

DIN EN 13477-2:2013 - der neue Standard zur Überprüfung der Kenngrößen der Schallemissionsprüfausrüstung

Hartmut VALLEN *

* Vallen Systeme GmbH, Schäflarner Weg 26A, 82057 Icking, www.vallen.de

Kurzfassung. 2010 wurde eine Überarbeitung des 2001 erstmals erschienenen Standards veröffentlicht. Die englische Fassung entspricht dem Schlussentwurf, der vom Expertengremium freigegeben wurde, die deutsche Fassung wich an über 100 Stellen vom freigegebenen Schlussentwurf ab und ist stellenweise ungenau. Die deutsche Fassung wurde zurückgezogen und eine neue Übersetzung stand zum Zeitpunkt der Beitragsanmeldung kurz vor der Veröffentlichung. Dieser Beitrag geht auf wichtige Punkte des Standards im Sinne des korrigierten Textes der Neufassung ein.

1. Einführung

Die Überprüfung der Kenngrößen der Schallemissionsprüfausrüstung ist relativ komplex und umfangreich, da einerseits der zu prüfende Funktionsumfang beträchtlich ist, d.h. sehr viele Prüfschritte erfordert, und andererseits die technischen Anforderungen an die zu überprüfende Ausrüstung, zB hinsichtlich Signal-Rauschabstand, an die Grenzen des physikalisch Machbaren gehen und gute Kenntnisse der elektronischen Messtechnik oder eine gute Beschreibung des Vorgehens erfordern.

Der Standard [1] ist gemäß Kapitel 1, "Anwendungsbereich", wörtlich, für "Bediener der Prüfausrüstung für Prüfungen im Labor" konzipiert. Es geht nicht darum, die prinzipielle Funktionsfähigkeit der Ausrüstung vor Ort zu prüfen. Hierzu muss ein Stufe 1 Prüfer in der Lage sein. Es geht darum, dass unter reproduzierbaren Laborbedingungen festgestellt wird, dass die Prüfausrüstung den Spezifikationen des Herstellers entspricht.

Die heutige Schallemissionsprüfausrüstung [2] verwendet umfangreiche Computer-Software und Hardware, deren einwandfreie Funktion und Konfiguration Voraussetzung für die Funktion der Ausrüstung ist und somit in die Überprüfung einbezogen werden muss.

Die 2010 erschienene englische Version des Standards [2] geht auf technische Besonderheiten detaillierter als die Vorversion ein und leistet konkretere Hilfestellung bezüglich Messaufbau und Interpretation von Einflussgrößen, wie zB die systematische Abhängigkeit von Merkmalsdaten wie Anstiegszeit, Dauer, Zahl der Schwellenüberschreitungen und Energie vom verwendeten Prüfsignal und der eingestellten Nachweisschwelle.

Die für eine so weitgehende Prüfung erforderlichen Schritte sind so umfangreich, dass eine manuelle Überprüfung, wie sie in vorliegendem Standard beschrieben werden musste, nur gelegentlich praktikabel ist.

Ein Hersteller von Prüfausrüstung, wie auch ein Prüfdienstleister mit umfangreichem Inventar an Ausrüstung, muss die Überprüfung relativ oft durchführen. Er wird sich aus Zeit- und Kostengründen für eine automatisierte Überprüfung entscheiden. Diese muss mindestens den Ansprüchen des vorliegenden Standards entsprechen. Die automatisierte Prüfung leistet dies in einem Bruchteil der Zeit, die für eine manuelle Prüfung erforderlich ist. Ein weiterer Vorteil ist dabei die automatische Generierung eines aussagekräftigen Prüfberichts.

Der volle Umfang des Standards kann in einem 20-Minutenvortrag nicht behandelt werden. Der Vortrag konzentriert sich daher auf wesentliche Neuerungen des Standards.

2. Inhaltsverzeichnis der DIN EN 13477-2:2013

Aus [1]:

- 1 Anwendungsbereich
- 2 Normative Verweisungen
- 3 Begriffe
- 4 Erforderliche Prüfausrüstung
- 5 Überprüfung des Sensors
- 6 Überprüfung des Vorverstärkers
- 7 Überprüfung des AE-Signalprozessors
- 8 Überprüfung externer Parameter
- 9 Überprüfung der Signalaufzeichnungsrate des Systems
- 10 Überprüfung der Δt Messung (Laufzeitdifferenz)
- 11 Dokumentation

3. Anwendungsbereich der DIN EN 13477-2:2013

In diesem Teil der Norm werden Verfahren für die routinemäßige Überprüfung der Funktion der Prüfausrüstung zur Schallemissionsprüfung festgelegt, die mit einem Sensorkanal oder mehreren Sensorkanälen ausgestattet sind. Er wurde für die Bediener der Prüfausrüstung für Prüfungen im Laboratorium konzipiert.

Eine Überprüfung der Eigenschaften wird empfohlen...

- nach dem Kauf der Prüfausrüstung,
- nach der Durchführung von Änderungen,
- nach einem Einsatz unter außergewöhnlichen Bedingungen oder
- wenn eine fehlerhafte Funktion befürchtet wird.

Die in dieser Norm beschriebenen Verfahren schließen andere qualifizierte Verfahren, z. B. Überprüfungen im Frequenzbereich, nicht aus.

4. Neue Begriffe

Es werden folgende neue Begriffe definiert:

4.1 Schallemissionssignalprozessor:

Teil eines Schallemissionskanals, der das Ausgangssignal des Vorverstärkers in digitale Signalparameter umwandelt

4.2 Arbiträrgenerator (AFG):

Elektronisches Gerät zum Erzeugen eines programmierbaren Prüfsignals (Burst)

4.3 Gleichstrom-Kalibrator:

Elektronisches Gerät, das eine einstellbare oder programmierbare Gleichspannung mit einer Genauigkeit erzeugt, die zur Stimulierung eines externen parametrischen Eingangs geeignet ist.

5. Neues Prüfsignal für die Geräteüberprüfung

Alternativ zu dem dreieckig modulierten Burst (Abb. 1) kann ein sinusquadrat- (\sin^2 -) förmig modulierter Burst (Abb. 2) verwendet werden. Wegen seines stetigen Verlaufs am Anfang, beim Maximum und am Ende ergibt sich ein besonders reines Spektrum, und nachteilige Einflüsse durch Über- und Nachschwingungen werden verringert. Wegen seiner spektralen Reinheit kann dieses Signal auch gut zur Messung der Frequenzantwort des Bandpasses eines Vorverstärkers oder eines Schallemissionssignalprozessors über die Messung der Maximalamplitude verwendet werden.

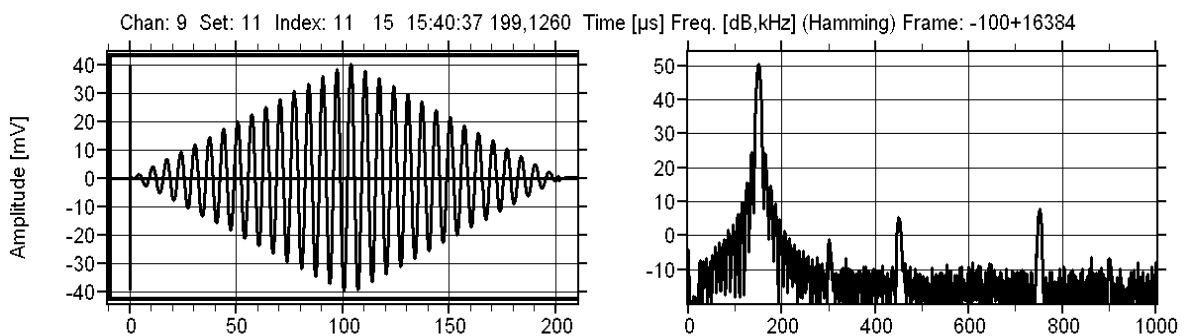


Abb. 1 Dreieckig moduliertes Signal im Zeitbereich (links) und Frequenzbereich (rechts) (aus [1])

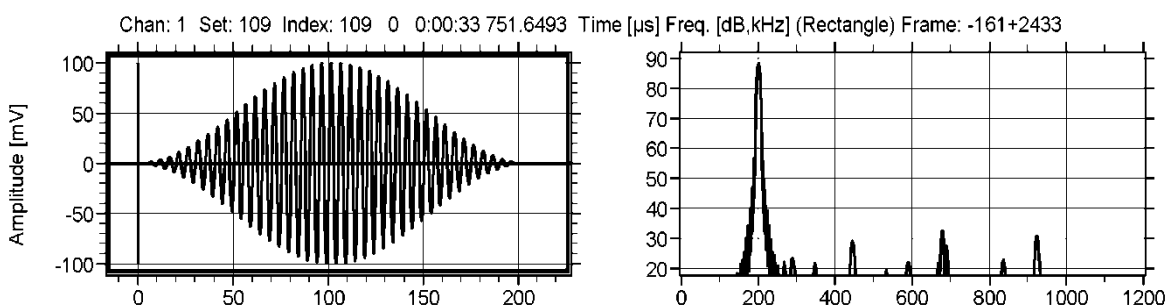


Abb. 2 Sinusquadrat (\sin^2) - förmig moduliertes Signal im Zeit- und Frequenzbereich (aus [1])

Der empfohlene \sin^2 -förmige Burst besteht aus 41 Sinusschwingungen mit je 48 Momentanwerten. Durch Variation der Trägerfrequenz wird auch die Anstiegszeit, Dauer und Energie des Bursts variiert. Der Burst wird von einem handelsüblichen Arbiträrgenerator erzeugt, der im Vergleich zu den früher üblichen AE-Kalibratoren genauer, stabiler und preiswerter in der Anschaffung und Kalibrierung ist.

6. Systematische Abweichungen der gemessenen Merkmalswerte vom Prüfsignal

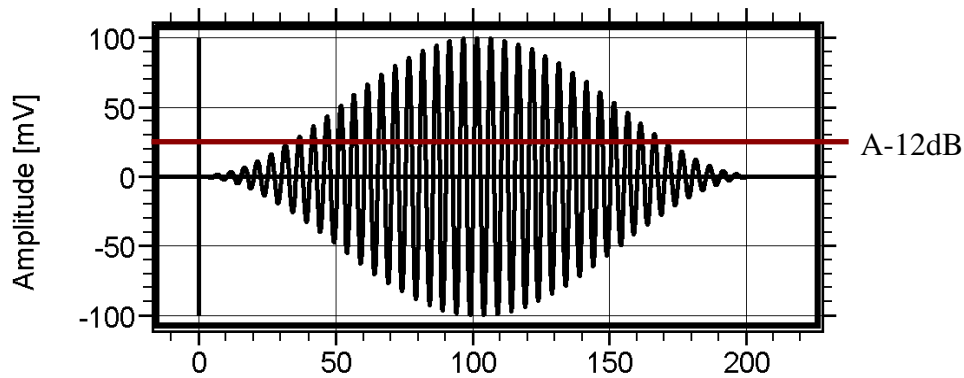


Abb. 3 Sin²-förmiger Burst mit Schwellenlinie 12 dB unter Maximalamplitude

Je nach Verhältnis der Maximalamplitude zur eingestellten Nachweisschwelle liegt ein Teil des dreieck- oder sin²-förmig modulierten Bursts am Anfang und Ende unterhalb der Nachweisschwelle. Die Signalkomponenten vor der ersten und nach der letzten Schwellenüberschreitung eines Bursts werden definitionsgemäß vom Signalprozessor bei der Bestimmung von Anstiegszeit, Dauer, Zahl der Überschwingungen (Counts) und Energie nicht berücksichtigt. Es ergeben sich somit systematische Abweichungen der gemessenen von den eingestellten Anstiegszeiten. Tabelle 1 zeigt die systematischen Abweichungen der gemessenen von den eingestellten Anstiegszeiten in Prozent, abhängig vom Verhältnis Maximalamplitude zur Nachweisschwelle in dB, an.

Tabelle 1 Verzögerung der ersten Schwellenüberschreitung in Abhängigkeit vom Verhältnis Amplitude/Schwelle für ein sin²-förmig und für ein dreieckig moduliertes Prüfsignal (aus [1])

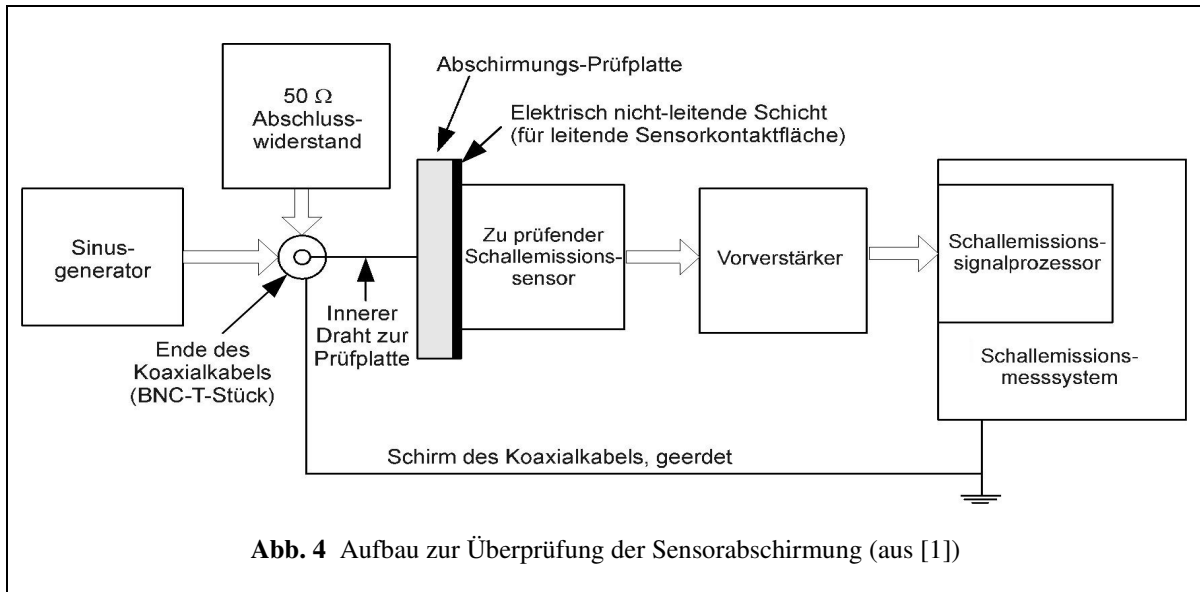
Schwelle	Verzögerung der ersten Schwellenüberschreitung für ein sin ² -förmig moduliertes Prüfsignal	Verzögerung der ersten Schwellenüberschreitung für ein dreieckig moduliertes Prüfsignal
	% der Anstiegszeit des Signals	% der Anstiegszeit des Signals
A – 20 dB	19,7	11,0
A – 25 dB	15,0	6,0
A – 30 dB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

7. Neuer Prüfschritt für die Sensorüberprüfung: Abschirmtest

Wenn ein innerer Fehler der elektrischen Abschirmung eines AE Sensors vorliegt, können Störsignale vom Prüfobjekt in den Sensor eingekoppelt werden und das AE-Signal überlagern. Diese elektrischen Störsignale sind von akustischen Störsignalen kaum zu unterscheiden, da sowohl akustische wie auch elektrische Störungen verschwinden, wenn der Sensor vom Testobjekt entfernt wird. Der in Abb. 4 gezeigte Prüfaufbau erlaubt die gezielte Überprüfung der Abschirmwirkung eines AE-Sensors.

Der Sensor wird in einer akustisch ruhigen Umgebung auf die Abschirmungsprüfplatte aufgesetzt. Falls die Kontaktfläche des Sensors elektrisch leitend

ist, wird eine dünne, elektrisch nichtleitende Schicht mit einer festgelegten Dicke aufgebracht, z. B. eine selbstklebende Folie. Die Abschirmungsprüfplatte wird über ein abgeschirmtes Koaxialkabel, wie in Abb. 4 gezeigt, an eine Sinusschwingung angeschlossen. Die Abschirmung des Kabels wird geerdet. Der Hersteller des Sensors muss für jedes Sensormodell die Prüfspannung (im Allgemeinen 10 V), die Prüffrequenz f_s (im Allgemeinen das 2,5-fache der Hauptresonanzfrequenz des Sensors) und das zulässige Maximum für die Ausgangsspannung des Sensors vor dem Vorverstärker (im Allgemeinen 2 mV) angeben. Die Hersteller-Spezifikation und die gemessenen Werte müssen protokolliert werden.



Anmerkung: Die Abschirmplatte kann beispielsweise aus einem Metallzylinder bestehen, ca 5 cm Durchmesser, montiert auf einer isolierenden Kunststoffplatte.

8. Neuer Prüfschritt für die Vorverstärkerüberprüfung: Stromaufnahme

Als erster Überprüfungsschritt eines Vorverstärkers in unbekanntem Zustand wird die Messung der Stromaufnahme empfohlen. Weicht diese weit vom Sollwert ab, muss ein Defekt angenommen werden. Vor einer weiteren Überprüfung des Vorverstärkers ist zuerst die fehlerhafte Stromaufnahme abzustellen.

Folgendes gilt für einen Vorverstärker, der über die Signalleitung mit einer Gleichspannung von +28 V versorgt wird. Für Vorverstärker mit anderen Spannungsanforderungen muss der Prüfaufbau entsprechend angepasst werden.

Abb. 5 zeigt den Messaufbau. Die Versorgung mit einer Gleichspannung von +28 V erfolgt über eine Verbindung vom Pluspol des Netzteils über ein Strommessgerät, eine 10 mH Induktivität zum Ausgang des Vorverstärkers. Die Drossel verhindert einen Wechselstrom zum Abblockkondensator des Netzteils. Der 50 Ohm Widerstand sorgt für korrekten Wechselspannungsabschluss.

Zuerst wird ohne Eingangssignal vom Sinusgenerator der Ruhestrom (Stand by) I_{SB} in Milliampere (mA) gemessen und aufgezeichnet.

Dann wird der Sinusgenerator wie folgt eingestellt:

- Sinuswelle,
- Frequenz im Durchlassbereich des Vorverstärkers,
- Ausgangsspannung so, dass am Vorverstärkerausgang Vollausschlag herrscht.

Der gemessene Strom bei Vollausschlag (Full Scale) I_{FS} wird ebenfalls in mA aufgezeichnet.

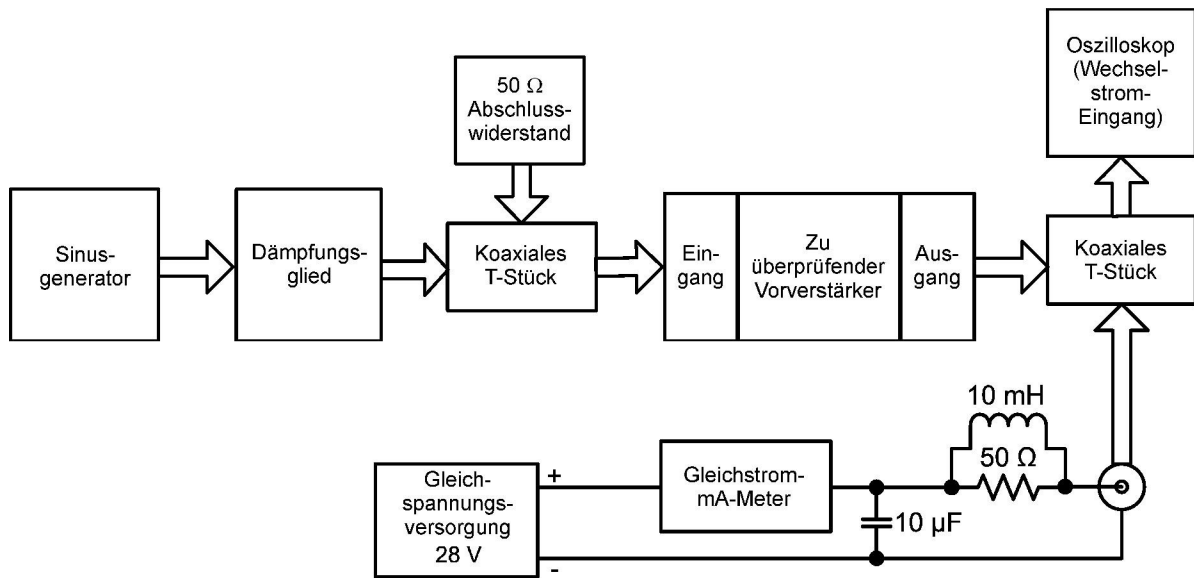


Abb. 5 Aufbau für die Messung der Gleichstromaufnahme (aus [1])

9. Neuer praxisnaher Messaufbau für das elektronische Vorverstärkerrauschen

Abb. 6 zeigt den empfohlenen Aufbau für die Rauschmessung eines Vorverstärkers unter Verwendung von zwei überprüften Signalprozessoren eines AE-Systems und einem zusätzlichen Nachverstärker.

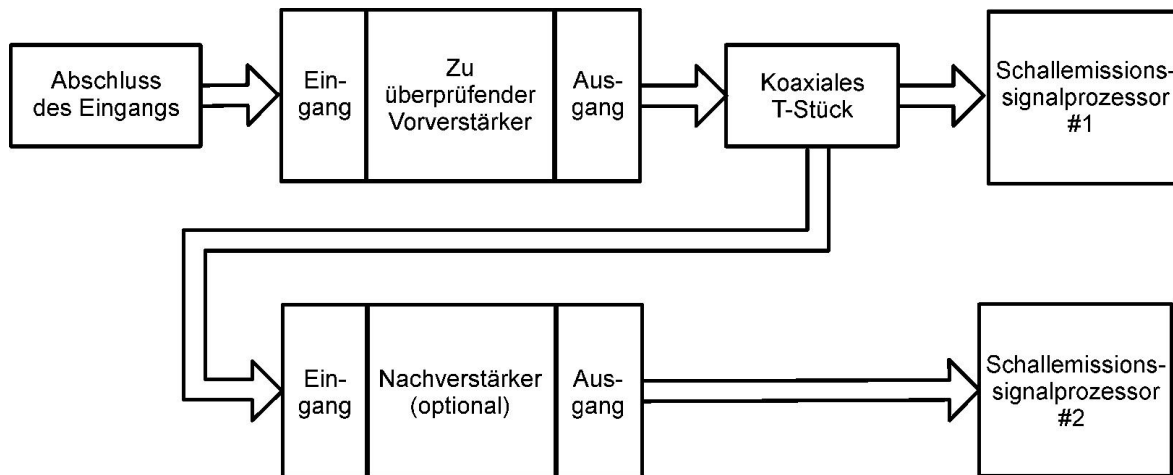


Abb. 6 Aufbau für die Messung des Vorverstärkerrauschens (aus [1])

Der Schallemissionsprozessor #1 dient nur als Abschlussimpedanz und zur Stromversorgung des zu überprüfenden Vorverstärkers. Da der Schallemissions-Signalprozessor für eine hohe Dynamik ausgelegt sein soll, hat er nur so viel Verstärkung, dass der gewünschte Eingangsbereich des Vorverstärkers, im Allgemeinen ± 100 mV, auf den Eingangsbereich des Schallemissionsprozessors, im Allgemeinen ± 5 V, verstärkt wird. Das entspricht einem Verstärkungsfaktor 50 bzw. 34 dB. Die Auflösung eines 16-Bit Analog-Digital-Wandlers, bezogen auf ± 100 mV Messbereich, beträgt $3,05 \mu\text{V}$. Deshalb

zeigt Abb. 7 im Rauschsignal des Vorverstärkers Sprünge um $3 \mu\text{V}$. Diese Sprünge nennt man Digitalisierungsrauschen.

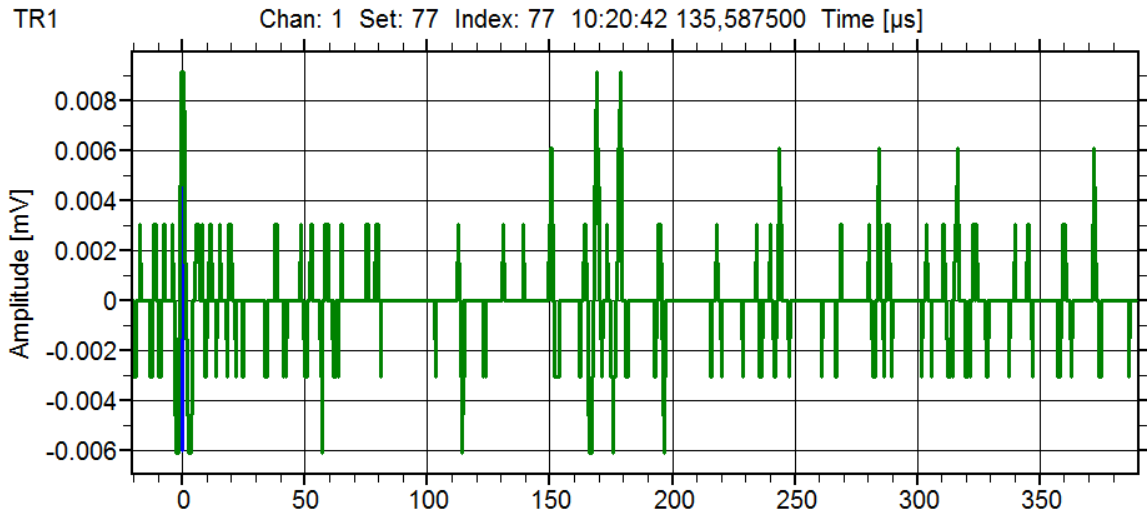


Abb. 7 Vorverstärkerrauschen (bis $9 \mu\text{V}$) geht fast im Digitalisierungsrauschen ($\pm 3 \mu\text{V}$ -Schritte) unter

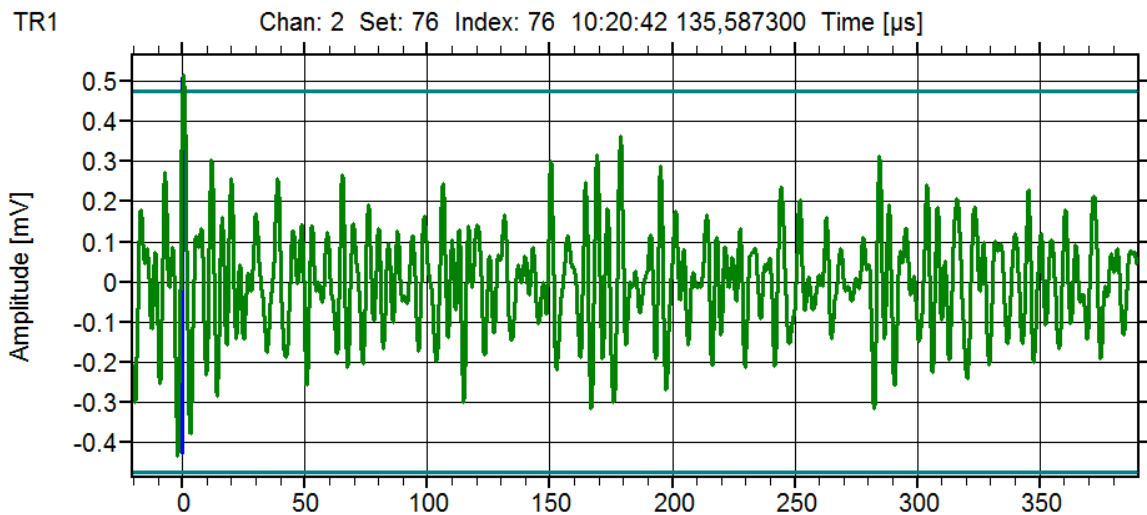


Abb. 8 Gleicher Triggerzeitpunkt wie Abb. 7, jedoch gemäß Abb. 6 mit zusätzlichem Faktor 50 verstärkt.

Für eine genauere Rauschmessung verstärkt man das Ausgangsrauschen des zu überprüfenden Vorverstärkers gemäß Abb. 6 mit einem weiteren Verstärker gleicher Bauart. Er wird vom Schallemissionsprozessor #2 gemessen und mit Betriebsspannung versorgt. Das zu messende Rauschen ist dann um Faktor 50 höher und wird vom Digitalisierungsrauschen des 2. Kanals nicht verfälscht, siehe Abb. 8. Der so gemessene Rauschpegel muss durch den Gesamtverstärkungsfaktor beider Vorverstärker, im Allgemeinen $50 * 50 = 2500$, dividiert werden, um sich auf den Eingang des zu überprüfenden Vorverstärkers zu beziehen. Abb. 7 und 8 wurden beide mit Faktor 50 berechnet.

Die Rauschmessung wird von folgenden Parametern beeinflusst, die festzulegen sind:

- Abschluss am Eingang des zu untersuchenden Vorverstärkers. Im Allgemeinen wird ein Abschlusswiderstand von 50Ω angeschlossen. Alternativ kann es auch

- ein Kurzschluss sein, eine definierte Kapazität, oder ein bestimmtes Sensormodell über eine definierte Kabellänge.
- der Bezugspunkt für die Skalierung des Rauschpegels, im Allgemeinen der Eingang des zu überprüfenden Vorverstärkers;
- die Nennbandbreite des Vorverstärkers (je größer die Bandbreite, desto höher ist das Rauschen);
- die Bandbreite, das Eingangsruschen und das Auflösungsvermögen der Messeinrichtung für den Rauschpegel.

10. Neues zur Überprüfung des Schallemissionssignalprozessors

Kapitel 7 der Norm behandelt die Überprüfung des Schallemissionssignalprozessors mit folgenden Unterkapiteln, die fast alle neu verfasst wurden (aus [1]):

- 7.1 Überblick
- 7.2 Überprüfung der Bandbreite und der Steilheit des Filters
- 7.3 Überprüfung der Nachweisschwelle
- 7.4 Überprüfung des Rauschpegels des Schallemissionssignalprozessors
- 7.5 Überprüfung der Parameter für Burst-Signale
 - 7.5.1 Allgemeines
 - 7.5.2 Maximalamplitude
 - 7.5.3 Dauer
 - 7.5.4 Anstiegszeit
 - 7.5.5 Anzahl der Überschwingungen
 - 7.5.6 Energie
- 7.6 Parameter für ein kontinuierliches Signal

Die Norm beschreibt detailliert alle erforderlichen Prüfschritte, die zu verwendenden Prüfsignale, Prüfparameter und zulässigen Abweichungen. In Tabelle 3 der Norm und diesem Manuskript sind alle diese Informationen zusammengefasst. Die Prüfparameter sind so gewählt, dass mit möglichst wenigen Einstellungen möglichst viele Merkmale überprüft werden können.

Neu hinzugekommen ist die Definition der zulässigen Abweichungen von Schwelle, Amplitude, Energie und externen parametrischen Eingängen als Summe zweier Werte MA und MB, wobei sich MA auf den Messwert und MB auf den Messbereich bezieht. Diese Definition berücksichtigt, dass die Analog-Digital-Wandlung (ADW) in konstanter Auflösung erfolgt, d.h. bezogen auf den Messwert ist die Auflösung für kleine Messwerte viel größer als für große Messwerte.

Beispiel Amplitude:

- Die Auflösung eines 16-Bit ADW im Messbereich ± 100 mV beträgt $200\text{mV}/2^{16} = 3,05 \mu\text{V}$. Bei einem Messwert von $30,5 \mu\text{V}$ ist somit die ADW-Auflösung $3,05/30,5 = 10 \%$ (ca 1dB), bei einem Messwert von $3,05$ mV ist sie $3,05/3050 = 0,1 \%$ (ca 0,01 dB)
- Die zulässige Abweichung nach Tabelle 3 ist "MA in dB + MB in μV ".
- Gemäß 7.5.2 der Norm sind Standardwerte für MA: 1 dB und für MB: $15 \mu\text{V}$ bei einem Messbereich von ± 100 mV am Vorverstärkereingang.

Die Umrechnung von MA und MB auf die obere und untere Zulässigkeitsgrenze ist in der Norm erläutert. Tabelle 2 gibt einige Beispielwerte.

Tabelle 2 Zulässigkeitsgrenzen für Nennwerte von 30 dB_{AE} bis 100 dB_{AE} und von 28 dB_{AE} bis 98 dB_{AE} für MA = 1 dB, MB = 6 µV für einen Bereich von ±100 mV (aus [1])

Nennwert dB _{AE}	Obere Zulässigkeits- grenze dB _{AE}	Untere Zulässigkeits- grenze dB _{AE}	Nennwert dB _{AE}	Obere Zulässigkeits- grenze dB _{AE}	Untere Zulässigkeits- grenze dB _{AE}
100,0	101,0	99,0	98,0	99,0	97,0
90,0	91,0	89,0	88,0	89,0	87,0
80,0	81,0	79,0	78,0	79,0	77,0
70,0	71,0	69,0	68,0	69,0	67,0
60,0	61,0	58,9	58,0	59,1	56,9
50,0	51,1	48,8	48,0	49,2	46,8
40,0	41,5	38,4	38,0	39,6	36,2
30,0	32,4	26,9	28,0	30,7	24,3

Wie Tabelle 2 zeigt, gilt die Toleranz von 1 dB für Messwerte oberhalb 60 dB_{AE}. Darunter erweitern sich die Zulässigkeitsgrenzen zunehmend. Bei 30 dB_{AE} darf die Abweichung +2,4 und -3,1 dB betragen.

Tabelle 3 Parameter für die Überprüfung des Schallemissionsignalprozessors (aus [1])

Zu überprüfende Parameter	Abschnitt	Prüfsignal	Prüfparameter	Erforderliche Prüfungen	Zulässige Abweichungen
Bandbreite	7.2, 6.3.3	C-Sw	Frequenzgangkurve	F _{HP} , HP-Steilheit und F _{LP} , LP-Steilheit	Hersteller-Spezifikation
Schwelle	7.3	Tri-/S ² -Sw	$f \approx F_M; R \geq 20/f; D \geq 40/f$	Thr $\approx 40; 70$ (dB _{AE})	$\pm (MA + 1 \text{ dB} + MB \text{ } \mu\text{V})$
Systemrauschen	7.4	Eingabe-Terminierung			Hersteller-Spezifikation
Maximalamplitude	7.5.2	Tri-/S ² -Sw	$f \approx F_M; R \geq 20/f; D \geq 40/f; Thr < A-6$	A $\approx 38, 58; 78; 98$ (dB _{AE})	$\pm (MA \text{ dB} + MB \text{ } \mu\text{V})$
Dauer	7.5.3	R-Sw	$f \approx F_M; A \approx 70; Thr \approx 40$	D $\approx 0,2; 4; 80$ (ms)	$\pm (2/f_c + 5 \%)^e$
Anstiegszeit ^a	7.5.4	Tri-Sw	$f \approx F_M; A \approx 70; Thr \approx 40$	R $\approx 100, 250, 500$ (µs)	$\pm 3/f$
Anstiegszeit ^b	7.5.4	S ² -Sw	A $\approx 70; Thr \approx 40$	f $\approx 110 \%$ F _{HP} , F _M , 90 % F _{LP}	$\pm 3/f$
Anzahl der Überschwingungen	7.5.5	R-Sw	$f \approx F_M; A \approx 70; Thr \approx 40$	D $\approx 0,2; 4; 80$ (ms)	$\pm (2/f_c + 5 \%)^e$
Energie ^c	7.5.6	Tri-/S ² -Sw	$f \approx F_M; R \geq 20/f; D \geq 40/f; Thr < A-6$	A $\approx 58, 78, 98$ (dB _{AE})	$\pm (10 \%$ + 4 eu) (1 eu = 10 ⁻¹⁴ V ² s)
Energie ^d	7.5.6	R-Sw	$f \approx F_M; A \approx 70; Thr \approx 40$	D $\approx 0,2, 4, 80$ (ms)	$\pm (10 \%$ + 4 eu) (1 eu = 10 ⁻¹⁴ V ² s)
Externe Parameter	8	DC		0 %, $\pm 1 \%$, $\pm 3 \%$, $\pm 10 \%$, $\pm 30 \%$, $\pm 90 \%$	$\pm (MPA \%$ abgelesen + MPB % fs)

Prüfsignale und Parameter, erforderliche Prüfungen und zulässige Abweichungen in einem Eingangsbereich über ± 100 mV

Abkürzungen: C-Sw: kontinuierliche Sinuswelle;
R-Sw: rechteckig modulierte Sinuswelle;
S²-Sw: sin²-förmig modulierte Sinuswelle;
Tri-Sw: dreieckig modulierte Sinuswelle;
Tri/S²-Sw: dreieckig oder sin²-förmig modulierte Sinuswelle;
n/f: n Zyklen von f;
F_M: geometrische Mittenfrequenz für die jeweilige Bandbreite,
F_{HP}; F_{LP}: Eckfrequenzen des Bandpasses;
A: Maximalamplitude in dB_{AE};
Thr: Schwelle in dB_{AE};
D: Dauer in ms;
R: Anstiegszeit;
MA, MB, MPA, MPB: vom Hersteller festzulegende Variablen.

^{a, b} Eine der beiden Überprüfungen ist erforderlich.
^{c, d} Beide Überprüfungen sind erforderlich.
^e Nach der in 7.5.1 beschriebenen Offset-Kompensation

Interpretationsbeispiel Maximalamplitude (Zeile 5 der Tabelle 3):

- Prüfsignal: Darf eine dreieckig oder sin²-förmig modulierte Sinuswelle sein.
- Prüfparameter:
Trägerfrequenz: etwa geometrische Mitte des Bandpasses,
Anstiegszeit: mindestens 20 Zyklen der Trägerfrequenz,
Signaldauer: mindestens 40 Zyklen,
Schwelle: Maximalamplitude minus 6 dB.
- Erforderliche Prüfschritte: 38, 58, 78, 98 dB_{AE}
- Zulässige Abweichungen: $\pm(MA \text{ dB} + MB \text{ } \mu\text{V})$ (siehe oben)

Referenzen

- [1] DIN EN 13477-2:2013-04 Zerstörungsfreie Prüfung - Schallemissionsprüfung - Charakterisierung der Prüfausrüstung - Teil 2: Überprüfung der Betriebskenngrößen; Deutsche Fassung EN 13477-2:2010.
- [2] DIN EN 13477-1:2013 Zerstörungsfreie Prüfung - Schallemissionsprüfung; Charakterisierung der Prüfausrüstung - Teil 1: Gerätebeschreibung; Deutsche Fassung EN 13477-1:2001 (in Vorbereitung)