

DIN EN 13477-2



ICS 19.100

Entwurf

Einsprüche bis 2019-11-06
Vorgesehen als Ersatz für
DIN EN 13477-2:2013-04

**Zerstörungsfreie Prüfung –
Schallemissionsprüfung –
Charakterisierung der Prüfausrüstung –
Teil 2: Überprüfung der Betriebskenngrößen;
Deutsche und Englische Fassung prEN 13477-2:2019**

Non-destructive testing –
Acoustic emission testing –
Equipment characterisation –
Part 2: Verification of operating characteristics;
German and English version prEN 13477-2:2019

Essais non destructifs –
Émission acoustique –
Caractérisation de l'équipement –
Partie 2: Vérifications des caractéristiques de fonctionnement;
Version allemande et anglaise prEN 13477-2:2019

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2019-09-06 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 nmp@din.de 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 den DIN-Normenausschuss Materialprüfung (NMP), 10772 Berlin, Saatwinkler Damm 42/43, 13627 Berlin.

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 149 Seiten

DIN-Normenausschuss Materialprüfung (NMP)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (prEN 13477-2:2019) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 138 „Zerstörungsfreie Prüfung“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom AFNOR (Frankreich) gehalten wird.

Das zuständige deutsche Gremium ist der Arbeitsausschuss NA 062-08-23 AA „Ultraschallprüfung“ im DIN-Normenausschuss Materialprüfung (NMP).

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung beigelegt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen Text.

Änderungen

Gegenüber DIN EN 13477-2:2013-04 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Verbesserungen in Abschnitt 3 „Begriffe“;
- b) Verbesserungen in Abschnitt 5 „Sensorüberprüfung“;
- c) Verbesserungen in Abschnitt 6 „Überprüfung des Vorverstärkers“;
- d) Verbesserungen in Abschnitt 7 „Überprüfung des Schallemissionssignalprozessors“.

Zerstörungsfreie Prüfung — Schallemissionsprüfung - Charakterisierung der Prüfausrüstung — Teil 2: Überprüfung der Betriebskenngrößen

Essais non destructifs — Émission acoustique - Caractérisation de l'équipement — Partie 2: Vérifications des caractéristiques de fonctionnement

Non-destructive testing — Acoustic emission testing - Equipment characterisation — Part 2: Verification of operating characteristics

ICS:

Deskriptoren

Dokument-Typ: Europäische Norm
Dokument-Untertyp:
Dokument-Stage: CEN-Umfrage
Dokument-Sprache: D

STD Version 2.9p

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	5
1 Anwendungsbereich	6
2 Normative Verweisungen	6
3 Begriffe	6
4 Erforderliche Prüfausrüstung	10
4.1 Aufzählung der erforderlichen Geräte	10
4.2 Wellenformen für das Prüfsignal	11
4.2.1 Kontinuierliche Sinuswelle	11
4.2.2 Dreieckig modulierte Sinuswelle	11
4.2.3 $\sin^2$ -förmig modulierte Sinuswelle	12
4.2.4 Rechteckig modulierte Sinuswelle	13
4.2.5 Impuls	14
4.2.6 Periodische Signale	14
4.3 Prüfkörper	15
4.4 Abschirmungsprüfplatte	15
5 Sensorüberprüfung	15
5.1 Allgemeines	15
5.2 Vorgesehener Zweck	15
5.3 Erste Überprüfung	15
5.4 Überprüfung der Empfindlichkeit	16
5.4.1 Allgemeines	16
5.4.2 Durchführung	16
5.5 Überprüfung der elektrischen Abschirmungsübersprechens	17
5.5.1 Allgemeines	17
5.5.2 Durchführung	20
5.6 Überprüfung des Vorverstärkers einer Kombination von Sensor und Vorverstärker	20
6 Überprüfung des Vorverstärkers	21
6.1 Allgemeines	21
6.2 Überprüfung der Gleichstromaufnahme	23
6.2.1 Allgemeines	23
6.2.2 Durchführung	24
6.3 Überprüfung der Kennwerte des Vorverstärkers	25
6.3.1 Allgemeines	25
6.3.2 Überprüfung der Verstärkung	25
6.3.3 Überprüfung der Bandbreite	27
6.3.4 Überprüfung des elektronischen Rauschens	29
6.3.5 Überprüfung des Dynamikbereichs	32
6.3.6 Überprüfung der Gleichtaktunterdrückung	34
6.3.7 Impulsprüfung	34
7 Überprüfung des Schallemissionssignalprozessors	35
7.1 Überblick	35
7.2 Überprüfung des Systemrauschens	37
7.2.1 Allgemeines	37
7.2.2 Durchführung	37
7.3 Überprüfung der Effektivwertmessung und Funktion eines gleitenden Schwellenwerts	38

7.3.1	Allgemeines	38
7.3.2	Durchführung	40
7.4	Überprüfung des festgesetzten Schwellenwerts.....	41
7.4.1	Allgemeines	41
7.4.2	Durchführung	43
7.5	Überprüfung der Bandbreite und der Steilheit des Filters.....	44
7.5.1	Allgemeines	44
7.5.2	Vom Hersteller erforderliche Daten für die Überprüfung der Bandbreite und der Steilheit	44
7.5.3	Durchführung	45
7.6	Überprüfung der Parameter für Burst-Signale	46
7.6.1	Allgemeines	46
7.6.2	Überprüfung der Maximalamplitude.....	46
7.6.3	Überprüfung der Dauer.....	49
7.6.4	Überprüfungsverfahren für die Anstiegszeit.....	51
7.6.5	Überprüfungsverfahren für die Anzahl der Nachschwingungen.....	54
7.6.6	Überprüfungsverfahren für die Energie	54
7.6.7	Überprüfung der Signalstärke	57
8	Überprüfung der Systemleistung	59
8.1	Überprüfung externer parametrischer Eingänge.....	59
8.1.1	Allgemeines	59
8.1.2	Gleichungen für parametrische Überprüfungen	60
8.1.3	Verfahren zur Überprüfung eines parametrischen Eingangs.....	61
8.1.4	Konzept mehrfacher parametrischer Eingänge.....	63
8.2	Überprüfung des Impulsgebers	64
8.3	Überprüfung der Signalerfassungsrate des Systems.....	64
8.4	Überprüfung der Delta- t -(Δt -)Messung.....	64
8.5	Überprüfung der Software	65
9	Prüfbericht.....	66
Anhang A (informativ) Berichtsformular für die Funktionsprüfung von Sensoren		67
Anhang B (informativ) Berichtsformular für die Funktionsprüfung der Vorverstärker		69
Anhang C (informativ) Bericht für die Überprüfung des Schallemissionssignalprozessors		71
Anhang D (informativ) Bericht für die Überprüfung externer parametrischer Eingänge		75
Literaturhinweise.....		77
 Bilder		
Bild 1 — Dreieckig modulierte Sinuswelle		11
Bild 2 — $\sin^2$ -förmig modulierte Sinuswelle.....		12
Bild 3 — Rechteckig modulierte Sinuswelle.....		13
Bild 4 — Impulssignal.....		14
Bild 5 — Folge von transienten Signalen (Impulsen) hinter dem Bandpass, gemessen in einem zeitlichen Abstand von 160 μ s.....		14
Bild 6 — Messaufbau zur Überprüfung der Abschirmung		18
Bild 7 — Antwort des Sensors auf eine Sinuswelle mit 20 VPP und 600 kHz an der Abschirmungsprüfplatte.....		18
Bild 8 — Einfluss der Feinanpassung der Frequenz an die Skalierung der Amplitude in einem FFT-Diagramm		19
Bild 9 — Prüfaufbau für die Messung der Gleichstromaufnahme des Vorverstärkers		23
Bild 10 — Messaufbau für die Überprüfung von Verstärkung und Bandbreite des zu überprüfenden Vorverstärkers.....		26

Bild 11 — Kennwerte eines Bandpassfilters mit einer Steilheit von 48 dB/Oktave eines Hochpasses und einer Tiefpasses	28
Bild 12 — Aufbau für die Überprüfung des Rauschens eines zu überprüfenden Vorverstärkers mit einem Nachverstärker und zwei Schallemissionssignalprozessoren	30
Bild 13 — Aufbau zur Rauschmessung eines zu überprüfenden Vorverstärkers mit einer Gleichstromversorgung und einem Speicheroszilloskop	31
Bild 14 — Aufbau für die Messung der höchsten nicht verzerrten Ausgangsspannung des Vorverstärkers <i>USP</i>	32
Bild 15 — Anwendung des Kriteriums des Signal-Oberschwingungs-Verhältnisses von 60 dB	33
Bild 16 — Prüfaufbau für die Überprüfung des Schallemissionssignalprozessors	35
Bild 17 — Beispiel für ein erstes aufgezeichnetes Prüfsignal für die Überprüfung des Schwellenwerts mit $THs'N = 70 \text{ dB}_{AE}$	42
Bild 18 — Einfluss eines Bandpassfilters auf die Wellenform eines rechteckig modulierten Prüfsignals	49
Bild 19 — Dreieckig moduliertes Signal für die Überprüfung der Anstiegszeit von 1 ms	53

Tabellen

Tabelle 1 — Verzögerung der ersten Schwellenüberschreitung in Abhängigkeit vom Verhältnis Amplitude/Schwelle für ein $\sin^2$ -förmig und ein dreieckig moduliertes Prüfsignal	13
Tabelle 2 — Vom Hersteller festgelegte Nennwerte und Zulässigkeitskriterien	21
Tabelle 3 — Ergebnisse der Überprüfung des Vorverstärkers	22
Tabelle 4 — Ergebnisse der prozentualen Abweichung der Überprüfung des Signalprozessors	36
Tabelle 5 — Bezeichnungen für Messergebnisse des Hintergrundrauschens	37
Tabelle 6 — Nennwerte $THFBDs'N$, $BGRMSs'N$, $BGRMSs'T$ aus Gleichung (20)	39
Tabelle 7 — Zwei Beispiele für die Ermittlung der Zulässigkeitsgrenzen und der prozentualen Abweichungen für A	47
Tabelle 8 — Zulässigkeitskriterien für Nennwerte von 30 dB_{AE} bis 100 dB_{AE} und von 28 dB_{AE} bis 98 dB_{AE} für $A.MA = 1 \text{ dB}$, $A.MB = 6 \text{ } \mu\text{V}$ für einen Bereich von $\pm 100 \text{ mV}$	47
Tabelle 9 — Ergebnisse der prozentualen Abweichung der Überprüfung der parametrischen Eingänge	60
Tabelle 10 — Auszug von acht Nennwerten des PA-Eingangs mit oberen und unteren Grenzen	61

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN 13477-2:2019) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 138 „Zerstörungsfreie Prüfung“ erarbeitet, dessen Sekretariat von AFNOR gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur CEN-Umfrage vorgelegt.

Dieses Dokument wird EN 13477-2:2010 ersetzen.

Gegenüber der vorhergehenden Ausgabe wurden die folgenden technischen Änderungen vorgenommen:

- Überarbeitung von Abschnitt 3 „Begriffe“;
- Überarbeitung von Abschnitt 5 „Sensorüberprüfung“;
- Überarbeitung von Abschnitt 6 „Überprüfung des Vorverstärkers“;
- Überarbeitung von Abschnitt 7 „Überprüfung des Schallemissionssignalprozessors“.

1 Anwendungsbereich

In diesem Dokument werden Verfahren für die routinemäßige Überprüfung der Funktion der Prüfausrüstung zur Schallemissionsprüfung mit einem Sensorkanal oder mehreren Sensorkanälen festgelegt. Es wurde für die Bediener der Prüfausrüstung für Prüfungen im Laboratorium konzipiert. Nach dem Kauf der Prüfausrüstung wird eine Überprüfung der Messeigenschaften empfohlen, um Referenzwerte für spätere Überprüfungen zu erhalten. Darüber hinaus wird eine Überprüfung empfohlen nach einer Reparatur, nach Modifikationen, nach einem Einsatz unter außergewöhnlichen Bedingungen oder wenn eine fehlerhafte Funktion befürchtet wird. Die in diesem Dokument beschriebenen Verfahren schließen andere qualifizierte Verfahren, z. B. eine Überprüfung im Frequenzbereich, nicht aus. Diese Verfahren sind allgemeingültig, wenn nicht der Hersteller alternative gleichwertige Verfahren festlegt. Sicherheitsaspekte für Prüfausrüstungen, die in möglicherweise explosionsgefährdeten Bereichen eingesetzt werden, werden im vorliegenden Dokument nicht betrachtet.

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).

EN 1330-1:2014, *Zerstörungsfreie Prüfung — Terminologie — Teil 1: Allgemeine Begriffe*

EN 1330-2:1998, *Zerstörungsfreie Prüfung — Terminologie — Teil 2: Begriffe, die von allen zerstörungsfreien Prüfverfahren benutzt werden*

EN 1330-9:2017, *Zerstörungsfreie Prüfung — Terminologie — Teil 9: Begriffe der Schallemissionsprüfung*

EN 13477-1:2001, *Zerstörungsfreie Prüfung — Schallemissionsprüfung — Charakterisierung der Prüfausrüstung — Teil 1: Gerätebeschreibung*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach EN 1330-1:2014, EN 1330-2:1998 sowie EN 1330-9:2017 und die folgenden Begriffe.

ISO und IEC stellen terminologische Datenbanken für die Verwendung in der Normung unter den folgenden Adressen bereit:

— ISO Online Browsing Platform: verfügbar unter <http://www.iso.org/obp>

— IEC Electropedia: verfügbar unter <http://www.electropedia.org/>

3.1 Schallemissionssignalprozessor
ASP
(en: acoustic emission signal processor)
Teil eines Schallemissionskanals, der das Ausgangssignal des Vorverstärkers in digitale Signalparameter umwandelt

Anmerkung 1 zum Begriff: Einem Schallemissionssignalprozessor dürfen weitere Funktionen zugeordnet sein, z. B. die Stromversorgung des Vorverstärkers, die Steuerung des Prüfpulses, die Aufzeichnung transienter Signale und andere Funktionen.

3.2

Arbiträrgenerator

AFG

(en: arbitrary function generator)

elektronisches Gerät zum Erzeugen programmierbarer Prüfsignale (Burst), verschiedener Wellenformen und von Gleichspannung

3.3

hochgenaues Digitalvoltmeter

HADVM

(en: high accuracy digital voltmeter)

elektronisches Gerät für die genaue Messung von Gleichspannungen, die zur Stimulierung eines externen parametrischen Eingangs verwendet werden

3.4

Strommessadapter

CMA1

(en: current measurement adapter)

elektrisches Gerät für die praktische Messung der Gleichstromaufnahme eines Vorverstärkers, der von einem Schallemissionssignalprozessor versorgt wird

3.5

50-Ω-Abschluss

Koaxialstecker (Bauart BNC) mit einem internen 50-Ω-Widerstand zwischen Innenleiter und Schirm

3.6

hochohmig

HiZ

(en: high impedance)

Gegenteil von „abgeschlossen mit 50 Ω“

3.7

Gleichstromsperre

BNC-Stift- zu BNC-Buchsensteckerteil mit einem nicht gepolten Kondensator mit 10 µF/50 V zwischen den Innenleitern beider Steckverbinder, der ein Wechselstromsignal durchleitet, aber Gleichstrom sperrt, um die Einspeisung von Gleichstrom in einen Arbiträrgenerator oder einen 50-Ω-Abschluss zu verhindern

3.8

Bezeichnungen für Variable, Konstante, Sollwerte und Zulässigkeitskriterien

Anmerkung 1 zum Begriff: Im vorliegenden Dokument werden etwa 30 grundlegende Kurzbezeichnungen verwendet, die jeweils ein zu überprüfendes Element (oder eine zu überprüfende Gruppe von Elementen) bezeichnen. Bezeichnungserweiterungen für Sollwerte und Zulässigkeitskriterien erhöhen die Anzahl der verwendeten Bezeichnungen auf etwa 200. In diesem Abschnitt werden drei Strukturelemente definiert, durch die diese große Anzahl von Bezeichnungen selbsterklärend und einfach zu handhaben bleibt, das sind die Kurzbezeichnung, eine sollwert-bezogene Erweiterung und eine auf das Zulässigkeitskriterium bezogene Erweiterung.

3.8.1

Unterscheidung zwischen Bezeichnungen und Text

Unterscheidung, bei der normaler Text wiedergegeben wird in Standardschrift (z. B. Cambria 11 Pt.), Bezeichnungen in kursiver Fettschrift in der Schriftart Times New Roman 11 Pt., wenn eine **VARIABLE** angegeben wird, und in nicht kursiver Schrift der gleichen Schriftart, wenn eine **KONSTANTE** angegeben wird, wobei für eine verbesserte Lesbarkeit hochgestellte und tiefgestellte Zeichen in den meisten Fällen vermieden werden

3.8.2

zu überprüfendes Element

IUV

(en: item under verification)

allgemeiner Begriff und Platzhalter für eine der nachfolgend definierten Kurzbezeichnungen

3.8.3

Kurzbezeichnung

Abkürzung für ein zu überprüfendes Element, die aus einem oder zwei Zeichen (mitunter mehr Zeichen, um weitere Informationen anzugeben) und wahlfrei der Nummer eines Prüfmusters oder dem Zeichen „s“ als Platzhalter für die Nummer eines Prüfmusters besteht

BEISPIEL 1 **Rs** bezeichnet die gemessene Anstiegszeit eines Prüfmusters **s**, siehe 7.6.4.

BEISPIEL 2 **EAI** bezeichnet den gemessenen Energiewert des ersten Prüfmusters für die Überprüfung der von der Amplitude abhängigen Energie, siehe 7.6.6.1.

BEISPIEL 3 **BGRMS** bezeichnet eine Messung des Effektivwerts des Hintergrundrauschens, siehe 7.3.1, Gleichung (19).

3.8.4

vom Sollwert abhängige Erweiterungen einer Kurzbezeichnung

3.8.4.1

'N

Erweiterung am Ende einer Kurzbezeichnung, die einen Nennwert eines zu überprüfenden Elements bezeichnet, der vom Hersteller oder vom Verfahren festgelegt oder mit einer Gleichung berechnet wird

BEISPIEL 1 **A1'N** definiert den ersten Nenn-Sollwert der Maximalamplitude einer Reihe in der Einheit dB_{AE} , der zu stimulieren, zu messen und mit klar definierten Zulässigkeitskriterien zu vergleichen ist, siehe 7.6.2.

BEISPIEL 2 **EAs'N** definiert eine Reihe von Nennwerten der Signalenergie in Einheiten der Energie, die mit einer vorgegebenen Gleichung berechnet werden und die zu stimulieren, zu messen und mit klar definierten Zulässigkeitskriterien zu vergleichen sind, siehe 7.6.6.1.

3.8.4.2

'S

Erweiterung am Ende einer Kurzbezeichnung, die einen Sollwert des Schallemissionssystems bezeichnet

BEISPIEL 1 **ATH1'S** definiert den Schwellensollwert für die Überprüfung von **A1'N** in der vom Schallemissionssystem geforderten Einheit, die in der Regel die gleiche ist wie von **A1'N**.

BEISPIEL 2 **BPN'S** definiert einen schmalbandigen Bandpass, der im Schallemissionssignalprozessor für Messungen nach den Festlegungen des Verfahrens zu verwenden ist.

3.8.4.3

'T

Erweiterung am Ende einer Kurzbezeichnung, die einen Sollwert des Prüfsignals bezeichnet

BEISPIEL 1 **AAH1'T** definiert den Sollwert für die Amplitude des Prüfsignals bei einem hochohmigen Ausgang des Arbiträrgenerators AFG für ein Signal, das zur Stimulierung von **A1'N** zu verwenden ist, in der vom Arbiträrgenerator geforderten Einheit, in der Regel in mV_{pp} .

BEISPIEL 2 **S2-Sw'T** definiert den Sollwert für den Arbiträrgenerator für die Erzeugung eines $\sin^2$ -förmig modulierten Sinuswellen-Bursts.

3.8.5

auf Zulässigkeitskriterien bezogene Erweiterung einer Kurzbezeichnung

3.8.5.1

.MA

Erweiterung am Ende einer Kurzbezeichnung, die die zulässige Abweichung eines gemessenen Werts vom Nennwert definiert und die vom Hersteller in dB festgelegt wird, siehe 7.6.2.1

3.8.5.2

.MP

Erweiterung am Ende einer Kurzbezeichnung, die die zulässige Abweichung eines gemessenen Werts vom Nennwert definiert und die vom Hersteller in % festgelegt wird, siehe 8.1.2

3.8.5.3

.MB

Erweiterung am Ende einer Kurzbezeichnung, die eine weitere zulässige Abweichungskomponente definiert, die vom Hersteller als ein Prozentwert eines absoluten Messbereichs oder direkt in μV festgelegt wird und in der Regel **.MA** oder **.MP** erweitert, siehe 7.6.2.1 oder 8.1.2

3.8.5.4

.U

Erweiterung am Ende einer Kurzbezeichnung, die eine obere Zulässigkeitsgrenze definiert und entweder mit einer Gleichung von **.MA**, **.MP** und/oder **.MB** abgeleitet oder direkt vom Hersteller festgelegt wird

BEISPIEL 1 **As.U** definiert die obere Zulässigkeitsgrenze für die Abweichung einer Amplitudenmessung in dB_{AE} von einem Amplitudennennwert, z. B. **A1'N**, siehe 7.6.2.

BEISPIEL 2 **BGIWP.U** definiert eine obere Grenze für das intern erzeugte Systemrauschen in μVP , die vom Hersteller festgelegt wird, siehe 7.2.

3.8.5.5

.L

Erweiterung am Ende einer Kurzbezeichnung, die eine untere Zulässigkeitsgrenze definiert und entweder mit einer Gleichung von **.MA**, **.MP** und/oder **.MB** abgeleitet oder direkt vom Hersteller festgelegt wird, siehe 6.3.5

3.8.5.6

.DP

prozentuale Abweichung, d. h. absolutes Verhältnis einer Messabweichung zu einer zulässigen Abweichung, angegeben in %

Anmerkung 1 zum Begriff: Das Zulässigkeitskriterium ist erfüllt, wenn **.DP** des zu überprüfenden Elements kleiner oder gleich 100 % ist. Indem nur diese Größe betrachtet wird, ist ganz einfach ersichtlich, ob ein Zulässigkeitskriterium erfüllt wird und wie nah die Zulässigkeitsgrenze liegt.

3.8.5.7

.D0

standardmäßiger Nennwert oder typischer Wert einer Messung, der vom Hersteller angegeben werden kann oder anderenfalls von diesem Dokument, und mit dem die zulässige Abweichung berechnet werden kann, wenn kein genauer Nennwert ('N) definiert ist

BEISPIEL 1 Abschirmungsübersprechen **SC** (en: Shield crosstalk): Es wird angenommen, dass **SC.U** mit -80 dB festgelegt ist. Die untere physikalische Messgrenze für **SC** ist etwa -150 dB . In diesem Dokument wird standardmäßig **SC.D0** = -150 verwendet. Ein Messwert von -150 dB ergibt dann **SC.DP** = 0 %, ein Messwert von -80 dB **SC.DP** = 100 %, siehe 5.3.3.

BEISPIEL 2 Systemrauschen **BGIWP.U**: Es wird angenommen, dass **BGIWP.U** = 20 μ VP und **BGIWP.D0** = 0 sind und ein realistischer typischer Messwert von **BGIWP** bei 10 μ VP beginnt. Dann ergibt **BGIWP** = 10 μ VP einen Wert von **BGIWP.DP** = 50 % und 20 μ VP ergibt 100 %. Wenn der Hersteller **BGIWP.D0** = 10 definiert, dann führt **BGIWP** = 10 μ VP zu **BGIWP.DP** = 0 % und 20 μ VP zu 100 %: Dieser Parameter erlaubt dem Hersteller die Einstellung eines Bereichs des .DP-Ergebnisses nach den physikalischen Bedingungen, siehe 7.2.

4 Erforderliche Prüfausrüstung

4.1 Aufzählung der erforderlichen Geräte

Mindestens die folgende Prüfausrüstung ist erforderlich:

- a) Prüfkörper;
- b) Abschirmungsprüfplatte;
- c) Hsu-Nielsen-Quelle zur Überprüfung der Empfindlichkeit des Sensors;
- d) Multimeter zur Messung von Gleichspannung und Gleichstrom bei der Überprüfung des Vorverstärkers;
- e) Prüfungsgenerator wie ein Arbiträrgenerator (AFG) mit der Fähigkeit zur Abgabe von ladefähigen, beliebigen Signalen wie Sinuswellen, Rechteckwellen, Impulsen und Gleichstrom für die manuelle oder automatische Überprüfung externer parametrischer Eingänge; die Ausgangsbuchse muss von der Schutzterde getrennt sein, was bei üblichen Arbiträrgeneratoren der Fall ist; Schlüsselspezifikationen für die Messunsicherheit: Wechselstromamplitude: ± 1 % des Einstellwerts mit ± 1 mVPP bei 1 kHz, Frequenz: 0,01 % des Einstellwerts, Gleichspannungs-Offset: ± 1 % des Einstellwerts mit ± 2 mV;
- f) hochgenaues Digitalvoltmeter (HADVM) zur Messung des Gleichstrom-Prüfsignals vom Arbiträrgenerator mit einer ausreichenden Genauigkeit für die Überprüfung der externen parametrischen Eingänge; Schlüsselspezifikationen für die Messunsicherheit: Gleichspannung $\pm 0,0035$ % des Anzeigewerts ± 100 μ V;
- g) einstellbares Dämpfungsglied, in Dezibel gestuft, 50- Ω -Anpasswiderstand am Eingang und am Ausgang; $\pm 0,15$ dB;
- h) Gleichspannungsquelle für den Vorverstärker mit einer zum Entkoppeln und Begrenzen des Schallemissionssignals geeigneten Schaltung, sofern die Spannungszuführung über die Signalleitung erfolgt; kann durch einen überprüften Schallemissionssignalprozessor ersetzt werden, siehe auch k) und n);
- i) Effektivwert-Spannungsmessgerät mit bekannter oder einstellbarer Zeitkonstante oder mit Zeitfenster; kann durch einen überprüften Schallemissionssignalprozessor und entsprechende Software ersetzt werden; Schlüsselspezifikation: Wechselstrom-Messunsicherheit von 20 kHz bis 1 MHz: 0,2 dB;
- j) Zweikanal-Speicheroszilloskop zum Erfassen aller Störsignale (Artefakte) oder von Unschlüssigkeiten in den verschiedenen Messanordnungen;
- k) Strommessadapter (CMA1), wenn h) durch einen überprüften Schallemissionssignalprozessor ersetzt wird; Messunsicherheit des Widerstands: 1 %;
- l) Gleichstromsperre;
- m) 50- Ω -BNC-Abschluss;
- n) überprüfter Schallemissionssignalprozessor (zwei Einheiten), kann durch h) und i) ersetzt werden.

Alle elektrischen/elektronischen Prüfelemente müssen einem Qualitätsmanagementsystem unterliegen.

4.2 Wellenformen für das Prüfsignal

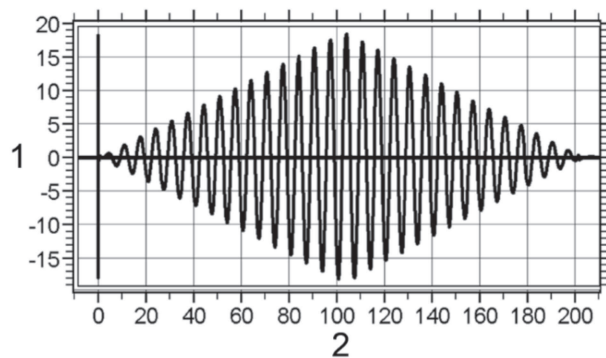
4.2.1 Kontinuierliche Sinuswelle

Diese Art des Prüfsignals muss verwendet werden, um die Frequenzantwort und die Verstärkung des Vorverstärkers und die Genauigkeit des Dauersignalpegels des Schallemissionssignalprozessors zu überprüfen.

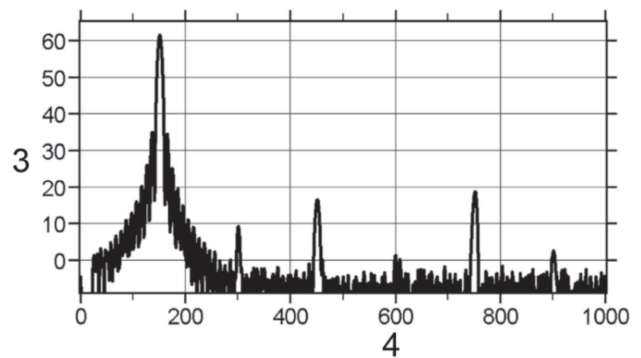
4.2.2 Dreieckig modulierte Sinuswelle

Diese Art der Welle simuliert ein Schallemissions-Burstsignal, siehe Bild 1. Es ist durch die folgenden Parameter definiert:

- a) A Amplitude;
- b) R Anstiegszeit;
- c) D Dauer;
- d) f Trägerfrequenz.



a) Zeitbereich



b) Frequenzbereich (FFT)

Legende

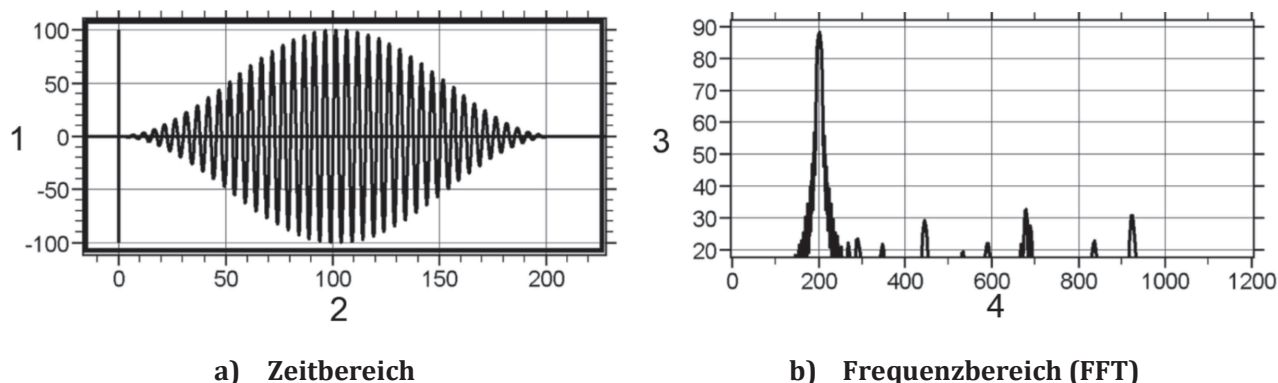
- 1 Amplitude in mV
- 2 Zeit in μs
- 3 Amplitude in dB
- 4 Frequenz in kHz

Bild 1 — Dreieckig modulierte Sinuswelle

Die gemessene Anstiegszeit des Prüfsignals darf kürzer sein als die sichtbare Anstiegszeit, weil die Messung der Anstiegszeit erst zum Zeitpunkt der ersten Schwellenüberschreitung beginnt. Tabelle 1 zeigt die theoretische Abhängigkeit dieser Verzögerung der Schwellenüberschreitung an der Differenz zwischen Maximalamplitude und Schwellensollwert in einem Schallemissionskanal. In der Praxis darf der genaue Wert der Verzögerung der Schwellenüberschreitung mit dem verwendeten Bandpassfilter weiter modifiziert werden. Wenn das Eingangssignal eine kontinuierliche Sinuswelle ist, bezieht sich die Amplitudenskalisierung der FFT in dB auf $1 \mu\text{V}_{\text{peak}}$ (0 dB_{AE}).

4.2.3 $\sin^2$ -förmig modulierte Sinuswelle

Alternativ zu einer dreieckig modulierten Sinuswelle kann ein $\sin^2$ -förmig modulierte Signal (siehe Bild 2) verwendet werden. Wegen seines stetigen Verlaufs am Anfang, beim Maximum und am Ende ergibt sich ein besonders reines Spektrum und der Einfluss durch Über- und Nachschwingungen des Filters wird verringert. Dieses Signal kann verwendet werden, um die Frequenzantwort des Bandpasses eines Vorverstärkers oder eines Schallemissionssignalprozessors durch Messung der Maximalamplitude des Bursts zu ermitteln.



Legende

- 1 Amplitude in mV
- 2 Zeit in μs
- 3 Amplitude in dB
- 4 Frequenz in kHz

Bild 2 — $\sin^2$ -förmig modulierte Sinuswelle

Das in Bild 2 dargestellte Signal entspricht der folgenden Gleichung:

$$U[N] = UP \times \sin(N \times 2 \times \pi / SpSW) \times \sin^2(N \times \pi / (SpSW \times SWpB)) \quad (1)$$

$$N = 0 \text{ bis } (SpSW \times SWpB), \text{ in ganzzahligen Schritten} \quad (2)$$

Dabei ist/sind

N die Nummer des jeweiligen Abtastwerts in zeitlicher Reihenfolge;

$SpSW$ die Abtastwerte je Sinuswelle (48 in Bild 2);

$SWpB$ die Sinuswellen je Burst (41 in Bild 2);

$U[N]$ die Spannung des Abtastwerts N ;

UP die Maximalamplitude (100 mV in Bild 2) des simulierten Bursts.

Die resultierende Trägerfrequenz FC ist eine Funktion des Abtastintervalls TS :

$$FC = 1 / (TS \times SpSW) \quad (3)$$

oder das Zeitintervall TS für eine bestimmte Trägerfrequenz ist:

$$TS = 1 / (FC \times SpSW) \quad (4)$$

BEISPIEL In Bild 2 ergibt das Zeitintervall: $TS = 1 / (200 \text{ kHz} \times 48) = 104,167 \text{ ns}$.

ANMERKUNG Die Dauer D (in μs) des Bursts ist $\text{SWpB} \times \text{FC}$ (in MHz), z. B. 205 μs bei $\text{SWpB} = 41$ und $\text{FC} = 0,2$ MHz.

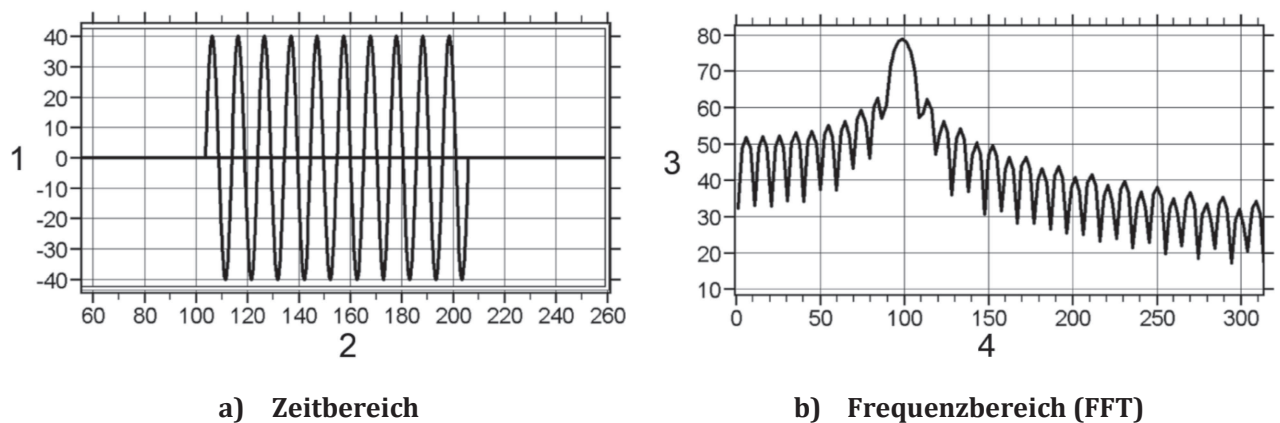
Ähnlich wie bei der dreieckig modulierten Sinuswelle ist auch hier die von einem Schallemissionssignalprozessor gemessene Anstiegszeit kürzer als die sichtbare Anstiegszeit des Prüfsignals, weil die Messung der Anstiegszeit zum Zeitpunkt der ersten Schwellenüberschreitung beginnt. Die sogenannte „Verzögerung der ersten Schwellenüberschreitung“ hängt von der Differenz zwischen Maximalamplitude und Nachschwelle in dB ab. Theoretische Werte für die beiden modulierten Prüfsignale sind in Tabelle 1 angegeben. In der Praxis darf der genaue Wert der Verzögerung der ersten Schwellenüberschreitung mit dem verwendeten Bandpassfilter weiter modifiziert werden.

Tabelle 1 — Verzögerung der ersten Schwellenüberschreitung in Abhängigkeit vom Verhältnis Amplitude/Schwelle für ein $\sin^2$ -förmig und ein dreieckig moduliertes Prüfsignal

Schwelle	Verzögerung der ersten Schwellenüberschreitung für ein $\sin^2$ -förmig moduliertes Prüfsignal in % der Anstiegszeit des linearen Signals	Verzögerung der ersten Schwellenüberschreitung für ein dreieckig moduliertes Prüfsignal in % der Anstiegszeit des linearen Signals
A – 20 dB	19,7	11,0
A – 25 dB	15,0	6,0
A – 30 dB	12,3	3,5
A – 35 dB	8,3	3,0
A – 40 dB	7,6	1,0

4.2.4 Rechteckig modulierte Sinuswelle

Diese Art des Signals wird mit den Größen A, D und f beschrieben (siehe 4.2.2 und Bild 3).



Legende

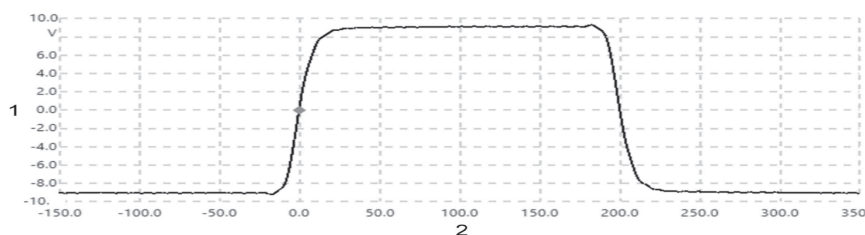
- 1 Amplitude in mV
- 2 Zeit in μs
- 3 Amplitude in dB
- 4 Frequenz in kHz

Bild 3 — Rechteckig modulierte Sinuswelle

4.2.5 Impuls

Dieses Prüfsignal muss zur Überprüfung der Messung von Δt verwendet werden. Es wird durch die Größen A (Amplitude) und D (Impulsdauer) definiert. Bild 4 zeigt einen Impuls mit einer Amplitude von $18 V_{PP}$ und einer Impulsdauer von 200 ns am Ausgang eines Arbiträrgenerators. Der Sollwert der Amplitude war $9 V_{PP}$. Bei einem nicht abgeschlossenen Ausgang beträgt die Amplitude das Doppelte des Sollwerts.

Mit diesem in einen piezoelektrischen Sender eingespeisten Impuls können auch reproduzierbare Schallemissionsereignisse in einem Prüfkörper stimuliert werden (siehe 4.3).



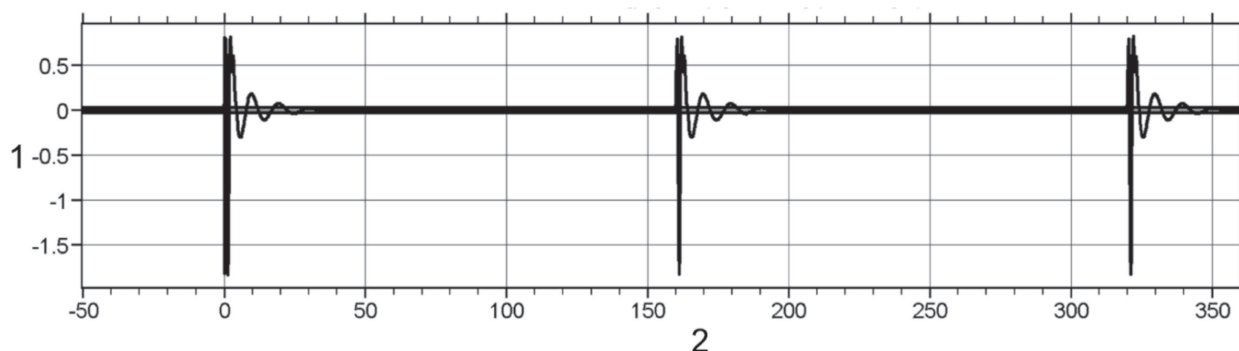
Legende

- 1 Amplitude in V
- 2 Zeit in ns

Bild 4 — Impulssignal

4.2.6 Periodische Signale

Periodische Signale werden zur Überprüfung der Signalverarbeitungsrate verwendet. Sie stellen eine Aufeinanderfolge der in 4.2.5 beschriebenen Impulse dar. Sie werden definiert durch A (Amplitude), D (Impulsdauer) und f (Wiederholfrequenz), im Allgemeinen 1 Hz bis 10 kHz. Bild 5 zeigt ein Beispiel für $1/f = 160 \mu s$, wobei die Impulse hinter dem Bandpassfilter eines Schallemissionssignalprozessors aufgenommen wurden. Die höchste sinnvolle Wiederholfrequenz wird durch den Nachschwingeffekt des Bandpassfilters begrenzt, wenn ein Impuls mehrere Schwellenüberschreitungen verursacht.



Legende

- 1 Amplitude in mV
- 2 Zeit in µs

Bild 5 — Folge von transienten Signalen (Impulsen) hinter dem Bandpass, gemessen in einem zeitlichen Abstand von $160 \mu s$

4.3 Prüfkörper

Der Prüfkörper kann unterschiedliche Formen haben, er kann z. B. ein Metallblock oder eine Metallplatte oder ein Acrylstab sein. Einmal festgelegt, müssen Maße, Konstruktionsmaterial, Position der Quelle (Hsu-Nielsen -Quelle oder piezoelektrischer Sender), Montageposition des Sensors und Einsatzbereich so gelenkt werden, dass eine gute Vergleichspräzision der Ergebnisse sichergestellt ist.

Die Kontaktfläche für den Sensor muss eben und glatt sein. Der Prüfkörper muss gegenüber der Unterlage akustisch isoliert werden, um Störungen durch externe Geräuschquellen zu vermeiden.

4.4 Abschirmungsprüfplatte

Die Abschirmungsprüfplatte ist eine kleine, ebene Metallplatte, die ausreichend groß ist, um die empfindliche Fläche des Sensors abzudecken. Die Platte muss einer Sinusschwingung ausgesetzt werden, deshalb muss sie elektrisch gegen Erde isoliert werden. Die Sensorseite muss mit einer dünnen nichtleitenden Schicht abgedeckt werden. Das Maß der Platte und die Dicke der nichtleitenden Schicht müssen kontrolliert werden. Die Prüfplatte muss mit einer Kennzeichnung versehen werden, die im Prüfbericht beschrieben wird. Der Messaufbau kann Bild 6 entnommen werden.

5 Sensorüberprüfung

5.1 Allgemeines

Das folgende Verfahren ermöglicht den Vergleich einiger Kennwerte von Sensoren des gleichen Typs. Die Beeinträchtigung eines Sensors kann z. B. von einem mechanischen Schock, der Einwirkung hoher Temperaturen, stark ionisierender Strahlung, einer korrosiven Umgebung, dem Eindringen von Wasser oder von einem defekten Steckverbinder oder Kabel herrühren.

5.2 Vorgesehener Zweck

Die spezifischen Ziele des Prüfverfahrens für Sensoren sind:

- a) Warnung davor, dass sich die Empfindlichkeit verschlechtert hat oder die interne Abschirmung beschädigt wurde;
- b) Feststellung, wann ein Sensor nicht mehr zur Verwendung geeignet ist;
- c) Überprüfung von Sensoren, von denen bekannt ist, dass sie schädigenden Einflüssen ausgesetzt waren;
- d) Zusammenstellung von angepassten Sensorsätzen, um ein gleichförmiges Verhalten zu erreichen;
- e) schnelle und zuverlässige Überprüfung von Sensoren und Unterstützung bei der Fehlersuche, wenn ein Kanal einen Fehler zeigt.

5.3 Erste Überprüfung

Prüfkörper, Sensoren und Koppelmittel müssen die Umgebungstemperatur angenommen haben.

Zunächst ist eine erste Überprüfung des zu überprüfenden Sensors vorzunehmen, um alle offensichtlichen mechanischen Beschädigungen festzustellen, wobei besonderes Augenmerk auf Steckverbinder und Kabel zu legen ist, sofern vorhanden.

5.4 Überprüfung der Empfindlichkeit

5.4.1 Allgemeines

Zur Überprüfung der Sensorempfindlichkeit eines zu überprüfenden Sensors muss ein überprüfter Schallemissionssignalprozessor verwendet werden. Falls der zu überprüfende Sensor nicht mit einem Vorverstärker ausgestattet ist, müssen ein überprüfter Referenzvorverstärker und ein Sensorkabel des festgelegten Typs und der festgelegten Länge verwendet werden. Die Frequenzfilter im Vorverstärker und im Schallemissionssignalprozessor müssen die Bandbreite des zu überprüfenden Sensors gut abdecken. Für eine gute Vergleichspräzision müssen die Positionen der Hsu-Nielsen-Quelle und des zu überprüfenden Sensors auf dem Prüfkörper markiert werden und es muss sichergestellt werden, dass die Quelle die Messkette nicht sättigen darf.

5.4.2 Durchführung

- a) Der zu überprüfende Sensor wird unter Anwendung eines geeigneten Koppelmittels an der markierten Position auf dem Prüfkörper angebracht. Das Koppelmittel ist sparsam zu verwenden, z. B. sind für die meisten zu überprüfenden Sensortypen etwa 0,1 cm³ Silikonfett ausreichend.
- b) Der zu überprüfende Sensor wird fest auf den Prüfkörper gedrückt, um eine gute Ankopplung sicherzustellen. Es ist darauf zu achten, dass sich der zu überprüfende Sensor und die Befestigung während der Prüfung nicht verschieben können. Die Anwendung einer Halterung mit konstanter Anpresskraft, z. B. eine Federdruckaufnahme für den Sensor, wird empfohlen.
- c) Mit einer Hsu-Nielsen-Quelle werden fünf Bleistiftminenbrüche an der vorgegebenen Stelle auf dem Prüfkörper erzeugt. Für jeden Bruch wird die Maximalamplitude des Burst-Signals in dB_{AE} als **SR1** bis **SR5** aufgezeichnet (Anhang A). Die Differenz zwischen der höchsten und der dritthöchsten Antwort darf 3 dB nicht überschreiten. Der Mittelwert der drei höchsten Antworten muss als SRR, der repräsentativen Antwort eines zu überprüfenden Sensors, aufgezeichnet werden. Die Differenz zwischen der höchsten repräsentativen Antwort aller zu überprüfenden Sensoren einer Reihe und der repräsentativen Antwort jedes zu überprüfenden Sensors darf 3 dB nicht überschreiten. Wird das nicht eingehalten, muss c) wiederholt werden.
- d) Als Alternative zu einer Hsu-Nielsen-Quelle kann ein piezoelektrischer Sender, der mit einem elektrischen Impuls gespeist wird, verwendet werden, um besser reproduzierbare Schallemissionsereignisse in einem Prüfkörper zu stimulieren. Dafür werden die geltende Antwort jedes zu überprüfenden Sensors und die Differenz zur höchsten Antwort aller zu überprüfenden Sensoren wie unter c) beschrieben bestimmt.

Die Prüftemperatur, der Durchmesser und die Härte der Bleistiftmine oder Impulsamplitude und -dauer sowie der Messumformer-Sensor, die Nennverstärkung und die Bandbreite des externen Vorverstärkers (falls vorhanden) und des Schallemissionssignalprozessors müssen aufgezeichnet werden, wie in Anhang A vorgegeben.

ANMERKUNG Dieses Verfahren ergibt nicht die Sensorempfindlichkeit in Ausgabeeinheiten von Volt je Eingabeeinheit der Bewegung. Neueste Arbeiten [1], [2] zeigen, dass die Empfindlichkeit eines zu überprüfenden Sensors in Ausgabeeinheiten von Volt je Eingabeeinheit der Bewegung durch die Verwendung eines Messumformer-Sensors ermittelt werden kann, der durch einen elektrischen Impuls angesteuert wird, um das Eingangsbewegungsspektrum für den direkt gekoppelten zu überprüfenden Sensor zu stimulieren. Das Spektrum der Sendeempfindlichkeit des Messumformers kann durch Laser-Vibrometrie in Ausgabeeinheiten der Bewegung je Eingabeeinheit von Volt überprüft werden. Sowohl die Sende- als auch die Empfangsempfindlichkeit beziehen sich auf die freie Bewegung der Oberfläche, wie von ASTM E1106-12 (2017), 5.5, für die erste Kalibrierung des Schallemissionssensors gefordert.

5.5 Überprüfung der elektrischen Abschirmungsübersprechens

5.5.1 Allgemeines

Wenn ein innerer Fehler der elektrischen Abschirmung vorliegt oder diese mangelhaft ausgeführt ist, kann das Sensorsignal durch elektrisches Rauschen an der Oberfläche, an die der Sensor gekoppelt ist, gestört werden. Dieses Rauschen ist nur schwer von akustischem Rauschen zu unterscheiden, da beide Rauscharten verschwinden, wenn der Sensor von der Oberfläche getrennt wird. Mit diesem Überprüfungsschritt wird das Abschirmungsübersprechen (**SC**) als Zulässigkeitskriterium für eine gute Abschirmung des Sensors gemessen.

SC ist ein wichtiges Kriterium für die Auswahl des richtigen Sensormodells, das z. B. für den Nachweis und die Ortung von Teilentladungen verwendet wird. Bei Teilentladungsanwendungen darf die Oberfläche des Prüfgegenstands kurze Hochspannungsimpulse führen, wenn eine Teilentladung auftritt. Ein **SC** von –80 dB darf durch das Übersprechen des elektrischen Teilentladungsimpulses ein höheres Ausgangssignal verursachen, als es die durch die Teilentladung erzeugte Wellenbewegung verursacht. Durch das Übersprechen der Teilentladung erzeugte Bursts sind nutzlos und mitunter irreführend für die Berechnung der Ortung und die Analyse der Intensität. Für den Nachweis von Teilentladungen verwendete Schellemissionssensoren müssen ein geringstmögliches Abschirmungsübersprechen aufweisen. Das Überprüfungsverfahren für **SC** trennt Abschirmungsübersprechen wirksam von anderen Störungen.

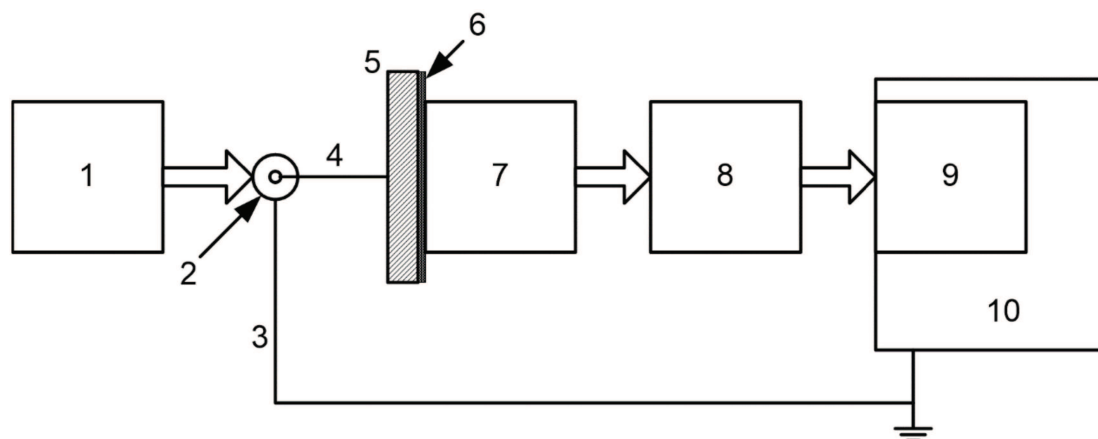
Der Prüfaufbau wird in Bild 6 dargestellt: Ein sinusförmiges Prüfsignal von einem Arbiträrgenerator (AFG), wie er für andere Überprüfungen verwendet wird, wird mit einer metallischen Abschirmungsprüfplatte verbunden. Der zu überprüfende Sensor wird mit der Prüfplatte über die zwischenliegende nichtleitende Schicht gekoppelt. Dadurch wird der zu überprüfende Sensor dem durch das Prüfsignal erzeugten elektrischen Feld ausgesetzt, das ein Übersprechen am Ausgang des zu überprüfenden Sensors verursacht. Das Ausgangssignal des zu überprüfenden Sensors wird mit einem Schallemissionssystem gemessen und sein Zeit- und Frequenzbereich werden kontinuierlich dargestellt, siehe Bild 7. Für eine bestmögliche Trennung von Übersprechen und anderen Störungen wird ein Bandpass für 400 kHz bis 800 kHz in der Messkette empfohlen.

Das Abschirmungsübersprechen in dB wird mit der folgenden Gleichung berechnet:

$$SC = 20 \times \lg(SCUS/UREF) - 20 \times \lg(SCUTP/UREF) \quad (5)$$

Dabei ist

- | | |
|--------------|---|
| SC | das Abschirmungsübersprechen in dB; |
| SCUS | die Ausgangsspannung des zu überprüfenden Sensors in den gleichen Einheiten wie UREF ; |
| UREF | die Referenzspannung bei 0 dB des Ergebnisses der schnellen Fourier-Transformation (FFT), in der Regel 1 µV _P (entspricht 0 dB _{AE}); |
| SCUTP | die Spannung an der Oberfläche der Prüfplatte, an der der zu überprüfende Sensor befestigt wird, in den gleichen Einheiten wie UREF . SCUTP muss am Ausgang des Arbiträrgenerators 10 V _P betragen (entspricht 140 dB _{AE}), was dem hochohmigen Zustand nur mit Belastung durch die Kapazität der Abschirmungsprüfplatte gegen Erde entspricht. |

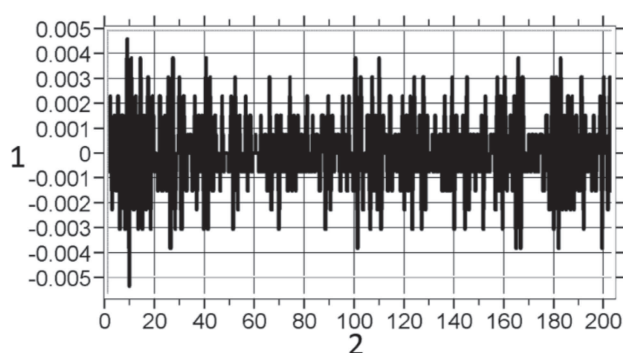


Legende

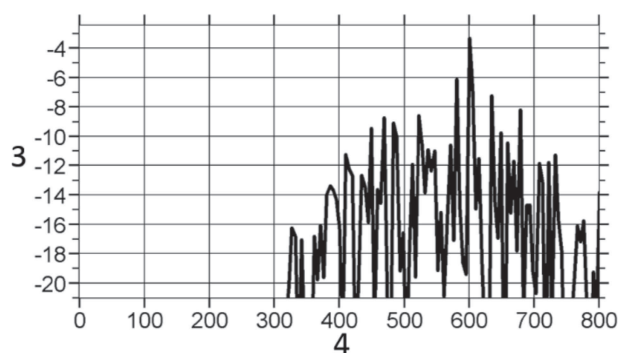
- 1 Arbiträrgenerator (AFG)
- 2 Ende des Koaxialkabels
- 3 mit Erde verbundenem Kabelschirm
- 4 innerer Leiter zur Prüfplatte, Amplitude in mV
- 5 Abschirmungsprüfplatte
- 6 nichtleitende Schicht
- 7 zu überprüfender Schallemissionssensor (SUV)
- 8 Vorverstärker
- 9 Schallemissionssignalprozessor
- 10 Schallemissionssystem

Bild 6 — Messaufbau zur Überprüfung der Abschirmung

Bild 7 a) zeigt den Zeitbereich (in mV in Abhängigkeit von μs) und Bild 7 b) zeigt die schnelle Fourier-Transformation (in dB_{AE} in Abhängigkeit von kHz) des Rauschgangssignals eines zu überprüfenden Sensors. Die schmale Spitze bei 600 kHz in der FFT ergibt sich durch das Abschirmungsübersprechen. Die anderen Spitzen weisen auf andere Rauschquellen hin. Das **SC**-Ergebnis für diesen Sensor wird aus dem Maximum bei 600 kHz ($-3 \text{ dB}_{\text{AE}}$) vermindert um die Prüfplattenspannung von $140 \text{ dB}_{\text{AE}}$ ermittelt, was ein **SC** von -143 dB ergibt, das das niedrigste messbare **SC** für diesen Aufbau ist.



a) Zeitbereich

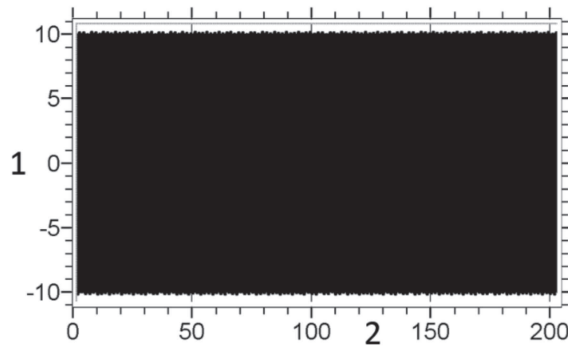


b) Frequenzbereich (FFT)

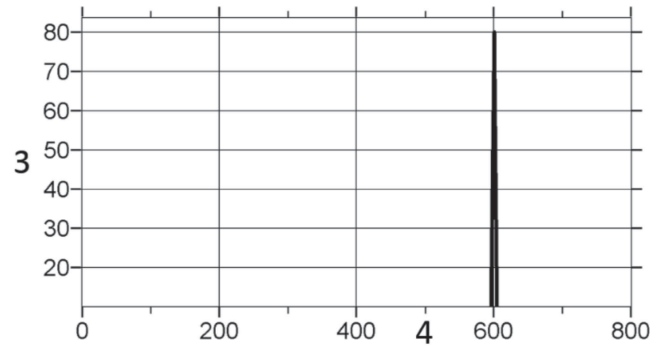
Legende

- 1 Amplitude in mV
- 2 Zeit in μs
- 3 Amplitude in dB_{AE}
- 4 Frequenz in kHz

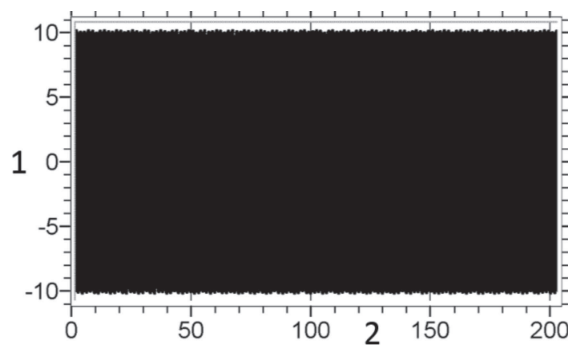
Bild 7 — Antwort des Sensors auf eine Sinuswelle mit 20 VPP und 600 kHz an der Abschirmungsprüfplatte



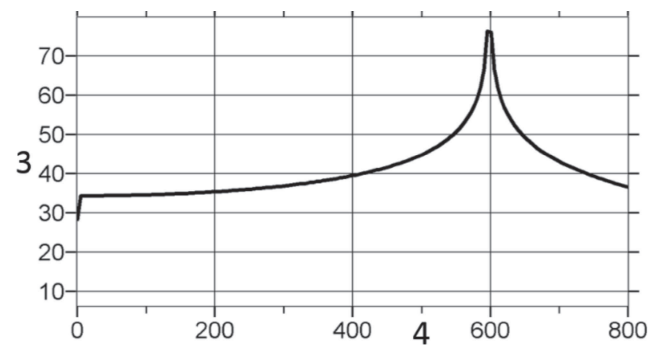
a) 80-dB_{AE}-Signal im Zeitbereich



b) 80-dB_{AE}-Signal, angepasst an das
FFT-Bin-Intervall



c) 80-dB_{AE}-Signal im Zeitbereich



d) 80-dB_{AE}-Signal zwischen zwei
FFT-Bin-Intervallen

Legende

1 Amplitude in mV
2 Zeit in μ s

3 Amplitude in dB_{AE}
4 Frequenz in kHz

Bild 8 — Einfluss der Feinanpassung der Frequenz an die Skalierung der Amplitude in einem FFT-Diagramm

Bild 7 wurde erfasst mit einem Vorverstärker mit einer Verstärkung von 34 dB, einem Eingangsbereich des Signalprozessors von 2,5 V_{pp} (d. h. 12 dB Nachverstärkung) und einem 16-Bit-Digitalwandler mit 10 MHz und FFT-Puffer für 2 048 Abtastungen, was eine FFT-Auflösung (Bin-Intervall) von 4,882 8 kHz (10 MHz/2 048) ergibt. Die Prüfplattenspannung **SCUTP** war eine kontinuierliche Sinuswelle mit 10 V_p und 600,58 kHz. Diese Frequenz wurde einer Feinanpassung unterzogen, um die beste Anpassung an die FFT-Auflösung zu erreichen.

Bild 8 veranschaulicht die Bedeutung einer genauen Frequenzanpassung für die Prüfung. Für Bild 8 b) wurden die Maximalamplitude von 80 dB_{AE} und die geringe Bin-Breite durch die Feinanpassung der Prüffrequenz an 600,58 kHz erreicht. Für Bild 8 d) wurde die Prüffrequenz an die niedrigste FFT-Spitze bei 598,12 kHz und 76 dB_{AE} feinangepasst. Das Ausgangssignal des Arbiträrgenerators wurde auf 1 V_{pp} eingestellt und über eine Gleichstromsperre in den mit 50 Ω abgeschlossenen Signalprozessor eingespeist. Aufgrund der fehlenden Vorverstärkung von 34 dB wird in den Bildern 8 a) und 8 c) eine Amplitude von 20 mV_{pp} (1 V_{pp}/50) dargestellt.

5.5.2 Durchführung

- a) Der zu überprüfende Sensor wird in einer akustisch ruhigen Umgebung auf die nichtleitende Schicht der Abschirmungsprüfplatte aufgesetzt und, wenn der zu überprüfende Sensor den Vorverstärker enthält, direkt oder ansonsten über einen rauscharmen Vorverstärker mit dem Schallemissionssignalprozessor verbunden.
- b) Das Signal des Arbiträrgenerators wird an die Abschirmungsprüfplatte angelegt und der Kabelschirm wird mit Erde verbunden, wie in Bild 6 dargestellt.
- c) Der Arbiträrgenerator wird auf **C-Sw'T**, eine kontinuierliche Sinuswelle, eingestellt, die Frequenz **SC'F'T** auf 600,58 kHz, die Amplitude **SCAH'T** auf 10 V_{pp}, was aufgrund des hochohmigen Zustands des Ausgangs des Arbiträrgenerators 10 V_p ergibt. Der Schallemissionssignalprozessor wird auf **BWSC'S**, eine Bandbreite von 400 kHz bis 800 kHz, einen Eingangsbereich von 2,5 V_{pp} und eine kontinuierliche Erfassung und Anzeige eines Transienten-Aufzeichnungspuffers von 2 048 Aufzeichnungen bei einer Aufzeichnungsrate von 10 MHz im Zeit- und Frequenzbereich eingestellt. Es sollte eine Anzeige sichtbar sein, die Bild 7 entspricht.
- d) Aus der FFT-Anzeige wird die Maximalamplitude in dB_{AE} nahe der Frequenz von 600 kHz abgelesen und es werden 140 dB_{AE} abgezogen, um **SC**, eine negative Zahl, zu erhalten. In Bild 7 muss aus dem Diagramm –3 dB_{AE} abgelesen werden, es müssen 140 dB_{AE} abgezogen werden und es ergibt sich **SC** = –143 dB.
- e) Wenn die obere Eckfrequenz der Messkette kleiner als 800 kHz ist, z. B. bei einem integrierten Vorverstärker, muss die Prüffrequenz auf etwa 75 % der oberen Eckfrequenz eingestellt werden und genau an eine FFT-Erscheinung angepasst werden, wie in Bild 8 b) gezeigt, und der Hochpass des Schallemissionssignalprozessors muss auf etwa 50 % dieser Frequenz eingestellt werden.
- f) Für die einheitliche Behandlung der Überprüfungsergebnisse und der Zulässigkeitskriterien im gesamten Dokument wird die prozentuale Abweichung **SC.DP** mit Gleichung (6) bestimmt:

$$\mathbf{SC.DP} = \text{MAX}((\mathbf{SC} - \mathbf{SC.DO})/(\mathbf{SC.U} - \mathbf{SC.DO}), 0) \times 100 \% \quad (6)$$

Dabei ist

- SC.DP** die prozentuale Abweichung des Abschirmungsübersprechens; das Zulässigkeitskriterium ist **SC.DP** ≤ 100 %;
- SC** das gemessene Abschirmungsübersprechen nach 5.5.1.2 in dB als negative Zahl;
- SC.DO** das typische Abschirmungsübersprechen eines Sensormodells, das vom Hersteller festgelegt wird, mit einem Standardwert von –150;
- SC.U** die obere Zulässigkeitsgrenze, die vom Hersteller festgelegt wird, mit einem Standardwert von –80.

5.6 Überprüfung des Vorverstärkers einer Kombination von Sensor und Vorverstärker

Ein in einen Sensor integrierter Vorverstärker muss nach der Beschreibung in Abschnitt 6 überprüft werden, wobei der Sensor nicht vom Vorverstärker abgetrennt werden kann. Dementsprechend muss das Rauschen des Vorverstärkers **UNP** in einer akustisch ruhigen Umgebung gemessen werden, mit dem von der Struktur abgenommenen Sensor. Für die Stimulierung des Vorverstärkereingangs wird eine Flächenkopplung eines Messumformer-Sensors, der durch eine kontinuierliche Sinuswelle angesteuert wird, empfohlen. Der Prüfungsaufbau erfordert einen Vergleich des zu überprüfenden Sensors mit einer überprüften Einheit des gleichen Typs. Alle in Abschnitt 6 beschriebenen Elemente müssen soweit möglich auf den internen Vorverstärker des Sensors angewendet und nach Anhang B aufgezeichnet werden.

6 Überprüfung des Vorverstärkers

6.1 Allgemeines

Für die Überprüfung eines Vorverstärkermodells müssen die folgenden Nennwerte und Zulässigkeitskriterien aus den Datenblättern des Herstellers entnommen werden und die in Tabelle 2 aufgeführten Standardwerte ersetzen.

Tabelle 2 — Vom Hersteller festgelegte Nennwerte und Zulässigkeitskriterien

Bezeichnung	Abschnitt	Überprüfung	Standardwert	Einheit	Bedeutung
<i>IFS.U</i>	6.2	Gleichstromaufnahme des Vorverstärkers	68	mA	Stromstärke am Eingang über den vollen Skalenbereich, obere Grenze
<i>IFS'N</i>	6.2	Gleichstromaufnahme des Vorverstärkers	63	mA	Stromstärke am Eingang über den vollen Skalenbereich, Nennwert
<i>ISB.U</i>	6.2	Gleichstromaufnahme des Vorverstärkers	26,4	mA	Ruhestrom, obere Grenze
<i>ISB'N</i>	6.2	Gleichstromaufnahme des Vorverstärkers	24	mA	Ruhestrom, Nennwert
<i>G.MA</i>	6.3.2	Verstärkung des Vorverstärkers	0,3	dB	Zulässige Abweichung der Verstärkung
<i>G'N</i>	6.3.2	Verstärkung des Vorverstärkers	34	dB	Nennwert der Verstärkung
<i>FHP.MP</i>	6.3.3	Bandbreite des Vorverstärkers	8	%	Zulässige Frequenzabweichung des Hochpasses
<i>FHP'N</i>	6.3.3	Bandbreite des Vorverstärkers	Konfiguration des zu überprüfenden Vorverstärkers	kHz	Nennwert der Eckfrequenz des Hochpasses
<i>FLP.MP</i>	6.3.3	Bandbreite des Vorverstärkers	8	%	Zulässige Frequenzabweichung des Tiefpasses
<i>FLP'N</i>	6.3.3	Bandbreite des Vorverstärkers	Konfiguration des zu überprüfenden Vorverstärkers	kHz	Nennwert der Eckfrequenz des Tiefpasses
<i>RHP.MA</i>	6.3.3.2	Bandbreite des Vorverstärkers	6	dB/ Oktave	Zulässige Abweichung der Hochpass-Steilheit
<i>RHP'N</i>	6.3.3.2	Bandbreite des Vorverstärkers	Konfiguration des zu überprüfenden Vorverstärkers	dB/Oktave	Nennwert der Hochpass-Steilheit
<i>RLP.MA</i>	6.3.3.2	Bandbreite des Vorverstärkers	3	dB/Oktave	Zulässige Abweichung der Tiefpass-Steilheit
<i>RLP'N</i>	6.3.3.2	Bandbreite des Vorverstärkers	Konfiguration des zu überprüfenden Vorverstärkers	dB/Oktave	Nennwert der Tiefpass-Steilheit
<i>UNP.U</i>	6.3.4	Rauschen des Vorverstärkers	10	µV _P	Obere Grenze des Spitzenrauschens

Bezeichnung	Abschnitt	Überprüfung	Standardwert	Einheit	Bedeutung
UNP'N	6.3.4	Rauschen des Vorverstärkers	8	μV	Nennwert des Spitzenrauschens
UNR.U	6.3.4	Rauschen des Vorverstärkers	2,5	μV _{RMS}	Obere Grenze des effektiven Rauschens
UNR'N	6.3.4	Rauschen des Vorverstärkers	2	μV _{RMS}	Nennwert des effektiven Rauschens
DR.D0	6.3.5	Dynamikbereich des Vorverstärkers	60	dB	Standardwert des Dynamikbereichs
DRL	6.3.5	Dynamikbereich des Vorverstärkers	80	dB	Untere Grenze des Dynamikbereichs

ANMERKUNG In der Regel führen Oberschwingungen im Signal des Arbiträrgenerators dazu, dass **RLP.MA** größer ist als **RHP.MA**.

Die Werte der aufgeführten Bezeichnungen müssen in das Berichtsformular für die Funktionsprüfung der Vorverstärker eingetragen werden, siehe Anhang B, Seite 1 von 2.

Für jedes zu überprüfende Element wird eine prozentuale Abweichung (**.DP**) als leicht zu interpretierendes Zulässigkeitskriterium berechnet: Die Überprüfung ist bestanden, wenn der entsprechende Wert für **.DP** ≤ 100 % ist. Darüber hinaus gibt der Wert von **.DP** an, wie nah die Messung dem Zulässigkeitskriterium kommt.

In der folgenden Tabelle 3 sind alle **.DP**-Bezeichnungen aufgeführt, die in diesem Abschnitt behandelt werden, der Zweck der Überprüfung und die zugehörigen Gleichungsnummern, die ebenfalls alle im nachfolgenden Text dargestellt sind.

Tabelle 3 — Ergebnisse der Überprüfung des Vorverstärkers

Bezeichnung	Abschnitt	Überprüfung	Gleichung
IFS.DP	6.2.2	Gleichstromaufnahme des Vorverstärkers	(7)
ISB.DP	6.2.2	Gleichstromaufnahme des Vorverstärkers	(8)
G.DP	6.3.2	Verstärkung des Vorverstärkers	(10)
FHP.DP	6.3.3	Bandbreite des Vorverstärkers	(28)
FLP.DP	6.3.3	Bandbreite des Vorverstärkers	(29)
RHP.DP	6.3.3.2	Bandbreite des Vorverstärkers	(30)
RLP.DP	6.3.3.2	Bandbreite des Vorverstärkers	(31)
DR.DP	6.3.5.2	Dynamikbereich des Vorverstärkers	(14)

Die gemessenen Überprüfungsdaten und die berechneten **.DP**-Ergebnisse müssen nach Anhang B, Seite 2 von 2, aufgezeichnet werden.

Zunächst muss eine erste Überprüfung des zu überprüfenden Vorverstärkers (**PUV**) vorgenommen werden, um alle offensichtlichen mechanischen Beschädigungen festzustellen, wobei besonderes Augenmerk auf Steckverbinder und Kabel zu legen ist. Das folgende Verfahren gilt für Spannungsvorverstärker.

6.2 Überprüfung der Gleichstromaufnahme

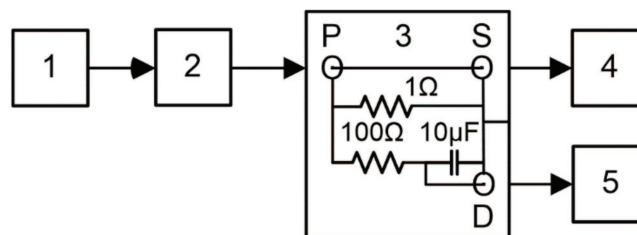
6.2.1 Allgemeines

Die Messung der Stromaufnahme vor anderen Überprüfungsschritten ist eine empfohlene Praxis, weil eine erhöhte Stromaufnahme oft ein Zeichen für ein mögliches Problem ist. Dieser Überprüfungsschritt dient der Bewertung der Ruhestromaufnahme und der Stromaufnahme bei Vollausschlag eines zu überprüfenden Vorverstärkers *ISB* bzw. *IFS*.

Das Folgende gilt für einen zu überprüfenden Vorverstärker mit Gleichstromversorgung über die Signalleitung von einem Schallemissionssignalprozessor. Bild 9 zeigt den Messaufbau. Die Verwendung eines Strommessadapters (CMA1) ist empfehlenswert. Dabei handelt es sich um eine kleine Metallbox mit drei BNC-Buchsen mit der Bezeichnung „P“ für den Anschluss des zu überprüfenden Vorverstärkers, „S“ für den Anschluss des Signalprozessors und „D“ für den Anschluss des Digitalvoltmeters (DVM) und intern mit einem 1-Ohm-Vorwiderstand zwischen der Abschirmung von P und der Abschirmung von S und Erde, einem Widerstand von 100 Ohm zwischen der Abschirmung von P und dem Innenleiter von D und einem 10-µF-Kondensator zwischen dem Innenleiter von D und Erde. Zweck von CMA1 ist die Verbindung von P mit S mit Einfügung eines 1-Ohm-Stromerfassungswiderstands zur Gleichstrommessung mit einem Digitalvoltmeter. 1 mV an der Buchse D entspricht 1 mA Gleichstrom. Der Ausgang des Arbiträrgenerators muss (wie üblich) die Trennung von der Schutz Erde bereitstellen. Der Arbiträrgenerator darf nur mit einem BNC-Kabel mit dem zu überprüfenden Vorverstärker und mit einem Netzkabel mit einer Netzsteckdose verbunden werden. Die Ausgangsspannung des zu überprüfenden Vorverstärkers wird mit dem Schallemissionssignalprozessor gemessen und mit einer geeigneten Software angezeigt.

Wenn der zu überprüfende Vorverstärker für eine externe Gleichstromversorgung ausgelegt ist und kein CMA1 verfügbar ist, wird zwischen einer geeigneten Gleichstromversorgung und dem zu überprüfenden Vorverstärker ein Strommessgerät eingefügt. Es ist darauf zu achten, dass der Ausgang des zu überprüfenden Vorverstärkers für Wechselstrom auf die gleiche Weise abgeschlossen wird wie in der Anwendung, für die er vorgesehen ist. Die Ausgangsspannung wird mit einem hochohmigen Oszilloskop oder einem Transienten-Rekorder und einer geeigneten Software gemessen.

Für diesen Aufbau, der geringe Anforderungen an Genauigkeit und Rauschen stellt, speist der Arbiträrgenerator den zu überprüfenden Vorverstärker direkt, ohne dass ein Dämpfungsglied benötigt wird.



Legende

- 1 Arbiträrgenerator (AFG)
- 2 zu überprüfender Vorverstärker (PUV)
- 3 Strommessadapter CMA1
- 4 Schallemissionssignalprozessor im Schallemissionssystem
- ⊙ BNC-Koaxialsteckverbinder
- P CMA1-Kennung „P“ am Steckverbinder zum zu überprüfenden Vorverstärker
- S CMA1-Kennung „S“ am Steckverbinder zum Signalprozessor
- D CMA1-Kennung „D“ am Steckverbinder zum Digitalmillivoltmeter (DVM)

Bild 9 — Prüfaufbau für die Messung der Gleichstromaufnahme des Vorverstärkers

6.2.2 Durchführung

- a) Der Messaufbau nach Bild 9 ist zu errichten.
- b) Der Arbiträrgenerator wird auf eine kontinuierliche Sinuswelle innerhalb der Bandbreite des zu überprüfenden Vorverstärkers eingestellt, z. B. 200 kHz, die Amplitude wird auf den vollen Skalenbereich des Eingangs des zu überprüfenden Vorverstärkers eingestellt (Einstellwert = 100 mV_{pp}). Da die Eingangsimpedanz hoch ist, liefert der Arbiträrgenerator die doppelte Amplitude, d. h. 100 mV_p (= Vollausschlag).
- c) Mit der 0-mV-Amplitude vom Arbiträrgenerator (Einstellwert = 0 mV_{pp}) wird der Ruhestrom **ISB** in mA gemessen und aufgezeichnet, indem am Digitalvoltmeter an CMA1, Buchse „D“ (Legende 5), mV (Gleichspannung) abgelesen werden. 1 mV entspricht 1 mA.
- d) Mit dem Vollausschlag am Eingang vom Arbiträrgenerator (Einstellwert = 100 mV_{pp}) wird der Strom über den vollen Skalenbereich **IFS** in mA gemessen und aufgezeichnet, wie für **ISB** beschrieben.
- e) Für die einheitliche Behandlung der Überprüfungsergebnisse im gesamten Dokument wird die prozentuale Abweichung **IFS.DP** nach Gleichung (7) berechnet und aufgezeichnet:

$$IFS.DP = \text{MAX}((IFS - IFS'N)/(IFS.U - IFS'N), 0) \times 100 \% \quad (7)$$

Dabei ist

IFS der gemessene Wert in mA;

IFS.U die obere Zulässigkeitsgrenze von **IFS** in mA, die vom Hersteller festgelegt wird;

IFS'N der Nennwert für **IFS** in mA, der vom Hersteller festgelegt wird.

- f) Für die einheitliche Behandlung der Überprüfungsergebnisse im gesamten Dokument wird die prozentuale Abweichung **ISB.DP** nach Gleichung (8) berechnet und aufgezeichnet, siehe Anhang B, Seite 2 von 2:

$$ISB.DP = \text{MAX}((ISB - ISB'N)/(ISB.U - ISB'N), 0) \times 100 \% \quad (8)$$

Dabei ist

ISB der gemessene Wert;

ISB.U die obere Zulässigkeitsgrenze von **ISB**, die vom Hersteller festgelegt wird;

ISB'N der Nennwert für **ISB**, der vom Hersteller festgelegt wird.

- g) **IFS.DP** und **ISB.DP** dürfen das Zulässigkeitskriterium von 100 % nicht überschreiten.

6.3 Überprüfung der Kennwerte des Vorverstärkers

6.3.1 Allgemeines

Für die folgenden Messungen muss der zu überprüfende Vorverstärker mit der vorgeschriebenen Spannung versorgt werden. Eine gute Durchführung der Messung erfordert:

- korrekt angepasste Impedanzen in der gesamten Messkette;
- eine Vermeidung von Erdschleifen;
- eine Vermeidung von elektromagnetischen Störungen.

6.3.2 Überprüfung der Verstärkung

6.3.2.1 Allgemeines

Der Verstärkungsfaktor ist das Verhältnis der Ausgangsspannung (U_{OUT}) zur Eingangsspannung (U_{IN}) eines Verstärkers bei der geometrischen Mittenfrequenz f_M (siehe Gleichung (11)). Das Spannungsverhältnis wird mit Gleichung (9) in dB umgerechnet.

$$G = 20 \times \lg(U_{OUT}/U_{IN}) \quad (9)$$

Dabei ist

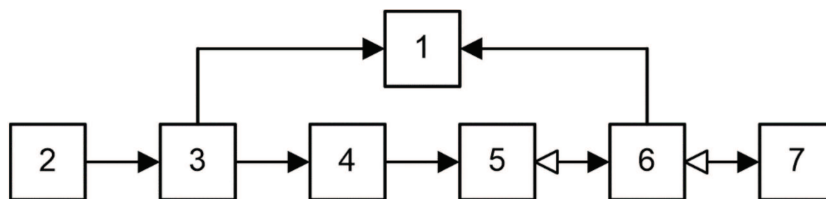
G die Verstärkung des zu überprüfenden Verstärkers in dB;

U_{OUT} die Ausgangsspannung des zu überprüfenden Verstärkers in mV_p bei einem ordnungsgemäßen Abschluss;

U_{IN} die Eingangsspannung des zu überprüfenden Verstärkers in mV_p.

Die Überprüfung der Eigenschaften des zu überprüfenden Vorverstärkers wie Verstärkung, Bandbreite und Dynamikbereich darf mit einer kontinuierlichen Sinuswelle, die z. B. von einem Arbiträrgenerator (AFG) erzeugt wird, oder mit einem sin²-förmig modulierten Sinuswellen-Burst (Bild 2) erfolgen.

Bild 10 zeigt den empfohlenen Messaufbau. Zur Verringerung des Einflusses von Rauschen auf den Ausgang des Arbiträrgenerators muss ein Dämpfungsglied (Legende 4) verwendet werden und zur Gleichstromversorgung des zu überprüfenden Vorverstärkers (Legende 5) muss ein Schallemissionssignalprozessor verwendet werden.



Legende

- 1 Zweikanal-Speicheroszilloskop
- 2 Arbiträrgenerator (AFG)
- 3 koaxiales T-Stück
- 4 Dämpfungsglied, 50 Ω einstellbar
- 5 zu überprüfender Vorverstärker (PUV)
- 6 koaxiales T-Stück
- 7 Schallemissionssignalprozessor
- Δ Gleichstromversorgungsfluss
- ▲ Signalfluss

Bild 10 — Messaufbau für die Überprüfung von Verstärkung und Bandbreite des zu überprüfenden Vorverstärkers

6.3.2.2 Durchführung

- a) Der Messaufbau nach Bild 10 ist zu errichten.
- b) Der Amplitudensollwert des Arbiträrgenerators wird auf $G_A'T$, 5 V_{pp}, eingestellt unter der Annahme einer Nennverstärkung des Vorverstärkers $G'N$ von 34 dB.
- c) Der Nennwert der Dämpfung (Legende 4) wird auf den Nennwert der Verstärkung des zu überprüfenden Vorverstärkers $G'N$, +6 dB eingestellt. Das verursacht eine Eingangsspannung des hochohmigen zu überprüfenden Vorverstärkers von $U_{IN} = 100$ mV_{pp}, siehe Gleichung (9), und einen Nennwert der Ausgangsspannung von $U_{OUT} = 5$ V_{pp}. Beide Kanäle des Oszilloskops (Legende 1) müssen die gleiche Amplitude von 5 V_{pp} anzeigen.
- d) Unter der Annahme, dass die Spannung bei FM und 200 kHz gleich ist, wird der Frequenzsollwert des Arbiträrgenerators auf 200 kHz eingestellt.
- e) U_{OUT} wird in V_{pp} gemessen und die Verstärkung wird mit Gleichung (9) mit $U_{IN} = 100$ mV_{pp} ermittelt.
- f) Die prozentuale Abweichung $G.DP$ wird mit Gleichung (10) ermittelt. $G.DP$ darf 100 % nicht überschreiten. G und $G.DP$ werden nach Anhang B, Seite 2 von 2, aufgezeichnet.

$$G.DP = \text{ABS}((G - G'N)/G.MA) \times 100 \% \quad (10)$$

Es muss zunächst überprüft werden, ob die Signale an beiden Kanälen des Oszilloskops, die den Dämpfungseingang und den Ausgang des zu überprüfenden Vorverstärkers messen, rauschfrei und unverzerrt sind und die gleiche Amplitude haben, ob die Ergebnisse des Schallemissionssignalprozessors an die Oszilloskopmessungen am Ausgang des zu überprüfenden Vorverstärkers angepasst sind und ob Verstärkungssollwerte in der Software ordnungsgemäß berücksichtigt werden. Nach erfolgreichem Abschluss dieser ersten Überprüfung ist die weitere Verwendung des Oszilloskops nicht vorgeschrieben.

Die Bedienung des Arbiträrgenerators sowie das Ablesen und Aufzeichnen der Messungen kann manuell oder softwaregesteuert erfolgen.

6.3.3 Überprüfung der Bandbreite

6.3.3.1 Allgemeines

Bei der Überprüfung des Bandpasses eines Vorverstärkers muss der Bediener die in Tabelle 2 aufgeführten Werte von **FHP.MP** bis **RLP'N** aus Datenblättern oder anderen Materialien des Herstellers sammeln.

Ergebnisse dieses Überprüfungsschrittes sind:

- a) **FHP, FLP...** die gemessenen Eckfrequenzen in kHz und die prozentualen Abweichungen **FHP.DP, FLP.DP**;
- b) **RHP, RLP...** die gemessenen Rampen in dB/Oktave und die prozentualen Abweichungen **RHP.DP, RLP.DP**.

Sonderfälle sind:

- a) –3 dB nicht gefunden,
- b) im Durchlassbereich erfasste Welligkeit von > 1 dB (Maximum-Minimum), ohne Berücksichtigung der Anstiege zu den Eckfrequenzen;
- c) Bild 10 zeigt den empfohlenen Messaufbau, wobei Legende 1 (Oszilloskop) weggelassen werden kann. Es muss die gleiche Ausgangsamplitude des zu überprüfenden Vorverstärkers verwendet werden, wie für die Überprüfung der Verstärkung in 6.3.2 festgelegt. Diese Ausgangsspannung bezieht sich auf die Dämpfung von 0 dB in Bild 11.
- d) Die geometrische Mittenfrequenz wird nach Gleichung (11) festgelegt:

$$FM = (FHP'S \times FLP'S)^{0,5} \quad (11)$$

Dabei ist

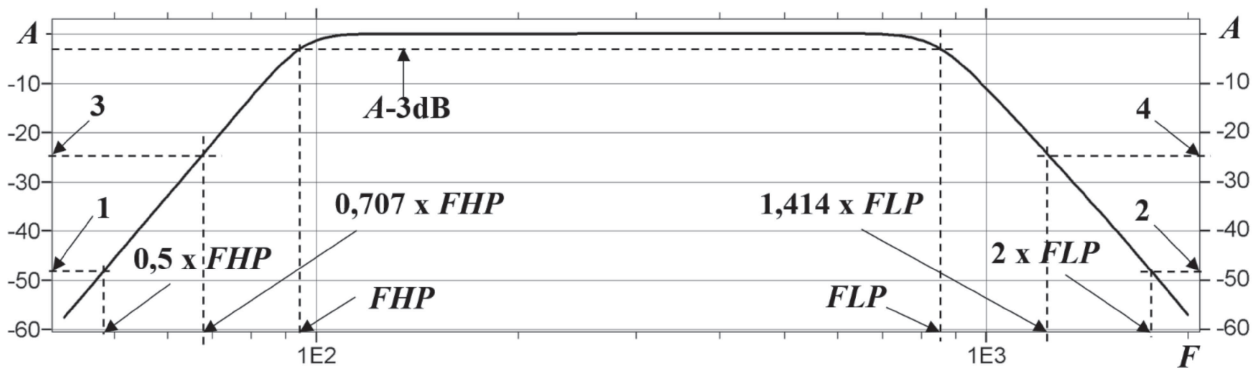
FM der geometrische Mittelwert von **FHP** und **FLP**;

FHP'S der Nennwert der Eckfrequenz des Hochpasses, das untere Frequenzende des Bandpasses;

FLP'S der Nennwert der Eckfrequenz des Tiefpasses, das obere Frequenzende des Bandpasses.

In der Regel ist die Dämpfung bei **FM** über einen bestimmten Bereich konstant, dann kann in einem beschriebenen Aufbau eine günstigere Frequenz, z. B. eine gerundete Zahl, bei der gleichen Dämpfung wie bei **FM** als Prüffrequenz gewählt werden.

Einige Modelle des zu überprüfenden Vorverstärkers enthalten enge Bandpassfilter mit steilen Rampen bis zu 48 dB/Oktave, wie in Bild 11 dargestellt. Andere Modelle nähern **FHP** und **FLP** mit Rampen von nur 6 dB/Oktave oder weniger an. Eine Oktave definiert das Frequenzverhältnis von 2 (aufwärts) oder 0,5 (abwärts).



Legende

- A** U_{OUT} in dB in Abhängigkeit von F minus U_{OUT} bei F_M
F Frequenz in kHz
A-3dB Kriterium zur Ermittlung von F_{HP} , F_{LP}
FHP ermittelte Eckfrequenz des Hochpasses
FLP ermittelte Eckfrequenz des Tiefpasses
1 $RHP = |A_1|$ bei $0,5 \times F_{HP}$, wenn $|A_1| > 30$, nicht dargestellt
2 $RLP = |A_2|$ bei $2,0 \times F_{LP}$, wenn $|A_2| > 30$, nicht dargestellt
3 $RHP = 2 \times |A_3|$ bei $0,707 \times F_{HP}$, wenn $|A_1| > 30$
4 $RLP = 2 \times |A_4|$ bei $1,414 \times F_{LP}$, wenn $|A_2| > 30$

Bild 11 — Kennwerte eines Bandpassfilters mit einer Steilheit von 48 dB/Oktave eines Hochpasses und einer Tiefpasses

6.3.3.2 Durchführung

Für das folgende Verfahren ist $U_{OU}(F)$ die Ausgangsspannung des zu überprüfenden Vorverstärkers in μV_p bei der Frequenz F , umgerechnet in dB_{AE} mit Gleichung (12):

$$U_{OU}(F) = 20 \times \lg(U_{OU}(F)) \quad (12)$$

- Der Aufbau nach Bild 10 ist zu errichten. Legende 1, Legende 3 und Legende 6 sind nicht erforderlich.
- Der Arbiträrgenerator wird auf eine Sinuswelle eingestellt, der Amplitudensollwert auf 50 % des Ausgangsbereichs des zu überprüfenden Vorverstärkers, die Frequenz F auf F_M , siehe Gleichung (11).
- Wenn die richtige Software zur Verfügung steht, wird eine Dämpfungskurve nach Bild 11 ermittelt. Wenn nicht, wird die Ausgangsspannung des Vorverstärkers $U_{OU}(F_M)$ in dB bei der Mittenfrequenz F_M gemessen und aufgezeichnet, siehe Gleichung (11). Außerdem werden die Konstanten $U_{OU3} = U_{OU}(F_M) - 3$ und $U_{OU30} = U_{OU}(F_M) - 30$ aufgezeichnet.
- Die Eckfrequenz F_{HP} wird entweder am Schnittpunkt von **A-3dB** in der Dämpfungskurve ermittelt (siehe Bild 11, Legende **FHP**) oder durch manuelle Verschiebung der Prüfsignalfrequenz F unter F_M . Es ist zu ermitteln, wo $U_{OU}(F) = U_{OU3}$ ist. An diesem Punkt ist die Prüfsignalfrequenz F gleich F_{HP} .
- Die Eckfrequenz F_{LP} wird entweder aus der Dämpfungskurve (Legende **FLP**) oder durch manuelle Verschiebung der Prüfsignalfrequenz F über F_M ermittelt. Es ist zu ermitteln, wo $U_{OU}(F) = U_{OU3}$ ist. An diesem Punkt ist F gleich F_{LP} .
- Die Steilheit **RHP** wird entweder aus der Dämpfungskurve (Legende 1) oder durch Messung von $U_{OU}(F)$ bei $F = 0,5 \times F_{HP}$ ermittelt. Wenn $U_{OU}(F) > U_{OU30}$ ist, ist **RHP** in dB/Oktave gleich $U_{OU}(F) - U_{OU}(F_M)$, ansonsten wird $U_{OU}(F)$ bei $F = 0,707 \times F_{HP}$ gemessen. Dann ist **RHP** gleich $(U_{OU}(F_M) - U_{OU}(F)) \times 2$ (Legende 3).

- g) Die Steilheit **R_{LP}** wird entweder aus der Dämpfungskurve (Legende 2) oder durch Messung von **U_{OU}(F)** bei $F = 0,5 \times F_{LP}$ ermittelt. Wenn $U_{OU}(F) > U_{OU30}$ ist, ist **R_{LP}** in dB/Oktave gleich $U_{OU}(F_{M}) - U_{OU}(F)$, ansonsten wird **U_{OU}(F)** bei $F = 0,707 \times F_{LP}$ gemessen. Dann ist **R_{LP}** gleich $(U_{OU}(F_{M}) - U_{OU}(F)) \times 2$ (Legende 4). Legende 3 und Legende 4 müssen vermeiden, dass die hohe Dämpfung bei $0,5 \times F_{HP}$ und bei $2 \times F_{LP}$ einen schlechten Signal-Rausch-Verhältnis und unsichere Ergebnisse verursachen kann.
- h) Die prozentualen Abweichungen **F_{HP}** und **F_{LP}** werden mit den Gleichungen (28) und (29) und für **R_{HP}** und **R_{LP}** mit den Gleichungen (30) und (31) ermittelt, siehe 7.5.2. Wenn das entsprechende **.DP**-Ergebnis kleiner oder gleich 100 % ist, ist das jeweilige Zulässigkeitskriterium erfüllt.
- i) Die Überprüfungsergebnisse **F_{HP}**, **F_{LP}**, **R_{HP}**, **R_{LP}** und die entsprechenden **.DP**-Ergebnisse werden nach Anhang B aufgezeichnet.

Einige Modelle des zu überprüfenden Vorverstärkers haben Dämpfungskurven, die so flach sind, dass entweder **F_{HP}** und/oder **F_{LP}** außerhalb des Frequenzbereichs des Arbiträrgenerators oder des Schallemissionssignalprozessors liegen. Dann reicht es aus, die Frequenzen und Dämpfungen an zwei Endfrequenzpunkten **F_{LO}** und **F_{HI}** zu messen und aufzuzeichnen.

Bei allen Arten von zu überprüfenden Vorverstärkern muss für die Suche nach Maxima und Minima die Amplitude über den gesamten Frequenzbereich untersucht werden. Sind diese ermittelt, müssen die Frequenzpaare und Abweichungen vom **FM**-Pegel aufgezeichnet werden.

6.3.4 Überprüfung des elektronischen Rauschens

6.3.4.1 Allgemeines

Für die Vergleichspräzision der Rauschmessung müssen die folgenden Punkte festgelegt und im Prüfbericht aufgezeichnet werden:

- a) der Eingangsabschluss des zu überprüfenden Vorverstärkers, in der Regel ein 50-Ω-Abschlusswiderstand. Soll ein Sensor mit außergewöhnlich geringer Kapazität eingesetzt werden, muss ein entsprechender Sensorprüfling verwendet werden, unter Berücksichtigung der Tatsache, dass akustisches Rauschen aus der Umgebung die Rauschmessung beeinflusst, wenn keine gute Trennung erfolgt;
- b) der Bezugspunkt für die Skalierung des Rauschpegels, im Allgemeinen der Eingang des zu überprüfenden Vorverstärkers;
- c) die Nennbandbreite des zu überprüfenden Vorverstärkers (je größer die Bandbreite, desto höher das Rauschen);
- d) die Bandbreite, das Eingangsrauschen und die Auflösung der Rauschmesseinrichtung hinter dem zu überprüfenden Vorverstärker;
- e) das Zeitfenster (≥ 1 s) und die Abtastfrequenz zur Bestimmung des Spitzenwerts des Rauschens und, falls zutreffend, des Effektivwerts des Rauschens.

ANMERKUNG Der Effektivwert des Rauschens ist für kontinuierliche Schallemissionsanwendungen, z. B. die Leckerkennung, von Interesse. Für Burst-Schallemissionsanwendungen ist der Spitzenwert des Rauschens von großem Interesse, weil der niedrigste sinnvolle Schwellensollwert häufig vom Spitzenwert des elektronischen Rauschens des Vorverstärkers abhängt.

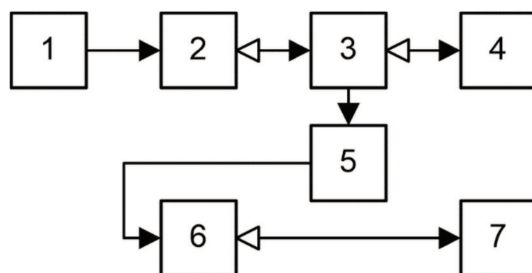
In Bild 12 und Bild 13 werden zwei alternative Anordnungen dargestellt.

6.3.4.2 Messaufbau mit zwei Schallemissionssignalprozessoren

Dieser Aufbau ist in Bild 12 dargestellt. Der Eingang des zu überprüfenden Vorverstärkers wird mit einem Widerstand von 50 Ω (Legende 1) abgeschlossen. Der Ausgang des zu überprüfenden Vorverstärkers erhält die Gleichstromversorgung vom Schallemissionssignalprozessor SP1 über ein koaxiales T-Stück (Legende 3), das auch das Schallemissionssignal über die Gleichstromsperr (Legende 5) an den Nachverstärker (Legende 6) liefert. Der Schallemissionssignalprozessor SP2 stellt die Gleichstromversorgung für den Nachverstärker bereit und misst den doppelt verstärkten Spitzenwert des Rauschens.

Nachfolgend werden drei Strategien zur Messung des maximalen Spitzenwert des Rauschens und des Effektivwerts mit SP2 (Legende 7 in Bild 12) zusammengefasst: Das verfügbare Modell des Schallemissionssystems unterstützt möglicherweise nicht jede dieser Optionen.

- Die Nachweisschwelle wird auf den höchsten Wert eingestellt, bei dem Hits auftreten, und es wird die höchste Maximalamplitude aller Abtastungen ausgewählt, die über eine Dauer von mindestens 1 s gemessen werden. Der Effektivwert des Rauschens kann aus Zustandsdatensätzen bei einem Schwellenwert bestimmt werden, der höher ist als der Spitzenwert des Rauschens.
- Ein kontinuierlicher Strom von Aufzeichnungen der Wellenform über eine Dauer von mindestens 1 s wird erfasst, gespeichert und ausgewertet und es wird der höchste absolute Abtastwert des Stroms ermittelt. Dieser wird für die Bezugnahme auf den Eingang des zu überprüfenden Vorverstärkers durch die betreffenden Verstärkungsfaktoren geteilt. Dieser Wert wird der resultierenden **UNP** zugeordnet. Auch der Effektivwert des Rauschens **UNR** kann aus den Abtastungen des Stroms bestimmt werden.
- Die kontinuierliche Erfassung von Zeitschlitzdaten über z. B. 2 048 Abtastungen je Zeitschlitz über mindestens 1 s erfolgt mit dem Dauerbetrieb. Dafür wird aus allen Zeitschlitzten die höchste Maximalamplitude ausgewählt und in die resultierende **U_{NP}** umgerechnet, wie unter b) beschrieben. Auch der Effektivwert des Rauschens **UNR** kann aus der kumulierten Energie über 1 s abgeleitet werden. Für diese Option ist kein Transienten-Rekorder erforderlich. Die Verfügbarkeit dieser Option hängt vom verwendeten Schallemissionssystem ab.
- Abhängig vom verwendeten Schallemissionssystem dürfen weitere Optionen zur Messung von Spitzenwert und Effektivwert des Rauschens unterstützt und herangezogen werden.



Legende

- | | | | |
|---|--------------------------------|---|------------------------------------|
| 1 | Eingangsabschluss von 50 Ohm | 5 | Gleichstromsperr |
| 2 | zu überprüfender Vorverstärker | 6 | Nachverstärker |
| 3 | koaxiales T-Stück | 7 | Schallemissionssignalprozessor SP2 |
| Δ | Gleichstromversorgungsfluss | | |
| ▲ | Signalfluss | | |

Bild 12 — Aufbau für die Überprüfung des Rauschens eines zu überprüfenden Vorverstärkers mit einem Nachverstärker und zwei Schallemissionssignalprozessoren

ANMERKUNG Die Gleichstromsperr (Legende 5) ist nur erforderlich, wenn der Eingang des Nachverstärkers Überspannungsschutzdioden gegen Erde verwendet.

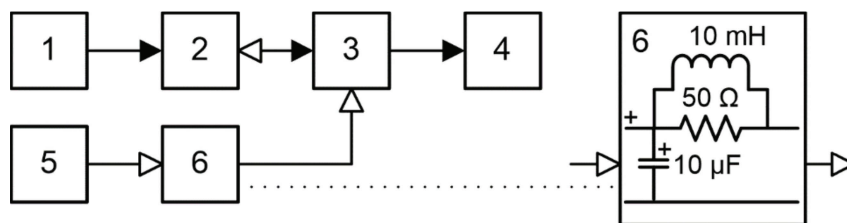
6.3.4.3 Messaufbau mit einem Speicheroszilloskop

Dieser Aufbau ist in Bild 13 dargestellt. Er kann angewendet werden, wenn keine Schallemissionssignalprozessoren oder keine geeignete Software zur Verfügung steht.

Der Eingang des zu überprüfenden Vorverstärkers wird mit einem Widerstand von $50\ \Omega$ (Legende 1) abgeschlossen. Der Ausgang des zu überprüfenden Vorverstärkers erhält die Gleichspannung, in der Regel 28 V, von einer Gleichspannungsversorgung (Legende 5) über das Entkoppelnetzwerk (Legende 6) und das koaxiale T-Stück (Legende 3), das das verstärkte Schallemissionssignal an das Speicheroszilloskop (Legende 4) liefert. Wenn möglich, sollte die Bandbreite des Oszilloskops auf etwa 10 MHz begrenzt werden. Der AC-Trigger des Oszilloskops muss auf das größtmögliche Zeitintervall der Triggerereignisse eingestellt werden. Es wird die höchste Spitzenspannung von mindestens drei Triggerereignissen in μVP aufgenommen.

Für die Messung des Effektivwerts des Rauschens muss das Oszilloskop (Legende 4) durch ein rauscharmes Effektivwert-Millivoltmeter einer geeigneten Bandbreite ersetzt werden.

Für die Bezugnahme auf den Eingang zu überprüfenden Vorverstärkers müssen der gemessene Spitzenwert des Rauschens sowie der Effektivwert des Rauschens auf μV skaliert und durch den Nennwert des Verstärkungsfaktors dividiert werden, z. B. 50 für eine Verstärkung des zu überprüfenden Vorverstärkers von 34 dB.



Legende

- | | | | |
|----------|--------------------------------------|------------------|---------------------------------|
| 1 | Eingangsabschluss von $50\ \Omega$ | 4 | rauscharmer Speicheroszilloskop |
| 2 | zu überprüfender Vorverstärker (PUV) | 5 | Gleichstromversorgung |
| 3 | koaxiales T-Stück | 6 | Entkoppelnetzwerk |
| Δ | Gleichstromversorgungsfluss | $\blacktriangle$ | Signalfluss |

Bild 13 — Aufbau zur Rauschmessung eines zu überprüfenden Vorverstärkers mit einer Gleichstromversorgung und einem Speicheroszilloskop

6.3.4.4 Durchführung

- Es wird ein Messaufbau aus Bild 12 oder Bild 13 ausgewählt und dieser aufgebaut. Wird der Aufbau in Bild 12 gewählt, wird eine der beschriebenen Messstrategien und Durchlassfrequenzen bestimmt. Es muss entschieden werden, ob die wahlfreie Messung des Effektivwerts des Rauschens durchgeführt werden muss.
- Der gemessene Spitzenwert des Rauschens **UNP** in μVP und wahlfrei der Effektivwert des Rauschens **UNR** in μVRMS werden bezogen auf den Eingang des zu überprüfenden Vorverstärkers erfasst, wie in 6.3.4.2 und 6.3.4.3 beschrieben, und unter „Messungen“ nach Anhang B, Seite 2 von 2, aufgezeichnet.

Die Bandbreite der Rauschmesseinrichtung muss in der Regel entsprechend der Bandbreite des zu überprüfenden Vorverstärkers ausgewählt werden. Sollte das Rauschen eines Breitband-Vorverstärkers für eine schmale Bandbreite beschrieben werden, muss zusammen mit der Rauschmesseinrichtung ein entsprechendes Nachfilter benutzt werden. Die Verwendung einer solchen Bandpassfilterung muss im Bericht angegeben werden.

6.3.5 Überprüfung des Dynamikbereichs

6.3.5.1 Allgemeines

Der Dynamikbereich (**DR**) eines zu überprüfenden Vorverstärkers (PUV) wird mit der folgenden Gleichung (13) bestimmt:

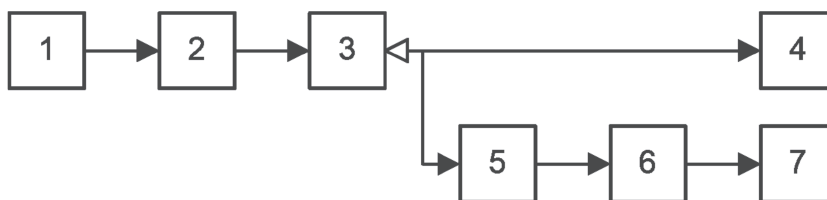
$$DR = 20 \times \lg(USP/UNP) \quad (13)$$

Dabei ist

- DR** der Dynamikbereich in dB (bei einer bestimmten Bandbreite);
- USP** die höchste Eingangsspannung in μ VP für ein nicht verzerrtes Ausgangssignal eines zu überprüfenden Vorverstärkers; es gilt ein geringstes Signal-Oberschwingungs-Verhältnis (**SHRMIN**) von 60 dB;
- UNP** Spannung des Spitzenrauschens in μ VP bezogen auf den Eingang des zu überprüfenden Vorverstärkers bei einer bestimmten Bandbreite, siehe 6.3.4.

Das Zulässigkeitskriterium für den Dynamikbereich wird mit der Bezeichnung **DR.L** als eine untere Grenze definiert, siehe Tabelle 2.

Bild 14 zeigt den empfohlenen Aufbau.



Legende

- 1 Arbiträrgenerator AFG
- 2 50-Ω-Dämpfungsglied
- 3 zu überprüfender Vorverstärker PUV
- 4 Schallemmissionssignalprozessor SP1
- 5 Gleichstromsperre
- 6 Spannungsteiler VD
- 7 Schallemmissionssignalprozessor SP2
- Δ Gleichstromversorgungsfluss
- ▲ Signalfluss

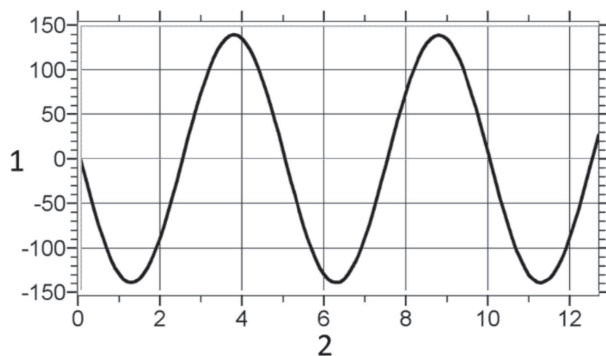
Bild 14 — Aufbau für die Messung der höchsten nicht verzerrten Ausgangsspannung des Vorverstärkers USP

Da das Einsetzen der Sättigung des zu überprüfenden Vorverstärkers (PUV) (Legende 3) oberhalb des Eingangsbereichs von 100 dB_{AE} beginnen darf, kann es nicht mit dem Schallemmissionssignalprozessor SP1 (Legende 4) gemessen werden. DP1 dient nur der Stromversorgung des Vorverstärkers. SP2 (Legende 7) misst den gedämpften Ausgang des zu überprüfenden Vorverstärkers. Er muss für eine hohe Eingangsimpedanz konfiguriert sein. Die Gleichstromsperre (Legende 5) (siehe auch 3.7) sperrt den Gleichstromfluss. Der Spannungsteiler VD (Legende 6) dämpft die Eingangsspannung von SP2. Um eine Belastung des mit 50 Ω abgeschlossenen Ausgangs des zu überprüfenden Vorverstärkers zu vermeiden, muss der Eingang des Spannungsteilers hochohmig sein (HiZ, 3.6). Der Spannungsteiler muss einen Widerstand von 1,9 kΩ zwischen Eingang und Ausgang und einen Widerstand von 50 Ω zwischen Ausgang und Erde besitzen. Diese beiden Widerstände bilden ein Spannungsverhältnis von 39 zu 1 (39 : 1) zwischen Eingang und Ausgang.

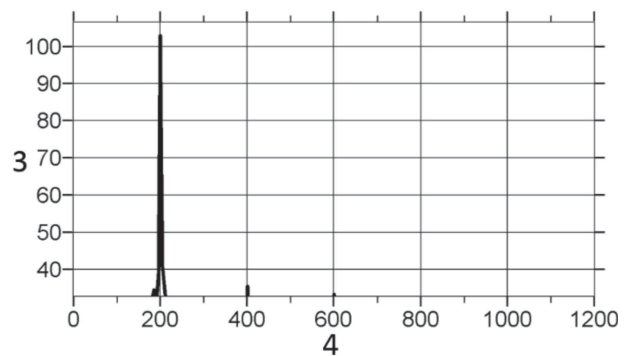
Bild 15 a) bis Bild 15 d) zeigen das gedämpfte Ausgangssignal des zu überprüfenden Vorverstärkers, a) und b) bei 109 mV_P, c) und d) bei 114 mV_P am Eingang des zu überprüfenden Vorverstärkers.

Aus Bild 15 b) und Bild 15 d) kann das niedrigste Signal-Oberschwingungs-Verhältnis **SHRMIN** abgelesen werden. **SHRMIN** ist die Differenz zwischen dem „höchsten Spitzenwert“ und dem „zweithöchsten Spitzenwert“, etwa 68 dB in Bild 15 b) und 51 dB in Bild 15 d). Das Signal in Bild 15 d) erfüllt eindeutig das Kriterium „verzerrt“ von **SHRMIN** ≤ 60 dB, das Signal in Bild 15 b) erfüllt es nicht. Zur Bestimmung von **USP** muss die Eingangsamplitude des zu überprüfenden Vorverstärkers auf die Spannung eingestellt werden, die bewirkt, dass alle Oberschwingungen das Kriterium „nicht verzerrt“ von **SHRMIN** > 60 dB erfüllen. Für dieses Beispiel wird der genaue Wert von **USP** zwischen 109 mV_P und 113 mV_P bestimmt.

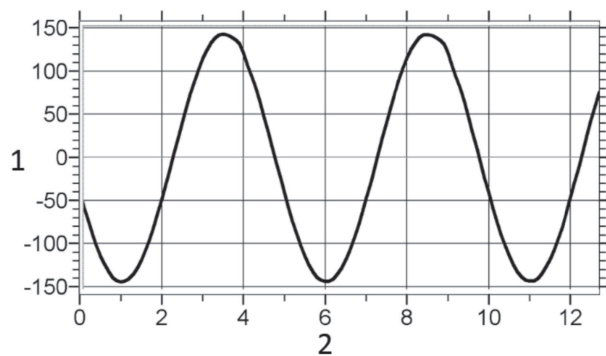
Für die am besten reproduzierbaren Überprüfungsergebnisse muss die Frequenzwahl an die Frequenz der Maximalamplitude beim Haupt-Spitzenwert angepasst werden, wie in 5.3.3 erläutert.



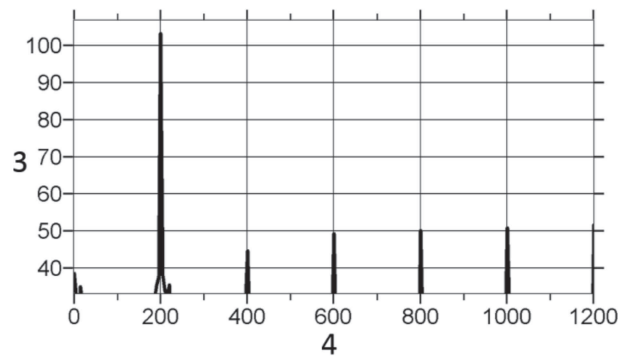
a) Ausgangssignal im Zeitbereich bei 109 mV_P am Eingang



b) FFT am Ausgang bei 109 mV_P am Eingang



c) Ausgangssignal im Zeitbereich bei 113 mV_P am Eingang



d) FFT am Ausgang bei 113 mV_P am Eingang

Legende

- 1 Amplitude in mV
- 2 Zeit in µs
- 3 Amplitude in dB_{AE}
- 4 Frequenz in kHz

Bild 15 — Anwendung des Kriteriums des Signal-Oberschwingungs-Verhältnisses von 60 dB

6.3.5.2 Durchführung

- a) Der Spitzenwert des Rauschens **UNP** bezogen auf den Eingang des zu überprüfenden Vorverstärkers wird in μV_p über eine festgelegte Bandbreite ermittelt, wie in 6.3.4 beschrieben.
- b) Der Prüfaufbau wird nach Bild 14 errichtet mit einer Verstärkung des zu überprüfenden Vorverstärkers von 34 dB, einem Dämpfungsglied eingestellt auf 40 dB (für eine reale Dämpfung von 34 dB), einem kontinuierlichen Sinuswellensignal des Arbiträrgenerators und einem Frequenzsollwert **DRF'T** eingestellt auf 200 kHz, feinangepasst an 200,2 kHz. Der Amplitudensollwert **DRAs'T**, $s = 1$, wird auf 5 V_{pp} eingestellt, was ein Eingangssignal des zu überprüfenden Vorverstärkers von 100 mV_{pp} oder 50 mV_p ergibt. **SHRMINs** für $s = 1$ wird aufgenommen.
- c) Die Amplitudeneinstellung **DRAs'T** (für $s = 2$ bis 20) wird um 1 % je Schritt erhöht und für jeden Schritt s wird **SHRMINs** aufgenommen.
- d) Der höchsten **DRAs'T** mit **SHRMINs** > 60 dB wird bestimmt und die höchste Eingangsspannung des zu überprüfenden Vorverstärkers vor der Verzerrung **USP** (in mV_p) = **DRAs'T** (in mV_{pp})/50 wird gespeichert.
- h) Aus dem Verhältnis **USP/UNP** wird der Dynamikbereich (**DR**) nach Gleichung (13) bestimmt.
- i) Für die einheitliche Behandlung der Überprüfungsergebnisse im gesamten Dokument wird die prozentuale Abweichung **DR.DP** nach Gleichung (14) berechnet und aufgezeichnet, siehe Anhang B:

$$DR.DP = \text{MAX}((DR - DR.D0)/(DR.L - DR.D0), 0) \times 100 \% \quad (14)$$

Dabei ist

DR der resultierende **DR** in dB;

DR.D0 der typische Wert von **DR** in dB, der vom Hersteller festgelegt wird, mit einem Standardwert von 60;

DR.L die untere Zulässigkeitsgrenze für **DR**, die vom Hersteller festgelegt wird, mit einem Standardwert von 80.

6.3.6 Überprüfung der Gleichtaktunterdrückung

Wenn der Vorverstärker eine Differenzbetriebsart umfasst, muss ein weiterer Kennwert, die Gleichtaktunterdrückung (CMR), überprüft und aufgezeichnet werden. Aufgrund hardwarespezifischer Einzelheiten muss der Hersteller die notwendigen Anweisungen geben und die Zulässigkeitskriterien und Überprüfungsverfahren festlegen.

6.3.7 Impulsprüfung

Falls das Modell des Vorverstärkers die Fähigkeit hat, einen elektrischen Impuls an das piezoelektrische Element abzugeben, muss diese Funktion nach den Anweisungen des Herstellers überprüft werden.

7 Überprüfung des Schallemissionssignalprozessors

7.1 Überblick

Die Überprüfung eines Schallemissionssignalprozessors muss erfolgen durch Erzeugen einer Anzahl von Prüfsignalen, in der Regel Burst-Signale mit klar definierten Burst-Parametern, deren Einspeisung in den Schallemissionssignalprozessor und Vergleich der vom Schallemissionssignalprozessor zurückgesendeten Werte mit erwarteten Werten unter Berücksichtigung ihrer Zulässigkeitskriterien.

Die in diesem Abschnitt definierten Verfahren können schrittweise manuell durchgeführt werden. Die große Anzahl verschiedener Prüfpunkte, die für die Überprüfung eines Schallemissionssignalprozessors benötigt wird, erfordert eine softwaregesteuerte Automatisierung. Um die Automatisierung der Überprüfung von Schallemissionssignalprozessoren zu ermöglichen, benötigen die in diesem Abschnitt ab 7.3 festgelegten Verfahren keine Änderung der Verkabelung, d. h., sie kann in eine Online-Aufgabe der automatisierten Stimulierung des Prüfsignals und der Datenaufzeichnung ohne Bedienereingriff und in eine Offline-Aufgabe der automatisierten Datenanalyse, Überprüfung der Zulässigkeitskriterien und Protokollierung der Ergebnisse aufgeteilt werden. Daten einer Stimulationsserie, z. B. mit einer veränderlichen Dauer bei konstanter Amplitude und Frequenz, können zur Überprüfung aller von der Dauer abhängigen Wirkungen auf die Burst-Parameter, wie Dauer, Anzahl der Nachschwingungen, Signalstärke und Energie, verwendet werden. Eine Serie von Prüfsignalen mit veränderlicher Amplitude bei konstanter Dauer und Frequenz kann zur Überprüfung aller von der Amplitude abhängigen Wirkungen auf die Burst-Parameter, wie Amplitude, Signalstärke und Energie, verwendet werden.

Bild 16 zeigt den grundsätzlichen Prüfaufbau, der für die ab 7.3 beschriebenen Überprüfungen verwendet wird. Um eine unbeabsichtigte Beschädigung des Arbiträrgenerators durch die 28-V-Spannungsversorgung des Vorverstärkers zu vermeiden, wenn die Parameter des Arbiträrgenerators in der Hardware nicht richtig eingestellt sind, wird die Verwendung einer Gleichstromsperre (siehe 3.7) empfohlen: Zur Überprüfung muss der Schallemissionssignalprozessor auf einen hochohmigen (Wechselstrom-)Eingang eingestellt werden, wodurch Gleichstrom und der 50-Ω-Abschluss aus dem Eingang entfernt werden und die Stimulierung mehrerer Schallemissionssignalprozessoren in einem Stimulationsdurchgang ermöglicht wird. Im hochohmigen Zustand ist die Nennamplitude des Ausgangs des Arbiträrgenerators doppelt so hoch wie der Sollwert, was bei den in diesem Abschnitt definierten Sollwerten berücksichtigt wird.



Legende

- 1 Arbiträrgenerator (AFG)
- 2 Gleichstromsperre
- 3 auf einen hochohmigen Wechselstromeingang eingestellter Schallemissionssignalprozessor (ASP)

Bild 16 — Prüfaufbau für die Überprüfung des Schallemissionssignalprozessors

Für jedes zu überprüfenden Element wird eine prozentuale Abweichung (**.DP**) berechnet und als leicht interpretierbares Zulässigkeitskriterium verwendet: Die Überprüfung ist bestanden, wenn die entsprechende **.DP** ≤ 100 % ist. Der Wert von **.DP** gibt an, wie groß oder klein der Abstand zu den Zulässigkeitskriterien ist.

Die folgende Tabelle 4 führt alle **.DP**-Bezeichnungen auf, die in diesem Abschnitt behandelt werden, sowie die betreffenden Gleichungsnummern, Nennwerte, Prüfsignale und Bandpassfilter. Die in den letzten beiden Spalten verwendeten Abkürzungen werden in der nachfolgenden Tabelle erläutert.

Tabelle 4 — Ergebnisse der prozentualen Abweichung der Überprüfung des Signalprozessors

Bezeichnung	Ab-schnitt	Überprüfung von	Gleichung	'N (Nennwerte)	Sig'T	'BP'S
BGINP.DP	7.2	Systemrauschen, schmalbandig, Spitzenwert	(15)	Eingang des Schallemissionssignalprozessors offen	nicht anwendbar	BPN'S
BGINR.DP	7.2	Systemrauschen, schmalbandig, Effektivwert	(16)	Eingang des Schallemissionssignalprozessors offen	nicht anwendbar	BPN'S
BGIWP.DP	7.2	Systemrauschen, breitbandig, Spitzenwert	(17)	Eingang des Schallemissionssignalprozessors offen	nicht anwendbar	BPW'S
BGIWR.DP	7.2	Systemrauschen, breitbandig, Effektivwert	(18)	Eingang des Schallemissionssignalprozessors offen	nicht anwendbar	BPW'S
THFBDs.DP	7.3.1	Effektivwert und gleitender Schwellenwert	(23)	THF. = 64; 76; 88 (dB _{AE})	C-Sw'T	BPN'S
THs.DP	7.4	festgesetzter Schwellenwert	(27)	TH = 40; 70 (dB _{AE})	S2-Sw'T	BPN'S
FHP.DP	7.5	Bandbreite, Hochpass, Frequenz	(28)	f = 40 – 2 000 (kHz), Schritt 2 %	S2-Sw'T	BPM'S
FLP.DP	7.5	Bandbreite, Tiefpass, Frequenz	(29)	f = 40 – 2 000 (kHz), Schritt 2 %	S2-Sw'T	BPM'S
RHP.DP	7.5	Bandbreite, Hochpass, Steilheit	(30)	f = 40 – 2 000 (kHz), Schritt 2 %	S2-Sw'T	BPM'S
RLP.DP	7.5	Bandbreite, Tiefpass, Steilheit	(31)	f = 40 – 2 000 (kHz), Schritt 2 %	S2-Sw'T	BPM'S
As.DP	7.6.2	Maximalamplitude	(34)	A = 38; 58; 78; 98 (dB _{AE})	S2-Sw'T	BPN'S
Ds.DP	7.6.3	Dauer	(36)	D = 0,2; 4; 80 (ms)	R-Sw'T	BPY'S
Rs.DP	7.6.4	Anstiegszeit	(41)	R = 0,25; 1 (ms)	Tri-Sw'T	BPN'S
CNTs.DP	7.6.5	Anzahl	(45)	D = 0,2; 4; 80 (ms)	R-Sw'T	BPY'S
EAs.DP	7.6.6.1	Energie, von der Amplitude abhängig	(49)	A = 38; 58; 78; 98 (dB _{AE})	S2-Sw'T	BPN'S
EDs.DP	7.6.6.2	Energie, von der Dauer abhängig	(53)	D = 0,2; 4; 80 (ms)	R-Sw'T	BPY'S
SAs.DP	7.6.7.1	Signalstärke, von der Amplitude abhängig	(57)	A = 38; 58; 78; 98 (dB _{AE})	S2-Sw'T	BPN'S
SDs.DP	7.6.7.2	Signalstärke, von der Dauer abhängig	(61)	D = 0,2; 4; 80 (ms)	R-Sw'T	BPY'S

Bandpass-Abkürzung	Kurzbeschreibung	Hochpass-Tiefpass-Frequenz	Signal-Abkürzung	Bedeutung
BPM'S	mittlere Bandpass	95 kHz – 850 kHz	C-Sw'T	kontinuierliche Sinuswelle
BPN'S	schmalere Bandpass	95 kHz – 300 kHz	S2-Sw'T	sin ² -förmig modulierte Sinuswelle
BPW'S	breiter Bandpass	25 kHz – 850 kHz	R-Sw'T	rechteckig modulierte Sinuswelle
BPY'S	Bandpass-Bypass (Umgehung)	nicht anwendbar	Tri-Sw'T	dreieckig modulierte Sinuswelle

7.2 Überprüfung des Systemrauschens

7.2.1 Allgemeines

Das Systemrauschen wird intern durch den Schallemissionssignalprozessor ASP erzeugt. Das vom Schallemissionssignalprozessor intern erzeugte Hintergrundrauschen muss in Einheiten von μVP und μVRMS in zwei Frequenzbändern gemessen werden, einem breitbandigen von etwa 25 kHz bis 850 kHz und einem schmalbandigen von etwa 95 kHz bis 300 kHz.

Die Bezeichnungen von vier Messergebnissen des Hintergrundrauschens sind in der ersten Spalte der nachfolgenden Tabelle 5 aufgeführt, gefolgt von der Erläuterung und den Standardwerten für die Zulässigkeitskriterien .U und .D0 (siehe 3.11).

Tabelle 5 — Bezeichnungen für Messergebnisse des Hintergrundrauschens

Bezeichnung	Erläuterung	.U oberer Grenzwert Standardwert	.D0 Nennwert/ typischer Standardwert
BGINP	Hintergrundrauschen, intern erzeugt, schmalbandig, in μV_p	9	0
BGINR	Hintergrundrauschen, intern erzeugt, schmalbandig, in μV_{RMS}	2	0
BGIWP	Hintergrundrauschen, intern erzeugt, breitbandig, in μV_p	22	0
BGIWR	Hintergrundrauschen, intern erzeugt, breitbandig, in μV_{RMS}	4	0

Die Gleichungen für die prozentualen Abweichungen der aufgeführten Größen des Systemrauschens sind:

$$BGINP.DP = (BGINP - BGINP.D0) / (BGINP.U - BGINP.D0) \times 100 \% \quad (15)$$

$$BGINR.DP = (BGINR - BGINR.D0) / (BGINR.U - BGINR.D0) \times 100 \% \quad (16)$$

$$BGIWP.DP = (BGIWP - BGIWP.D0) / (BGIWP.U - BGIWP.D0) \times 100 \% \quad (17)$$

$$BGIWR.DP = (BGIWR - BGIWR.D0) / (BGIWR.U - BGIWR.D0) \times 100 \% \quad (18)$$

7.2.2 Durchführung

Es wird eine der in 6.3.4.2 a) bis 6.3.4.2 d) für die Spitzenwert- und Effektivwertmessung aufgeführten Strategien der Rauschmessung ausgewählt.

Vom Eingang des Schallemissionssignalprozessors werden sämtliche Kabel entfernt und es wird sichergestellt, dass der Eingang hochohmig konfiguriert ist.

- Der Bandpass des Schallemissionssignalprozessors wird auf **BPN'S** eingestellt (schmalbandig, Standardwert: 95 kHz bis 300 kHz).
- Das schmalbandige Hintergrundrauschen in μV_p wird mit der Bezeichnung **BGINP** erfasst. Die prozentuale Abweichung **BGINP.DP** wird mit Gleichung (15) ermittelt.
- Das schmalbandige Hintergrundrauschen in μV_{RMS} wird mit der Bezeichnung **BGINR** erfasst. **BGINR.DP** wird mit Gleichung (16) ermittelt.

- d) Der Bandpass des Schallemissionssignalprozessors wird auf **BPW'S** eingestellt (breitbandig, Standardwert: 25 kHz bis 850 kHz).
- e) Das breitbandige Hintergrundrauschen in μVP wird erfasst: Das Messergebnis wird als **BGIWP** aufgezeichnet. **BGIWP.DP** wird mit Gleichung (17) ermittelt.
- f) Das breitbandige Hintergrundrauschen wird in μVRMS erfasst: Das Messergebnis wird als **BGIWR** aufgezeichnet, **BGIWR.DP** wird mit Gleichung (18) ermittelt.
- g) Der Bericht muss mindestens die Spalten 1 bis 5 der nachfolgenden Tabelle enthalten.

Die Werte für „DD“ müssen durch die Ergebnisse der Gleichung (15) bis Gleichung (18) ersetzt werden. Die Werte für „XX“ müssen durch die gemessenen Werte ersetzt werden.

Verwendete Bandpassfilter: **BPN'S**: 95 kHz bis 300 kHz **BPW'S**: 25 kHz bis 850 kHz

BGINP.DP:	DD %	BGINP:	XX	μV_P	.U	9	μV_P	.D0	0	μV_P
BGINR.DP:	DD %	BGINR:	XX	μVRMS	.U	2	μV_RMS	.D0	0	μV_RMS
BGIWP.DP:	DD %	BGIWP:	XX	μVP	.U	22	μV_P	.D0	0	μV_P
BGIWR.DP:	DD %	BGIWR:	XX	μVRMS	.U	4	μV_RMS	.D0	0	μV_RMS

- h) Das Zulässigkeitskriterium ist erfüllt, wenn alle Ergebnisse für „DD“ in Spalte 2 kleiner oder gleich 100 % sind.

7.3 Überprüfung der Effektivwertmessung und Funktion eines gleitenden Schwellenwerts

7.3.1 Allgemeines

Von diesem Überprüfungsschritt an gilt der Aufbau in Bild 16.

Die Bezeichner **BGRMS** kennzeichnet das Ergebnis der Messung des Hintergrundrauschens in μV_RMS . Die Messung von **BGRMS** wird während der Erfassung durchgeführt, wenn kein Burst anliegt. Der **BGRMS**-Wert wird konstant gehalten, während ein Burst-Signal anliegt. Das Schallemissionssystem speichert **BGRMS** im zeitgesteuerten Zustandsdatensatz und wahlfrei im Burst-gesteuerten Datensatz. Darüber hinaus ist der gemessene **BGRMS**-Wert der Eingabewert für die Echtzeitberechnung von **THFBD**, dem „vom Hintergrundrauschen abhängigen gleitenden Schwellenwert in dB_AE “. Die Überprüfung von **BGRMS** und **THFBD** kann mit den gleichen Prüfsignalen erfolgen. Gleichung (19) definiert die Berechnung von **THFBD** aus der **BGRMS**-Messung, die in Echtzeit durchgeführt und hier nur zur Überprüfung von Gleichung (20) wiedergegeben wird.

$$\text{THFBD} = \text{MAX}(20 \times \lg(\text{BGRMS} \times \text{TH2RMS}), \text{THFMID}) \quad (19)$$

Dabei ist

- THFBD** vom Hintergrundrauschen abhängiger gleitender Schwellenwert in dB_AE ;
- BGRMS** gemessenes Hintergrundrauschen in μV_RMS ;
- THFMID** kleinster Schwellenwert in dB_AE , der vom Bediener festgelegt wird, Standardwert = 34;
- TH2RMS** Verhältnis zwischen Schwellenwert und Hintergrundrauschen, das vom Hersteller festgelegt wird, Standardwert = 4 (entspricht 12,04 dB),

Die Überprüfung der **THFBDs** muss bei drei Nennwerten **s** für **s** = 1 bis 3, bei 64 dB_{AE}, 76 dB_{AE} und 88 dB_{AE} erfolgen.

Gleichung (20) definiert die Sollwerte **BGRMSs'T** des Arbiträrgenerators für **s** = 1 bis 3, in mV_{RMS}, die zur Stimulierung der **THFBDs** verwendet werden.

$$BGRMSs'T = 10^{((THFBDs'N - 20 \times \lg(TH2RMS) + ASPRD - NR100D - M2UD) / 20)} \times 0,5 \quad (20)$$

Dabei ist

BGRMSs'T der Sollwert der Ausgangsamplitude des Arbiträrgenerators in mV_{RMS};

THFBDs'N der Nennwert für die **THFBDs** für **s** = 1 bis 3: 64 dB_{AE}, 76 dB_{AE}, 88 dB_{AE};

ASPRD der Eingangsbereich des Schallemissionssignalprozessors in dB_{AE}, in der Regel ist 134 dB_{AE} ein Sollwert des Schallemissionssignalprozessors;

NR100D ein konstanter Wert von 100 dB_{AE} für die Bezeichnung des normalen Eingangsbereichs des Vorverstärkers;

M2UD ein konstanter Wert von 60 dB für $20 \times \lg(1 \text{ mV} / 1 \text{ } \mu\text{V})$.

Ergebnisse von Gleichung (20) für **s** = 1 bis 3 beim Sollwert **BGRMSs'T** in mV_{RMS} und beim Nennwert **THFBDs'N** sind in Tabelle 6 angegeben.

Tabelle 6 — Nennwerte THFBDs'N, BGRMSs'N, BGRMSs'T aus Gleichung (20)

s	THFBDs'N dB _{AE}	BGRMSs'N μV _{RMS}	BGRMSs'T mV _{RMS}
1	64	397,2	9,93
2	76	1 581	39,53
3	88	6 340	157,37

Die Zulässigkeitskriterien für die Überprüfung der Amplitude **A.MA** und **A.MB**, die ausführlich in 7.6.2 beschrieben sind, gelten auch für **THFBDs**-Messungen.

Aus diesem Grund werden die Gleichungen (32) bis (34) für die prozentuale Abweichung der Amplitude hier mit der Bezeichnung **THFBD** wiedergegeben:

$$THFBDs.L = 20 \times \lg(10^{((THFBDs'N - A.MA) / 20)} - A.MB) \quad (21)$$

$$THFBDs.U = 20 \times \lg(10^{((THFBDs'N + A.MA) / 20)} + A.MB) \quad (22)$$

$$THFBDs.DP = \text{MAX}((THFBDs - THFBDs') / (THFBDs.L - THFBDs'N), (THFBDs - THFBDs'N) / (THFBDs.U - THFBDs'N)) \times 100 \% \quad (23)$$

Dabei ist

A.MA	die zulässige Abweichung des gemessenen Werts, von dem auf die Nennamplitude bezogenen Wert (z. B. THFBDS) in dB;
A.MB	die zulässige weitere Abweichung des gemessenen Werts vom Nennwert in μV ;
THFBDS.L	die berechnete untere Zulässigkeitsgrenze;
THFBDS.U	die berechnete obere Zulässigkeitsgrenze;
THFBDS.DP	die berechnete prozentuale Abweichung; Zulässigkeitsgrenze $\leq 100\%$;
THFBDS	der gemessener Schwellenwert s ;
THFBDS'N	der Nennwert des Schwellenwerts s .

7.3.2 Durchführung

Der Aufbau wird nach Bild 16 errichtet.

Zutreffende Sollwerte:

- Der schmalbandige Bandpass **BPN'S** wird eingestellt (Standardwert: 95 kHz bis 300 kHz).
- Das Verhältnis zwischen Schwellenwert und Effektivwert **TH2RMS'S** wird eingestellt (Standardwert = 4).
- Der Frontplattenschalter „AE“ wird auf „deaktiviert“ gesetzt (um ein Anlegen eines Bursts zu verhindern) und das System wird so konfiguriert, dass Zustandsdaten aufgelistet werden, darunter sind **BGRMS** und **THFBD**.
- Das Zeitintervall für Zustandsdatensätze **SIV'S** wird eingestellt: 100 ms.
- THFMID'S** wird eingestellt (Standardwert: 34 dB_{AE}), der niedrigste Werte für die Bestimmung von **THFBV**.
- Die Verstärkung des Vorverstärkers wird für einen Messbereich des Vorverstärkers von ± 100 mV auf 34 dB eingestellt.
- Der Arbiträrgenerator wird auf **C-Sw'T** (kontinuierliche Sinuswelle) und die Frequenz wird auf **BGF'T** (200 kHz) eingestellt.
- Die Folge der Amplitudensollwerte **BGRMSs'T** mit $s = 1$ bis 3, wie in Tabelle 6 definiert, wird ausgeführt.
- Die Werte für **THFBDS.DP** mit $s = 1$ bis 3, d. h. die prozentualen Abweichungen für die **THFBDS**, werden mit Gleichung (23) bestimmt.
- Die Zulässigkeitskriterien sind erfüllt, wenn der Größtwert der **THFBDS.DP** mit $s = 1$ bis 3, nicht 100 % überschreitet.
- Der Bericht muss mindestens die Spalten der nachfolgenden Tabelle enthalten, wobei „DD“ unter **THFBDS.DP** durch die Ergebnisse der Gleichung (23) und „XX“ unter **THFBDS** durch die gemessenen Werte ersetzt werden müssen.

Verwendetes Bandpassfilter:		BPN'S: 95 kHz bis 300 kHz, SIV'S = 100 ms A.MA: 1dB, A.MB: 6 µV		
<i>s</i>	<i>THFBDs.DP</i>	<i>THFBDs</i> gemessener Wert	<i>THFBDs'N</i> Nennwert	<i>BGRMs's'T</i>
1	DD %	XX dB _{AE}	64 dB _{AE}	9,93 mV _{RMS}
2	DD %	XX dB _{AE}	76 dB _{AE}	39,53 mV _{RMS}
3	DD %	XX dB _{AE}	88 dB _{AE}	157,37 mV _{RMS}

7.4 Überprüfung des festgesetzten Schwellenwerts

7.4.1 Allgemeines

Diese Überprüfung ist nahezu redundant, da für die meisten Schallemissionsergebnisse eine Schwellenüberschreitung erforderlich ist. Dennoch ist diese Überprüfung für eine Fehlersuche sinnvoll.

Wenn die Schallemissionsergebnisse nicht nachvollziehbar sind, aber die Prüfung des Schwellenwerts bestanden ist, ist erkennbar, dass der Grund für die nicht nachvollziehbaren Ergebnisse ein anderer ist.

Sollwerte für diese Überprüfung sind **THs'N**, (*s* = 1) = 40 dB_{AE} und (*s* = 2) 70 dB_{AE}. Für jedes *s* muss eine Reihe von 21 sin²-förmig modulierten Sinuswellen-Bursts mit einem Zuwachs der Maximalamplitude von **THs'N** - 2 in Schritten von 0,1 dB bis **THs'N** + 2 erzeugt werden und diejenigen Bursts, die den Schwellenwert überschreiten, müssen aufgezeichnet werden. Der Schwellenwert **THs** ist dann die Amplitude des ersten aufgezeichneten Bursts abzüglich eines Amplitudenzuwachses von 0,1 dB.

Der Sollwert für die Amplitude des Arbiträrgenerators des ersten Bursts mit der Amplitude **THs'N** - 2 wird nach Gleichung (24) angegeben:

$$\mathbf{THAs'T} = 10^{[(\mathbf{THs'N} - 2,0 + \mathbf{ASPRD} - \mathbf{NR100D} - \mathbf{M2UD}) / 20]} \quad (24)$$

Dabei ist

THAs'T der Sollwert für die Amplitude des Arbiträrgenerators in mV_{pp} für den ersten Burst einer Reihe von 21 Bursts. Für jeden folgenden Burst muss der Term (**THs'N** - 2,0) in Gleichung (24) um 0,1 dB erhöht werden (Faktor 1,011 6). Obwohl der Sollwert in mV_{pp} definiert ist, wird aufgrund des hochohmigen Ausgangs des Arbiträrgenerators die tatsächliche Ausgangsspannung in mV_p ausgegeben;

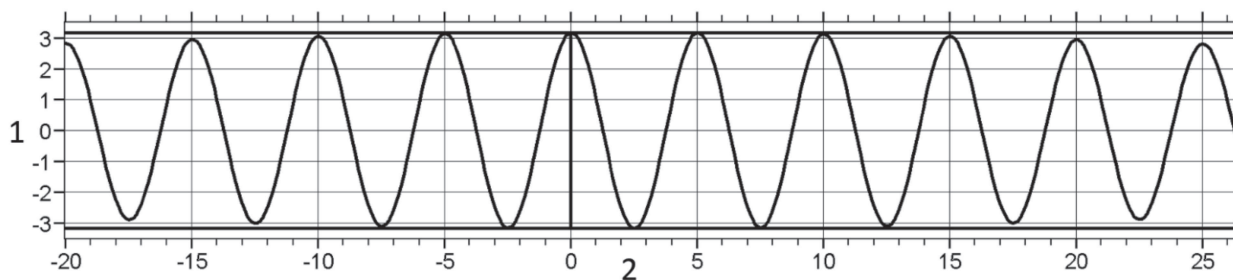
THs'N der Nennschwellenwert für den Sollwert *s* mit *s* = 1 (40 dB_{AE}) bis 2 (70 dB_{AE});

ASPRD der Eingangsbereich des Schallemissionssignalprozessors in dB_{AE}, in der Regel ist 134 dB_{AE} ein Sollwert des Schallemissionssignalprozessors;

NR100D ein konstanter Wert von 100 dB_{AE} für die Bezeichnung des normalen Eingangsbereichs des Vorverstärkers;

M2UD ein konstanter Wert von 60 dB für 20 × lg(1 mV/1 µV).

Ergebnisse von **THAs'T**, *s* = 1 (40-2 dB_{AE}): 3,98 mV_{pp}, *s* = 2 (70-2 dB_{AE}): 125,9 mV_{pp}, wobei aufgrund des hochohmigen Zustands die tatsächliche Ausgangsspannung des Arbiträrgenerators in mV_p (anstatt in mV_{pp}) angegeben wird.



Legende

- 1 Amplitude in mV
- 2 Zeit in μs von der ersten Schwellenüberschreitung an

Bild 17 — Beispiel für ein erstes aufgezeichnetes Prüfsignal für die Überprüfung des Schwellenwerts mit $THs'N = 70 \text{ dB}_{AE}$

Das erste aufgezeichnete Signal in Bild 17 weist eine Maximalamplitude von $3,2 \text{ mV}_P$ oder $70,1 \text{ dB}_{AE}$ auf, was bedeutet, dass der interne Schwellenwert $70,0 \text{ dB}_{AE}$ war, $0,1 \text{ dB}$ unter $70,1 \text{ dB}$.

Die Zulässigkeitskriterien für die Überprüfung der Amplitude **A.MA** und **A.MB** gelten auch für **THs**-Messungen.

Die Gleichungen (32) bis (34) für die prozentuale Abweichung der Amplitude werden an dieser Stelle in den Gleichungen (25) bis (27) für die Bezeichnung **THs** wiedergegeben:

$$THs.L = 20 \times \lg(10^{((THs'N - A.MA) / 20)} - A.MB), \quad (25)$$

$$THs.U = 20 \times \lg(10^{((THs'N + A.MA) / 20)} + A.MB), \quad (26)$$

$$THs.DP = \text{MAX}((THs - THs'N) / (THs.L - THs'N), (THs - THs'N) / (THs.U - THs'N)) \times 100 \% \quad (27)$$

Dabei ist

- A.MA** die zulässige Abweichung des gemessenen Werts von dem auf die Nennamplitude bezogenen Wert (z. B. TH) in dB;
- A.MB** die zulässige weitere Abweichung des gemessenen Werts vom Nennwert in μV ;
- THs.L** die berechnete untere Zulässigkeitsgrenze;
- THs.U** die berechnete obere Zulässigkeitsgrenze;
- THs.DP** die prozentuale Abweichung; Zulässigkeitsgrenze $\leq 100 \%$;
- THs** der gemessene Schwellenwert s ;
- THs'N** der Nennwert des Schwellenwerts s .

7.4.2 Durchführung

Der Aufbau wird nach Bild 16 errichtet.

Zutreffende Sollwerte:

- a) Der schmalbandige Bandpass **BPN'S** wird eingestellt (Standardwert: 95 kHz bis 300 kHz).
- b) Der Arbiträrgenerator wird auf einen $\sin^2$ -förmig modulierten Sinuswelle-Burst (**S2-Sw'T**) nach Gleichung (1), Bild 2, eingestellt.
- c) Die Trägerfrequenz wird auf **THF'T** = 200 kHz eingestellt.
- d) Der festgesetzte Nennwert der Schwelle **TH1'N** = **TH1'S** = 40 dB_{AE} wird eingestellt.
- e) Der Start Sollwert der Amplitude des Arbiträrgenerators wird auf **THA1'T** = 3,98 mV_{pp} eingestellt. Aufgrund des hochohmigen Eingangs des Schallemissionssignalprozessors ist die Startspannung 3,98 mV_p (siehe Gleichung (21)).
- f) Es wird eine Reihe von 21 Bursts mit einem Amplitudenzuwachs um den Faktor 1,011 6 (0,1 dB) je Burst durchgeführt. Dabei ist sicherzustellen, dass die Burst-Daten für eine spätere Verarbeitung aufgezeichnet werden.
- g) e) bis f) werden mit einem Schwellenwert von **TH2'N** = 70 dB_{AE} wiederholt. Der Start Sollwert der Amplitude des Arbiträrgenerators **THA2'T** ist 125,6 mV_{pp}. Aufgrund des hochohmigen Eingangs des Schallemissionssignalprozessors ist die Startspannung 125,6 mV_p, siehe Gleichung (24).
- h) Der erste aufgezeichnete Burst von **TH1** nach f) wird untersucht: Die Amplitude des ersten aufgezeichneten Bursts abzüglich eines Amplitudenintervalls (0,1 dB) ist das Ergebnis von **TH1**. Das Zulässigkeitskriterium $\pm (A.MA + A.MB)$ (Standardwert **A.MA** = 1dB, **A.MB** = 6 µV) wird mit Gleichung (32) auf **TH1** und **TH1'N** angewendet. Die prozentuale Abweichung **TH1.DP** wird nach Gleichung (27) ermittelt und aufgezeichnet.
- i) h) wird mit dem ersten aufgezeichneten Burst von **TH2** wiederholt. Mit Anwendung des Zulässigkeitskriteriums wie in h) wird **TH2.DP** ermittelt.
- j) Das Zulässigkeitskriterium ist erfüllt, wenn weder **TH1.DP** noch **TH2.DP** 100 % überschreiten.
- k) Der Bericht muss die Kopfzeile und die Spalten der nachfolgenden Tabelle enthalten.

Die Werte für „DD“ in der Spalte **THs.DP** müssen durch die Ergebnisse der Gleichung (27) ersetzt werden. Die Werte für „XX“ in Spalte **THs** müssen durch die gemessenen Werte ersetzt werden.

Verwendetes Bandpassfilter: **BPN'S**: 95 kHz bis 300 kHz **A.MA**: 1dB, **A.MB**: 6 µV

s	THs.DP berechneter Wert	THs gemessener Wert	THs'N Nennwert	THAs'T Startsollwert A
1	DD %	XX dB _{AE}	40 dB _{AE}	3,98 mV _{pp}
2	DD %	XX dB _{AE}	70 dB _{AE}	125,6 mV _{pp}