern die Evakuierungszeit. Anschließend wird die elektrische Impedanz des Wandlers gemessen und notiert. Dann wird das Vakuum aufgehoben und der normale Atmosphärendruck wiederhergestellt. Die elektrische Impedanz des Wandlers wird gemessen und notiert und die Daten werden mit den Aufzeichnungen der Anfangsmessung verglichen, um zu überprüfen, ob Abweichungen aufgrund von Werkstoffänderungen durch Ausgasungen vorliegen.

9.6 Bedingung für Messung mit Kundtschem Rohr

Ein Kundtsches Rohr ist dafür vorgesehen, eine annäherungsweise konstante akustische Impedanz zu liefern, deren Wert $\rho_0 c$ identisch mit der spezifischen Impedanz von Luft ist.

ANMERKUNG Kundtsche Rohre werden zur Erzeugung einer Standardlast für Prüfungen an Kompressionstreibern verwendet, siehe [33].

9.7 Bedingung für nichtakustische Messungen

Elektrische und mechanische Messungen können in einem ausreichend großen Raum (typischerweise $> 8 \text{ m}^3$) vorgenommen werden. Die Maße des Raums hängen von dem Platz rund um das DUT ab, der erforderlich ist, um eine zusätzliche akustische Last des DUT zu verhindern und stabile klimatische Bedingungen während der Prüfung sicherzustellen.

10 Positionierung des Strahlers

10.1 Geometrische Bemessungsbedingungen

Die Position und die Ausrichtung der/des in dem DUT verwendeten Membran, Konus bzw. sonstigen Strahlers müssen unter Verwendung des Bezugspunktes $\mathbf{r}_{r,ref}$ des Strahlers, des Normalenvektors $\mathbf{n}_r$ und des Orientierungsvektors $\mathbf{o}_r$ nach der Darstellung in Bild 1 angegeben werden.

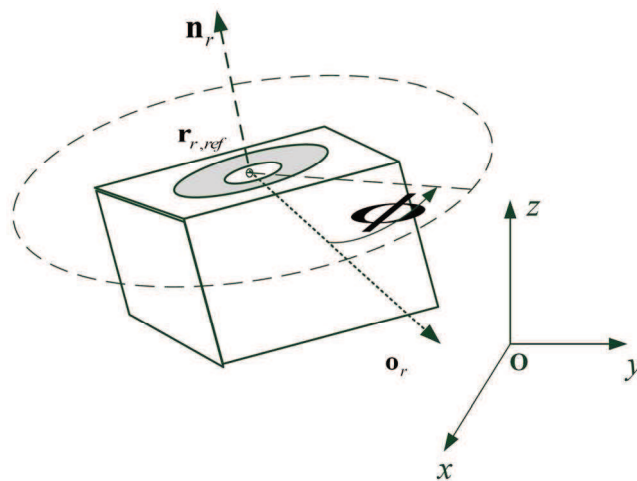


Bild 1 – Zur Beschreibung der Geometrie des Strahlers und seiner Position im Koordinatensystem verwendete Bemessungsbedingungen

10.1.1 Bezugsebene und Normalenvektor

Die Bezugsebene mit dem Normalenvektor $\mathbf{n}_r$ muss zur Definition der Bezugsachse und des Bezugspunktes $\mathbf{r}_{r,ref}$ verwendet werden.

ANMERKUNG Bei symmetrischen Strukturen verläuft die Bezugsebene üblicherweise parallel zur Abstrahlfläche bei Ruhelage des Strahlers. Bei asymmetrischen Strukturen lässt sich die Bezugsebene besser mithilfe einer Zeichnung darstellen.

10.1.2 Bezugspunkt

Der Bezugspunkt $\mathbf{r}_{r,ref}$ muss ein Punkt auf der Oberfläche des Strahlers sein, der die Bezugsebene schneidet. Die Position des Bezugspunktes $\mathbf{r}_{r,ref}$ muss vom Hersteller festgelegt werden.

ANMERKUNG Bei symmetrischen Strukturen ist der Bezugspunkt $\mathbf{r}_{r,ref}$ üblicherweise der Punkt der Achsensymmetrie des Strahlers innerhalb der Bezugsebene. Bei asymmetrischen Strukturen lässt sich der Bezugspunkt besser mithilfe einer Zeichnung darstellen.

10.1.3 Orientierungsvektor

Der Orientierungsvektor $\mathbf{o}_r$ definiert die Ausrichtung des Strahlers innerhalb der Bezugsebene und die Richtung des Azimutwinkels ϕ in Kugelkoordinaten.

ANMERKUNG Der bevorzugte Orientierungsvektor platziert den Bezugspunkt $\mathbf{r}_r$ am Ursprung O des Koordinatensystems, wobei der Normalenvektor $\mathbf{n}_r$ der Bezugsebene in die z -Richtung zeigt, während der Polarwinkel $\theta = 0$ das Audiosystem so dreht, dass der Orientierungsvektor $\mathbf{o}_r$ (z. B. oberer Teil des Gehäuses) in die x -Richtung zeigt.

10.1.4 Bedingungen der Zielanwendung

Die Position und die Ausrichtung des Strahlers im Verhältnis zur Zielumgebung (z. B. Innenraum eines Autos, Ohrmuscheladapter mit Gehörgang-Nachbildung usw.) müssen mittels eines an die Messergebnisse angehängten Diagramms beschrieben werden.

11 Messeinrichtung und Prüfergebnisse

Grafische Ergebnisse müssen den bevorzugten Seitenverhältnissen in IEC 60263 entsprechen.

Wenn zusätzlich zu den Graphen Frequenzdaten bereitgestellt werden, müssen diese, sofern nicht anders angegeben, bei den bevorzugten ISO-R40-Frequenzen liegen.

Für die Messung der Spannung an den Anschlüssen des zu prüfenden Geräts müssen zusätzlich zu den beiden Antriebsdrähten Messdrähte verwendet werden (Vierdrahttechnik), so dass in dem Messdraht ein vernachlässigbarer Strom erzeugt wird.

ANMERKUNG Der Widerstand der Kabel und Stromfühler (z. B. Messwiderstand) kann die Messunsicherheit der Impedanzmessung und die Eingangsspannung am zu prüfenden Gerät beeinflussen.

12 Messunsicherheit der mechanischen und elektrischen Messung

Mögliche Fehlerquellen an den Geräten und der Messumgebung müssen identifiziert und quantifiziert und ihr Einfluss festgelegt werden. Unsicherheiten hinsichtlich Position und Kalibrierung der Sensoren müssen angegeben werden. Diese Informationen müssen in den Prüfbericht aufgenommen werden.

13 Aufstellung des DUT

13.1 Aufstellung und akustische Last der Antriebseinheiten

Das Betriebsverhalten der Antriebseinheit (Wandler) wird von den Eigenschaften der Einheit selbst und von ihrer akustischen Last bestimmt. Die akustische Last hängt von der Aufstellung ab, die bei der Darstellung der Ergebnisse eindeutig beschrieben werden muss.

Es muss eine der folgenden Aufstellungsarten verwendet werden:

- Halbraum-Freifeldbedingung, die durch oberflächenangepasstes Einbauen des Wandlers in eine ebene Reflexionsfläche entsprechend den in 9.2 definierten Bedingungen geschaffen wird. Die Halbraum-Last für Wandler wird bevorzugt.
- Eine Norm-Schallwand mit einer ebenen Vorderfläche, deren akustische Reflexion den Festlegungen in IEC 60268-21 entspricht.
- Ein standardmäßiges Messgehäuse nach IEC 60268-21 (Typ A oder Typ B), das ein definiertes rückseitiges Luftvolumen und eine definierte Abstrahlungsbedingung an der Vorderseite des Wandlers erzeugt.
- Ein Prüfgehäuse für End-of-Line-Prüfungen und Relativmessungen, das eine definierte Luftlast und Abstrahlungsbedingung an der Vorderseite des Wandlers erzeugt (siehe [7]).

ANMERKUNG Eine zusätzliche Kammer auf der Rückseite des Wandlers kann dazu verwendet werden, zusätzliche Geräuschtrennung zu erzielen oder den Einfluss des Luftvolumens einer geschlossenen Box in der Zielanwendung zu betrachten.

- e) Ein definiertes Horn, ein definierter Kuppler oder eine andere Art von Wellenleiter, der die Reflexionsfläche des Wandlers in der Zielumgebung mit dem umgebenden Schallfeld verbindet.
- f) Ein Kundtsches Rohr.
- g) Der Wandler wird in Freiluft (en: free air) betrieben und in einer Halterung fixiert, damit Rahmen und Magnet möglichst wenig schwingen.
- h) Der Wandler wird im Vakuum betrieben und in einer Halterung fixiert, um die Eigenschaften des Wandlers ohne Luftlast zu messen. Für die konzentrierten Parameter des Wandlers, die unter dieser Bedingung gemessen werden, wird der Buchstabe „s“ anstelle von „d“ als Suffix verwendet.

13.2 Aufstellung und akustische Last eines elektroakustischen Systems

Elektroakustische Systeme werden üblicherweise ohne zusätzliche Schallwand gemessen. Wenn der Hersteller eine besondere Aufstellungsart für das Lautsprechersystem festlegt, so muss diese für die Messung verwendet werden. Die verwendete Aufstellung muss mit den Ergebnissen angegeben werden.

13.3 Anforderungen an die Laser-Schwingungsmessung

Die Messung der mechanischen Schwingung auf der Zieloberfläche (Strahler, Gehäuse usw.) erfordert eine Fixierung des zu prüfenden Gerätes im Verhältnis zum Sensor. Die Schwingung an der Fixierungsstelle muss mindestens 20 dB unter der Schwingung auf der Zieloberfläche liegen. Es wird empfohlen, den Strahler in vertikaler Position zu betreiben, so dass der Normalenvektor $\vec{n}$ senkrecht zur Gravitation verläuft. Dadurch wird eine Verschiebung in der Ruheposition des Strahlers vermieden.

14 Vorbehandlung

Wenn an das neue DUT zum ersten Mal ein Signal angelegt wird, das eine starke Auslenkung erzeugt, kommt es gegebenenfalls zu zeitweiligen oder dauerhaften Veränderungen. Es muss eine ausreichende Vorbehandlung erfolgen, die der vorgesehenen Verwendung des DUT im Feld entspricht (z. B. Bandbreite der Anwendung und Gehäusotyp).

ANMERKUNG Beispielsweise kann es zu erheblichen Veränderungen der mechanischen Eigenschaften der Treiberaufhängung kommen. Auch die Auswirkungen einer Erwärmung und Abkühlung der Schwingspule beeinträchtigen das DUT.

Das DUT muss vor der Durchführung der Messungen vorbehandelt werden, indem für mindestens eine Stunde (bei Tieftönern werden drei Stunden empfohlen) ein Breitbandsignal bei der Hälfte des höchsten Eingangswertes $\tilde{u}_{\max}$ nach IEC 60268-21 angelegt wird.

Bevor anschließend mit der Messung begonnen wird, muss der Vorbehandlung eine Erholungsphase von mindestens einer Stunde folgen, damit sich die Temperatur der Innenteile wieder an die Umgebungsbedingungen nach 7.3 anpassen kann.

15 Bemessungsumgebungsbedingungen

15.1 Temperaturbereiche

15.1.1 Eigenschaftsbegrenzter Temperaturbereich

15.1.2 Festzulegende Bedingungen

Der Temperaturbereich, in dem die Schwankung der Kennwerte des DUT die festgelegten Toleranzen nicht überschreiten darf.

15.1.3 Schadensbegrenzter Temperaturbereich

15.1.4 Festzulegende Bedingungen

Der Temperaturbereich, dessen Überschreitung in der bisherigen Produktlebensdauer zu dauerhaften Veränderungen der Betriebseigenschaften des DUT führen kann. Diese Temperaturschwellenwerte müssen für Betrieb und Lagerung getrennt festgelegt werden.

15.2 Feuchtebereiche

15.2.1 Bereich der relativen Feuchte

15.2.2 Festzulegende Bedingungen

Der Bereich der relativen Feuchte, in dem die Schwankung der Kennwerte des DUT die festgelegten Toleranzen nicht überschreiten darf.

15.2.3 Schadensbegrenzter Feuchtebereich

Festzulegende Bedingungen

Der Bereich der relativen Feuchte, dessen Überschreitung im Betrieb oder bei der Lagerung zu dauerhaften Veränderungen der Betriebseigenschaften des DUT führen kann.

16 Elektrische Signale an den Anschlüssen des Wandlers

16.1 Höchster Bemessungseingangswert

16.1.1 Festzulegende Bedingungen

Der Hersteller legt den höchsten Bemessungseingangswert $\tilde{u}_{\max}$ fest, der definiert ist als der Effektivwert

$$\tilde{u}_{\max} = \left(\frac{1}{T_s} \int_0^{T_s} u^2(t) dt \right)^{1/2} \quad (1)$$

des gemessenen Spannungssignals $u(t)$ an den Anschlüssen des Wandlers unter normalen Messbedingungen nach 7.3, unter Verwendung eines festgelegten Breitbandstimulus in der Anregungszeit $T_s = 1$ s, der durch die Frequenzen f_l und f_u des Bemessungsfrequenzbandes begrenzt wird.

Die Eigenschaften des Breitbandstimulus $s(t)$, wie beispielsweise seine Spektraleigenschaften, der Scheitelfaktor und der obere und der untere Grenzwert des Bemessungsfrequenzbandes, müssen vom Hersteller angegeben werden.

ANMERKUNG Der höchste Bemessungseingangswert $\tilde{u}_{\max}$ kann entweder mittels direkter Messung ermittelt oder indirekt von dem höchsten Bemessungs-Schalldruckwert $\tilde{p}_{\max}(r_e)$ nach IEC 60268-21 abgeleitet werden.

16.1.2 Direkte Messung

Die folgende Einrichtung oder eine gleichwertige Einrichtung müssen in die Messkette aufgenommen werden:

- ein Generator für rosa Rauschen und/oder ein Mehrtongenerator nach IEC 60268-21;

ANMERKUNG 1 Ein DUT, das für die Verwendung mit Vollband-Audiosignalen vorgesehen ist, kann mit einem Breitbandstimulus wie einem Mehrtonkomplex mit ausreichender Auflösung (mindestens zehn Linien je Oktave), einem rosa Rauschsignal oder einem beliebigen anderen rauschähnlichen Signal wie dem simulierten Programmsignal nach IEC 60268-21 geprüft werden. Für ein DUT mit einer schmalen nutzbaren Bandbreite in der Ziellanwendung (z. B. Subwoofer) kann ein Sinussignal, ein Hann-Burstsignal oder ein Schmalbandgeräusch nach Abschnitt 8 als hinreichend gute Annäherung für das „Breitband“-Signal verwendet werden.

- ein Bewertungsnetzwerk zur Erzielung des Rauschsignals nach IEC 60268-21;
- ein Begrenzungsnetzwerk zur Anwendung eines festgelegten Scheitelfaktors;
- ein optionaler Leistungsverstärker für passive elektroakustische DUT.

Die Amplitude des Frequenzgangs zwischen dem Eingang des optionalen Leistungsverstärkers und der Spannung an den Eingangsanschlüssen eines passiven DUT muss konstant innerhalb von $\pm 0,5$ dB im Frequenzbereich von 20 Hz bis 20 kHz liegen. Das begrenzte (en: clipped) Rauschen an den Anschlüssen des zu prüfenden Lautsprechers muss eine Frequenzverteilung nach IEC 60268-21 und ein Scheitelwert-Effektivwert-Verhältnis zwischen 1,8 und 2,2 aufweisen. Die Ausgangsimpedanz des optionalen Leistungsverstärkers darf höchstens $1/3$ der Nennimpedanz des passiven DUT betragen. Der Verstärker muss dazu in der Lage sein, das passive DUT zu versorgen, ohne die sinusförmige Scheitelspannung zu begrenzen. Die Scheitelspannung muss mindestens das Doppelte der Spannung des Prüfgeräuschs betragen.

- a) Der Hersteller muss einen Prüfwert $\tilde{u}_{test}$ des Breitbandstimulus im Bemessungsfrequenzband definieren, der für die weiteren Prüfungen verwendet wird. Bei diesem Prüfwert werden die vorgesehene Anwendung und das vorgesehene Verhalten des DUT (z. B. zulässige Erwärmung und höchste mechanische Auslenkung der Schwingspule) berücksichtigt, so dass eine Beschädigung des DUT bei der folgenden Prüfung vermieden werden kann.

ANMERKUNG 2 Ob die zulässige Erwärmung der Schwingspule eingehalten wird, kann überprüft werden, indem die Zunahme der Schwingspulentemperatur nach 24.1 geprüft wird. Die höchste mechanische Auslenkung kann nach 23.5 gemessen werden.

- b) Das DUT muss in einem Raum nach 9.7 platziert werden, in dem die klimatischen Bedingungen nach 7.2 herrschen.
- c) Das DUT muss unter einer festgelegten klimatischen Bedingung für eine Dauer von 100 h ohne Unterbrechung bei dem Prüfwert $\tilde{u}_{test}$ des Eingangsstimulus geprüft werden.

ANMERKUNG 3 Da der Prüfwert $\tilde{u}_{test}$ während der 100 Prüfstunden konstant ist, wird die Erwärmung des DUT zu einer thermischen Kompression der akustischen Ausgabe führen und der Schalldruckpegel wird unter den höchsten Bemessungsschallpegel $\tilde{p}_{max}(r_e)$ fallen.

- d) Unmittelbar nach der Prüfung muss das DUT unter klimatischen Bedingungen gelagert werden, die üblicherweise in gewöhnlichen Räumen oder Laboren herrschen würden. Sofern nichts anderes festgelegt ist, muss die Erholungsphase 24 h betragen.
- e) Am Ende der Erholungsphase werden die elektrischen, mechanischen und akustischen Eigenschaften des DUT gemessen. Wenn die gemessenen Werte innerhalb der Toleranzen der auf dem Datenblatt angegebenen Werte liegen, hat das DUT die Anforderung dieser Prüfung erfüllt und der höchsten Bemessungsklemmenspannung $\tilde{u}_{max}$ wird der Prüfwert $\tilde{u}_{test}$ zugewiesen. Die zulässige Verschiebung der Resonanzfrequenz muss auf dem Datenblatt definiert werden.

Wenn das DUT während dieser Prüfung beschädigt wurde oder die gemessenen Kennwerte außerhalb der definierten Toleranzen liegen, muss die Prüfung mit einem neuen DUT bei einem niedrigeren Prüfwert $\tilde{u}_{test}$ wiederholt werden, bis der höchste Bemessungseingangswert $\tilde{u}_{max}$ ermittelt wurde.

17 Elektrische Eingangsleistung

Folgende Eigenschaften beschreiben die elektrische Eingangsleistung.

17.1 Eingangswirkleistung

Die Eingangswirkleistung ist das Produkt aus der Momentanspannung $u(t)$ und dem Strom $i(t)$

$$P_{REAL}(t) = \frac{1}{T} \int u(t + \tau) i(t + \tau) d\tau \quad (2)$$

gemittelt über eine Zeit T . Der Integrierer muss durch einen Tiefpassfilter mit einer Grenzfrequenz von 1 Hz realisiert werden.

ANMERKUNG In der Leistung $P_{REAL}(t)$ werden alle Verluste im Wandler berücksichtigt, die durch den Realteil der elektrischen Eingangsimpedanz repräsentiert werden, einschließlich nichtlinearer und zeitabhängiger Eigenschaften. Diese Kenngröße wird benötigt, um die thermische Dynamik des Wandlers und die Wärmeübertragung an die Umgebung zu modellieren.

17.2 Verlustleistung im Gleichstromwiderstand

Der Verlust der Eingangsleistung in $P_{RE}(t) = \tilde{i}^2(t) R_E(t)$ ist das Produkt aus dem quadrierten Effektivwert des Eingangsstroms $i(t)$ und dem Momentanwert des Schwingspulenwiderstands $R_E(t)$.

ANMERKUNG 1 Diese Leistung $P_{RE}(t)$ ist eine nützliche Kenngröße für die Modellierung der Schwingspulenerwärmung. In der Verlustleistung in $R_E(t)$ sind die Erwärmung der Polplatten durch Wirbelströme sowie mechanische oder akustische Verluste nicht berücksichtigt.

17.3 Verlustleistung in der Nennimpedanz

Zur Berechnung der Verlustleistung in der Nennimpedanz $P_{E,N}(t) = \tilde{u}^2(t) / Z_N$ wird der quadrierte Effektivwert der Spannung an den Eingangsanschlüssen durch die Nennimpedanz Z_N nach 18.2 geteilt.

ANMERKUNG 2 Diese Kenngröße $P_{E,N}$ ist eine grobe Näherung der Eingangswirkleistung, welche die Frequenzabhängigkeit der Eingangsimpedanz ebenso wie alle nichtlinearen und zeitabhängigen Eigenschaften außer Acht lässt. Diese Kenngröße wird für die Beschreibung der verfügbaren elektrischen Eingangsleistung benötigt, die ein Verstärker mit geringer Ausgangsimpedanz (Spannungsquelle) liefert.

17.4 Höchste Bemessungseingangsleistung

Zur Berechnung der höchsten Bemessungsrauschleistung $P_{max} = \tilde{u}_{max}^2 / Z_N$ wird der quadrierte Wert der höchsten Bemessungsklemmenspannung $\tilde{u}_{max}$ durch die Nennimpedanz Z_N nach 18.2 geteilt.

ANMERKUNG Diese Kenngröße P_{max} ist eine grobe Näherung der Eingangswirkleistung, welche die Frequenzabhängigkeit der Eingangsimpedanz ebenso wie alle nichtlinearen und zeitabhängigen Eigenschaften außer Acht lässt.

18 Elektrische Eingangsimpedanz

18.1 Komplexe elektrische Impedanz

Die elektrische Eingangsimpedanz ist die lineare Übertragungsfunktion $Z_E(f) = U(f) / I(f)$ zwischen dem Eingangsstrom $i(t)$ und der Klemmenspannung $u(t)$. Die elektrische Impedanz muss unter Kleinsignalbedingungen nach 8.1 gemessen werden.

ANMERKUNG Bei der Messung mit einem Stimulus mit hoher Amplitude kann die Impedanz durch die nichtlinearen, viskoelastischen und thermischen Eigenschaften des DUT beeinträchtigt werden.

Die elektrische Eingangsimpedanz muss im Kleinsignalbereich gemessen werden, und zwar unter Verwendung eines gedämpften Stimulus (Skalierungsfaktor $\alpha \leq 0,1$) oder durch Überprüfung des linearen Übertragungsverhaltens mittels Messungen bei reduzierten Pegeln, bis sich der betrachtete Frequenzgang nicht mehr ändert.

18.1.1 Messverfahren

- Der Wandler wird mit einem Breitbandstimulus $s(t)$ angeregt, der an den Anschlüssen die Spannung $u(t) = \alpha \tilde{u}_{\max} s(t)$ erzeugt und durch den höchsten Eingangswert $\tilde{u}_{\max}$ und einen Skalierungsfaktor α skaliert wird, um Kleinsignalbedingungen nach 8.1 sicherzustellen. Um im Kleinsignalbereich mit ausreichender spektraler Auflösung und ausreichendem SNR zu messen, wird die Verwendung eines dünnbesetzten Mehrtonkomplex-Stimulus nach IEC 60268-21 empfohlen. Das Signal muss bei Frequenzen $f < f_s/2$ und $f > 2f_s$ mindestens 8 Töne je Oktave haben und im Frequenzband $f_s/2 < f < 2f_s$ mindestens 24 Töne je Oktave haben. Der Hersteller muss die Eigenschaften des Stimulus $s(t)$, die Messzeit T_s und entweder den Effektivwert $\tilde{u} = \alpha \tilde{u}_{\max}$ oder den Skalierungsfaktor α angeben.
- Die Amplitudenzeiger der Teilschwingungen $\underline{U}(f) = F\{u(t)\}$ werden mit einer Zeit-Frequenz-Transformation wie der Fourier-Transformierten $F\{\}$ bestimmt.
- Der Eingangsstrom $i(t)$ wird gemessen und die Amplitudenzeiger der Teilschwingung $\underline{I}(f) = F\{i(t)\}$ werden berechnet. Wenn die im gemessenen Stromsignal festgestellte nichtlineare Verzerrung bei der Resonanzfrequenz f_s insgesamt größer als 3 % ist, muss die Messung mit einem kleineren Skalierungsfaktor α wiederholt werden.

ANMERKUNG 1 Eine Zeitfensterung ist nicht nötig, wenn die Länge des Mehrtonstimulus der Länge der FFT entspricht. Die sich ergebenden Grundschwingungen treten bei den Anregungsfrequenzen auf, während Teilschwingungen auf den anderen Frequenzen nichtlineare Verzerrung und Rauschen erkennen lassen.

- Die komplexe Impedanz wird wie folgt berechnet:

$$\underline{Z}_E(f_{\text{fund}}) = \frac{\underline{U}(f_{\text{fund}})}{\underline{I}(f_{\text{fund}})} \quad (3)$$

Daraus ergeben sich der Amplitudenfrequenzgang $|\underline{Z}_E(f_{\text{fund}})|$ und der Phasengang $\varphi_E(f_{\text{fund}}, r) = \arg(\underline{Z}_E(f_{\text{fund}}))$ bei den vom Stimulus angeregten Grundfrequenzen f_{fund} .

Um ein Abflachen der Resonanzspitze zu vermeiden, das die Messunsicherheit der Kleinsignalparameter (mechanische Gütefaktoren) beeinträchtigt, darf die gemessene Impedanzkurve nicht geglättet werden.

18.2 Nennimpedanz

18.3 Festzulegender Kennwert

Die Nennimpedanz Z_n ist der Wert eines rein ohmschen Widerstandes, der für die komplexe Eingangsimpedanz $\underline{Z}_E(f)$ des Lautsprechers eingesetzt wird. Der kleinste Wert des Betrags der Impedanz $|\underline{Z}_E(f)|$ nach 18.1 darf im Bemessungsfrequenzbereich 80 % der Nennimpedanz Z_n nicht unterschreiten. Der Hersteller muss bei der Definition der verfügbaren elektrischen Leistung der Quelle die Nennimpedanz Z_n angeben.

19 Schwingung der Strahleroberfläche

Durch eine Messung der Schwingung der Strahleroberfläche können genauere Informationen über das mechanische System und den abgestrahlten Schall gewonnen werden. Es muss ein berührungsloser Sensor (z. B. ein Laser-Schwingungsmessgerät) verwendet werden, um die dynamische Zustandsgröße (Auslenkung, Geschwindigkeit oder Beschleunigung) in Richtung des Normalenvektors $\mathbf{n}_r$ zu messen. Dadurch wird sichergestellt, dass das DUT nicht durch eine unerwünschte Massenlast beeinträchtigt wird.

Es wird ein Abstandssensor (z. B. Triangulationslaser) empfohlen, der die Momentanposition des Messpunktes liefert, um die Geometrie der Oberfläche und die Auslenkung von der Ruhelage ermitteln zu können.

ANMERKUNG Dies ist wichtig, um die positive und negative Spitzenauslenkung sowie den von den Nichtlinearitäten des Wandlers dynamisch erzeugten Gleichanteil in der Auslenkung zuverlässig bestimmen zu können. Geschwindigkeit und Beschleunigung können durch Differenzieren der Zeitsignale berechnet werden. Sensoren, die die Geschwindigkeit bzw. die Beschleunigung direkt messen, bieten ein besseres SNR bei höheren Frequenzen. Es muss darauf geachtet werden, dass das durch Integrieren berechnete Auslenkungssignal keine signifikanten Fehler aufgrund von Rausch- oder optischen Problemen des erfassten Geschwindigkeits- oder Beschleunigungssignals aufweist.

19.1 Auslenkung eines Oberflächenpunktes r_r

Die Auslenkung $x(t, r_r)$ an dem Oberflächenpunkt r_r auf der Oberfläche des Strahlers wird in Richtung des Normalenvektors n_r unter Anlegen eines festgelegten Stimulus $s(t)$ an den Eingang des DUT gemessen. Die Position des Oberflächenpunktes wird durch Koordinaten beschrieben, deren Ursprung an dem Bezugs-Oberflächenpunkt $r_{r,ref}$ liegt. Der Orientierungsvektor o_r zeigt bei kartesischen Koordinaten in Richtung der x -Achse und entspricht bei Polarkoordinaten einem Winkel von 0° .

19.1.1 Messverfahren

- Das DUT wird den normalen Messbedingungen ausgesetzt, wobei die Anforderungen der Laser-Schwingungsmessung nach 13.3 berücksichtigt werden.
- Der Sensor des Schwingungsmessgeräts wird auf den Messpunkt r_r auf der Oberfläche des Strahlers fokussiert. Durch eine ordnungsgemäße Fixierung des DUT und Positionierung des Schwingungsmessgeräts wird sichergestellt, dass der Sensor stets am optimalen Arbeitspunkt arbeitet und dass keine unerwünschten relativen Bewegungen zwischen DUT (Rahmen, Gehäuse usw.) und Sensor auftreten. Möglicherweise muss die zu vermessende Oberfläche des Strahlers mit einem gestreut reflektierenden Werkstoff behandelt werden. Für eine Ein-Punkt-Messung wird weiße Korrekturflüssigkeit empfohlen. Für eine komplette Abtastung der Oberfläche des Strahlers wird ein Eindringmittel zum Sprühen aus einer Suspension eines inerten weißen Pulvers in einem schnell trocknenden Lösemittel (z. B. Ardox 9D1B) empfohlen. Damit die mechanischen Schwingungen des Strahlers nicht beeinträchtigt werden, sollte so wenig wie möglich von dem reflektierenden Werkstoff verwendet werden.

Wenn die gesamte Oberfläche des Strahlers behandelt wurde, werden die Werte der Frequenz der Grundresonanz f_s des DUT von vor und nach der Behandlung verglichen; diese Werte werden von der vor und nach der Behandlung gemessenen elektrischen Impedanz $Z_E(f)$ abgeleitet. Wenn die Änderung der Resonanzfrequenz mehr als 1 % beträgt, muss die zusätzliche Masse durch die Behandlung von der gemessenen Masse abgezogen werden.

- Vor der Messung wird das Auslenkungssignal genullt, indem der Messwert in Ruhelage der Strahleroberfläche, ohne dass ein Signal an den Eingang des DUT angelegt ist, von der Sensorausgabe abgezogen wird.
- Das Ausgabesignal des Sensors muss auf Fehler (z. B. Nadelimpulse) untersucht werden, die durch Probleme beim optischen Abtasten der Strahleroberfläche verursacht wurden. Beschädigte Daten dürfen für die weiteren Analysen und die Berechnung der Kennwerte nicht verwendet werden.

AMERKUNG Fehler beim optischen Abtasten können mithilfe eines Triangulationslasers zuverlässig erfasst werden. Es werden zwei Messungen an dem Punkt r_r durchgeführt. Die erste Messung wird normal durchgeführt, die zweite Messung erfolgt, nachdem der Abstand des Lasers entlang des Normalenvektors n_r leicht abgeändert wurde. Durch die geringfügige Änderung des Messabstands zwischen dem Triangulationslaser und dem Messpunkt r_r ändert sich der Beobachtungswinkel des Sensors, ohne dass die Position des Laserpunktes auf der Oberfläche beeinflusst wird. Im Vergleich der beiden Messungen treten dann etwaige Fehler beim optischen Abtasten zutage.

19.2 Mittlere Schwingspulenauslenkung

Die mittlere Schwingspulenauslenkung $x_{coil}(t) = x(t, r_{coil})$ ist eine Zustandsgröße des Modells der konzentrierten Parameter, die die mittlere Bewegung der Schwingspule an einem virtuellen Bezugspunkt r_{coil} beschreibt.

ANMERKUNG In Tieftönern und Mittenbereichswandlern liegt die Auslenkung des Bereichs in der Mitte des Strahlers nahe bei der mittleren Auslenkung und der virtuelle Punkt $\mathbf{r}_{coil}$ liegt nahe beim Mittelpunkt und ist üblicherweise identisch mit dem Bezugspunkt $\mathbf{r}_{r,ref}$. Im Allgemeinen ist die Position des virtuellen Bezugspunktes $\mathbf{r}_{coil}$ nicht bekannt und es sind mehrere Messungen auf der Strahleroberfläche erforderlich, um die mittlere Schwingspulenauslenkung zu berechnen. Die zeitliche Ableitung der mittleren Schwingspulenauslenkung (Geschwindigkeit) multipliziert mit dem Kraftfaktor Bl ergibt die Gegen-EMK, die auch durch eine elektrische Messung ermittelt werden kann.

19.2.1 Messverfahren

Je nach den Eigenschaften des Strahlers und des Aufhängungssystems des Wandlers, kann die Schwingspulenauslenkung mithilfe verschiedener Techniken ermittelt werden:

- Die Schwingspulenauslenkung $x_{coil}(t)=x(t,\mathbf{r}_{r,ref})$ muss am Bezugspunkt $\mathbf{r}_{r,ref}$ gemessen werden, wenn alle folgenden Bedingungen erfüllt sind:
 - der Strahler hat eine achsensymmetrische Geometrie und der Bezugspunkt $\mathbf{r}_{r,ref}$ befindet sich in der Mitte der Strahleroberfläche;
 - der Bereich in der Mitte des Strahlers, der durch die Schwingspule eingefasst wird, bleibt bei den untersuchten Frequenzen hinreichend starr;
 - der relative Pegel L_{rock} von Schaukelschwingungen entsprechend der Definition in 20.6.3 beträgt weniger als -15 dB.
- Wenn eine oder mehrere der Bedingungen unter a) nicht erfüllt sind, muss die Schwingspulenauslenkung $x_{coil}(t)$ durch die Bildung des Durchschnittswertes mehrerer Auslenkungen ermittelt werden, die an mindestens vier gleichmäßig auf der Strahleroberfläche verteilten, in der Nähe des Schwingspulensandes angeordneten Punkten $\mathbf{r}_r$ gemessen werden, wobei $x_{coil}(t) = \overline{x(t,\mathbf{r}_r)}$.

ANMERKUNG 1 Bei Tieftönern, Mittenbereichstreibern und anderen achsensymmetrischen Wandlern mit starrem Konus, Sicke und Spinne in ihrer mechanischen Aufhängung entspricht die Schwingspulenauslenkung der Auslenkung des Strahlermittelpunktes bei niedrigen Frequenzen. Mikrolautsprecher, Hochtöner, Kompressionstreiber, Kopfhörertreiber und andere Wandler erzeugen jedoch Moden auf der Strahleroberfläche, die verhindern, dass der Mittelpunkt die mittlere Schwingung der Schwingspule repräsentiert. Die Abweichungen in der gemessenen Auslenkung am Mittelpunkt kann bei diesen Geräten die Genauigkeit der berechneten mechanischen Parameter beeinträchtigen.

- Als Alternative muss die Schwingspulenauslenkung auf Grundlage des elektrischen Eingangssignals $u(t)$ berechnet werden, sofern die freien elektromechanischen Parameter des Modells mit konzentrierten Parametern für das jeweilige DUT bekannt sind. Zur Beschreibung der Schwingspulenauslenkung im Großsignalbereich muss das Modell die dominanten Nichtlinearitäten nach Abschnitt 23 und die thermischen Eigenschaften nach Abschnitt 24 berücksichtigen.

ANMERKUNG 2 Ein lineares Modell auf Grundlage der konzentrierten Kleinsignalparameter kann nichtlineare Verzerrungen bei höheren Amplituden wie die Kompression der Grundschiwingung oder die Erzeugung eines Gleichanteils in der Schwingspulenauslenkung nicht beschreiben.

19.3 Größt- und Kleinstwerte der Auslenkung

Der Größt- bzw. Kleinstwert der mittleren Schwingspulenauslenkung $x(t,\mathbf{r}_{coil})$ oder der gemessenen Auslenkung $x(t,\mathbf{r}_r)$ eines beliebigen Punktes $\mathbf{r}_r$ auf der Zieloberfläche ist der Größt- bzw. Kleinstwert des Zeitsignals $x(t)$ für einen definierten Stimulus. Die Eigenschaften des Stimulus wie beispielsweise die Frequenz f des sinusförmigen Signals und die Länge T des Messintervalls müssen angegeben werden.

19.3.1 Messverfahren

- Die Auslenkung wird nach 19.1 gemessen.

Der Kleinst- und der Größtwert des Signals wird innerhalb eines Messintervalls der definierten Länge T bestimmt und der Messwert wird der Zeit t am Ende des Intervalls zugewiesen.
- Die Eigenschaften des Stimulus bestimmen, wie der Größt- und der Kleinstwert dargestellt werden: Darstellung in Abhängigkeit von der Zeit t bei gewöhnlichen Audiosignalen (z. B. Musik), Darstellung in

Abhängigkeit von der Frequenz f oder der Spannung u bei deterministischen Prüfsignalen (z. B. sinusförmige Signale).

19.4 Gleichanteil in der Auslenkung

Der Gleichanteil in der Schwingspulenauslenkung ist eine niederfrequente Komponente (deutlich unterhalb des Audiobandes) in der Schwingspulenauslenkung $x(t, \mathbf{r}_{coil})$ bzw. der gemessenen Auslenkung $x(t, \mathbf{r}_r)$ eines beliebigen Punktes $\mathbf{r}_r$ auf der Zieloberfläche, der dynamisch durch die Nichtlinearitäten des Wandlers erzeugt wird.

ANMERKUNG Der Gleichanteil in der Auslenkung wird durch die Gleichrichtung des Wechselstrom-Auslenkungssignals erzeugt und kann als Differenzton-Intermodulationsverzerrungsprodukt interpretiert werden. Im Gegensatz zu Oberschwingungs- und Summenton-Intermodulationsverzerrungen, die bei hohen Frequenzen erzeugt werden, bei denen die Auslenkung vernachlässigbar ist, kann der Gleichanteil in der gleichen Größenordnung liegen wie die Wechselstromauslenkung.

19.4.1 Messverfahren

- Die Auslenkung $x(t)$ wird nach 19.1 gemessen.
- Der Gleichanteil in der Auslenkung $x_{DC}(t) = \overline{x(t)}$ wird als Mittelwert der Auslenkung innerhalb eines Messintervalls der definierten Länge T bestimmt und der Mittelwert wird der Zeit t am Ende des Intervalls zugewiesen. Unter stationären Eingabebedingungen (z. B. einzelner Ton) muss die Länge T des Messintervalls identisch mit der Länge des Stimulus sein. Bei Messungen mit transienten Stimuli (z. B. einem gewöhnlichen Audiosignal) muss die Länge T festgelegt werden.
- Der Gleichanteil in der Auslenkung $X_{DC}(f)$ muss in Abhängigkeit von der Frequenz f dargestellt werden, wenn der Stimulus ein stationärer Ton oder ein Chirp-Signal mit definierter Frequenz-Zeit-Abbildung ist.

19.5 Auslenkungsübertragungsfunktion

Die Übertragungsfunktion $\underline{H}_{X,U}(f_{fund}, \mathbf{r}_r)$ zwischen der Klemmenspannung $u(t)$ und der Auslenkung $x(t, \mathbf{r}_r)$ an einem Punkt $\mathbf{r}_r$ auf der Strahleroberfläche wird bei logarithmisch verteilten Frequenzen f_{fund} mit einer festgelegten Auflösung bei kleinen Amplituden gemessen. Im Allgemeinen werden ISO-R40-Frequenzen bevorzugt.

ANMERKUNG Dieses Verfahren kann auch auf die Übertragungsfunktion zwischen der Klemmenspannung $u(t)$ und der Schwingspulenauslenkung $x(t, \mathbf{r}_{coil})$ an dem virtuellen Punkt $\mathbf{r}_{coil}$ angewandt werden.

19.5.1 Messverfahren

- Der Wandler wird mit einem Breitbandstimulus $s(t)$ angeregt, der an den Anschlüssen die Spannung $u(t) = \alpha \tilde{u}_{max} s(t)$ erzeugt. Es müssen die Eigenschaften des Stimulus $s(t)$, die Messzeit T_s und entweder der Effektivwert $\tilde{u} = \alpha \tilde{u}_{max}$ oder der Skalierungsfaktor α und der höchste Eingangswert $\tilde{u}_{max}$ angegeben werden. Die Amplitudenzeiger der Teilschwingungen $\underline{U}(f)$ bei den Frequenzen f und einer festgelegten Auflösung werden mit einer diskreten Fourier-Transformierten (DFT) o. ä. bestimmt, wobei $\underline{U}(f) = F\{u(t)\}$.
- Die Auslenkung $x(t, \mathbf{r}_r)$ wird an dem Oberflächenpunkt $\mathbf{r}_r$ in Übereinstimmung mit 19.1 gemessen und die Amplitudenzeiger der Teilschwingung $\underline{X}(f, \mathbf{r}_r) = F\{x(t, \mathbf{r}_r)\}$ werden berechnet.
- Die komplexe Übertragungsfunktion muss als $\underline{H}_{X,U}(f, \mathbf{r}_r) = \underline{X}(f, \mathbf{r}_r) / \underline{U}(f)$ berechnet und als Amplitudenfrequenzgang $|\underline{H}_{X,U}(f, \mathbf{r}_r)|$ und Phasengang $\varphi_{X,U}(f, \mathbf{r}_r) = \arg(\underline{H}_{X,U}(f, \mathbf{r}_r))$ bei den vom Stimulus angeregten Frequenzen f dargestellt werden.

19.6 Kumulierter Beschleunigungspegel

Der kumulierte Beschleunigungspegel $L_{AA}(f, \mathbf{r}_a)$ beschreibt die Gesamtheit der mechanischen Schwingungen auf der Oberfläche des Strahlers (in dB) als Funktion der Frequenz f ,

$$L_{AA}(f, \mathbf{r}_a) = 20 \log_{10} \left(\int_{S_r} \frac{(2\pi f)^2 |\underline{X}(f, \mathbf{r}_r)|}{a_{ref}(\mathbf{r}_a)} dS_r \right) \quad (4)$$

und verwendet dazu einen Bezugswert $a_{ref}(\mathbf{r}_a)$, der von der Position eines festgelegten Beobachtungspunktes $\mathbf{r}_a$ im Schallfeld abhängt und wie folgt definiert ist:

$$a_{ref}(\mathbf{r}_a) = \frac{2\pi\sqrt{2}p_0|\mathbf{r}_a - \mathbf{r}_r|}{\rho_0} \quad (5)$$

Dabei ist p_0 der Bezugsschalldruck und ρ_0 die Dichte der Luft.

ANMERKUNG Durch den Bezugswert $a_{ref}(\mathbf{r}_a)$ wird sichergestellt, dass der kumulierte Beschleunigungspegel $L_{AA}(f, \mathbf{r}_a)$ als der am Beobachtungspunkt $\mathbf{r}_a$ im erzeugten Schallfeld verfügbare potenzielle Gesamtschalldruck interpretiert werden kann, sofern die destruktiven Auswirkungen von akustischer Auslöschung außer Acht gelassen werden. Bei niedrigen Frequenzen unterhalb der ersten Aufbrechfrequenz (en: break-up frequency), bei denen alle Punkte auf der Strahleroberfläche in Phase schwingen und die Abmessungen des Strahlers im Verhältnis zu der Wellenlänge λ klein sind, ist der kumulierte Beschleunigungspegel $L_{AA}(f, \mathbf{r}_a)$ gleich dem durch das Rayleigh-Integral vorhergesagten Schalldruckpegel $SPL(f, \mathbf{r}_a)$.

19.6.1 Messverfahren

- Die Übertragungsfunktion $\underline{H}_{X,U}(f, \mathbf{r}_r[m])$ mit $0 \leq m \leq M$ muss auf der Strahleroberfläche mit ausreichender räumlicher Auflösung ($M > 100$ Abtastpunkte) in Übereinstimmung mit 19.5 gemessen werden.
- Die Auslenkung $\underline{X}(f, \mathbf{r}_r[m]) = \underline{H}_{X,U}(f, \mathbf{r}_r[m])\underline{U}(f)$ muss für eine definierte Amplitude der Klemmenpannung U berechnet werden.
- Der kumulierte Beschleunigungspegel an dem festgelegten Beobachtungspunkt $\mathbf{r}_a$ muss wie folgt berechnet werden:

$$L_{AA}(f, \mathbf{r}_a) = 20 \log_{10} \left(\sum_{m=1}^M \frac{(2\pi f)^2 |\underline{X}(f, \mathbf{r}_r[m])|}{a_{ref}(\mathbf{r}_a)} \Delta S_r(\mathbf{r}_r[m]) \right) \quad (6)$$

Dabei wird die Fläche $\Delta S_r(\mathbf{r}_r[m])$ auf der Strahleroberfläche durch den Abtastpunkt $\mathbf{r}_r[m]$ repräsentiert.

20 Konzentrierte Kleinsignalparameter

Bei kleinen Amplituden, bei denen die nichtlinearen Eigenschaften des DUT vernachlässigbar sind, kann eine lineare Modellierung auf das DUT angewandt werden. Zur Validierung der bei der linearen Modellierung getroffenen Annahmen müssen die nichtlineare Verzerrung in den elektrischen Signalen (z. B. Strom) an den Anschlüssen und der Gleichstromwiderstand der Schwingspule gemessen werden.

ANMERKUNG Neben nichtlinearer Verzerrung können auch zeitabhängige viskoelastische Eigenschaften der Aufhängung die Messergebnisse der Kleinsignalparameter beeinflussen.

Es wird empfohlen, die von dem Stimulus während der Prüfung erzeugte Spitzenauslenkung anzugeben oder in einen Bericht aufzunehmen.

Bei niedrigen Frequenzen, bei denen der Strahler in dem Grundmode („Kolbenmode“) schwingt, können das Übertragungs- und Schwingverhalten des Wandlers und der Einfluss der mechanischen und akustischen Last (z. B. eines Gehäuses) mit einem Modell mit konzentrierten Parametern beschrieben werden. Um das mechanische und akustische System bei höheren Frequenzen zu beschreiben, ist ein Modell mit verteilten Parametern erforderlich.

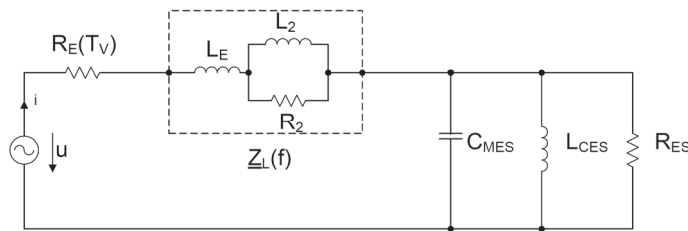


Bild 2 – Elektrische Ersatzschaltung der elektrischen Eingangsimpedanz unter Verwendung des LR2-Modells für die verlustbehaftete Induktivität

20.1 Elektrische Parameter

Die bei geringen Amplituden gemessene elektrische Eingangsimpedanz kann mit einer elektrischen Ersatzschaltung wie in Bild 2 modelliert werden, die zeitunabhängig und linear ist. Die konzentrierten Parameter für das zu prüfende Gerät werden geschätzt, indem der mittlere quadratische Fehler zwischen der gemessenen und der modellierten elektrischen Impedanz minimiert wird (komplexe Kurvenanpassung).

20.1.1 Gleichstromwiderstand

Der Gleichstromwiderstand $R_E(T_v)$ des Wandlers beschreibt üblicherweise die elektrische Eingangsimpedanz bei Frequenzen deutlich unterhalb der Frequenz der Grundresonanz, bei denen der Einfluss anderer elektrischer und mechanischer Elemente vernachlässigbar ist.

20.1.1.1 Messverfahren

Die elektrische Impedanz $Z_E(f)$ wird bei einer niedrigen Frequenz $f < f_s/8$ gemessen, die mindestens drei Oktaven unterhalb der Resonanzfrequenz f_s des Wandlers liegt.

ANMERKUNG Der Gleichstromwiderstand $R_E(T_v)$ hängt von der Schwingspulentemperatur T_v ab, die mit der Umgebungstemperatur T_A und dem an den Wandler angelegten elektrischen Stimulus variiert.

Wenn die Bewertung der Schwingspulenerwärmung oder der Einfluss der Umgebungstemperatur nicht Zweck der Messung sind, so sollte der Gleichstromwiderstand R_E des Wandlers unter Kleinsignalbedingungen nach 8.1 gemessen werden und der Wandler sollte an die normalen Umgebungsbedingungen nach 7.3 akklimatisiert werden.

20.1.2 Verlustbehaftete Induktivität

Die elektrische Impedanz $Z_L(f)$ der verlustbehafteten Schwingspuleninduktivität trägt bei höheren Frequenzen zu der elektrischen Impedanz $Z_E(f)$ bei. Die elektrische Impedanz $Z_L(f)$ wird durch eine zusätzliche elektrische Schaltung in dem Modell (siehe Bild 2) oder durch eine analytische Beschreibung repräsentiert.

20.1.2.1 Messverfahren

- Der Gleichstromwiderstand R_E wird in Übereinstimmung mit 20.1.1 gemessen und die elektrische Impedanz $Z_E(f)$ wird bei blockierter Schwingspule gemessen.

- b) Die elektrische Impedanz $\underline{Z}_L(f)$ der verlustbehafteten Schwingspuleninduktivität ist der Rest der elektrischen Impedanz $\underline{Z}_E(f)$ nach Entfernung des Gleichstromwiderstands R_E . Der Betrag und der Phasengang der elektrischen Impedanz $\underline{Z}_L(f)$ müssen in Abhängigkeit von der Frequenz angegeben werden.

Alternativ muss die elektrische Impedanz $\underline{Z}_L(f)$ als eine frequenzabhängige Induktivität

$L_{EL}(f) = \frac{1}{2\pi f} \Im\{Z_E(f)\}$, die den Imaginärteil der verlustbehafteten Induktivität repräsentiert, und als ein frequenzabhängiger Widerstand $R_{EL}(f) = \frac{1}{2\pi f} \Re\{Z_E(f)\}$, der den Realteil der verlustbehafteten Induktivität repräsentiert, angegeben werden.

- c) Für die Modellierung der komplexen Impedanz $\underline{Z}_L(f)$ der verlustbehafteten Induktivität wird eine elektrische Schaltung, wie das LR2-Modell in Bild 2, verwendet. Die Schaltung besteht aus mehreren in Reihe geschalteten Induktivitäten ($L_1, L_2, \dots$), wobei mindestens eine Induktivität (L_2) von einem Widerstand (R_2) geshuntet wird. Die Struktur der Schaltung und die durch Minimierung des Modellierungsfehlers (Kurvenanpassungsverfahren) berechneten konzentrierten Parameter müssen angegeben werden.
- d) Alternativ darf für die Modellierung der komplexen Impedanz $\underline{Z}_L(f)$ der verlustbehafteten Induktivität ein mathematisches Modell wie das von Wright [36], Leach [16] oder Thorborg [17] verwendet werden. Die Struktur der Schaltung und die durch Minimierung des Modellierungsfehlers (Kurvenanpassung) berechneten konzentrierten Parameter müssen angegeben werden.

ANMERKUNG Ein Blockieren der Schwingspulenbewegung kann vermieden werden, wenn die elektrische Schaltung oder das mathematische Modell, durch die/das die verlustbehaftete Induktivität repräsentiert wird, bei höheren Frequenzen ($f > 4f_s$), bei denen der Einfluss der den mechanischen Resonator repräsentierenden elektrischen Impedanz $\underline{Z}_{EM}(f)$ vernachlässigbar ist, präzise ist. Die Modelle von Wright und Leach liefern unter Verwendung einer möglichst geringen Anzahl freier Parameter eine hinreichende Anpassung der Messkurve. Die größere Komplexität des Modells von Thorborg liefert in einigen Fällen eine bessere Anpassung, eine eindeutige Lösung der Parameterschätzung kann jedoch nicht sichergestellt werden.

20.1.3 Elektrische Darstellung des Grundschrwingungsresonators

Zur Beschreibung der Grundschrwingungsform des Wandlers einschließlich Luftlast wird eine elektrische Schaltung wie in Bild 2 mit Parallelschaltung eines Kondensators C_{MES} (der der bewegten Masse M_{ms} entspricht), einer Induktivität L_{CES} (die der mechanischen Nachgiebigkeit C_{MS} entspricht) und eines Widerstandes R_{ES} (der dem mechanischen Widerstand R_{ms} entspricht) verwendet.

ANMERKUNG Der Einfluss zusätzlicher akustischer oder mechanischer Resonanzen wie Bassreflexrohr-Resonanzen in einem Bassreflexgehäuse oder zeitabhängiger viskoelastischer Eigenschaften („Kriechen“, en: creep) bei niedrigen Frequenzen wird von diesen Parametern nicht repräsentiert.

20.1.3.1 Messverfahren

- a) Die elektrische Eingangsimpedanz $\underline{Z}_E(f)$ wird nach Abschnitt 18 gemessen.
- b) Auf Grundlage der elektrischen Eingangsimpedanz $\underline{Z}_E(f)$ werden der elektrische Gleichstromwiderstand R_E und das elektrische Modell, das die verlustbehaftete Induktivität repräsentiert, in Übereinstimmung mit 20.1.1 bzw. 22.1.2 ermittelt.
- c) Auf Grundlage des Modells der verlustbehafteten Induktivität wird die Impedanz $\underline{Z}_L(f)$ bei den Frequenzen $f_s/4 < f < 4f_s$ gemessen.

- d) Die Impedanz $\underline{Z}_{EM}(f)$, die die Auswirkungen der mechanischen Elemente in der elektrischen Domäne repräsentiert, ist der Rest der elektrischen Eingangsimpedanz $\underline{Z}_E(f)$ nach Entfernung des elektrischen Gleichstromwiderstands R_E und der Impedanz $\underline{Z}_L(f)$ der verlustbehafteten Induktivität.
- e) Der Kondensator C_{MES} , die Induktivität L_{CES} und der Widerstand R_{ES} der elektrischen Schaltung zweiter Ordnung, die die Impedanz $\underline{Z}_{EM}(f)$ repräsentiert, werden im Frequenzbereich $f_s/4 < f < 4f_s$ berechnet, indem der mittlere quadratische Fehler der geschätzten Amplitude und des geschätzten Phasengangs minimiert wird.

ANMERKUNG Einige Wandler wie z. B. Mikrolautsprecher weisen bei niedrigeren Frequenzen wesentliche viskoelastische Eigenschaften auf, wodurch die Nachgiebigkeit und die mechanischen Verluste verstärkt werden. Die Impedanz $\underline{Z}_{EM}(f)$ solcher Wandler kann nicht mit einem System zweiter Ordnung beschrieben werden und die geschätzten Werte für die Kapazität C_{MES} , die Induktivität L_{CES} und den Widerstand R_{ES} wären nicht korrekt. Um diese Verzerrung zu vermeiden, kann eine frequenzabhängige Nachgiebigkeit nach 20.5 zur Identifizierung der elektrischen Impedanz $\underline{Z}_{EM}(f)$ des mechanischen Resonators verwendet werden.

20.2 Relative konzentrierte Parameter

Die Grundswingungsform kann mit relativen Parametern wie der Resonanzfrequenz und Gütefaktoren beschrieben werden, die direkt auf Grundlage der in 20.1.3 definierten elektrischen Ersatzparameter berechnet werden können.

ANMERKUNG Diese relativen Parameter können auch auf Grundlage der entsprechenden Elemente der mechanischen und akustischen Ersatzschaltung berechnet werden. Allerdings ist für die Identifizierung der elektrischen Schaltung nur eine einfache Messung der elektrischen Signale (Spannung, Strom) an den Anschlüssen erforderlich, während für die Identifizierung der mechanischen und akustischen Elemente eine Perturbationstechnik oder ein zusätzlicher Sensor benötigt wird.

20.2.1 Resonanzfrequenz

Die Resonanzfrequenz f_s der Grundswingungsform des in Freiluft betriebenen Wandlers muss wie folgt berechnet werden:

$$f_s = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{C_{MES} L_{CES}}} \quad (7)$$

Die Berechnung erfolgt auf Grundlage der konzentrierten Parameterelemente, die in Übereinstimmung mit 20.1.3 ausgehend von der Impedanz $\underline{Z}_{EM}(f)$ identifiziert wurden, sowie der mechanischen Parameter in 20.3.

ANMERKUNG Wenn das viskoelastische Verhalten der mechanischen Aufhängung vernachlässigbar ist (Kriechfaktor < 10 %) und die Impedanz $\underline{Z}_L(f)$ der verlustbehafteten Schwingspuleninduktivität bei Resonanz klein ist im Verhältnis zu der gesamten elektrischen Impedanz $\underline{Z}_E(f_s)$, so kann die Resonanzfrequenz f_s als die Frequenz bestimmt werden, bei der der Betrag der elektrischen Impedanz sein erstes Hauptmaximum hat.

20.2.2 Elektrischer Gütefaktor

Der elektrische Gütefaktor Q_{ES} der Grundswingungsform des in Freiluft betriebenen Wandlers muss wie folgt berechnet werden:

$$Q_{ES} = 2\pi f_s C_{MES} R_E = \frac{R_E}{C_{MS} (Bl)^2 2\pi f_s} \quad (8)$$

Für die Berechnung müssen die elektrischen Ersatzparameter aus 20.1.3 und die mechanischen Parameter aus 20.3 verwendet werden.

ANMERKUNG Wenn das viskoelastische Verhalten der mechanischen Aufhängung vernachlässigbar ist (Kriechfaktor < 10 %) und die Impedanz $\underline{Z}_L(f)$ der verlustbehafteten Schwingspuleninduktivität bei Resonanz klein ist im Verhältnis zu der gesamten elektrischen Impedanz $\underline{Z}_E(f_s)$, so kann der elektrische Gütefaktor Q_{ES} wie folgt berechnet werden:

$$Q_{ES} = \frac{r_0}{r_0 - 1} Q_{TS} \quad (9)$$

Dabei ist

r_0 das Verhältnis des maximalen Betrags der Impedanz $\underline{Z}_E(f_s)$ bei der Resonanzfrequenz f_s zu dem Gleichstromwiderstand R_E des Wandlers und

Q_{TS} der Gesamtgütefaktor nach Definition in 20.2.4.

20.2.3 Mechanischer Gütefaktor

Der mechanische Gütefaktor Q_{MS} der Grundswingungsform des in Freiluft betriebenen Wandlers muss wie folgt berechnet werden:

$$Q_{MS} = 2\pi f_s C_{MES} R_{ES} = \frac{1}{C_{MS} R_{MS} 2\pi f_s} \quad (10)$$

Für die Berechnung müssen die elektrischen Ersatzparameter aus 20.1.3 und die mechanischen Parameter aus 20.3 verwendet werden.

ANMERKUNG Wenn das viskoelastische Verhalten der mechanischen Aufhängung vernachlässigbar ist (Kriechfaktor < 10 %) und die Impedanz $\underline{Z}_L(f)$ der verlustbehafteten Schwingspuleninduktivität bei Resonanz klein ist im Verhältnis zu der gesamten elektrischen Impedanz $\underline{Z}_E(f_s)$, so kann der mechanische Gütefaktor Q_{MS} wie folgt berechnet werden:

$$Q_{MS} = r_0 Q_{TS} \quad (11)$$

Dabei ist

r_0 das Verhältnis des maximalen Betrags der Impedanz $\underline{Z}_E(f_s)$ bei der Resonanzfrequenz f_s zu dem Gleichstromwiderstand R_E des Wandlers und

Q_{TS} der Gesamtgütefaktor nach Definition in 20.2.4.

20.2.4 Gesamtgütefaktor

Der Gesamtgütefaktor Q_{TS} der Grundswingungsform des in Freiluft betriebenen Wandlers muss wie folgt berechnet werden:

$$Q_{TS} = \frac{Q_{ES} Q_{MS}}{Q_{ES} + Q_{MS}} \quad (12)$$

Für die Berechnung müssen der elektrische Gütefaktor aus 20.2.2 und der mechanische Gütefaktor aus 20.2.3 verwendet werden.

ANMERKUNG Wenn das viskoelastische Verhalten der mechanischen Aufhängung vernachlässigbar ist (Kriechfaktor < 10 %) und die Impedanz $\underline{Z}_L(f_s)$ der verlustbehafteten Schwingspuleninduktivität bei Resonanz klein ist im Verhältnis zu der gesamten elektrischen Impedanz $\underline{Z}_E(f_s)$, so kann der Gesamtgütefaktor Q_{TS} wie folgt berechnet werden:

$$Q_{TS} = \frac{\sqrt{f_1 f_2}}{\sqrt{r_0} (f_2 - f_1)} \quad (13)$$

Dabei ist

r_0 das Verhältnis des maximalen Betrags der Impedanz $\underline{Z}_E(f_s)$ bei der Resonanzfrequenz f_s zu dem Gleichstromwiderstand R_E des Wandlers.

Die Frequenzen f_1 und f_2 sind in etwa symmetrisch um $f_s \approx \sqrt{f_1 f_2}$ angeordnet, wobei $f_1 < f_s < f_2$ und die Beträge der Impedanzen $\underline{Z}_1 = |\underline{Z}_E(f_1)|$ und $\underline{Z}_2 = |\underline{Z}_E(f_2)|$ gleich sind, mit einem Wert von $\underline{Z}_1 = \underline{Z}_2 = \sqrt{r_0} R_E$.

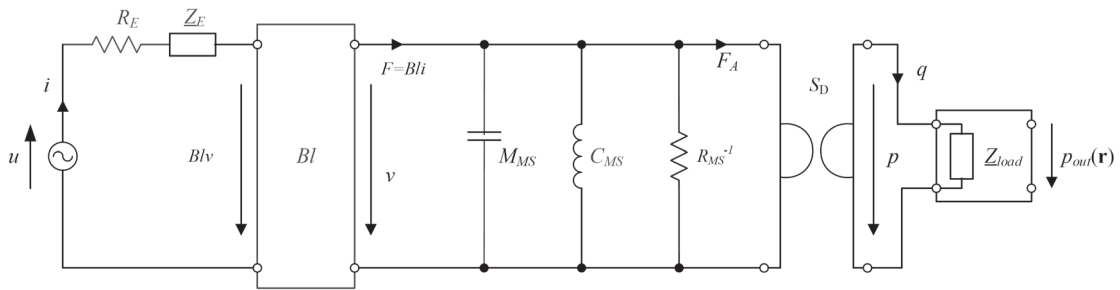


Bild 3 – Analoge Schaltung mit konzentrierten Parametern, die die elektrischen, mechanischen und akustischen Elemente bei niedrigen Frequenzen repräsentiert

20.3 Konzentrierte mechanische Parameter

Die Grundswingungsform des in Freiluft oder im Halbraum betriebenen Wandlers muss mit einem Modell mit konzentrierten Parametern wie der Schaltung in Bild 3 beschrieben werden. In dieser Schaltung wird die mechanische Analogie vom Typ Admittanzmodell (Mobilität) verwendet, die über einen Transformator mit der elektrischen Domäne gekoppelt ist. Die mechanische Kraft F entspricht dem Strom i in Bild 2, skaliert durch den Kraftfaktor Bl . Ein Gyrator mit einem effektiven Strahlungsbereich S_D koppelt die mechanische Analogie mit der akustischen Analogie vom Typ Impedanz.

ANMERKUNG 1 Wie in [2] und [34] besprochen, können auch andere Typen von mechanischen und akustischen Analogien in der Schaltung der konzentrierten Parameter verwendet werden.

Die mechanische Impedanz, die definiert ist als

$$\underline{Z}_{MS}(f) = \frac{\underline{F}(f, \mathbf{r}_{coil})}{j2\pi f \underline{X}(f, \mathbf{r}_{coil})} = \frac{(Bl)^2}{\underline{Z}_{EM}(f)} = \frac{1}{j2\pi f C_{MS}(f)} + R_{MS} + j2\pi f M_{MS} \quad (14)$$

steht in umgekehrter Relation zu der elektrischen Impedanz $\underline{Z}_{EM}(f)$, die die mechanische Resonanz in der elektrischen Domäne repräsentiert, skaliert durch den quadrierten Wandlungsparameter $(Bl)^2$. In allen mechanischen Parametern in Gleichung (14) wird der Einfluss der Luft berücksichtigt. Die bewegte Masse M_{MS} repräsentiert die Masse der bewegten Teile und die Luftlast auf beiden Seiten des Wandlers. Neben den mechanischen Verlusten im Zusammenhang mit der Aufhängung und der Strahlungsimpedanz berücksichtigt der Widerstand R_{MS} auch die Verluste, die durch verwirbelte Luftströme im Spalt und in der Lüftungsöffnung der Polplatte erzeugt werden. Die Nachgiebigkeit $C_{MS}(f)$, die den Kehrwert der

Steifigkeit $K_{MS}(f)$ bildet, repräsentiert die Rückstellfähigkeit (Federsteifigkeit) der Aufhängung und die Steifigkeit von Luft in Hohlräumen hinter der strahlenden Membran. Bei niedrigen Frequenzen hängt die Nachgiebigkeit $C_{MS}(f)$ aufgrund der Viskoelastizität des Werkstoffs auch von der Frequenz f ab.

ANMERKUNG 2 Bei niedrigen Frequenzen ist die Viskoelastizität ein rein mechanisches Phänomen, das die Nachgiebigkeit $C_{MS}(f)$ und den mechanischen Widerstand $R_{MS}(f)$ erhöht. In der Folge neigt die Aufhängung in dem Verhältnis von Rückstellkraft zu Auslenkung zum Relaxieren und Kriechen (en: creep). Sie verliert die Fähigkeit zum Speichern von potenzieller Energie und wandelt die zugeführte Energie in Wärme um. Dieses Phänomen ist in Wandlern wie Mikrolautsprechern nicht zu vernachlässigen. Es beeinträchtigt den Anpassungsfehler der elektrischen Impedanz und die Messunsicherheit der gemessenen elektrischen und mechanischen Parameter. Durch die höhere Nachgiebigkeit $C_{MS}(f)$ steigen die Wechselstromamplitude der Schwingspulen auslenkung und der von Nichtlinearitäten des Wandlers erzeugte Gleichanteil in der Auslenkung. Der mechanische Widerstand wird in Gleichung (14) durch einen konstanten Wert $R_{MS} = R_{MS}(f_s)$ genähert. Die Näherung ist möglich, weil die Frequenzabhängigkeit des mechanischen Widerstands $R_{MS}(f)$ unterhalb und oberhalb der Resonanzfrequenz f_s einen geringen Einfluss auf das Übertragungsverhalten des Wandlers hat.

Wenn die Auswirkungen der Viskoelastizität gering sind (Kriechfaktor $\kappa < 10\%$), kann die Nachgiebigkeit ein konstanter Wert $C_{MS}(f) = C_{MS} = C_{MS}(f_s)$ sein und die mechanische Impedanz in Gleichung (12) kann bei Frequenzen $f > f_s/2$ berechnet werden.

20.3.1 Messverfahren

Zur Berechnung der mechanischen Parameter muss mindestens ein mechanischer Parameter gemessen werden. Zur Berechnung werden in dieser Norm die Gleichungen für relative mechanische Parameter in 20.2 verwendet. Zur Ermittlung des ersten mechanischen Parameters muss eines der folgenden Messverfahren verwendet werden:

20.3.1.1 Verfahren der zusätzlichen Masse

Bei diesem Verfahren werden zwei Messungen der elektrischen Eingangsimpedanz an ein und demselben Wandler vorgenommen, wobei bei einer der Messungen eine Störung durch eine bekannte Masse erfolgt, indem dem Strahler z. B. eine bekannte Masse hinzugefügt wird. Anhand der Variation der relativen Parameter zwischen den Messungen wird die bewegte Masse M_{ms} des Wandlers ohne zusätzliche Masse berechnet.

- Die elektrische Impedanz des Wandlers ohne Störung wird in Freiluft unter Kleinsignalbedingungen in Übereinstimmung mit Abschnitt 18 gemessen.
- Die elektrischen Ersatzparameter f_s und Q_{ES} des Wandlers ohne Störung müssen nach 20.1.3 berechnet werden.
- Nachdem eine zusätzliche Masse M_{add} auf die Strahleroberfläche aufgebracht wurde, wird die Messung der elektrischen Impedanz in Freiluft unter den gleichen Kleinsignalbedingungen wie bei a) in Übereinstimmung mit Abschnitt 18 wiederholt.
- Die elektrischen Ersatzparameter $f_m = f_s$ und $Q_m = Q_{ES}$ des Wandlers mit Störung durch die Masse müssen nach 20.1.3 berechnet werden.
- Die bewegte Masse M_{MS} des Wandlers ohne Störung muss mit der folgenden Gleichung berechnet werden:

$$M_{MS} = \frac{M_{add}}{\frac{Q_m f_s}{Q_{ES} f_m} - 1} \quad (15)$$

ANMERKUNG Dieser Gleichung liegt die Annahme zugrunde, dass der Kraftfaktor Bl in den beiden Messungen konstant ist (R. Small [13]). Eine einfachere Version der Gleichung ohne die Gütefaktoren Q_m und Q_{es} beruht auf der Annahme, dass keine Frequenzabhängigkeit der Nachgiebigkeit $C_{MS}(f)$ aufgrund von Viskoelastizität nach 20.5 vorliegt. Wenn diese Bedingung nicht erfüllt ist, ergibt das Verfahren der Störung durch Masse signifikante Fehler in der berechneten Masse M_{MS} .

- f) Auf Grundlage der berechneten Masse M_{MS} und der Resonanzfrequenz f_s des Wandlers ohne Störung muss mit Gleichung (7) die Nachgiebigkeit C_{MS} berechnet werden.
- g) Unter Verwendung von Gleichung (8) muss der Kraftfaktor Bl auf Grundlage des gemessenen Gleichstromwiderstands $R_E(T_v)$ und des Gütefaktors Q_{ES} berechnet werden.
- h) Unter Verwendung der Beziehung in Gleichung (10) muss der Widerstand R_{MS} auf Grundlage des gemessenen Gütefaktors Q_{MS} gemessen werden.

20.3.1.2 Verfahren der Störung durch eine Box

Bei diesem Verfahren werden zwei Messungen der elektrischen Eingangsimpedanz an ein und demselben Wandler vorgenommen, wobei die mechanische Aufhängung bei einer der Messungen mithilfe eines eingeschlossenen Luftvolumens mit zusätzlicher Steifigkeit versehen wird. Die Variation der Resonanzfrequenz aufgrund der bekannten akustischen Störung bildet die Grundlage für die Berechnung der Nachgiebigkeit C_{MS} in Freiluft und des Ersatzluftvolumens V_{AS} des Wandlers.

- a) Die elektrische Impedanz des Wandlers wird in Freiluft (ohne das Gehäuse) unter Kleinsignalbedingungen in Übereinstimmung mit Abschnitt 18 gemessen.
- b) Die elektrischen Ersatzparameter f_s und Q_{ES} des Wandlers ohne akustische Störung müssen nach 20.1.3 berechnet werden.
- c) Nachdem der Wandler in ein abgedichtetes Gehäuse mit dem Volumen V_T eingesetzt wurde, wird die Messung der elektrischen Impedanz unter den gleichen Kleinsignalbedingungen wie bei a) in Übereinstimmung mit Abschnitt 18 wiederholt.

Das Gehäuse sollte ordentlich abgedichtet werden und im Inneren sollte sich kein absorbierendes Material befinden. Wandler mit Luftundichtheiten um die Schwingspule herum, aufgrund eines Phase-Plug oder einer fehlenden Staubkappe, sollten nicht mit diesem Verfahren geprüft werden. Das verdrängte Volumen der Antriebseinheit muss von dem Volumen des leeren Gehäuses abgezogen werden, um den Wert von V_T zu ermitteln.

- d) Die elektrischen Ersatzparameter $f_{CT} = f_s$ und $Q_{ECT} = Q_{ES}$ des Wandlers mit akustischer Störung müssen nach 20.1.3 berechnet werden.
- e) Das Ersatzluftvolumen V_{AS} , das die mechanische Nachgiebigkeit C_{MS} des Wandlers ohne Störung repräsentiert, muss mit der folgenden Gleichung berechnet werden:

$$V_{AS} = V_T \left[\frac{f_{CT} Q_{ECT}}{Q_{ES} f_s} - 1 \right] \quad (16)$$

- f) Die mechanische Nachgiebigkeit C_{MS} muss mit der folgenden Gleichung berechnet werden:

$$C_{MS} = \frac{V_{AS}}{\rho_0 c^2 S_D^2} \quad (17)$$

Bei der Berechnung müssen die Luftdichte ρ_0 , die Schallgeschwindigkeit in Luft c und der effektive Strahlungsbereich S_D nach 20.7.2 verwendet werden.

- g) Auf Grundlage der berechneten mechanischen Nachgiebigkeit C_{MS} und der Resonanzfrequenz f_s des Wandlers ohne akustische Störung muss die bewegte Masse M_{ms} berechnet werden, und zwar mit Gleichung (7).
- h) Unter Verwendung von Gleichung (8) muss der Kraftfaktor Bl auf Grundlage des gemessenen Gleichstromwiderstands $R_E(T_v)$ und des Gütefaktors Q_{ES} berechnet werden.
- i) Unter Verwendung der Beziehung in Gleichung (10) muss der Widerstand R_{MS} auf Grundlage des gemessenen Gütefaktors Q_{MS} gemessen werden.

20.3.1.3 Laserverfahren

Dieses Verfahren bestimmt den Kraftfaktor Bl auf Grundlage der gemessenen elektrischen Eingangs-impedanz $\underline{Z}_E(f)$ und der mechanischen Übertragungsfunktion $\underline{H}_{X,U}(f, \mathbf{r}_{coil})$ zwischen der Klemmenspannung am Wandler und der Schwingspulenauslenkung.

- Die elektrische Impedanz $\underline{Z}_E(f_{fund})$ des Wandlers wird in Freiluft (ohne Gehäuse) unter Kleinsignalbedingungen in Übereinstimmung mit Abschnitt 18 gemessen.
- Die Übertragungsfunktion $\underline{H}_{X,U}(f, \mathbf{r}_{coil})$ zwischen der Klemmenspannung und der Schwingspulenauslenkung $x(t, \mathbf{r}_{coil})$ muss in Übereinstimmung mit 19.2 und 19.5 gemessen werden.
- Die relativen konzentrierten Parameter, die den mechanischen Resonator repräsentieren, müssen nach 20.2 berechnet werden.
- Die modellierte Auslenkungsübertragungsfunktion $\underline{H}'_{X,U}(f, \mathbf{r}_{coil})$ muss anhand der elektrischen und relativen Parameter berechnet werden.

ANMERKUNG In Wandlern, wie z. B. Mikrolautsprechern mit signifikanter Viskoelastizität, ist für die Modellierung der Auslenkungsübertragungsfunktion ein Kriechmodell in Übereinstimmung mit 20.5 erforderlich.

- Der Kraftfaktor Bl muss berechnet werden, indem der mittlere quadratische Fehler zwischen der gemessenen Funktion $\underline{H}_{X,U}(f, \mathbf{r}_{coil})$ und der modellierten Funktion $\underline{H}'_{X,U}(f, \mathbf{r}_{coil})$ minimiert wird.
- Auf Grundlage des berechneten Kraftfaktors Bl , des bestimmten Gütefaktors Q_{ES} , der Resonanzfrequenz f_s und des Gleichstromwiderstands R_E muss die Nachgiebigkeit C_{MS} berechnet werden, und zwar mit Gleichung (8).
- Unter Verwendung der Beziehung in Gleichung (10) muss der Widerstand R_{MS} auf Grundlage des gemessenen Gütefaktors Q_{MS} gemessen werden.
- Unter Verwendung der Beziehung in Gleichung (7) muss die bewegte Masse M_{MS} auf Grundlage der Nachgiebigkeit C_{MS} gemessen werden.

20.4 Reine konzentrierte mechanische Parameter

Die Grundswingungsform des im Vakuum betriebenen Wandlers muss mit einem Modell mit konzentrierten Parametern beschrieben werden, das die mechanische Impedanz liefert:

$$\underline{Z}_{MD}(f) = \frac{\underline{F}(f, \mathbf{r}_{coil})}{j2\pi f \underline{X}(f, \mathbf{r}_{coil})} = \frac{(Bl)^2}{\underline{Z}_{EMD}(f)} = \frac{1}{j2\pi f C_{MD}(f)} + R_{MD}(f) + j2\pi f M_{MD} \quad (18)$$

Diese steht in umgekehrter Relation zu der elektrischen Impedanz $\underline{Z}_{EMD}(f)$, die die mechanische Resonanz in der elektrischen Domäne repräsentiert, welche durch den quadrierten Wandlungsparameter $(Bl)^2$ skaliert wird. Der konzentrierte Parameter M_{MD} repräsentiert die bewegte Masse ohne Luftlast. Bei niedrigen Frequenzen werden auch die Nachgiebigkeit $C_{MD}(f)$ der mechanischen Aufhängung (die den Kehrwert der Steifigkeit $K_{MD}(f)$ bildet) und der mechanische Widerstand $R_{MD}(f)$ abhängig von der Viskoelastizität des Werkstoffs.

ANMERKUNG Um die reinen mechanischen Parameter und die konzentrierten Parameter des Wandlers mit Luftlast voneinander abzugrenzen, wird der Buchstabe „S“ in den Indizes durch den Buchstaben „D“ ersetzt.

20.4.1 Messverfahren

- Die elektrische Impedanz $\underline{Z}_E(f)$ des im Vakuum betriebenen DUT muss nach Abschnitt 18 gemessen werden.