

<p style="text-align: center;">Technische Richtlinie der öffentlich-rechtlichen Rundfunkanstalten in der Bundesrepublik Deutschland</p>	<p style="text-align: center;">Richtlinie Nr. 3/5</p>
<p style="text-align: center;">Bearbeiter dieses Heftes: AG Hörfunkbetriebsleiter Herausgeber: Institut für Rundfunktechnik</p>	<p style="text-align: center;">3. Auflage</p>
	<p style="text-align: center;">39 Seiten</p>
	<p style="text-align: center;">Datum: März 2013</p>
<p style="text-align: center;">Audiosysteme für Produktion und Sendung</p>	

Schutzrechte - Hinweis:

Es kann nicht gewährleistet werden, dass alle in dieser Richtlinie enthaltenen Forderungen, Vorschriften, Richtlinien, Spezifikationen und Normen frei von Schutzrechten Dritter sind.

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der Zitierfreiheit des Urheberrechtsgesetzes ist ohne vorherige schriftliche Zustimmung des IRT nicht zulässig.

Inhaltsverzeichnis

1	ALLGEMEINE ANGABEN	5
1.1	Geltungsbereich	5
1.2	Angewandte und weitere Dokumente	5
1.2.1	Technische Richtlinien der öffentlich-rechtlichen Rundfunkanstalten	5
1.2.2	AES/EBU - Standards und Informationsdokumente	6
1.2.3	IEC Standards, Deutsche Normen und weitere Dokumente	6
1.2.4	Literatur	6
2	ELEKTRISCHE EIGENSCHAFTEN	7
2.1	Allgemeines	7
2.1.1	Blockschaltbild	7
2.1.2	Prüfungseinstellungen	7
2.1.3	Synchronisation	7
2.1.4	Frequenzbereich	7
2.1.5	Abtastfrequenz	8
2.1.6	Normalpegel	8
2.1.7	Polung	8
2.2	Schnittstellen	9
2.2.1	Allgemeine Angaben	9
2.2.2	Analoge Eingänge	9
2.2.3	Analoge Ausgänge	10
2.2.4	Digitale Eingänge	10
2.2.5	Digitale Ausgänge	13
2.3	Messungen analog – analog	15
2.3.1	Mikrofonverstärker	15
2.3.2	Pegelsteller	15
2.3.3	Pegel	15
2.3.4	Klippgrenze, Headroom, maximaler Ausgangspegel	15
2.3.5	Lineare Verzerrungen / Amplituden-Frequenzgang	15
2.3.6	Phasendifferenz	16
2.3.7	Laufzeit, Latenz	16
2.3.8	Linearität	16
2.3.9	Unterdrückung von Alias-Verzerrungen	16
2.3.10	Gesamtverzerrung mit Rauschen (THD+N)	16
2.3.11	Systemdynamik	17
2.3.12	Jitterempfindlichkeit am Synchronisationseingang	18
2.3.13	Intermodulation	18
2.3.14	Leerkanalstörpegel, Leerkanalspektrum	18
2.3.15	Leerkanal-Betriebskennlinie	19
2.3.16	Übersprehdämpfung	20
2.3.17	Systemrauschen	20
2.3.18	Impulsverhalten	20

2.4	Messungen analog – digital	21
2.4.1	Pegel	21
2.4.2	Klippgrenze, Headroom	21
2.4.3	Lineare Verzerrungen / Amplituden-Frequenzgang	21
2.4.4	Phasendifferenz	21
2.4.5	Laufzeit, Latenz	21
2.4.6	Linearität	21
2.4.7	Unterdrückung von Alias-Verzerrungen	22
2.4.8	Gesamtverzerrung mit Rauschen (THD+N)	22
2.4.9	Systemdynamik	23
2.4.10	Jitterempfindlichkeit am Synchronisationseingang	23
2.4.11	Intermodulation	23
2.4.12	Leerkanalstörpegel, Leerkanalspektrum	23
2.4.13	Leerkanal-Betriebskennlinie	24
2.4.14	Übersprechdämpfung	24
2.5	Messungen digital – analog	25
2.5.1	Normalpegel, maximaler Ausgangspegel	25
2.5.2	Lineare Verzerrungen / Amplituden-Frequenzgang	25
2.5.3	Phasendifferenz	25
2.5.4	Laufzeit, Latenz	25
2.5.5	Linearität	25
2.5.6	Gesamtverzerrung mit Rauschen (THD+N)	26
2.5.7	Systemdynamik	26
2.5.8	Intermodulation	27
2.5.9	Jitterempfindlichkeit	27
2.5.10	Leerkanalstörpegel, Leerkanalspektrum	27
2.5.11	Übersprechdämpfung	28
2.6	Messungen digital – digital	28
2.6.1	Pegel	28
2.6.2	Frequenzgang	28
2.6.3	Phasendifferenz	28
2.6.4	Laufzeit, Latenz	28
2.6.5	Gesamtverzerrung mit Rauschen (THD+N)	28
3	BETRIEBSBEDINGUNGEN	29
3.1	Stromversorgung	29
3.2	Temperaturbereich	29
3.3	Umgebungsverträglichkeit	29
3.3.1	Elektromagnetische Verträglichkeit	29
3.3.2	Schallfelder	30
3.3.3	Hochfrequente Störsignale an den Eingangsschnittstellen	30
3.3.4	Knackstörungen	31

4	ZUSATZEINRICHTUNGEN	31
4.1	Gestaltungsmittel	31
4.2	Aussteuerungsmesser und Signalkontrollgeräte	31
4.3	Tongenerator	31
4.4	Koppelfelder, Kreuzschienen	32
4.5	Kommandoeinrichtungen	32
4.6	Signalisierung, Statusmeldungen	32
5	ANHANG	33
5.1	Impulsverhalten	33
5.2	Unsymmetrie	34
5.2.1	Scheinwiderstandsunsymmetrie	34
5.2.2	Spannungsunsymmetrie	36
5.3	Begriffserläuterungen	37
5.4	Begriffe und Abkürzungen	39

1 Allgemeine Angaben

1.1 Geltungsbereich

Diese Richtlinie enthält Bedingungen, welche an Audiosysteme für Produktion und Sendung gestellt werden. Audiosysteme in diesem Sinne können ortsfeste, mobile oder transportable Einrichtungen sein.

Dieser Richtlinie legt als Grundkonzept eine „blackbox“ - Betrachtungsweise zugrunde, in der versucht wird, sämtliche Qualitätsanforderungen an Audiosysteme über die Eingangs- und Ausgangsschnittstellen zu beschreiben, ohne eine bestimmte interne Gerätekonfiguration vorzuschreiben. Natürlich muss bei Definition der gestellten Forderungen oder Überprüfung ihrer Einhaltung eine Angabe über die signalbeeinflussenden Stellgrößen gemacht werden, nicht aber über deren Zahl, Anordnung im Signalweg und Technik der Einflussnahme.

Ganz generell sollen Audiosysteme sowohl mit analoger als auch digitaler Signalverarbeitung den gestellten Bedingungen genügen.

Von den Richtlinienbedingungen abweichende Forderungen sollen in jedem Einzelfall in den Ausschreibungen hervorgehoben werden, ebenso wie Abweichungen von den Richtlinienbedingungen im Angebot angegeben werden sollen.

1.2 Angewandte und weitere Dokumente

Die in folgenden Abschnitten aufgeführten Normen, Richtlinien, Standards, Vorschriften bzw. Empfehlungen sind jeweils in der neusten Version anzuwenden, wenn dies nicht anders erwähnt ist. In dieser Liste sind die Vorschriften und Richtlinien aufgeführt, anhand derer die qualitative Prüfung von Geräten und kompletten Anlagen der analogen und digitalen Audiotechnik vorgenommen werden.

1.2.1 Technische Richtlinien der öffentlich-rechtlichen Rundfunkanstalten

3/1 – 8/2	Allgemeine Richtlinien für Entwicklung, Fertigung und Lieferung von Studio-geräten und –anlagen der Tonfrequenz- und Videofrequenztechnik
3/3	Audiokabel und –leitungen
3/6	Aussteuerungsmesser
8/14	Taktgeber und Synchronisationssysteme
R1	Wartung von softwaregesteuerten Geräten und Anlagen
R2	Richtlinien zur Erzielung der elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV) von Geräten und Anlagen in Rundfunkbetrieben

Weitere Richtlinien und Empfehlungen, soweit deren Bereiche durch Anwendung der eingesetzten Technik berührt wird.

1.2.2 AES/EBU - Standards und Informationsdokumente

AES-3	AES standard for digital audio - Digital input-output interfacing - Serial transmission format for two-channel linearly represented digital audio data
AES-2ID	Guidelines for the use of the AES3 interface
AES-5	Preferred sampling frequencies for application employing PCM
AES-10	Serial Multichannel Audio Digital Interface (MADI)
AES-11	Synchronization of digital audio equipment in studio operations
AES-14	Application of connectors, part 1, XLR-Type polarity and gender
AES-17	Measurement of digital audio equipment
AES-18	Format for the user data channel of the AES digital audio interface
AES-42	Digital Interface for microphones

Weitere Standards und Informationsdokumente, soweit deren Bereiche durch Anwendung der eingesetzten Technik berührt wird.

1.2.3 IEC Standards, Deutsche Normen und weitere Dokumente

Publication 268-1	Sound system equipment – Part 1: General
Publication 268-2	Sound system equipment – Part 2: Explanation of general terms and calculation methods
Publication 268-3	Sound system equipment – Part 3: Amplifiers
Publication 268-10	(1991) Sound system equipment – Peak programme level meters
IEC 60958	Digital audio interface
DIN EN 60268-3	(2001-10) Elektroakustische Geräte – Teil 3: Verstärker
DIN 45 405	Störspannungsmessung in der Tontechnik
DIN 15 996	Bild- und Tonbearbeitung in Film-, Video- und Rundfunkbetrieben - Grundsätze und Festlegungen für den Arbeitsplatz
DIN EN 55103-1/2	Elektromagnetische Verträglichkeit – Produktfamilienform für Audio-, Video- und audiovisuelle Einrichtungen sowie für Studio-Lichtsteuer-einrichtungen für professionellen Einsatz Teil 1: Störaussendungen Teil 2: Störfestigkeit
DIN EN 55103-1	Elektromagnetische Verträglichkeit - Störaussendung
DIN EN 55103-2	Elektromagnetische Verträglichkeit - Störfestigkeit
DIN EN 61606	Audio- und audiovisuelle Geräte - Digitale Tonteile - Grundlegende Messverfahren der Audio-Eigenschaften
EMVG	Gesetz über elektromagnetisch Verträglichkeit von Betriebsmitteln

Weitere Standards und Normen, soweit deren Bereiche durch Anwendung der eingesetzten Technik berührt wird.

1.2.4 Literatur

Handbuch der Tonstudioteknik
Herausgeber: ARD.ZDF Medienakademie
7. Auflage, 2008, K. G. Saur Verlag, München

Handbuch der Audiotechnik
Stefan Weinzierl, 1. Auflage, 2008, Springer-Verlag

2 Elektrische Eigenschaften

2.1 Allgemeines

2.1.1 Blockschaltbild

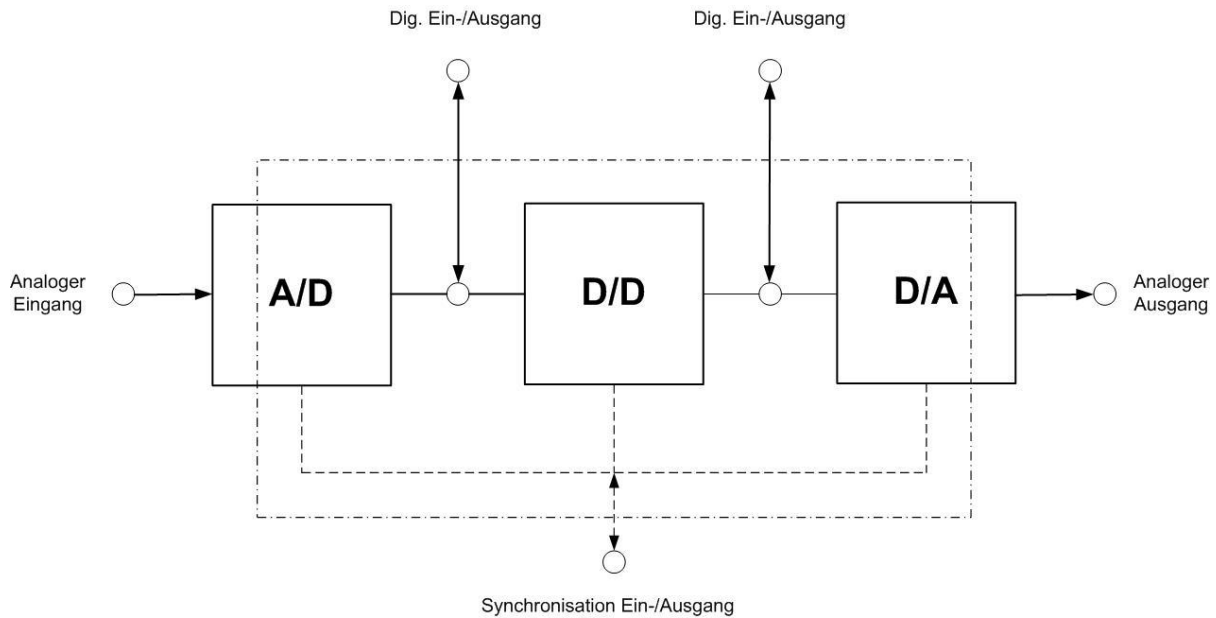


Bild 1: Blockschaltbild - Audiosystem mit digitaler Verarbeitung der Audiosignale

2.1.2 Prüfungseinstellungen

Verstärkung	$v = 0 \text{ dB}$
Gestaltungsmittel	neutral / linear
Emphasis	aus
Dither, wenn nicht anders erwähnt	ein

Hierzu ist auch die ausführliche Beschreibung in der AES 17 zu beachten.

2.1.3 Synchronisation

Wenn möglich sollen alle Systeme der Anlage mit externer Synchronisation betrieben werden. Die Synchronisationsquelle soll dabei den Anforderungen der Richtlinie 8/14 entsprechen. Grundsätzlich soll bei einer Auswahlmöglichkeit der Taktsignale immer dem Signal mit der höchsten Grundfrequenz der Vorzug gegeben werden. Einem AES3-Taktsignal ist gegenüber einem Word-Clock-Signal der Vorzug zu geben.

2.1.4 Frequenzbereich

Die angegebenen Grenzwerte für die einzelnen Messungen gelten, wenn nicht anders angegeben, für folgenden Frequenzbereich, wobei 20 kHz die „Obere Grenzfrequenz“ darstellt.

Frequenzbereich	20 Hz ... 20 kHz
In der Regel ist die Bezugsfrequenz	$f_b = 997 \text{ Hz}$

2.1.5 Abtastfrequenz

Die angegebenen Grenzwerte für die einzelnen Messungen gelten für Abtastfrequenzen $f_s \geq 44,1$ kHz. Als Standard ist die Abtastfrequenz $f_s = 48$ kHz zu wählen. Werden davon abweichende Abtastfrequenzen genutzt, so ist dies zu vermerken.

2.1.6 Normalpegel

Absolute analoge Spannungspegel sind in dBu anzugeben. „dBu“ ist der absolute Spannungspegel, bezogen auf $U_0 = 0,775$ V in Dezibel, $0 \text{ dBu} = 0,775$ V. Digitale Pegel sind in dBFS anzugeben.

Der Normalpegel an analogen Ein- und Ausgängen ist $p_N = +6$ dBu

an digitalen Ein- und Ausgängen $p_N = -9$ dBFS

Dieser Pegelbezug entspricht einer Verstärkung von $v = 0$ dB.

Aus dem maximalen digitalen Pegel von $p_{\max} = 0$ dBFS ergibt sich ein

maximaler analoger Eingangs- bzw. Ausgangspegel von $p_{\max} = +15$ dBu

Die Differenz aus maximalem Pegel und Normalpegel wird Headroom genannt.

Bei Verwendung des herkömmlichen QPPM-Aussteuerungsmesser gemäß der Richtlinie 3/6 ($t_i=10$ ms) entspricht der Normalpegel 100% Programm-Aussteuerung. In der Praxis kann es vorkommen, dass der maximale Eingangs- bzw. Ausgangspegel größer als +15 dBu ist. In diesem Fall muss dies entsprechend beim Einmessen und der Beurteilung von Messwerten berücksichtigt werden.

2.1.7 Polung

Zwischen allen Ein- und Ausgängen, egal ob digital oder analog, muss eine einheitliche und gleiche Polungsbeziehung bestehen. Dies gilt auch für alle unabhängigen Einzelabschnitte der Anlage.

2.2 Schnittstellen

2.2.1 Allgemeine Angaben

Neben den hier beschriebenen Schnittstellen gibt es noch weitere, teilweise auch proprietäre Audio-Schnittstellen, die hier nicht behandelt werden. Hierunter fallen auch optische Schnittstellen. Für solche Schnittstellen gelten die Anforderungen aus den entsprechenden Richtlinien oder, wenn keine Richtlinien bekannt sind, die Angabe der Hersteller bzw. Erfahrungswerte.

2.2.2 Analoge Eingänge

2.2.2.1 Beschreibung

Die Quellwiderstände der speisenden Quelle betragen für

Normalpegeleingänge	$R_1 \leq 40 \Omega$
Mikrofoneingänge	$R_1 \leq 200 \Omega$

Alle Eingänge sollen symmetrisch ausgeführt sein und auch von unsymmetrischen Quellen gespeist werden können. Auch dabei sollen die aufgeführten Werte eingehalten werden.

Wenn Eingänge gefordert sind, die sowohl symmetrisch als auch erdfrei sind, bedarf es einer gesonderten Vereinbarung. Es müssen dann Übertrager vorgesehen werden oder Schaltungen, die die gleichen elektrischen Eigenschaften wie Übertrager aufweisen.

2.2.2.2 Eingangsscheinwiderstand

Im Frequenzbereich 20 Hz ... 20 KHz unter Berücksichtigung jeglicher Betriebszustände:

Normalpegeleingänge	$Z_{\text{ein}} \geq 5 \text{ k}\Omega$
Mikrofoneingänge	$Z_{\text{ein}} \geq 1 \text{ k}\Omega$

2.2.2.3 Unsymmetrie(dämpfung) des Eingangsscheinwiderstandes

Für alle Eingänge	$a_u \geq 60 \text{ dB}$
-------------------	--------------------------

Dieser Wert gilt für den Bereich 40 Hz ... 15 kHz.

Bei Mikrofoneingängen ist diese Forderung auch mit eingeschalteter Phantomspeisung einzuhalten.

2.2.2.4 Phantomspannungsfestigkeit

Alle Grenzwerte sollen auch eingehalten werden, wenn eine Gleichspannung von + 48 V (Quellimpedanz 6,8 k Ω) für eine Zeitdauer von einer Minute an einer der beiden Klemmen eines symmetrischen Eingangs angelegen hat, während die jeweils andere Klemme auf Masse lag. Bei Mikrofoneingängen mit Phantomspannung genügt es, vor der Prüfung eine der beiden Eingangsklemmen auf Masse zu legen.

2.2.3 Analoge Ausgänge

2.2.3.1 Beschreibung

Alle Ausgänge sollen symmetrisch und potentialfrei sein. Es sind Übertrager vorzusehen oder Schaltungen, die die gleichen elektrischen Eigenschaften wie Übertrager aufweisen. Wenn die Potentialfreiheit nicht gegeben ist, sollen unsymmetrische Lasten trotzdem betrieben werden können. Auch dabei sollen die Grenzwerte eingehalten werden.

2.2.3.2 Ausgangsscheinwiderstand

Normalpegelausgänge $Z_{\text{aus}} \leq 40 \Omega$

2.2.3.3 Unsymmetrie(dämpfung) des Ausgangsscheinwiderstandes

Für alle Ausgänge $a_u \geq 60 \text{ dB}$

Dieser Wert gilt für den Bereich 40 Hz ... 15 kHz.

2.2.3.4 Unsymmetrie(dämpfung) der Ausgangsspannung

Für alle Ausgänge $a_v \geq 40 \text{ dB}$

Dieser Wert gilt für den Bereich 40 Hz ... 15 kHz.

2.2.3.5 Belastbarkeit

Alle Normalpegelausgänge sollen bei Einhaltung der Anforderungen dieser Richtlinie mit $R_2 = 600 \Omega$ oder auch kapazitiv mit der Parallelschaltung von $R_2 = 10 \text{ k}\Omega$ und $C = 22 \text{ nF}$ belastbar sein. Bei einem Ausgangspegel von + 6 dBu soll jeder Ausgang kurzgeschlossen werden können, ohne dass es zu bleibenden Beeinträchtigungen kommt.

2.2.3.6 Phantomspannungsfestigkeit

Alle Grenzwerte sollen auch eingehalten werden, wenn eine Gleichspannung von + 48 V (Quellimpedanz 6,8 k Ω) für eine Zeitdauer von einer Minute an einer der beiden Klemmen eines symmetrischen Ausgangs angelegen hat, während die jeweils andere Klemme auf Masse lag.

2.2.4 Digitale Eingänge

Für die digitalen Schnittstellen gelten auch die AES-Richtlinien. Da auch die unsymmetrische Technik nach AES3 verwendet wird, wird diese hier mit berücksichtigt. Wenn digitale Schnittstellen mit anderen Signalformaten eingesetzt werden, sollen die entsprechenden Richtlinien bzw. Herstellerangaben eingehalten werden, soweit diese vorhanden sind.

2.2.4.1 Signalamplitude

Für symmetrische Eingänge nach AES3 gilt:

Der Empfänger soll Signale bis $7 V_{SS}$ fehlerfrei verarbeiten. Weiterhin muss er Signale sicher erkennen, deren Augenöffnung sich auf $V_{min} = 200 \text{ mV}$ bei $T_{min} = 0,5 \times T_{nom}$ reduziert hat (siehe Augendiagramm).

Für unsymmetrische Eingänge nach AES3 gilt:

Der Empfänger soll Signale bis $1,2 V_{SS}$ fehlerfrei verarbeiten. Weiterhin muss er Signale sicher erkennen, deren Augenöffnung sich auf $V_{min} = 320 \text{ mV}$ bei $T_{min} = 0,5 \times T_{nom}$ reduziert hat (siehe Augendiagramm).

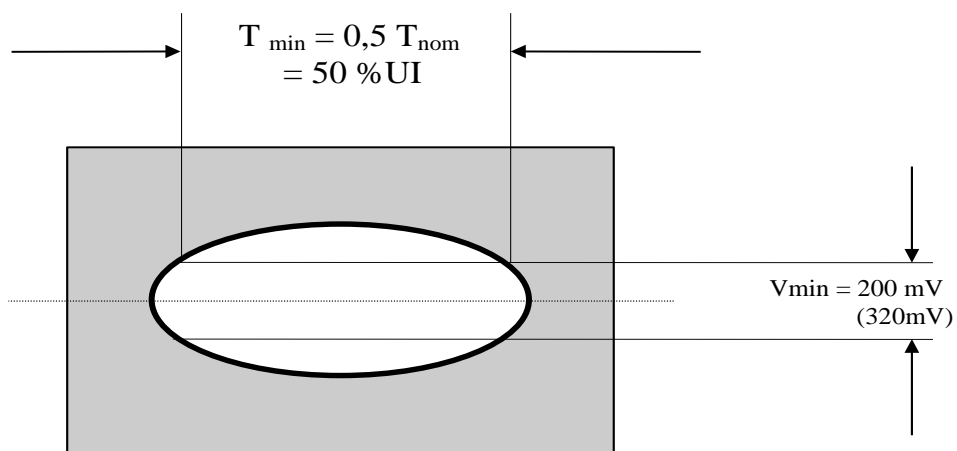


Bild 2: Augendiagramm

T_{nom} entspricht $1 \times UI$ (Unit Intervall)

$1 UI = \text{Unit Intervall} = \text{kürzestes Taktintervall im Codierten Datenstrom}$

$1 \text{ Sampleframe} = 2 \text{ Subframes} = 128 UI$

Abtastfrequenz in kHz	1 UI in ns
44,1 kHz	177,2 ns
48 kHz	162,7 ns
96 kHz	81,4 ns

2.2.4.2 Jitter

Der Empfänger soll eingehende, mit sinusförmigem Jitter behaftete Signale fehlerfrei verarbeiten. Dabei darf sich der Wert der Gesamtverzerrung nicht erhöhen. Der maximal zulässige Jitter dabei ist in der Jittertoleranzkurve (siehe unten) definiert. Die Angaben in UI sind dabei peak to peak, im Gegensatz zu den Werten unter 2.2.5.2, die als peak-Werte gemessen werden. Dies muss bei den verwendeten Messgeräten berücksichtigt werden.

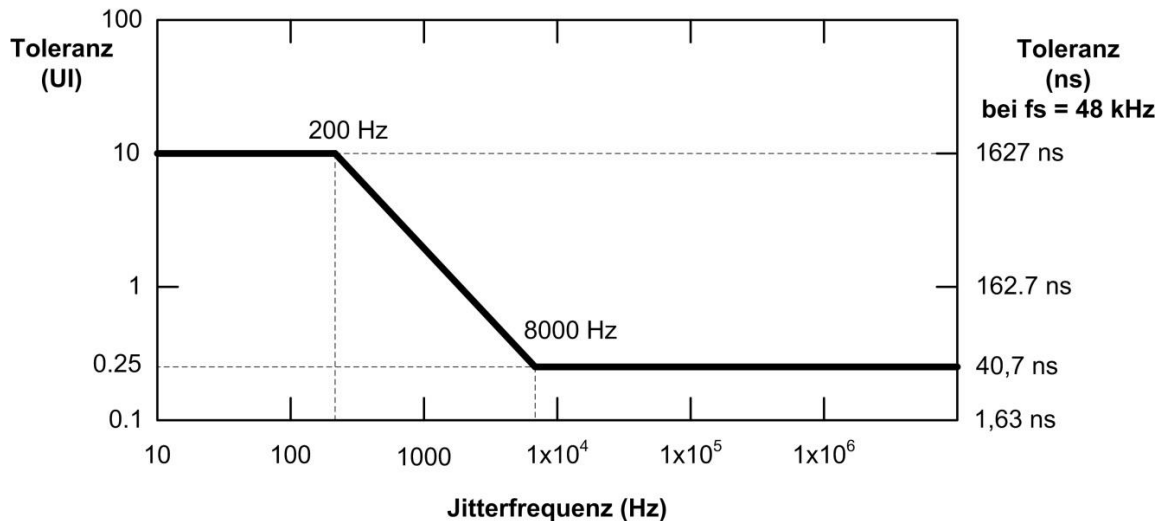


Bild 3: Jittertoleranzkurve gemäß AES3

2.2.4.3 Impedanz

Für symmetrische Eingänge nach AES3 gilt:

Die Eingangsimpedanz soll im Frequenzbereich 100 kHz bis zur 128-fachen Abtastfrequenz (6,144 MHz bei $f_s = 48$ kHz) in folgenden Grenzen liegen:

Impedanz

$$Z_{\text{ein}} = 110 \Omega \pm 20 \%$$

Für unsymmetrische Eingänge nach AES3 gilt:

Die Impedanz des unsymmetrischen Einganges soll 75Ω betragen und eine Rückflussdämpfung besser 15 dB aufweisen.

2.2.4.4 Validity-Bit

Liegt am digitalen Eingang ein Signal mit Validity-Bit = 1 (ungültig) an, so sollte der Prüfling nicht stumm schalten.

2.2.4.5 Channel Status

Die Reaktion des Prüflings auf verschiedene Channel Status Daten im Eingangssignal soll untersucht werden.

2.2.4.6 Synchronisationseingang

Sollte es sich um einen AES3-konformen Eingang handeln, gelten die obigen Spezifikationen. Für Word-Clock-Schnittstellen ist keine Spezifikation bekannt. Die für eine einwandfreie Funktion notwendigen Eigenschaften (z.B. minimaler und maximaler Pegel und Impedanz) müssen, wenn notwendig, untersucht werden.

Für Empfänger gilt: Gleich- und wechsellspannungsgekoppelte Signale sollten verarbeitet werden können, wobei TTL-Logikpegel üblich sind (Pegel $< 0,4$ Volt sind logisch „Null“, Pegel $> 2,4$ Volt sind logisch „Eins“).

Für Sender gilt: Der Ausgang soll ein gleichspannungsgekoppeltes Signal liefern, welches bei einer Belastung mit 75Ω mindestens 3 V Signalamplitude hat.

2.2.5 Digitale Ausgänge

Die Werte sollten jeweils bei interner und externer Synchronisation gemessen werden, soweit diese Einfluss auf den Messwert nehmen kann.

2.2.5.1 Signalamplitude

Für symmetrische Ausgänge nach AES3 gilt:

Die Signalamplitude soll, gemessen mit Abschluss 110 Ω , in folgenden Grenzen liegen:

Signalamplitude $U_S = 2 \dots 7 V_{SS}$

Für unsymmetrische Ausgänge nach AES3 gilt:

Die Signalamplitude soll, gemessen mit Abschluss 75 Ω , in folgenden Grenzen liegen:

Signalamplitude $U_S = 0,8 \dots 1,2 V_{SS}$

2.2.5.2 Jitter

Nach AES3 soll die Jitter-Amplitude im AES-Signal bezogen auf ein ideales jitterfreies Signal folgende Werte nicht überschreiten:

Jitteramplitude $t_j < 0,025 UI$, entspr. 4,07 ns bei $f_s = 48$ kHz

Der Jitter wird an allen Nulldurchgängen des Signales gemessen und als Peak-Wert angegeben. Wenn ein Messgerät nur Peak-Peak-Messungen durchführen kann, gilt entsprechend der doppelte Grenzwert. Das Messfilter soll die Filtercharakteristik gemäß AES3 aufweisen.

2.2.5.3 Abweichung Abtastfrequenz

Die Abweichung wird gemäß AES11 gemessen. Es wird die Abweichung der internen Abtastfrequenz in ppm (1ppm = 0,048 Hz bei $f_s = 48$ kHz) angegeben. Die Abweichung soll innerhalb folgender Grenzwerte liegen:

Grade 1 $\Delta f_s \leq \pm 1$ ppm

Grade 2 $\Delta f_s \leq \pm 10$ ppm

Grade 1 gilt als Genauigkeit für hochgenaue Taktquellen, die komplette Studiokomplexe synchronisieren, als auch für einzelne Studios.

Grade 2 gilt für einzelne Studios, für die die Anforderung Grade 1 nicht notwendig ist.

2.2.5.4 Impedanz

Für symmetrische Ausgänge nach AES3 gilt:

Die Ausgangsimpedanz soll im Frequenzbereich von 100 kHz bis zur 128-fachen Abtastfrequenz (6,144 MHz bei $f_s = 48$ kHz) in folgenden Grenzen liegen:

Impedanz $Z_{aus} = 110 \Omega \pm 20 \%$

Für unsymmetrische Ausgänge nach AES3 gilt:

Die Ausgangsimpedanz soll 75 Ω betragen und eine Rückflussdämpfung > 15 dB aufweisen.

2.2.5.5 Anstiegs- und Abfallzeit

Für symmetrische Ausgänge nach AES3 gilt:

Die Anstiegs- und Abfallzeiten der Flanken werden in den Bereichen 10 % - 90 % der Signalamplitude (Dachspannung bei Abschluss mit 110 Ω) gemessen und sollen in folgende Grenzen liegen:

Anstiegszeit, Abfallzeit

$$t_{\text{rise}} / t_{\text{fall}} = 5 \dots 30 \text{ ns}$$

Für unsymmetrische Ausgänge nach AES3 gilt:

Die Anstiegs- und Abfallzeiten der Flanken werden in den Bereichen 10 % - 90 % der Signalamplitude (Dachspannung bei Abschluss mit 75 Ω) gemessen und sollen in folgende Grenzen liegen:

Anstiegszeit, Abfallzeit

$$t_{\text{rise}} / t_{\text{fall}} = 30 \dots 44 \text{ ns}$$

2.2.5.6 Channel Status

Im Channel Status muss mindestens die „Standard“-Ausführung implementiert sein, bei der in Byte 0 - 2 und im Byte 23 entsprechende Angaben gemäß AES3 gemacht werden.

2.2.5.7 Synchronisationsausgang

Sollte es sich beim Synchronisationsausgang um einen AES3-konformen Ausgang handeln, gelten die obigen Spezifikationen. Bei Word-Clock-Ausgängen sollen die Parameter, mit 75 Ω Last, gemessen und protokolliert werden. Es gelten die Angaben unter 2.2.4.6.

2.2.5.8 Phase bezüglich Referenz

Wenn es Anforderungen bezüglich der Werte für die Phase des Ausgangssignales zur Referenz (Synchronisationssignal) gibt, so sollen die Werte der AES-11-2009 von $\pm 5\%$ der AES-Frameperiode eingehalten werden.

2.3 Messungen analog – analog

Die angegebenen Grenzwerte gelten, soweit diese anwendbar sind, auch für Audiosysteme, die mit rein analoger Schaltungstechnik aufgebaut sind.

2.3.1 Mikrofonverstärker

Die Verstärkung soll einstellbar sein zwischen $v = 0 \dots 70$ dB

Bei analogen Mikrofonverstärkern soll die Abweichung

zum angegebenen Verstärkungswert sein: $\Delta p \leq 0,5$ dB

Die Verstärkungsangabe muss sich auf die Nullstellung beziehen.

2.3.2 Pegelsteller

Die Normstellung der Pegelsteller ist mit 0 dB zu kennzeichnen. Verstärkung und Dämpfung relativ zur Normstellung sind in dB anzugeben.

2.3.3 Pegel

Der Normalpegel am analogen Eingang bei $f = 997$ Hz ist +6 dBu. Bei $v = 0$ dB soll am analogen Ausgang ein Pegel von +6 dBu $\pm 0,2$ dB anstehen. Dieser Wert ist bei einer Belastung zwischen 2 k Ω und hochohmigem Abschluss (≥ 10 k Ω) zu erreichen.

2.3.4 Klippgrenze, Headroom, maximaler Ausgangspegel

Es soll die Analogsignalspannung ermittelt werden, mit der unter normalen Bedingungen (siehe 2.1.2) die digitale Klippgrenze erreicht wird. In Systemen mit verfügbarem digitalem Ausgang ist der Eingangspegel für die Klippgrenze diejenige RMS-Spannung einer 997 Hz-Schwingung, mit der ein digitales Signal erzeugt wird, dessen Spitzenwert die positive oder negative digitale Skalengrenze erreicht, gleich welche zuerst kommt. Ist das digitale Signal nicht zugänglich, oder wenn die digitale Klippgrenze nicht erreicht werden kann (z.B. wegen Begrenzung am Eingang), soll der Eingangspegel für die Klippgrenze derjenige sein, der um 0,5 dB unter dem 997 Hz-Pegel liegt, mit dem bei Normalbetrieb des Prüflings gerade 1 % THD+N noch nicht erreicht werden. Mit dem Erreichen der Klippgrenze (bzw. bei Speisung mit 0 dBFS am digitalen Eingang) stellt sich der analoge maximale Ausgangspegel ein. Dieses Ausgangssignal muss verzerrungsfrei sein.

Der Abstand von der Klippgrenze zum Normalpegel $p_N = +6$ dBu ist als Headroom anzugeben.

2.3.5 Lineare Verzerrungen / Amplituden-Frequenzgang

Der Frequenzgang wird abweichend von der AES17 mit Normalpegel, relativ zum Pegel bei $f = 997$ Hz gemessen. Bei Systemen mit nicht abschaltbarer Emphase soll mit $p_0 = 20$ dB unter Klippgrenze gemessen werden, um Übersteuerungen zu vermeiden.

Die angegebenen zulässigen linearen Verzerrungen gelten für alle möglichen Wege zwischen den Ein- und Ausgängen der Audiosysteme, auch für Mikrofoneingänge. Folgende Werte sollen nicht überschritten werden:

Im Frequenzbereich 20 Hz ... 40 Hz und 15 kHz ... 20 kHz $\Delta p \leq \pm 1,0$ dB

Im Frequenzbereich 40 Hz ... 15 kHz $\Delta p \leq \pm 0,5$ dB

Diese Bedingungen sollen bei Normalpegeleingängen eingehalten werden für Eingangspegel im Bereich von: $p_0 = +15 \dots -54$ dBu

bei jeglicher Verstärkung, die zu einem Ausgangspegel von $p_2 \leq +15$ dBu führt.

2.3.6 Phasendifferenz

Die Phasendifferenz zwischen gleich konfigurierten Wegen (z.B.: links – rechts) soll im Frequenzbereich von 20 Hz bis 20 kHz folgenden Wert nicht überschreiten:

Phasendifferenz $\Delta \varphi \leq \pm 5,0$ Grad

2.3.7 Laufzeit, Latenz

Die Gerätelaufzeit zwischen Ein- und Ausgang ist anzugeben. Zwischen gleich konfigurierten Wegen darf keine Laufzeitdifferenz auftreten.

2.3.8 Linearität

Die Linearitätsabweichung, selektiv gemessen bei einer Frequenz von $f = 997$ Hz soll folgende Werte nicht überschreiten:

Für Systeme mit 16 Bit Wortbreite

Im Bereich $p_0 = 0 \dots 60$ dB unter Klippgrenze $\Delta p \leq \pm 0,2$ dB

Im Bereich $p_0 = 60 \dots 80$ dB unter Klippgrenze $\Delta p \leq \pm 0,5$ dB

Im Bereich $p_0 = 80 \dots 90$ dB unter Klippgrenze $\Delta p \leq \pm 1,0$ dB

Für Systeme mit höherer Wortbreite

Im Bereich $p_0 = 0 \dots 90$ dB unter Klippgrenze siehe oben

Im Bereich $p_0 = 90 \dots 100$ dB unter Klippgrenze $\Delta p \leq \pm 2,0$ dB

2.3.9 Unterdrückung von Alias-Verzerrungen

Es werden die Störsignale im Nutzbereich bandbegrenzt gemessen, die bei Speisung mit $f = f_s/2$ bis 192 kHz mit einem Eingangspegel $p_0 = 20$ dB unter Klippgrenze, entstehen. Im angegebenen Frequenzbereich soll für die Dämpfung $a_{\text{alias+N}}$ (bezogen auf den Ausgangspegel bei entsprechendem 997 Hz-Eingangssignal) folgende Vorgabe eingehalten werden:

$$a_{\text{alias+N}} \geq 70 \text{ dB}$$

Die Messwerte sollen graphisch dargestellt werden.

2.3.10 Gesamtverzerrung mit Rauschen (THD+N)

Die Messwerte sollen abweichend von der AES17 auf den maximalen Ausgangspegel bezogen und in dBr angegeben werden. Das Ausgangssignal soll bandbegrenzt bis 22 kHz als Effektivwert, ohne weitere Bewertung, gemessen werden. Die Messung wird bei einer Belastung am Ausgang mit 600 Ω durchgeführt.

2.3.10.1 THD+N über Frequenz

Die Messung wird mit Eingangspegeln von 1 dB und 20 dB unter Klippgrenze im Bereich 20 Hz bis 20 kHz durchgeführt. Als Vorgabe gilt:

Bei Eingangspegel von 1 dB unter Klippgrenze $p_{\text{THD+N}} \leq -80 \text{ dBr}$

Bei Eingangspegel von 20 dB unter Klippgrenze $p_{\text{THD+N}} \leq -90 \text{ dBr}$

Wenn die analogen Ein- bzw. Ausgänge mit Übertragern symmetriert sind gilt der Grenzwert im Frequenzbereich $f < 100 \text{ Hz}$: $p_{\text{THD+N}} \leq -46 \text{ dBr}$

2.3.10.2 THD+N über Pegel

Es wird der THD+N-Wert bei der Frequenz $f = 997 \text{ Hz}$ gemessen. Er soll im Pegelbereich von der Klippgrenze bis zur theoretischen Auflösungsgrenze p_{min}^* gemessen werden. Es ist sinnvoll die Messwerte graphisch darzustellen.

Als Vorgabe gilt: $p_{\text{THD+N}} \leq -90 \text{ dBr}$

Bei Eingangspegeln von 0 bis 3 dB unter Klippgrenze ist mit schlechteren Werten zu rechnen: $p_{\text{THD+N}} \leq -80 \text{ dBr}$

* $p_{\text{min}} = - (n \times 6,02 + 1,76) \text{ dB}$; $n = \text{Anzahl der Bit}$

2.3.10.3 Spektrum

Zur genauen Analyse soll das Spektrum mit 1 dB unter Klippgrenze bei $f = 997 \text{ Hz}$ in möglichst weitem Frequenzbereich (wenn möglich bis $2 \times f_s$) aufgezeichnet werden. Dabei sollen alle Spektralanteile neben den Anregungsfrequenzen - 90 dBr, bezogen auf den maximalen Ausgangspegel, sein. Abweichungen von den Werten müssen geklärt werden. Zur Prüfung der Unterdrückung von Spiegelfrequenzen (AES17, 6.2) sollte das Spektrum zusätzlich bei mehreren Frequenzen (10 Hz – halbe obere Grenzfrequenz) untersucht werden. Die Pegel sollen hierbei 20 dB unter Klippgrenze betragen.

2.3.11 Systemdynamik

Aus der Messung THD+N ist der Wert bei $p_0 = 60 \text{ dB}$ unter Klippgrenze zu entnehmen. Erwartet werden folgende Werte (dBr-Werte bezogen auf den max. Ausgangspegel):

Für Systeme mit 16 Bit Wortbreite

$$\text{Dynamik} \geq 90 \text{ dBr}$$

Dies entspricht einer effektiven Bitauflösung von:

$$n \geq 14,7 \text{ Bit}$$

Für Systeme mit 20 Bit Wortbreite und höherer Auflösung

$$\text{Dynamik} \geq 105 \text{ dBr}$$

Dies entspricht einer effektiven Bitauflösung von:

$$n \geq 17,1 \text{ Bit}$$

2.3.12 Jitterempfindlichkeit am Synchronisationseingang

Das System wird mit einem Audiosignal der Frequenz $f = 0,25 \times f_s$ und 3 dB unter Klippgrenze gespeist. Der Synchronisationseingang wird mit einem sinusförmigen Signal mit verschiedenen Jitteramplituden (0 bis 80 ns peak to peak) verjittert. Die Jitterfrequenz wird von 80 Hz bis zur oberen Grenzfrequenz in Oktavschritten geändert. Gemessen wird THD+N am Ausgang.

Bis 40 ns Jitter (peak to peak) soll sich der Wert für THD+N nicht verschlechtern.

Die Jittertoleranzkurve für digitale Eingänge ist unter 2.2.4.2 aufgeführt.

2.3.13 Intermodulation

Die Intermodulations-Messungen sollen mit einem Zweiton-Signal durchgeführt werden: der eine Ton bei der oberen Grenzfrequenz, der andere 2 kHz darunter (nach AES17) bzw. 80 Hz darunter. Die Amplituden sollen im Verhältnis 1:1 stehen und der Spitzenwert wird so abgeglichen, dass er gleich dem Spitzenwert einer gleichwertigen Sinusschwingung für die Full-Scale-Amplitude ist.

Bei der Messung der Differenztonverzerrung 2. Ordnung soll, im Sweepbereich von der oberen Grenzfrequenz bis 5 kHz, in beiden Fällen folgende Vorgabe erfüllt werden:

$$a_{d2} \geq 70 \text{ dB}$$

Es können weitere Zweiton-Messungen, z.B. nach SMPTE (siehe AES17) durchgeführt werden. Zur Veranschaulichung der Messergebnisse kann die Aufzeichnung des Spektrums hilfreich sein.

2.3.14 Leerkanalstörpegel, Leerkanalspektrum

Für rein analoge Systeme gelten die gleichen Grenzwerte wie für Systeme mit 20 Bit Wortbreite und höherer Auflösung.

Die Messungen der Leerkanalstörpegel werden bandbegrenzt nach AES17 durchgeführt. Bei abgeschlossenem Eingang ($R_1 = 200 \Omega$) und ausgangseitigem Lastwiderstand ($R_2 = 10 \text{ k}\Omega$) dürfen folgende Werte nicht überschritten werden:

Für Systeme mit 16 Bit Wortbreite

RMS, unbewertet	$p_{st} = -75 \text{ dBu}$
Quasi-Peak, unbewertet	$p_{stu} = -71 \text{ dBq}$
Quasi-Peak, CCIR-1K bewertet	$p_{stb} = -65 \text{ dBqp}$
RMS, CCIR-2K bewertet	$p_{stb} = -75 \text{ dBu}$

Für Systeme mit 20 Bit Wortbreite und höherer Auflösung

RMS, unbewertet	$p_{st} = -90 \text{ dBu}$
Quasi-Peak, unbewertet	$p_{stu} = -86 \text{ dBq}$
Quasi-Peak, CCIR-1K bewertet	$p_{stb} = -80 \text{ dBqp}$
RMS, CCIR-2K bewertet	$p_{stb} = -90 \text{ dBu}$

Es ist zu berücksichtigen, dass bei Verwendung von speziellen Wandlertechniken (z.B. Noise-shaping) die Messwerte von diesen Vorgaben abweichen können.

Sollte der Abstand zwischen den Störpegelwerten Quasi-Peak_unbewertet und Quasi-Peak_CCIR-1K-bewertet geringer als 6 dB sein, soll der Grund hierfür geklärt werden. Das Leerkanalspektrum ist hierfür sehr hilfreich. Dies gilt besonders für Mikrofonwege.

Leerkanalspektrum

Das Leerkanalspektrum sollte in einem möglichst großen Frequenzbereich (mind. $f > 2 \times$ obere Grenzfrequenz) aufgezeichnet werden, damit auch Nebenwellen im Sperrbereich (AES17, 6.1) erfasst werden. Dabei sollen alle Spektralanteile ≤ -105 dBr (beziehungsweise ≤ -90 dBr bei 16-Bit-Systemen), bezogen auf den maximalen Ausgangspegel, sein. Hier ist vor allem auf Einflüsse von Fremdstörern zu achten (EMV). Abweichungen von den Werten müssen geklärt werden.

2.3.15 Leerkanal-Betriebskennlinie

Ein Eingangskanal, abgeschlossen mit 200Ω , wird auf einen Ausgangskanal geführt. Alle Einstellungen werden so gewählt, dass die Dämpfung zum Ausgangskanal $a = 0$ dB ist. Wird die Verstärkung des Mikrofonverstärkers zwischen minimalem und maximalem Wert variiert, so soll der bewertete Störpegel am Ausgang in jeder Stellung des Feinstellers die im folgenden Bild angegebene obere Toleranzgrenze für die Betriebskennlinie nicht überschreiten.

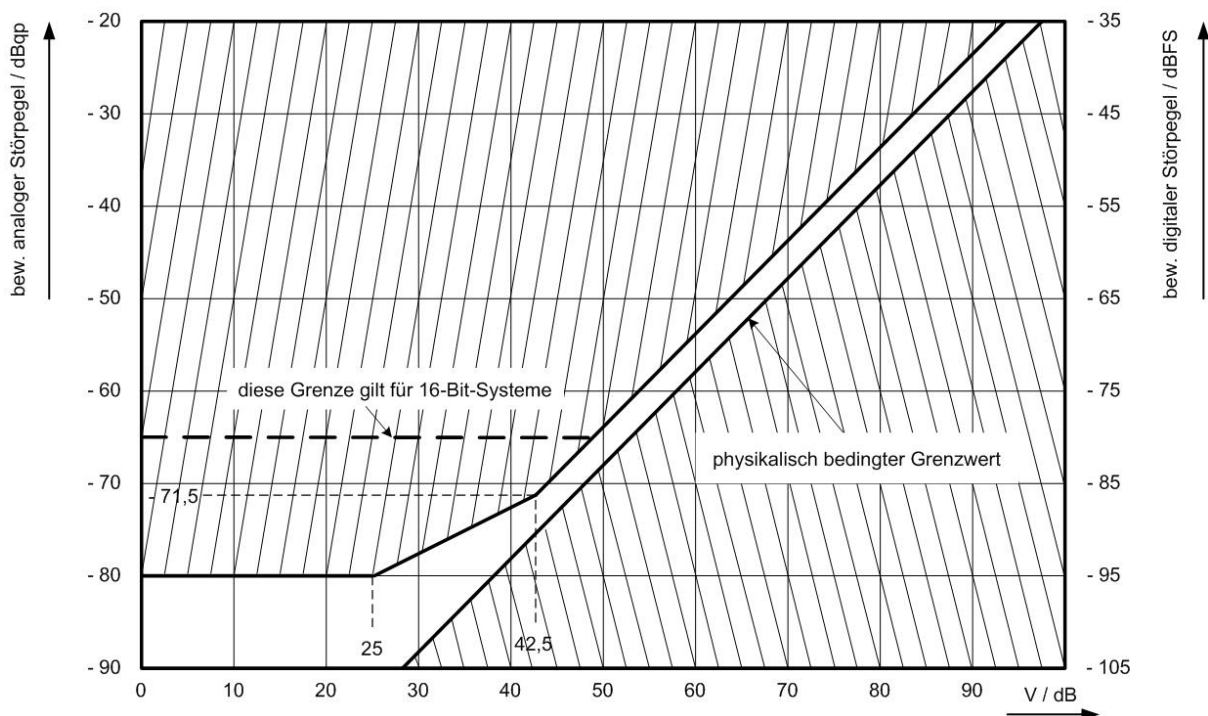


Bild 4: Grenzwerte für die Leerkanal-Betriebskennlinie

2.3.16 Übersprechdämpfung

Gemessen wird selektiv mit einem Eingangspegel $p_0 = 1$ dB unter Klippgrenze von 20 Hz bis 20 kHz und einer Belastung von 600 Ω bis 10 k Ω . Folgende Werte sollen dabei nicht unterschritten werden:

Stereokanäle gegenseitig $a_{\ddot{u}} \geq 70$ dB

Bei unabhängigen Wegen $a_{\ddot{u}} \geq 90$ dB

2.3.17 Systemrauschen

Alle Eingangskanäle der Regieanlage werden auf einen Ausgangskanal geführt, wobei die Eingangspegelsteller der Kanäle auf maximale Dämpfung gestellt werden, ohne dass der Endabschalter oder ein Muting in Funktion tritt. Eventuell weitere Pegelsteller in den Kanalketten befinden sich in Normalstellung. Alle Panpots werden auf den zu messenden Ausgangskanal geschaltet, so dass ihre Dämpfung $a = 0$ dB ist. Der zulässige bewertete Störpegel ist dem folgenden Bild zu entnehmen.

Beim Aufschalten einer geringeren Zahl von Eingangskanälen auf den einen Ausgangskanal darf der bewertete Störpegel den diese Zahl entsprechenden Wert in folgendem Bild nicht überschreiten.

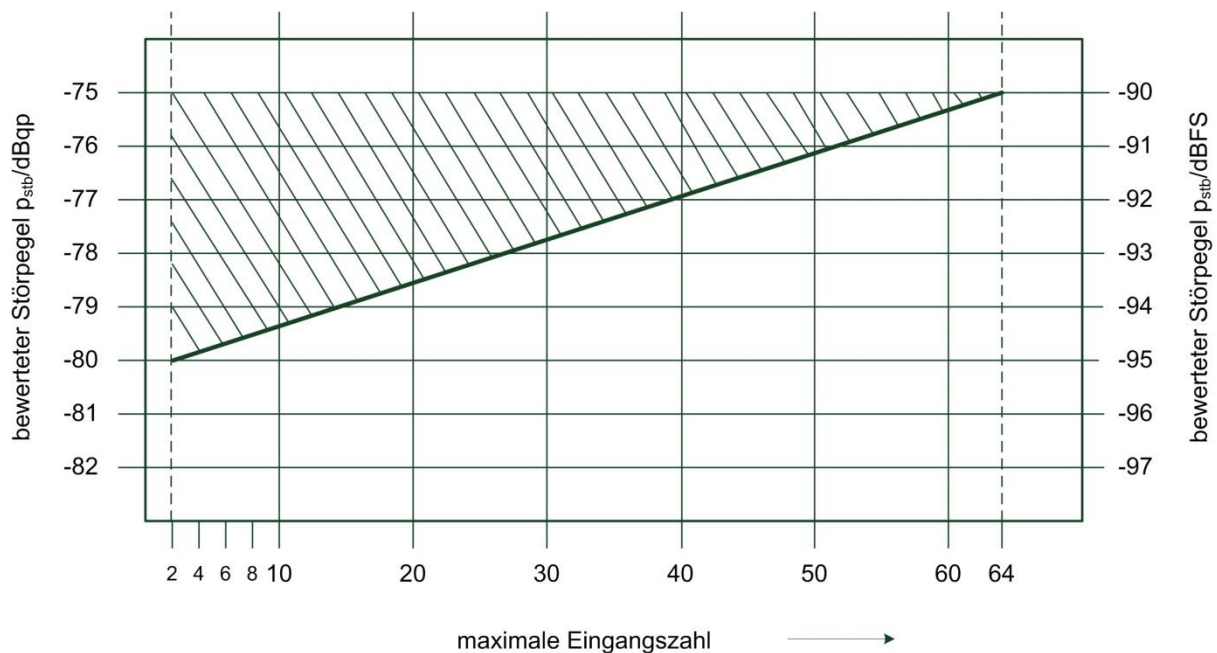


Bild 5: zulässiges Systemrauschen

2.3.18 Impulsverhalten

Zum Impulsverhalten wird auf den Anhang 5.1 verwiesen.

2.4 Messungen analog – digital

2.4.1 Pegel

Der Normalpegel am analogen Eingang bei $f = 997$ Hz ist $+ 6$ dBu. Bei $v = 0$ dB soll am digitalen Ausgang ein Pegel von $- 9$ dBFS $\pm 0,2$ dB anstehen bzw. einstellbar sein.

2.4.2 Klippgrenze, Headroom

Es soll die Analogsignalspannung ermittelt werden, mit der unter normalen Bedingungen die digitale Klippgrenze erreicht wird. Die Klippgrenze ist diejenige Spannung einer 997 Hz-Schwingung, mit der ein digitales Signal erzeugt wird, dessen Spitzenwert die positive oder negative digitale Skalengrenze erreicht (0 dBFS), gleich, welche zuerst kommt. Dieses Ausgangssignal muss verzerrungsfrei sein. Der resultierende Headroom (Abstand des Wertes bei Normalpegel $+ 6$ dBu zum Wert bei 0 dBFS) ist anzugeben.

2.4.3 Lineare Verzerrungen / Amplituden-Frequenzgang

Der Frequenzgang wird abweichend von der AES17 mit Normalpegel, relativ zum Pegel bei $f = 997$ Hz gemessen. Bei Systemen mit nicht abschaltbarer Emphase soll mit $p_0 = 20$ dB unter Klippgrenze gemessen werden, um Übersteuerungen zu vermeiden.

Die angegebenen zulässigen linearen Verzerrungen gelten für alle möglichen Wege zwischen den Ein- und Ausgängen von Audiosystemen, auch für Mikrofoneingänge. Folgende Werte sollen nicht überschritten werden.

Im Frequenzbereich 20 Hz... 40 Hz und 15 kHz... 20 kHz $\Delta p \leq \pm 0,5$ dB

Im Frequenzbereich 40 Hz ... 15 kHz $\Delta p \leq \pm 0,2$ dB

Diese Bedingungen sollen bei Normalpegeleingängen eingehalten werden für Eingangspegel im Bereich von:

$$p_0 = + 15 \dots - 54 \text{ dBu}$$

bei jeglicher Verstärkung, die zu einem Ausgangspegel von $p_2 \leq +15$ dBu führt.

2.4.4 Phasendifferenz

Die Phasendifferenz zwischen gleich konfigurierten Wegen (z.B.: links – rechts) soll im Frequenzbereich von 20 Hz bis 20 kHz folgenden Wert nicht überschreiten:

Phasendifferenz $\Delta \varphi \leq \pm 5,0$ Grad

2.4.5 Laufzeit, Latenz

Die Gerätelaufzeit zwischen Ein- und Ausgang ist anzugeben. Zwischen gleich konfigurierten Wegen darf keine Laufzeitdifferenz auftreten.

2.4.6 Linearität

Die Linearitätsabweichung, selektiv gemessen bei einer Frequenz von $f = 997$ Hz soll folgende Werte nicht überschreiten:

Für Systeme mit 16 Bit Wortbreite

Im Bereich $p_0 = 0 \dots 60$ dB unter Klippgrenze	$\Delta p \leq \pm 0,1$ dB
Im Bereich $p_0 = 60 \dots 80$ dB unter Klippgrenze	$\Delta p \leq \pm 0,2$ dB
Im Bereich $p_0 = 80 \dots 90$ dB unter Klippgrenze	$\Delta p \leq \pm 0,5$ dB

Für Systeme mit höherer Bit-Auflösung

Im Bereich $p_0 = 0 \dots 90$ dB unter Klippgrenze	siehe oben
Im Bereich $p_0 = 90 \dots 100$ dB unter Klippgrenze	$\Delta p \leq \pm 1,0$ dB

2.4.7 Unterdrückung von Alias-Verzerrungen

Es werden die Störsignale im Nutzbereich bandbegrenzt gemessen, die bei Speisung mit $f = f_s/2$ bis 192 kHz mit einem Eingangspegel $p_0 = 20$ dB unter Klippgrenze, entstehen. Im angegebenen Frequenzbereich soll für die Dämpfung $a_{\text{alias+N}}$ (bezogen auf den Ausgangspegel bei entsprechendem 997 Hz Eingangssignal) folgende Vorgabe eingehalten werden:

$$a_{\text{alias+N}} \geq 70 \text{ dB}$$

Die Messwerte sollen graphisch dargestellt werden.

2.4.8 Gesamtverzerrung mit Rauschen (THD+N)

Das Ausgangssignal soll bandbegrenzt bis 20 kHz als Effektivwert, ohne weitere Bewertung, gemessen werden.

2.4.8.1 THD+N über Frequenz

Die Messung wird mit Eingangspegeln von 1 dB und 20 dB unter Klippgrenze im Bereich 20 Hz bis 20 kHz durchgeführt. Die Messwerte werden abweichend von der AES17 in dBFS angegeben. Größere Abweichungen von den genannten Grenzwerten können aufgrund psychoakustischer Prozesse entstehen und müssen geklärt werden. Als Vorgabe gilt:

Bei Eingangspegel von 1 dB unter Klippgrenze $p_{\text{THD+N}} \leq -80$ dBFS

Bei Eingangspegel von 20 dB unter Klippgrenze $p_{\text{THD+N}} \leq -90$ dBFS

Wenn analoge Eingänge mit Übertragern symmetriert sind gilt der Grenzwert im Frequenzbereich $f < 100$ Hz:

$$p_{\text{THD+N}} \leq -46 \text{ dBFS}$$

2.4.8.2 THD+N über Pegel

Es wird der THD+N-Wert bei der Frequenz $f = 997$ Hz gemessen. Er soll im Pegelbereich von der Klippgrenze bis zur theoretischen Auflösungsgrenze p_{min}^* gemessen werden. Es ist sinnvoll die Messwerte graphisch darzustellen.

Als Vorgabe gilt $p_{\text{THD+N}} \leq -90$ dBFS

Bei Eingangspegeln von 0 bis 3 dB unter Klippgrenze ist mit schlechteren Werten zu rechnen:

$$p_{\text{THD+N}} \leq -80 \text{ dBFS}$$

* $p_{\text{min}} = -(n \times 6,02 + 1,76)$ dB; n = Anzahl der Bit

2.4.8.3 Spektrum

Zur genauen Analyse soll das Spektrum, bei Speisung mit 1 dB unter Klippgrenze bei $f = 997$ Hz im gesamten Nutzbereich aufgezeichnet werden. Dabei sollen alle Spektralanteile neben der Anregungsfrequenz ≤ -90 dBFS sein. Abweichungen von den Werten müssen geklärt werden. Zur Prüfung der Unterdrückung von Spiegelfrequenzen (AES17, 6.2) sollte das Spektrum zusätzlich bei mehreren Frequenzen (10 Hz – halbe obere Grenzfrequenz) untersucht werden. Die Pegel sollen hierbei 20 dB unter Klippgrenze betragen.

2.4.9 Systemdynamik

Aus der Messung THD+N ist der Wert bei $p_0 = 60$ dB unter Klippgrenze zu entnehmen. Erwartet werden folgende Werte (dB-Werte bezogen auf 0 dBFS):

Für Systeme mit 16 Bit Wortbreite

$$\text{Dynamik} \geq 90 \text{ dB}$$

Die entspricht einer effektiven Bitauflösung von:

$$n \geq 14,7 \text{ Bit}$$

Für Systeme mit 20 Bit Wortbreite und höherer Auflösung

$$\text{Dynamik} \geq 105 \text{ dB}$$

Die entspricht einer effektiven Bitauflösung von:

$$n \geq 17,1 \text{ Bit}$$

2.4.10 Jitterempfindlichkeit am Synchronisationseingang

Die Jitterempfindlichkeitsmessung soll gemäß Punkt 2.3.12 durchgeführt werden.

Bis 40 ns Jitter (peak to peak) soll sich der Wert für THD+N nicht erhöhen.

Weiterhin sind die Vorgaben bezüglich der Jittertoleranzkurve unter Punkt 2.2.4.2 einzuhalten.

2.4.11 Intermodulation

Die Intermodulations-Messungen sollen gemäß Punkt 2.3.13 durchgeführt werden. Bei der Messung der Differenztonverzerrung 2. Ordnung soll im Sweepbereich von 5 kHz bis zur oberen Grenzfrequenz folgende Vorgabe erfüllt werden:

$$a_{d2} \geq 70 \text{ dB}$$

2.4.12 Leerkanalstörpegel, Leerkanalspektrum

Leerkanalstörpegel werden bandbegrenzt bis 20 kHz gemessen. Bei abgeschlossenem Eingang ($R_1 = 200 \Omega$) sollen folgende Werte nicht überschritten werden:

Für Systeme mit 16 Bit Wortbreite

RMS, unbewertet

$$p_{st} = -90 \text{ dBFS}$$

Quasi-Peak, unbewertet

$$p_{stu} = -86 \text{ dBFS}$$

Quasi-Peak, CCIR-1K bewertet

$$p_{stb} = -80 \text{ dBFS}$$

RMS, CCIR-2K bewertet

$$p_{stb} = -90 \text{ dBFS}$$

Für Systeme mit 20 Bit Wortbreite und höherer Auflösung

RMS, unbewertet	$p_{st} = -105 \text{ dBFS}$
Quasi-Peak, unbewertet	$p_{stu} = -101 \text{ dBFS}$
Quasi-Peak, CCIR-1K bewertet	$p_{stb} = -95 \text{ dBFS}$
RMS, CCIR-2K bewertet	$p_{stb} = -105 \text{ dBFS}$

Es ist zu berücksichtigen, dass bei Verwendung von speziellen Wandlertechniken (z.B. Noise-shaping) die Messwerte von diesen Vorgaben abweichen können.

Sollte der Abstand zwischen den Störpegelwerten Quasi-Peak_unbewertet und Quasi-Peak_CCIR-1K-bewertet geringer als 6 dB sein, soll der Grund hierfür geklärt werden. Dies gilt besonders für Mikrofonwege. Das Leerkanalspektrum ist hierfür sehr hilfreich. Dabei sollen alle Spektralanteile $\leq -105 \text{ dBFS}$ (bzw. $\leq -90 \text{ dBFS}$ bei 16-Bit-Systemen) sein. Hier ist vor allem auf Einflüsse von Fremdstörern (EMV) zu achten. Abweichungen von den Werten müssen geklärt werden.

2.4.13 Leerkanal-Betriebskennlinie

Die Leerkanal-Betriebskennlinie wird gemäß 2.3.15 aufgenommen. Wird die Verstärkung des Mikrofonverstärkers zwischen minimalem und maximalem Wert variiert, so soll der bewertete digitale Störpegel am Ausgang, in jeder Stellung des Feinstellers, die obere Toleranzgrenze für die Betriebskennlinie nicht überschreiten.

2.4.14 Übersprechdämpfung

Gemessen wird mit einem Eingangspegel $p_0 = 1 \text{ dB}$ unter Klippgrenze von 20 Hz bis 20 kHz. Folgende Werte sollen nicht unterschritten werden.

Stereokanäle gegenseitig	$a_{\ddot{u}} \geq 70 \text{ dB}$
Bei unabhängigen Wegen	$a_{\ddot{u}} \geq 90 \text{ dB}$

2.5 Messungen digital – analog

Bei allen Messungen soll das Prüfsignal den Standard-Dither gemäß Punkt 2.1.2 enthalten. Ausgenommen hiervon ist das Signal „Digital Null“.

2.5.1 Normalpegel, maximaler Ausgangspegel

Der Normalpegel am digitalen Eingang bei $f = 997$ Hz ist -9 dBFS. Bei $v = 0$ dB soll am analogen Ausgang ein Pegel von $+6$ dBu $\pm 0,2$ dB

anstehen. Dieser Wert ist bei einer Belastung zwischen 2 k Ω und hochohmigen Abschluss (≥ 10 k Ω) zu erreichen.

Maximaler Ausgangspegel

Bei Speisung mit 0 dBFS am digitalen Eingang und $v = 0$ dB stellt sich der analoge maximale Ausgangspegel ein. Dieses Ausgangssignal muss verzerrungsfrei sein.

2.5.2 Lineare Verzerrungen / Amplituden-Frequenzgang

Der Frequenzgang wird abweichend von der AES17 mit Normalpegel, relativ zum Pegel bei $f = 997$ Hz gemessen. Bei Systemen mit nicht abschaltbarer Emphase soll mit $p_0 = -20$ dBFS gemessen werden, um Übersteuerungen vorzubeugen.

Die angegebenen zulässigen linearen Verzerrungen gelten für alle möglichen Wege zwischen den digitalen Ein- und analogen Ausgängen der Audiosysteme. Folgende Werte sollen nicht überschritten werden.

Im Frequenzbereich 20 Hz ... 40 Hz und 15 kHz ... 20 kHz $\Delta p \leq \pm 0,5$ dB

Im Frequenzbereich 40 Hz ... 15 kHz $\Delta p \leq \pm 0,2$ dB

Diese Bedingungen sollen bei Normalpegeleingängen eingehalten werden für Eingangspegel im Bereich von:

$$p_0 = 0 \dots -70 \text{ dBFS}$$

bei jeglicher Verstärkung, die zu einem Ausgangspegel $p_2 \leq +15$ dBu führt.

2.5.3 Phasendifferenz

Die Phasendifferenz zwischen gleich konfigurierten Wegen (z.B.: links – rechts) soll im Frequenzbereich von 20 Hz bis 20 kHz folgenden Wert nicht überschreiten:

Phasendifferenz $\Delta \phi \leq \pm 5,0$ Grad

2.5.4 Laufzeit, Latenz

Die Gerätelaufzeit zwischen Ein- und Ausgang ist anzugeben. Zwischen gleich konfigurierten Wegen darf keine Laufzeitdifferenz auftreten.

2.5.5 Linearität

Die Linearitätsabweichung, selektiv gemessen bei einer Frequenz von $f = 997$ Hz soll folgende Werte nicht überschreiten:

Für Systeme mit 16 Bit Wortbreite

Im Bereich $p_0 = 0 \dots 60$ dB unter Klippgrenze	$\Delta p \leq \pm 0,2$ dB
Im Bereich $p_0 = 60 \dots 80$ dB unter Klippgrenze	$\Delta p \leq \pm 0,5$ dB
Im Bereich $p_0 = 80 \dots 90$ dB unter Klippgrenze	$\Delta p \leq \pm 1,0$ dB

Für Systeme mit höherer Bit-Auflösung

Im Bereich $p_0 = 0 \dots 90$ dB unter Klippgrenze	siehe oben
Im Bereich $p_0 = 90 \dots 100$ dB unter Klippgrenze	$\Delta p \leq \pm 2,0$ dB

2.5.6 Gesamtverzerrung mit Rauschen (THD+N)

Die Messwerte sollen abweichend von der AES17 auf den maximalen Ausgangspegel bezogen und in dBr angegeben werden. Das Ausgangssignal soll bandbegrenzt bis 20 kHz als Effektivwert, ohne weitere Bewertung gemessen werden. Die Messung wird bei einer Belastung am Ausgang mit 600 Ω durchgeführt. Bei THD+N-Messungen wird ein Prüfsignal ohne Dither verwendet. Größere Abweichungen von den genannten Grenzwerten können aufgrund psychoakustischer Prozesse entstehen und müssen geklärt werden.

2.5.6.1 THD+N über Frequenz

Die Messung soll mit Eingangspegeln von - 1 dBFS und - 20 dBFS im Bereich von 20 Hz bis 20 kHz durchgeführt werden. Als Vorgabe gilt:

Bei Eingangspegel von - 1 dBFS	$p_{\text{THD+N}} \leq - 80$ dBr
Bei Eingangspegel von - 20 dBFS	$p_{\text{THD+N}} \leq - 90$ dBr

Wenn analoge Ausgänge mit Übertragern symmetriert sind gilt der Grenzwert im Frequenzbereich $f < 100$ Hz:

$$p_{\text{THD+N}} \leq - 46 \text{ dBr}$$

2.5.6.2 THD+N über Pegel

Es wird der THD+N-Wert bei der Frequenz $f = 997$ Hz gemessen. Er soll im Pegelbereich von 0 dBFS bis zur theoretischen Auflösungsgrenze p_{min}^* gemessen werden. Es ist sinnvoll die Messwerte graphisch darzustellen.

Als Vorgabe gilt $p_{\text{THD+N}} \leq - 90$ dBr

Bei Eingangspegeln von 0 bis 3 dB unter Klippgrenze ist mit schlechteren Werten zu rechnen:

$$p_{\text{THD+N}} \leq - 80 \text{ dBr}$$

* $p_{\text{min}} = - (n \times 6,02 + 1,76)$ dB; n = Anzahl der Bit

2.5.6.3 Spektrum

Zur genauen Analyse soll das Spektrum bei Speisung mit - 1 dBFS bei $f = 997$ Hz in einem möglichst weitem Frequenzbereich (wenn möglich bis $2 \times f_s$) aufgezeichnet werden. Dabei sollen alle Spektralanteile neben den Anregungsfrequenzen $\leq - 90$ dBr, bezogen auf den maximalen Ausgangspegel sein. Abweichungen von den Werten müssen geklärt werden. Zur besseren Analyse sind Messungen bei weiteren Anregungsfrequenzen im Bereich 20 Hz bis 20 kHz zu empfehlen.

2.5.7 Systemdynamik

Aus der Messung THD+N ist der Wert bei $p_0 = - 60$ dBFS zu entnehmen. Erwartet werden folgende Werte (dBr-Werte bezogen auf max. Ausgangspegel):

Für Systeme mit 16 Bit Wortbreite

Dynamik \geq 90 dBr

Dies entspricht einer effektiven Bitauflösung von:

$n \geq 14,7$ Bit

Für Systeme mit 20 Bit Wortbreite und höherer Auflösung

Dynamik \geq 105 dBr

Dies entspricht einer effektiven Bitauflösung von:

$n \geq 17,1$ Bit

2.5.8 Intermodulation

Die Intermodulations-Messungen sollen gemäß Punkt 2.3.13 bei Speisung am digitalen Eingang durchgeführt werden. Bei der Messung der Differenztonverzerrung 2. Ordnung soll im Sweepbereich von 5 kHz bis zur oberen Grenzfrequenz folgende Vorgabe erfüllt werden:

$a_{d2} \geq 70$ dB

2.5.9 Jitterempfindlichkeit

Die Jitterempfindlichkeitsmessung nach AES17 bezieht sich sowohl auf den digitalen Eingang, als auch auf den externen Synchronisationseingang, falls vorhanden. Die Jittermodulation wird gemäß Punkt 2.3.12 durchgeführt.

Bis 40 ns Jitter (peak to peak) soll sich der Wert für THD+N nicht erhöhen.

Weiterhin sind die Vorgaben bezüglich der Jittertoleranzkurve unter Punkt 2.2.4.2 einzuhalten.

2.5.10 Leerkanalstörpegel, Leerkanalspektrum

Die Messungen der Leerkanalstörpegel werden bandbegrenzt nach AES17 durchgeführt. Bei Speisung mit einem Digital-Null-Signal ohne Dither am Eingang sollen folgende Werte nicht überschritten werden:

Für Systeme mit 16 Bit Wortbreite

RMS, unbewertet

$p_{st} = -75$ dBu

Quasi-Peak, unbewertet

$p_{stu} = -71$ dBq

Quasi-Peak, CCIR-1K bewertet

$p_{stb} = -65$ dBqp

RMS, CCIR-2K bewertet

$p_{stb} = -75$ dBu

Für Systeme mit 20 Bit Wortbreite und höherer Auflösung

RMS, unbewertet

$p_{st} = -90$ dBu

Quasi-Peak, unbewertet

$p_{stu} = -86$ dBq

Quasi-Peak, CCIR-1K bewertet

$p_{stb} = -80$ dBqp

RMS, CCIR-2K bewertet

$p_{stb} = -90$ dBu

Sollte der Abstand zwischen den Störpegelwerten Quasi-Peak_unbewertet und Quasi-Peak_CCIR-1K-bewertet geringer als 6 dB sein, soll der Grund hierfür geklärt werden. Das Leerkanalspektrum ist hierfür sehr hilfreich. Es sollte in einem möglichst großen Frequenzbereich (mind. $f > 2 \times$ obere Grenzfrequenz) aufgezeichnet werden, damit auch Nebenwellen im Sperrbereich (AES17, 6.1) erfasst werden. Dabei sollen alle Spektralanteile ≤ -105 dBr (≤ -90 dBr bei 16-Bit-Systemen), bezogen auf den maximalen Ausgangspegel, sein. Hier ist vor allem auf Einflüsse von Fremdstörungen (EMV) zu achten. Abweichungen von den Werten müssen geklärt werden.

2.5.11 Übersprechdämpfung

Gemessen wird mit einem Eingangspegel $p_0 = -1$ dBFS von 20 Hz bis 20 kHz. Die Werte gelten bei einer Belastung von 600 Ω bis 10 k Ω . Folgende Werte sollen nicht unterschritten werden:

Stereokanäle gegenseitig	$a_{\bar{u}} \geq 70$ dB
Bei unabhängigen Wegen	$a_{\bar{u}} \geq 90$ dB

2.6 Messungen digital – digital

2.6.1 Pegel

Bei Verstärkung $v = 0$ dB und Linearstellung aller Gestaltungsmittel darf folgende Pegeländerung am Ausgang auftreten:

Pegelabweichung $\Delta p \leq 0,1$ dB

Normalerweise tritt keine Pegelabweichung, also $\Delta p = 0,0$ dB, auf.

2.6.2 Frequenzgang

Bei Ausschaltung aller Gestaltungsmittel darf im gesamten Frequenzbereich die Frequenzgangabweichung folgenden Wert nicht überschreiten:

Frequenzgangabweichung $\Delta p \leq 0,1$ dB

2.6.3 Phasendifferenz

Zwischen gleich konfigurierten Kanälen darf keine Phasendifferenz auftreten.

2.6.4 Laufzeit, Latenz

Die Gerätelaufzeit zwischen Ein- und Ausgang ist anzugeben. Zwischen gleich konfigurierten Wegen darf keine Laufzeitdifferenz auftreten.

2.6.5 Gesamtverzerrung mit Rauschen (THD+N)

Das Messergebnis, bei Speisung mit einem Signal ohne Dither, muss dem angegebenen Bereich der Wortbreite (n in Bit), $p_{\min} = -(n \times 6,02 + 1,76)$ in dBFS, entsprechen.

Im Spektrum dürfen keine Störanteile zu erkennen sein.

3 Betriebsbedingungen

3.1 Stromversorgung

Audioanlagen sollen am Einphasen-Wechselstromnetz von 230 V, 50 Hz oder am Dreiphasen-Wechselstromnetz von 230/400 V, 50 Hz betreibbar sein. Bei einem Betrieb am Dreiphasennetz ist auf gleiche Phasenbelastung zu achten.

Werden Audioanlagen aus Batterien gespeist, sollen die vorliegenden Vorgaben ebenfalls erfüllt werden. Dies gilt ebenso bei der Versorgung über Notstromaggregate oder Wechselrichter, vor allem in Ü-Wagen.

Es sind die Anforderungen der Richtlinie 3/1 – 8/2 zu beachten.

Aus Gründen der Betriebssicherheit ist die Versorgung entsprechend der Anlagengröße auf mehrere Netzgeräte aufzuteilen. Ist dies der Fall, soll bei Ausfall eines Netzgerätes, durch eine geeignete Havarieschaltung, der Betrieb voll aufrechterhalten werden. Der Havariefall soll angezeigt werden. In den Netzgeräten ist Strombegrenzung und Überspannungsschutz vorzusehen.

In den Anlagen sollen geeignete Überwachungsfunktionen für die Stromversorgung zur Verfügung stehen.

Nach Netzausfällen soll sich der jeweilige Zustand vor dem Netzausfall ohne Benutzereingriff wieder einstellen. Trifft dies nicht zu, soll sich der zuletzt gespeicherte Zustand, mit Benutzereingriff, jedoch ohne außergewöhnlichen Aufwand wie Netzreset, Sicherungswchsel o. ä., wieder einstellen lassen. Bei Abhöreinrichtungen muss dafür gesorgt werden, dass keine lautstarken, ggf. gesundheitsschädliche Geräusche auftreten.

3.2 Temperaturbereich

Es gelten die Forderungen der Richtlinie 3/1 – 8/2 in Bezug auf „Wärmeerzeugung“ und „Klima“. Sind spezielle Forderungen bezüglich des Temperaturbereiches notwendig, so müssen diese in den entsprechenden Ausschreibungsunterlagen präzisiert werden.

3.3 Umgebungsverträglichkeit

3.3.1 Elektromagnetische Verträglichkeit

Gemäß dem Gesetz über elektromagnetische Verträglichkeit von Betriebsmitteln (EMVG) ist Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) die Fähigkeit eines Betriebsmittels, in seiner elektromagnetischen Umgebung zufriedenstellend zu arbeiten, ohne elektromagnetische Störungen zu verursachen, die für andere in dieser Umgebung vorhandenen Betriebsmittel unannehmbar wären. Dabei ist eine elektromagnetische Störung jede elektromagnetische Erscheinung, die die Funktion eines Betriebsmittels beeinträchtigen könnte. Dies kann ein elektromagnetisches Rauschen, ein unerwünschtes Signal oder eine Veränderung des Ausbreitungsmediums sein. Die Störfestigkeit ist die Fähigkeit eines Betriebsmittels, unter Einfluss einer elektromagnetischen Störung ohne Funktionsbeeinträchtigung zu arbeiten. Die elektromagnetische Umgebung eines Gerätes definiert seine Betriebsumgebung und somit die Anforderungsklasse an dieses Gerät. Dabei ist die elektromagnetische Umgebung die Summe aller elektromagnetischen Erscheinungen, die an einem bestimmten Ort festgestellt werden kann.

Es gelten hier die Anforderungen aus der R2 – Richtlinie zur Erzielung der elektromagnetischen Verträglichkeit von Geräten und Anlagen in Rundfunkbetrieben, sowie der DIN EN 55103-1 und DIN EN 55103-2 Elektromagnetische Verträglichkeit – Störaussendung/Störfestigkeit (Emmission/Immision).

Per Gesetz muss ein Gerät, das auf dem freien Markt erhältlich ist, in jedem Fall eine CE-Kennzeichnung besitzen. Ferner muss eine CE-Konformitätserklärung inkl. Bedienungsanleitung in Deutsch zu jedem Gerät bzw. zu jeder Anlage vom Hersteller oder vom Importeur oder, im Falle einer Anlage vom Installateur, beigelegt werden. Diese CE-Konformitätserklärung bezieht sich unter anderem auf die EMV-Richtlinie der Europäischen Gemeinschaft und sollte die Normen EN 55103-1 und -2 und möglichst auch die zutreffende Auswahl aus den Anforderungsklassen E1 bis E5 erwähnen. Im Zweifelsfalle oder bei Wahlmöglichkeit ist für das Audiosystem die Einhaltung der schärfsten Anforderungen zu wählen, nämlich eine sog. Industriebereich-Störfestigkeit DIN EN 55103-2, Betriebsumgebung E5 und sog. Wohnbereich-Emissionsgrenzwerte DIN EN 55103-1, Betriebsumgebung E1.

In den CE-relevanten Störfestigkeitsnormen werden die Störfestigkeitskriterien A, B und C definiert, deren Anwendung von der jeweiligen Art der Störfestigkeitsprüfung abhängt. Der Gerätehersteller hat jedoch eine große Freiheit, für A, B und C jeweils eine maximal zulässige "Beeinträchtigung der Funktion" als "Betriebsqualität" eigenständig zu bestimmen. Für die Ausschreibungen ist deshalb nicht nur die Angabe der Betriebsumgebung wichtig, sondern auch die Angabe der 3 Betriebsqualitäten des Geräts bezüglich der 3 Störfestigkeitskriterien A, B und C.

Falls z.B. im Falle eines IT-Geräts nicht die Normen EN 55103-1 und -2, sondern andere EMV-Normen in der CE-Konformitätserklärung genannt werden, ist anhand dieser Angaben zu prüfen, ob das Gerät für die geplante Betriebsumgebung einsetzbar ist.

3.3.2 Schallfelder

Die Teile von Audioanlagen, die in einem Regieraum untergebracht sind, dürfen, gemessen an allen für die Beurteilung wichtigen Abhörorten, in ihrer Schallabstrahlung (z.B. Lüfter, Netzteilgeräusche, u. ä.) in jeder Terz den zulässigen Dauergeräuschpegel im Tonregieraum (jeweils geforderte Grenzkurve GK) um maximal 3 dB erhöhen. Hierzu sind auch die Anforderungen aus der DIN 15996 zu beachten.

3.3.3 Hochfrequente Störsignale an den Eingangsschnittstellen

Die Störfestigkeit von Audioanlagen gegenüber hochfrequenten Signalen am Eingang wird durch Anlegen einer modulierten RF-Spannung zwischen den beiden zusammengeschlossenen Klemmen eines symmetrischen Eingangs und Masse ermittelt.

Frequenzbereich des RF-Trägers	f_{RF}	=	0,1 ... 100	MHz
Spannung des Trägers	U_{RFeff}	=	300	mV
Generatorwiderstand	R_1	=	50	Ω
Amplitudenmodulation des Trägers	f_M	=	1	kHz
	m	=	70	%

Unter diesen Bedingungen sollen Werte eingehalten werden, die gegenüber den Richtlinienforderungen für die Betriebskennlinie um 3 dB reduziert sind.

3.3.4 Knackstörungen

Knackstörungen sind impulsartige Störungen, die durch manuelle oder elektrisch ausgelöste (auch softwareseitig) Betätigung von Schaltern oder Tastern oder Schalthandlungen ausgelöst werden können. Derartige Schalthandlungen im System dürfen keine störenden Tonsignale (auch bei kritischen Programminhalten) erzeugen. Der Wert von -60 dB am Aussteuerungsmesser (nach Richtlinie 3-6) sollte nicht überschritten werden.

4 Zusatzeinrichtungen

Zusatzeinrichtungen können vielfältig sein. Es kann hier nur auszugsweise darauf eingegangen werden. Sollten weitere Anforderungen notwendig sein, sind diese in den Ausschreibungsunterlagen entsprechend aufzuführen.

4.1 Gestaltungsmittel

Unter Gestaltungsmittel werden Einrichtungen wie z.B. Entzerrerfilter, Richtungsmischer, Kompressoren, Begrenzer, Expander, Noise-Gates, Verzögerungsgeräte, Effektgeräte, u. ä. verstanden.

Unabhängig, ob diese Gestaltungsmittel systemintern zur Verfügung stehen, oder als externe Geräte eingebunden sind, sollen bei Einschaltung bzw. Einbindung dieser, solange frequenz- bzw. pegellineare Betriebsweise vorliegt, alle Forderungen dieser Richtlinie eingehalten werden.

4.2 Aussteuerungsmesser und Signalkontrollgeräte

Zu Aussteuerungsmessern und Signalkontrollgeräten ist die Richtlinie 3/6 zu beachten.

4.3 Tongenerator

Ein Tongenerator dient zur Pegel- und Frequenzkontrolle innerhalb von Audiokomplexen. Dieser sollte über eine Kreuzschiene oder ein Steckfeld flexibel einsetzbar sein.

Folgende Anforderungen sollen mindestens erfüllt sein:

Bezogen auf den Maximalpegel sollen die Werte $p_{TG} = -1 \text{ dB}, -9 \text{ dB}, -18 \text{ dB}$ einstellbar sein.

Die Genauigkeit soll folgenden Wert einhalten $\Delta p \leq \pm 0,1 \text{ dB}$

Für die Gesamtklirrdämpfung gilt folgender Wert $a_{\text{ges}} \geq 50 \text{ dB}$

Neben der Bezugsfrequenz $f = 997 \text{ Hz}$ sollen vorzugsweise folgende Frequenzen einstellbar sein: $f = 20 \text{ Hz}, 40 \text{ Hz}, 6,3 \text{ kHz}, 11,5 \text{ kHz}, 15 \text{ kHz}, 20 \text{ kHz}$

bei einer max. Abweichung von der Nennfrequenz von $\Delta f / f < 1 \%$

Vorzugsweise sind obige Pegel und Frequenzen im Pegelbereich von $p = 0 \dots -80$ dB in 1 dB – Schritten und im Frequenzbereich $f = 20$ Hz ... 20 kHz in 1 Hz – Schritten einstellbar.

Weiterhin ist die Abgabe eines Rauschsignals (z.B. Rosa Rauschen, bandbegrenzt im Frequenzbereich 20 Hz ... 20 kHz, u. a.) mit einstellbarem Pegel wünschenswert.

4.4 Koppelfelder, Kreuzschienen

Koppelfelder, auch Kreuzschienen genannt, sind Schalteinrichtungen, die ankommende mit abgehenden Leitungen verbinden. Die Verbindung wird durch Koppelpunkte realisiert.

Es gelten die in dieser Richtlinie angegebenen Vorgaben. Heutige Kreuzschienen bieten Schnittstellen für viele handelsübliche Formate. Für Schnittstellen die in dieser Richtlinie nicht behandelt werden gelten die entsprechenden Herstellerangaben oder andere Richtlinien, soweit diese Schnittstellen dort beschrieben sind.

Für Prüf- und Abnahmezwecke sollte vom Hersteller eine Steuersoftware zur Verfügung stehen, sofern keine manuelle Steuermöglichkeit besteht. Die Steuerprotokolle sollen für Drittanbieter offengelegt sein.

4.5 Kommandoeinrichtungen

Kommandoeinrichtungen werden heutzutage meist als eigenständige Systeme eingesetzt. Werden Kommandoanlagen zum Verteilen von hochwertigen Audiosignalen genutzt, so sind diese als Koppelfelder bzw. Kreuzschienen zu betrachten. Werden Kommandoanlagen nur zu Fernsprechzwecken genutzt, gelten geringere Anforderungen in Bezug auf:

Frequenzgang im Frequenzbereich von 150 Hz ... 7 kHz $\Delta p = \pm 2$ dB

Gesamtklirrdämpfung $a_{kges} \geq 40$ dB

Bewerteter Störpegelabstand für:

Kommandogabe bei voller Verstärkung auf den Eingang bezogen $a_{stb} \geq 100$ dB

Kommandoempfang bezogen auf den Eingangspegel von 6 dBu $a_{stb} \geq 70$ dB

Die Abhörlautstärke im Regieraum muss während der Kommandogabe einstellbar sein. Für den Kommandoempfang sollen auch externe Lautsprecher genutzt werden können.

Die Kommandoanlage soll über Signalisierungseinrichtungen (GPI/GPO) verfügen, um z.B. Abhördämpfungen bzw. Lautsprecherabschaltungen o.ä. vornehmen zu können.

4.6 Signalisierung, Statusmeldungen

Der Umfang an Signalisierungseinrichtungen richtet sich nach dem Betriebszweck der Anlage. Sinnvoll ist die Bereitstellung von potentialfreien Kontakten (GPI/GPO) über die entsprechende Signalisierungen weiter verarbeitet werden können. Vorteilhaft ist, wenn diese systemintern flexibel belegbar bzw. auswertbar sind.

Bei Systemen mit Netzwerkanbindung (LAN) sollte über dieses eine Signalisierungsfunktion (z.B. SNMP) verfügbar sein.

5 Anhang

5.1 Impulsverhalten

Das Impulsverhalten ist ein anschauliches Kriterium zur Bewertung der Signalbeeinflussung eines Übertragungssystems. Systeme ohne Gruppenlaufzeitverzerrungen verfügen auch über einen linearen Phasenfrequenzgang innerhalb des Übertragungsbereiches. Ein impulstreues Verhalten bedeutet, dass alle Signalanteile frequenzunabhängig, gleichzeitig und mit der gleichen Verzögerung übertragen werden.

Die Messung kann sowohl analog als auch digital ausgeführt werden. Sinnvollerweise sollte die gesamte Kette des Modulationsweges einschließlich der A/D- und D/A-Wandler gemessen werden. Dem Prüfling wird eine Rechteckspannung von $3 V_{SS}$ ($f = 497 \text{ Hz}$) eingespeist. Das Ausgangssignal kann entweder mit einem Oszilloskop oder einem Audioanalysator gemessen werden. Die Amplitudenumhüllenden der Ein- und Ausschwingvorgänge verlaufen nach einer e-Funktion. Die Frequenz der Ein- und Ausschwingvorgänge wird durch die obere Grenzfrequenz des Systems bestimmt. Die Ein- und Ausschwingvorgänge sollten möglichst spiegel- und achsensymmetrisch sein.

Das folgende Beispiel zeigt einen Prüfling mit „gutem“ Impulsverhalten.

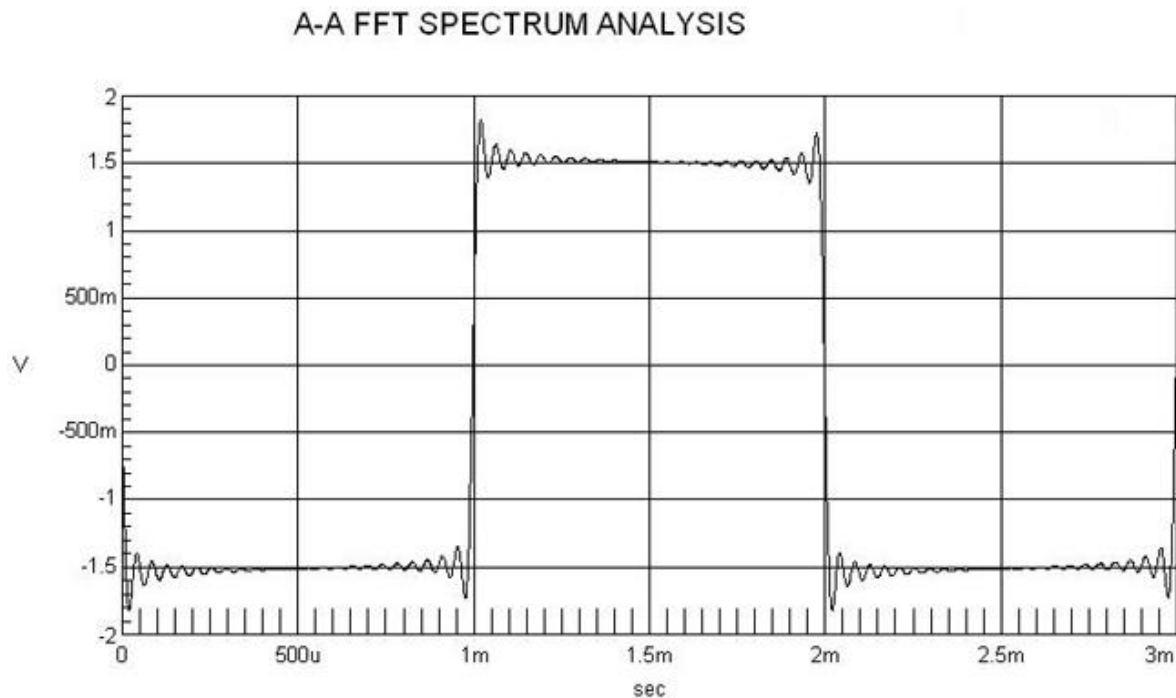


Bild 6: Signalantwort eines Prüflings mit „gutem“ Impulsverhalten

5.2 Unsymmetrie

5.2.1 Scheinwiderstandsunsymmetrie

Damit die auf einer Leitung induzierten und influenzierten Störspannungen möglichst wenig Störungen in einem an diese Leitung angeschlossenen Eingang eines Audiosystems hervorrufen, muss dieser Eingang „symmetrisch gegen Erde“ sein, d.h. die beiden Widerstände, die zwischen jeder der Eingangsklemmen und Erde gemessen werden, müssen nach Betrag und Phase gleich sein. Die induzierten Störspannungen, die auf beiden Leitern betrags- und phasenmäßig gleich sind, heben sich bei einem symmetrischen Eingang dann in ihrer Wirkung gegenseitig auf und sind ohne Einfluss. Bei nicht exakter Symmetrie hingegen erfolgt kein völliges Aufheben der induzierten Spannung und ein Störspannungsrest verbleibt im nachfolgenden Übertragungsweg.

Die gleichen Betrachtungen gelten auch für analoge symmetrische Ausgänge von Audiosystemen. Auf einer daran angebenen Leitung, auf der eine Störung induziert worden ist, erscheint, je nach Unsymmetrie des Ausgangs, ein Rest der Störspannung.

Eingangs- und Ausgangsunsymmetrie der Scheinwiderstände werden nach dem gleichen Verfahren gemessen und als Unsymmetriedämpfung angegeben.

5.2.1.1 Messschaltungen

Grundsätzlich sind auch die in DIN EN 60268-3:2001-10 angegebenen Messmethoden anwendbar.

5.2.1.2 Unsymmetrie des Eingangsscheinwiderstandes

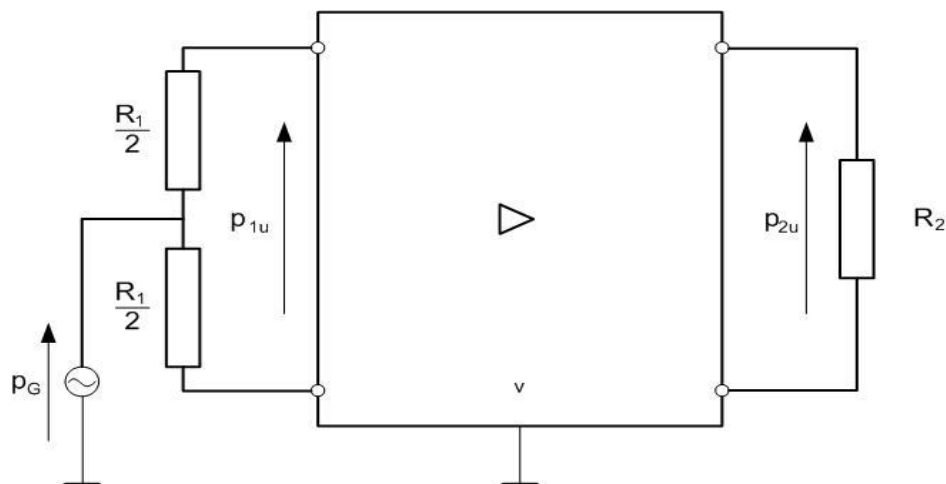


Bild 7: Parameter zur Messung der Eingangssymmetrie

Bei der Messung der Eingangssymmetrie von Vierpolen soll die Größe p_{1u} grundsätzlich aus dem am Ausgang stehenden Pegel p_{2u} unter der Berücksichtigung der Verstärkung ermittelt werden.

Die Unsymmetriedämpfung ist dann:

$$a_u = p_G - (p_{2u} - v)$$

Wenn die Messung des Pegels p_{1u} direkt vorgenommen werden muss, so muss ein Pegelmessgerät verwendet werden mit hinreichend großem Eingangswiderstand und einer Eingangssymmetrie, die kleiner als die des Messobjektes ist. Die letztere Bedingung kann auch durch Vorschalten eines Symmetrieübertragers erreicht werden.

Die Unsymmetriedämpfung ist dann: $a_u = p_G - p_{1u}$

bzw. bei einem Übertrager von $\ddot{u} \neq 1$ $a_u = p_G - p_{1u \text{ mess}} + 20 \lg \ddot{u}$

Der Einfluss des eingangsseitigen Messabschlusses auf den Unsymmetriewert ist sehr groß. Es wird deshalb für die Messung der Eingangssymmetriedämpfung einheitlich der höchste definierte Quellwiderstand von $R_1 = 200 \Omega$ festgelegt. Der Lastwiderstand ist bei dieser Messung $R_2 = 10 \text{ k}\Omega$.

5.2.1.3 Unsymmetrie des Ausgangsscheinwiderstandes

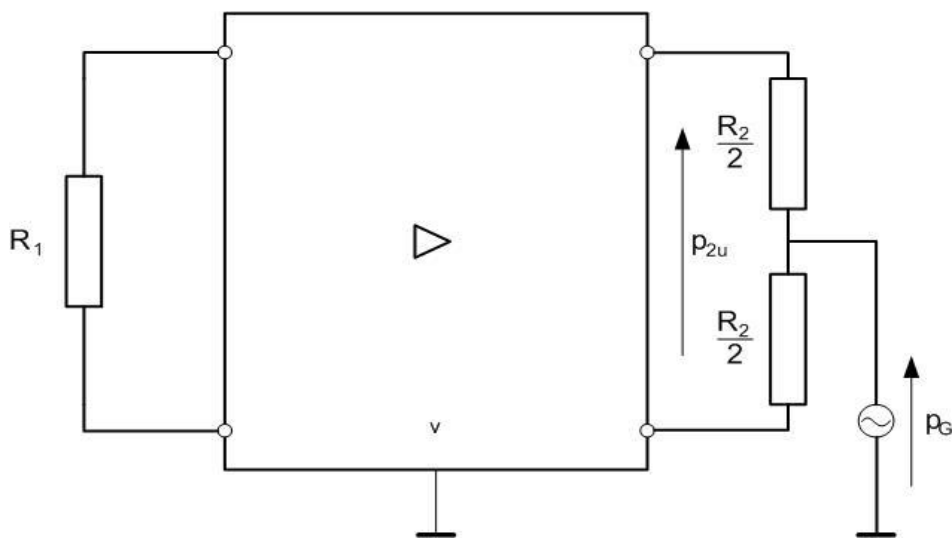


Bild 8: Parameter zur Messung der Ausgangssymmetrie

Die Unsymmetriedämpfung ist: $a_u = p_G - p_{2u}$

Zur Messung von p_{2u} muss ein Pegelmessgerät verwendet werden, dessen Eingangssymmetrie kleiner als die des Messobjektes ist. Diese Bedingung kann auch durch Vorschalten eines Symmetrieübertragers erreicht werden.

Es wird dann: $a_u = p_G - (p_{2u \text{ mess}} + 20 \lg \ddot{u})$

Der Einfluss des ausgangsseitigen Messabschlusses auf den Unsymmetriewert ist sehr groß. Für die Ausgangssymmetriemessung wird deshalb einheitlich der niedrigste definierte Lastwiderstand von $R_2 = 600 \Omega$ festgelegt. Die Größe des Quellwiderstandes R_1 ist bei dieser Messung ohne Einfluss.

5.2.2 Spannungsunsymmetrie

Die Spannungsunsymmetrie beschreibt die Folgen einer unsymmetrischen Spannung am Ausgang eines Audiosystems, die durch das System selbst hervorgerufen wird. Die Unsymmetrie der Ausgangsspannung kann zu Übersprechen führen und wird deshalb zur Beurteilung der Störungen des betreffenden Ausgangs auf benachbarte Wege benutzt.

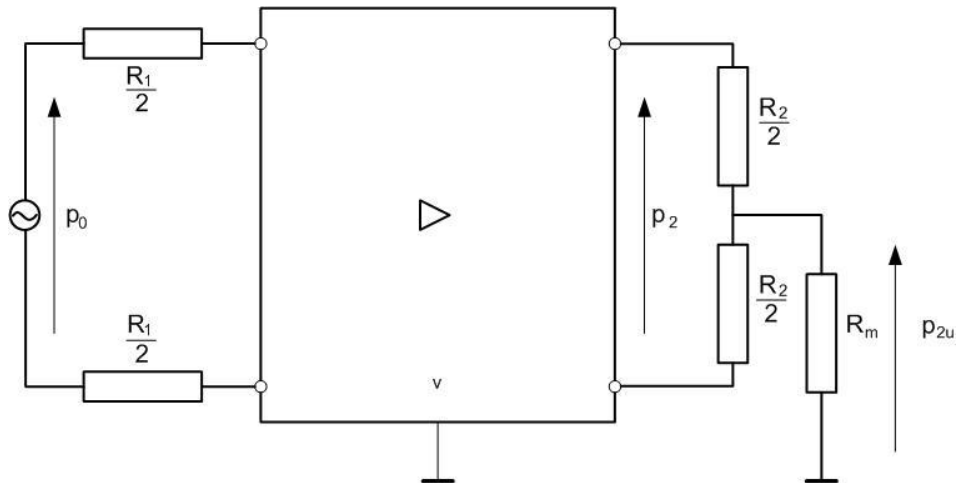


Bild 9: Parameter zur Messung der Spannungsunsymmetrie

Grundsätzlich ist auch die in der IEC-Publikation 268-2 angegebene Messmethode anwendbar.

Der Quellwiderstand ist $R_1 = 40 \Omega$ bei Normalpegeleingängen, bzw. $R_1 = 200 \Omega$ bei Mikrofoneingängen. Der ausgangsseitige Lastwiderstand ist $R_2 = 600 \Omega$, der Messwiderstand $R_m = 10 \text{ k}\Omega$.

Der Ausgangspegel p_2 wird mit einem hochohmigen, erdfreien Messgerät gemessen. Das Messgerät zur Bestimmung des Unsymmetriepiegels p_2 muss hochohmig gegenüber $10 \text{ k}\Omega$ sein.

Die Spannungsunsymmetriedämpfung berechnet sich aus $a_v = p_2 - p_{2u}$

5.3 Begriffserläuterungen

Aliasing-Verzerrungen

Aliasing-Verzerrungen sind Störungen, die aufgrund der Abtastung durch Spiegelung von Frequenzen $f > f_s/2$ in den Nutzbereich entstehen. Diese Spiegelungen sollen durch ein Anti-Aliasing-Filter unterbunden werden.

Augendiagramm

Das Augendiagramm ist die graphische Überlagerung der Messung eines Datensignales zu unterschiedlichen Zeitpunkten. Die graphische Darstellung wird mit Hilfe eines Speicheroszilloskops durchgeführt. Durch den Einfluss von Störungen erscheint das Signal nicht als ideales Rechteck, sondern mit mehr oder weniger verflachten und zeitlich abweichenden Flanken, wodurch die Form eines Auges entsteht. Mit Hilfe des Augendiagrammes kann die Signalqualität dargestellt werden.

Aussteuerungsreserve, Headroom

Als Headroom (engl.) wird der Bereich zwischen Normalpegel und dem maximal möglichen Pegel verstanden. Der im deutschsprachigen Rundfunkbereich empfohlene Headroom bei digitalen Audiosystemen beträgt 9 dB. Demnach beträgt der digitale Normalpegel - 9 dBFS. Der analoge Normalpegel beträgt + 6 dBu, demnach ist der maximale analoge Pegel + 15 dBu.

Bei Verwendung eines QPPM-Aussteuerungsmessers nach TR. 3/6 ($t_i = 10$ ms) stellt der Headroom gleichzeitig die Aussteuerungsreserve für die Tonaussteuerung dar.

Betriebskennlinie

Die Betriebskennlinie ist die graphische Darstellung des bewerteten Störpegels in Abhängigkeit der Verstärkung von Systemen. Dies ist besonders bei hohen Verstärkungen interessant, die hauptsächlich bei Mikrofonverstärkern auftreten. Das Toleranzschema für die Betriebskennlinie ist unter 2.3.15 aufgeführt.

Dither

Dither ist ein gewollter Rauschanteil, der einem digitalen Signal zugefügt wird, womit Quantisierungsfehler (Quantisierungsrauschen) in ihrer störenden Wirkung abgemildert werden. Es entsteht ein gleichmäßigeres, akustisch weniger störendes Rauschen. Der Standard-Dither hat eine dreieckige Wahrscheinlichkeitsdichte und beträgt ± 1 LSB der Wortlänge des digitalen Eingangssignals.

Emphase, Preemphasis/Deemphasis

Eine Emphase ist ein Filter (z.B. $R \cdot C = 50$ us) für eine gezielte lineare Verzerrung des Amplitudenfrequenzgangs zur Betonung bestimmter Frequenzen oder Frequenzbereiche. Sie wird z.B. in Rauschminderungsverfahren im FM-Rundfunk eingesetzt.

Jitter

Jitter ist die zeitliche Abweichung der Flankendurchgänge bei digitalen Signalen in Bezug auf ein ideales, störungsfreies Signal. Der Jitter ist somit eine Störgröße und wird als Zeitwert, oder als Prozentwert in Bezug auf die kleinste Takteinheit (1 UI) des Signales angegeben. Jitter definiert sich nicht nur durch seine Amplitude, sondern auch durch seine spektrale Verteilung.

Noise-shaping

Übersetzt: Rauschformung. Dies bedeutet, dass die normalerweise gleichmäßig über den gesamten Frequenzbereich verteilte Rauschenergie, die durch die Quantisierung entsteht, durch Rechenalgorithmen vom Nutzbereich (< 20 kHz) in Frequenzbereiche außerhalb des Nutzbereiches (> 20 kHz) verschoben wird, oder in solche Abschnitte des Nutzbereiches, in der sie akustisch besser verdeckt wird. Die Rauschenergie bleibt dabei gleich, wirkt sich dann aber nicht mehr so stark auf das Nutzsignal aus, da die Signale außerhalb des Nutzbereiches ausgefiltert werden.

Phantomspeisung

Kondensatormikrofone benötigen eine Versorgungsspannung. Die Phantomspeisung ist die Möglichkeit, über die symmetrische Signalanbindung des Mikrophones, dieses mit einer Speisespannung zu versorgen. Dabei wird der Pluspol der Speisespannung über Entkopplungswiderstände ($6,8$ k Ω bei 48 V Speisespannung) auf beide Signalleitungen, der Minuspol wird über die Schirmung geführt. Somit liegt zwischen den beiden Signaladern keine Spannung an.

Synchronisation

Mit Hilfe eines systemübergreifenden hochgenauen Taktsignals (heute wird meist das GPS-Signal genutzt) werden zentrale Taktgeneratoren synchronisiert und generieren synchrone spezifische Taktsignale für Audio- (AES-Takt, Word-Clock, ...) oder/und Videosysteme (Blackburst, Trilevel-Sync, ...), über die die einzelnen Systemkomponenten synchronisiert werden. Alle synchronisierten Systeme liefern dann zeitgenaue Signale, die von anderen Systemen mit gleichem Takt fehlerfrei verarbeitet werden können.

Systemdynamik

Die Systemdynamik ist die Differenz zwischen maximalem Ausgangspegel und unbewertetem (RMS), auf 22 kHz bandbegrenztem THD+N-Pegel. Sie stellt den Wert des maximal nutzbaren Pegelbereiches dar.

Word-Clock

Rechtecksignal zur Synchronisation von Audio-Systemen. Die Frequenz des Signales entspricht der Abtastfrequenz.

5.4 Begriffe und Abkürzungen

Abkürzung	deutscher Begriff	englischer Begriff
	Einheit	
a	dB Dämpfung, Ausblendung	attenuation
a _{alias}	dB Unterdrückung von Alias-Verzerrungen	rejection of aliasing distortion
a _{kges}	dB Gesamtklirrdämpfung	total harmonic distortion
a _{stb}	dB bewerteter Störpegelabstand	weighted noise distance
a _u	dB Scheinwiderstandsunsymmetrie (-dämpfung)	unbalance of impedance
a _ü	dB Übersprechdämpfung	cross-talk
a _v	dB Spannungsunsymmetrie (-dämpfung)	unbalance of output e.m.f.
AR	dB Aussteuerungsreserve	headroom
f	Hz Signalfrequenz	signal frequency
f _b	Hz Bezugsfrequenz	reference frequency
f _s	Hz Abtastfrequenz	sampling frequency
n	Bit Bitauflösung, Wortbreite in Bit	word length
p	dBx Signalpegel, dBu oder dBFS	signal level
p ₀	dBx EMK-Pegel, dBu oder dBFS	e.m.f. level
p ₁	dBx Eingangspegel, dBu oder dBFS	input level
p ₂	dBx Ausgangspegel, dBu oder dBFS	output level
Δp	dB Pegeldifferenz	level difference
p _G	dBx Generatorpegel, dBu oder dBFS	generator level
p _N	dBx Normalpegel, dBu oder dBFS	p.m.s. level
p _{max}	dBx maximaler Pegel, dBu oder dBFS	maximum level
p _{stb}	dBqp bewerteter Störpegel	weighted noise level
p _{stu}	dBq unbewerteter Störpegel	unweighted noise level
p _{THD+N}	dB Br Pegel der Gesamtverzerrung mit Rauschen	level of THD+N
φ	Grad Phase	phase
Δφ	Grad Phasendifferenz	phase difference
R ₁	Ω Quellwiderstand, Eingangsabschlusswiderst.	input terminating resistance
R ₂	Ω Lastwiderstand, Ausgangsabschlusswiderst.	Output terminating resistance
R _m	Ω Messwiderstand	measurement resistance
THD+N	dB Gesamtverzerrung + Rauschen	total harmonic distortion + noise
t _{fall}	ns Abfallzeit	falltime
t _j	ns Jitteramplitude	jitter amplitude
t _i	ms Integrationszeit	integration time
T _{nom}	ns Intervallzeit (1 UI)	unit interval time
T _{min}	ns Minimum der Augenöffnung	minimum of eye closure
t _{rise}	ns Anstiegszeit	risetime
UI	ns Unit Intervall	unit interval
U _s	V _{SS} Signalamplitude	signal amplitude
U ₀	V EMK, Ursprung	e.m.f.
U _x	V Messspannung	test voltage
v	dB Verstärkung	gain
Z _{aus}	Ω Ausgangsscheinwiderstand	output impedance
Z _{ein}	Ω Eingangsscheinwiderstand	input impedance