

Messtechnik für Audioverstärker

BUROSCH-Audio-Technik

Even when you can not hear it, you can measure it. And when you can measure it, you can improve it!

Vorwort

Dieses umfassende technische Handbuch ist speziell für Entwickler und Ingenieure konzipiert, die sich mit Audioverstärkern beschäftigen und sich auf die Messtechnik für Niederfrequenzverstärker konzentrieren möchten. Es bietet eine gründliche Ausarbeitung der verschiedenen Messmethoden und Verfahren für die Entwicklung und Optimierung von Audioverstärkern. Das Handbuch behandelt nicht nur die theoretischen Grundlagen und die verschiedenen Messgeräte und -software, sondern gibt auch praktische Tipps für die Durchführung von Messungen und die Interpretation von Ergebnissen. Darüber hinaus werden in diesem Handbuch einige der neuesten Entwicklungen in der Audiotechnik diskutiert, um dem Leser ein besseres Verständnis der Technologie zu vermitteln. Nach dem Lesen des Handbuchs werden Sie ein Verständnis der audiotechnischen Grundlagen haben und wissen, wie man die neuesten Audio-Technologien zum Messen nutzen kann. Das Handbuch gibt Ihnen auch einen Einblick in einige der bekanntesten Anwendungen in der Audiotechnik und zeigt Ihnen, wie Sie diese am besten nutzen können, um Ihre Audioerfahrung zu verbessern. Es stecken allgemein bekannte Grundlagen sowie unsere Jahrzehnte lange Erfahrung und Expertise in diesen Zielen. Dieses Handbuch ist somit ein unverzichtbares Werkzeug für jeden, der sich mit der Messtechnik für Niederfrequenzverstärker beschäftigt und seine Kenntnisse in der Audiotechnik erweitern möchte.

Letzte Version: 29.05.2023

Inhaltsverzeichnis

Normen.....	9
Wofür braucht es Normen?	9
DIN-Norm	10
DIN IEC 60268-3	12
DIN45500 – die alte HiFi Norm	13
Technische Anforderungen.....	14
HiFi-Stereofonie.....	17
HiFi Technik.....	18
Stereoverfahren	20
AB Stereophonie	22
Niederfrequenz-Verstärker.....	24
Einführung	24
Röhren.....	24
Trioden Vs Pentoden	25
Transistor	26
Eingangswiderstand	28
Dämpfungsfaktor	29
Eingangsempfindlichkeit	29
Fremdspannung & Geräuschespannung	30
Schwingneigung	33
Übersteuerungsfestigkeit	34
Erwartungen und Überprüfung eines Leistungsverstärkers	35
Verlustleistungen	35
Kanalgleichlauf	37
Leistung	38
Maximale Verstärkerleistung.....	38
Nennleistung (RMS):	39
Peak-Leistung Spitzenwert	40
Musikleistung.....	41
Schalldruckpegel Akustische Leistung	42

Wieviel Leistung ist sinnvoll?	43
Arten der Leistungsmessung	45
Messung ohne Last	45
Messung mit einfacher Last	45
Messung mit realer Last.....	47
Warmlaufzeit	48
ITU-R 468 Gewichtung.....	49
CCIR 468 Empfehlung.....	50
Funktionsweise	51
M-Gewichtung	52
Akustik und Wahrnehmung Einleitung	53
Einfluss der Raumakustik.....	55
Wie Raum die Wiedergabequalität bestimmt	56
Schall.....	57
Schall messen	58
Reflexion	59
Messtechnik im Vergleich zu Hören.....	61
Schallmessungen und Schallemissionen	61
Schallaufnahme- und Wiedergabegeräte.....	63
Schall- und Akustikmodellierung bzw. Simulation	64
Optimierung der Musikwiedergabe	66
Schallausbreitung im Hörraum.....	68
Resonanz eines Raumes.....	69
Raummode.....	72
Auswirkung des Raumes	72
Raummode verhindern	73
RT60.....	74
Berechnung	77
Modenknoten.....	78
Testtöne	80
Einfache Töne	81
Rechteck	82
Multitöne.....	82

Audio Test CD	82
Was sind und bedeuten schlechte Messwerte	84
Rauschen	84
Klirrfaktor	85
Dynamik	85
Störungen im Netz	87
Rauschen Noise.....	88
White Noise	89
Analyse von White Noise (PSD)	89
Pink Noise	90
Gefiltertes Pink Noise	91
Analyse von Pink Noise (RTA).....	91
Noise Messungen	93
Zeitabweichung	93
DUT-Eingangsbedingungen.....	94
Signalmessungen (mit Belastung)	94
Equivalent Input Noise (EIN).....	96
Charakteristische Messgrößen.....	99
Schallleistung, Schallintensität:.....	99
Schallgeschwindigkeit.....	99
Schalldruckpegel	100
Schallleistungspegel	101
Mittelungspegel	102
Beurteilungspegel	102
Faustregeln in der Audiotechnik	103
Verzerrungen	105
Lineare Verzerrungen	106
Amplitudenverzerrungen.....	107
Laufzeitverzerrungen	107
Fast Fourier Transformation (FFT)	109
FFT-Algorithmen.....	110
Funktionsweise	111
Butterfly-Operation.....	112

Reale FFT Komplexe FFT	114
Signalaufnahme.....	115
Anwendungen.....	115
Elementare Messtechnik.....	116
Multitone Messungen.....	117
Fensterfunktionen	118
Harmonic Distorsion	121
Individuelle Harmonische Verzerrung	121
THD.....	123
Messung.....	124
Berechnung	126
Umrechnung von Dezibel in Prozent (%) und umgekehrt.....	126
Auswirkungen	128
THD+N	130
Rauschbandbreite für THD+N-Messungen	131
Auswirkungen von Interferenzsignalen auf THD+N.....	131
Anforderungen für THD+ Messungen	132
Clipping.....	134
Hard Clipping Soft Clipping	134
Messen.....	135
Drift.....	136
Frequenzdrift	137
Verhindern:	138
Phasendrift	139
Dynamikdrift.....	140
Timing-Drift.....	141
Messung und Verhinderung.....	141
Intermodulation (IM)	143
IMD (Intermodulation Distortion)	143
Skalare Messung.....	144
Vektorielle Messung	145
SMPTE IMD Standard	146
IMD Analysator	147

DIM (Dynamic Intermodulation Distortion)	147
Transient intermodulation distortion (TIM).....	149
Wow und Flutter	155
Messtechniken.....	156
Sofortige vs. verarbeitete Messwerte	156
Breitband-Flutter	157
Frequenzgang.....	158
Spannungsfrequenzgang.....	158
Leistungsfrequenzgang	160
Auswirkungen und Verbesserung	161
Messungen.....	163
Auswirkungen schlechter Messwerte	164
Echo, Nachhall, schlechte Sprachverständigkeit.....	165
Unausgewogene Klangverteilung	166
Unerwünschte Frequenzbereiche	167
Wichtige Messmethoden.....	168
Pegel	168
Frequenzgang Frequenzanalyse	170
Phase	171
Crosstalk Nebensprechen.....	175
Signal-Rausch-Verhältnis (SNR).....	176
Signalverarbeitungsspezifikation.....	178
Tabelle Zusammenfassung Signalverarbeitung	178
TIM-Vermeidung	180
Darstellung	181
Messung nichtlinearer Signale	182
Ausgangs Eingangs Amplitude	183
<u>Unser Labor</u>	<u>185</u>
Messungen am Transformator	187
Masseschleife.....	187
Messmethoden	189
Dual Domain Messmethoden.....	189
Messen mit Rechtecksignalen	191

Signal Generation	192
Komplexe Signal Generation	194
Frequenz Messungen	194
SMPTE Intermodulation.....	196
CCIF-Intermodulation	198
Messgeräte im Vergleich zu Simulationen.....	199
LTspice und Matlab	199
Verblüffende Ergebnisse.....	200
Worauf es bei Messgeräten ankommt.....	201
Qualitative Messgeräte	201
Kalibrierung von Messgeräten	202
Ausstattung	203
Oszilloskop	206
Verwendung	206
Praktischer Messdurchgang	207
Nakamichi Audiomessgerät T-100.....	209
NAKT100 Audiosoftware.....	210
Klirrfaktor-Messgerät U8903A	212
THD+N & Filter	215
Ohrkurvenfilter.....	217
Nf-Millivoltmeter Sennheiser UPM550-1.....	219
Merkmale.....	220
Kalibrierung	221
Scheinwiderstandprüfer.....	223
Schallpegelmesser	225
Zeitbewertung.....	225
Die Frequenzbewertung.....	225
Leq Mittelungspegel.....	226
Kurz Leq	226
Spektralmessung	227
Burosch NF200	228
Burosch LCR Load Box	234
Anschlüsse:	235

Nutzen der Burosch LCR Interface LoadBox	235
Falsche Praktische NF-Leistungsmessung	236
Richtige Messung	237
Rohde&Schwarz Audioanalyzer UPV	239
Audio Precision Audioanalyzer 2722	240
Keysight U8903A	242
Anschließen von Messgeräten	244
Messprogramme	246
Abschließende Worte	247

Normen

Wofür braucht es Normen?

Technische Normen sind essentielle Regeln und Vorgaben, die in vielen Bereichen der Technik und Industrie angewendet werden, um die Qualität, Sicherheit, Effizienz und Interoperabilität von Produkten, Prozessen und Dienstleistungen sicherzustellen. Diese Normen dienen als Referenz für Entwickler, Hersteller, Anwender und Regierungsbehörden und stellen sicher, dass technische Systeme und Lösungen den erwarteten Anforderungen entsprechen. Technische Normen entstehen aus dem Bedarf, einheitliche Regeln und Verfahren für bestimmte Anwendungen und Branchen zu etablieren. Durch die Verwendung von Normen können Hersteller und Anwender sicherstellen, dass ihre Produkte und Systeme kompatibel und interoperabel sind, was die Effizienz und Leistungsfähigkeit verbessert. Darüber hinaus können Normen dazu beitragen, die Sicherheit von Produkten und Systemen zu gewährleisten, indem sie Mindestanforderungen an Materialien, Konstruktion und Leistung festlegen. Technische Normen können von Regierungsbehörden oder von branchenführenden Organisationen wie ISO, IEC, CEN und CENELEC entwickelt werden. Diese Organisationen sammeln Informationen von Experten aus der Branche und arbeiten zusammen, um einheitliche Regeln und Vorgaben zu entwickeln, die für eine breite Palette von Anwendungen und Branchen relevant sind. In der heutigen globalisierten Welt spielen technische Normen eine entscheidende Rolle bei der Förderung der Interoperabilität und Kompatibilität von Produkten und Systemen. Durch die Verwendung von Normen können Unternehmen ihre Produkte auf internationalen Märkten verkaufen und



Kunden können sicher sein, dass die von ihnen gekauften Produkte den erwarteten Anforderungen entsprechen. Leider gibt es auch Normen mit Verklausulierungsmöglichkeit. Man nutzt technische Daten in verschleierter Form, um Schwächen zu kaschieren. Oder behauptet einfach, wenn eine Gesamtnorm wie damals DIN45500 als "Maß für besten Klang" zu etablieren. Darüber hinaus helfen technische Normen auch, Risiken und Unsicherheiten in der Entwicklung und Produktion von Produkten und Systemen zu minimieren. Durch die Verwendung

von Normen können Hersteller sicherstellen, dass ihre Produkte den geltenden Gesetzen und Vorschriften entsprechen, was wiederum dazu beitragen kann, potentielle Rechtsstreitigkeiten und Haftungsrisiken zu vermeiden. Sie spielen auch eine wichtige Rolle bei der Förderung und Kontrollierung von Innovationen und der Verbesserung der Leistung von Produkten und Systemen. Durch die ständige Überwachung und Aktualisierung der technischen Normen können neue Technologien und Entwicklungen berücksichtigt werden, was es Unternehmen

ermöglicht, ihre Produkte ständig zu verbessern und ihre Wettbewerbsfähigkeit aufrechtzuerhalten.

Es kann gesagt werden, dass technische Normen ein wichtiger Bestandteil der technischen Entwicklung und Produktion sind und dazu beitragen, die Qualität, Sicherheit, Effizienz und Interoperabilität von Produkten, Prozessen und Dienstleistungen zu sichern. Durch die Verwendung von Normen können Unternehmen ihre Wettbewerbsfähigkeit erhöhen, Risiken minimieren und Innovationen fördern.

Kritiker bemängelt jedoch öfters den Umstand, dass Normen manchmal hinderlich sein können, da Klang und subjektive Wahrnehmung nicht immer in eine vorgegebene Norm passen. Dies kann dazu führen, dass manche Klangqualitäten nicht angemessen bewertet werden, da sie nicht den erwarteten Normen entsprechen. Allerdings kann es hilfreich sein, den Bezug auf Klang näher zu betrachten und zu schauen, ob er "normgerecht" ergänzt werden kann. Die Normen der DIN45500 legen bestimmte Anforderungen an Audio-Systeme fest, aber selbst, wenn eine Anlage oder Hifi-Kette alle diese Normpunkte erfüllt oder sogar übererfüllt, gibt es keine Garantie dafür, dass der Klang dem entspricht, was man sich unter einer hohen Klangqualität vorstellt. Ein Klang, der wie im Konzert klingen soll, kann auch dann noch subjektiv wahrgenommen werden und als nicht sinnvoll empfunden werden, wenn alle Normen erfüllt sind. Die Erfahrung zeigt, dass die Wahrnehmung von Klang sehr subjektiv ist und von vielen verschiedenen Faktoren abhängt, wie beispielsweise der Raumakustik, den individuellen Hörgewohnheiten und -fähigkeiten, den verwendeten Lautsprechern und vielen anderen Faktoren. Daher können Normen nur als Orientierungshilfe dienen, um die grundlegenden Anforderungen an Audio-Systeme zu erfüllen. Letztendlich hängt die Klangqualität jedoch von vielen verschiedenen Faktoren ab und ist ein sehr persönliches und individuelles Erlebnis.

DIN-Norm

Die DIN-Norm ist eine Art Leitfaden, der von dem Deutschen Institut für Normung (DIN) in Berlin entwickelt wird. Sie dient dazu, Materialien und Dienstleistungen zu vereinheitlichen und zu standardisieren, damit sie miteinander vergleichbar sind. Die DIN-Normen gelten für viele Bereiche, wie Produktentwicklung, -produktion und Dienstleistungen, Bauwesen und Rechtswesen. Unternehmen befolgen die DIN-Normen auf freiwilliger Basis. Interessierte Kreise, in der Regel Unternehmen aus der deutschen Wirtschaft, können den Normungsprozess initiieren. Wenn eine DIN-Norm entwickelt wurde, muss sie von Experten aus dem betreffenden Fachgebiet getestet und bewertet werden, bevor sie offiziell veröffentlicht wird. Die Verwendung von DIN-Normen ist wichtig, da sie eine gemeinsame Sprache und



Verständigung für Unternehmen und Branchen schaffen. Diese Verständigung kann zu einer besseren Zusammenarbeit und Effizienz führen, insbesondere in Bereichen, in denen ein hohes Maß an Qualität und Sicherheit gefordert ist.

Im Bereich der Hi-Fi-Technik gibt es Kritik an den DIN-Normen, da sie als veraltet und nicht zeitgemäß betrachtet werden. Insbesondere die Bewertungsmethoden und Messvorschriften, die beispielsweise den Klirrfaktor von Verstärkern in veralteten Größenordnungen festlegen, werden bemängelt. So werden oft Tricks angewendet, um hohe Werte bei hoher Leistung zu umgehen, indem beispielsweise der Klirrfaktor bei ...-3 dB an 8 Ohm angegeben wird, während die Leistung des Verstärkers in Watt an 4 Ohm angegeben wird. Dadurch wird der Klirrfaktor bei deutlich geringerer Leistung ermittelt, aber mit den angegebenen Werten kaschiert, was eine "Besserstellung auf dem Papier" ermöglicht.

Obwohl die DIN-Normen dazu beitragen, dass Hi-Fi-Systeme vergleichbar und überprüfbar sind, werden sie von einigen Experten als nicht mehr zeitgemäß angesehen. Die Kritik bezieht sich insbesondere auf veraltete Messmethoden und Bewertungskriterien, die nicht mehr den heutigen Anforderungen entsprechen und zu ungenauen Ergebnissen führen können. Es wird daher empfohlen, auch andere Kriterien zur Bewertung von Hi-Fi-Systemen heranzuziehen und die DIN-Normen kritisch zu hinterfragen.

DIN IEC 60268

Die Standard IEC 60268 ist eine internationale Norm für akustische Messverfahren und Messbedingungen in der Elektroakustik. Sie legt fest, wie akustische Größen gemessen und beschrieben werden sollen und gibt Anforderungen an Messgeräte und Messverfahren vor.

Diese Norm ist für Unternehmen und Organisationen relevant, die akustische Messverfahren durchführen und/oder akustische Messgeräte herstellen bzw. verkaufen. Sie dient als Leitfaden für die Durchführung von akustischen Messverfahren und hilft dabei, die Qualität und Genauigkeit von akustischen Messergebnissen zu verbessern. Die Einhaltung der Norm ist jedoch keine Pflicht, sondern freiwillig. Dennoch wird die Einhaltung der Norm von vielen Unternehmen als Qualitätsmerkmal gesehen und kann somit auch für den Verkauf von akustischen Messgeräten von Vorteil sein. Zusätzlich zur Förderung der Genauigkeit und Qualität von akustischen Messergebnissen kann die Standardisierung durch die IEC 60286 auch zu einer Harmonisierten Verwendung von Messverfahren und Messgeräten in der gesamten Branche beitragen. Dies führt zu einer besseren Vergleichbarkeit von Messergebnissen und erleichtert die Zusammenarbeit und den Austausch zwischen verschiedenen Unternehmen und Organisationen. Durch die internationale Anwendung dieser Norm werden auch Barrieren in der Übertragung und Verwendung von akustischen Messergebnissen über Länder- und Kulturgrenzen hinweg abgebaut. Dies fördert eine internationale Zusammenarbeit und den Austausch von Know-how und Technologie in der Elektroakustik. Es ist jedoch zu beachten, dass die Standardisierung von akustischen Messverfahren nur ein Teil des Prozesses ist, um zuverlässige und vergleichbare Messergebnisse zu erhalten. Es ist ebenso wichtig, dass die Personen, die die Messungen durchführen, über das erforderliche Fachwissen und die nötigen Fähigkeiten verfügen, um

die Messverfahren korrekt auszuführen. Zudem sollten die Messgeräte regelmäßig gewartet und geeicht werden, um sicherzustellen, dass sie weiterhin zuverlässig arbeiten. In Fällen, in denen die Messergebnisse für offizielle Zwecke oder rechtliche Angelegenheiten verwendet werden, ist es auch empfehlenswert, von einer unabhängigen, anerkannten Stelle die Überprüfung und Zertifizierung der Messergebnisse zu verlangen. Auf diese Weise kann sichergestellt werden, dass die Messergebnisse fair und objektiv sind. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Standard IEC 60286 ein wichtiger Leitfaden für die Durchführung von akustischen Messverfahren ist, aber nur ein Teil des Prozesses ist, um zuverlässige und vergleichbare Messergebnisse zu erhalten.

DIN IEC 60268-3

Die DIN IEC 60268-3 ist Teil der internationalen Normserie IEC 60268 für Klassifikation und Beurteilung von Tonstudiosystemen. Diese Norm beschäftigt sich speziell mit den Anforderungen an Tonübertragungssysteme, die für die Übertragung von Tonaufnahmen zwischen Tonstudios und anderen Systemen verwendet werden.

Die DIN IEC 60268-3 legt die Mindestanforderungen an die Übertragungsgenauigkeit, das Rauschverhältnis, die Klangfarbe und andere wichtige Klangparameter fest, die für eine erfolgreiche Übertragung von Tonaufnahmen unerlässlich sind. Auch die Anforderungen an die Übertragungstechnik werden in dieser Norm festgelegt, einschließlich der Anforderungen an Übertragungsmedien wie Kabel und Schnittstellen. Die Einhaltung dieser Norm ist für Tonstudios, Radiosender, Rundfunkanstalten und andere Organisationen, die Tonaufnahmen machen und verarbeiten, von großer Bedeutung, da sie für eine konsistente Klangqualität und Leistung bei der Übertragung von Tonaufnahmen sorgt. Durch die DIN IEC 60268-3 wird sichergestellt, dass Tonaufnahmen während des Übertragungsprozesses nicht beeinträchtigt werden und dass das Endprodukt eine hochwertige Klangqualität bietet. Die Norm trägt somit zur Förderung von hochwertigem Klang in der Tonproduktion und -verarbeitung bei und hilft, ein konsistentes Klangerlebnis für den Zuhörer zu gewährleisten. Zusätzlich zu den Mindestanforderungen an die Tonübertragung, befasst sich die DIN IEC 60268-3 auch mit den Anforderungen an die Übertragungssysteme selbst. Dazu gehören Anforderungen an die mechanische Stabilität, die elektromagnetische Verträglichkeit und die elektrische Sicherheit dieser Systeme.

Es ist wichtig zu beachten, dass die Anforderungen der DIN IEC 60268-3 nicht nur auf professionelle Tonstudios beschränkt sind, sondern auch für private Tonaufnahmen und Übertragungen von Relevanz sein können. Durch die Einhaltung dieser Norm kann auch ein Laie eine hochwertige Klangqualität bei Tonaufnahmen erreichen. Die DIN IEC 60268-3 ist ein wichtiger Faktor für den Erfolg von Tonaufnahmen und der Übertragung von Tonaufnahmen. Die Einhaltung dieser Norm garantiert eine konsistente Klangqualität und Leistung bei jeder Übertragung und trägt somit zur Förderung von hochwertigem Klang in der Tonproduktion und -verarbeitung bei. Die Anforderungen, die die DIN IEC 60268-3 an Tonübertragungssysteme stellt, sind sehr strikt und umfassen alle wichtigen Aspekte des Übertragungsprozesses. Zunächst muss die Übertragungsgenauigkeit hoch sein, um sicherzustellen, dass die Tonaufnahme unverändert bleibt, während sie von einem System

zum anderen übertragen wird. Hierbei ist es auch wichtig, dass das Rauschverhältnis niedrig ist, um Störgeräusche zu minimieren.

Des Weiteren muss auch die Klangfarbe während des Übertragungsprozesses erhalten bleiben, um sicherzustellen, dass das Endprodukt eine hohe Klangqualität bietet. Andere Artefakte, die durch den Übertragungsprozess verursacht werden können, müssen ebenfalls minimiert werden, um eine hohe Klangqualität zu gewährleisten.

Eine weitere wichtige Anforderung der DIN IEC 60268-3 bezieht sich auf die Übertragungstechnik, einschließlich der Übertragungsmedien und Schnittstellen. Hier müssen bestimmte technische Anforderungen erfüllt werden, um sicherzustellen, dass die Übertragung von Tonaufnahmen erfolgreich ist.

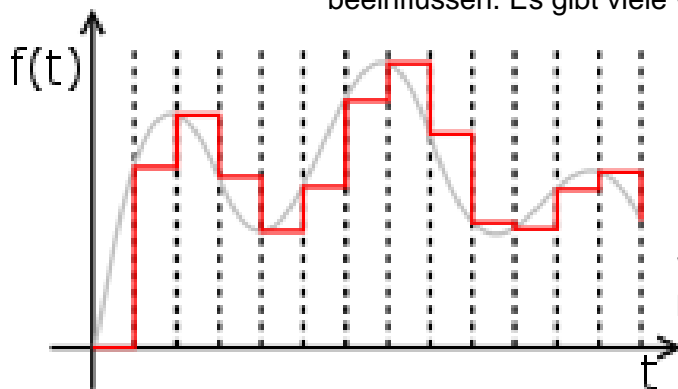
Insgesamt trägt die DIN IEC 60268-3 dazu bei, dass Tonübertragungssysteme eine konsistente Klangqualität und Leistung bieten und dass Tonaufnahmen während des Übertragungsprozesses nicht beeinträchtigt werden.

DIN45500 – die alte HiFi Norm

Hi-Fi steht für "High Fidelity" und bezieht sich auf die Qualität von Geräten, die zur Aufnahme, Übertragung und Wiedergabe von Audio verwendet werden. In Europa gibt es seit den 1960ern Normen, die festlegen, welche Klangparameter von dem ursprünglichen Schallsignal abweichen dürfen, damit sie als Hi-Fi gelten. Die DIN 45500, die in den 1990ern entwickelt wurde, legt Mindestanforderungen an Tonstudio-Equipment fest, wie FM-Tuner, Tonbandgeräte, Mikrofone, Verstärker, Lautsprecher und Funkempfänger. 1996 wurde die DIN EN 61305 eingeführt, die Messverfahren und Vergleichsgrößen festlegt, anhand derer die Eigenschaften und Qualitätsunterschiede von Audio-Equipment verglichen werden können. Diese Qualitätsansprüche beziehen sich unter anderem auf die Bandbreite, Dynamik, den Frequenzgang und die Kanaltrennung. Im internationalen und deutschen Sprachgebrauch wird der Begriff Hi-Fi für alle Geräte verwendet, die den größten Teil des hörbaren Frequenzbereichs mit hoher Genauigkeit, geringem Rauschen und wenigen anderen Artefakten wiedergeben. Daher ist Hi-Fi ein Synonym für eine hohe Klangqualität und Klangtreue. Hi-Fi-Systeme bestehen normalerweise aus einer Kombination aus verschiedenen Geräten, die alle aufeinander abgestimmt sind, um eine möglichst authentische Wiedergabe des originalen Schallsignals zu ermöglichen. Die Geräte müssen die hohen Qualitätsansprüche erfüllen, um als Hi-Fi-System bezeichnet zu werden. Diese Anforderungen gelten sowohl für die Verstärker und Lautsprecher als auch für die Quellen, wie CDs, Vinyl-Schallplatten, Radio- und Streaming-Signale. Hi-Fi-Systeme werden von Musikliebhabern und Tontechnikern hochgeschätzt, da sie eine perfekte Klangwiedergabe ermöglichen, die dem originalen Klang so nah wie



möglich kommt. Hi-Fi-Systeme sind eine Investition in Klangqualität und Klangtreue. Die Auswahl der richtigen Komponenten für ein Hi-Fi-System ist wichtig, um eine optimale Wiedergabe zu erreichen. Die meisten Hi-Fi-Systeme bestehen aus einem Verstärker, Lautsprechern, einem CD-Player oder einem Plattenspieler, einem digitalen Signalprozessor und einem Stromkabel. Je nach Budget und persönlichen Vorlieben kann das System auch einen Phono-Vorverstärker, einen DAC (Digital-to-Analog-Converter) und einen Netzwerk-Spieler umfassen. Ein Hi-Fi-System sollte gut aufeinander abgestimmt sein, um eine harmonische Klangwiedergabe zu ermöglichen. Dies bedeutet, dass die Lautsprecher mit dem Verstärker und dem Quellgerät kompatibel sein sollten. Die Position und die Akustik des Raums, in dem das System aufgestellt ist, sind ebenfalls wichtige Faktoren, die den Klang beeinflussen. Es gibt viele verschiedene Marken und Modelle von Hi-Fi-



Systemen auf dem Markt, und es kann schwierig sein, das richtige System zu finden. Es ist wichtig, das System zu hören und zu vergleichen, bevor man eine Kaufentscheidung trifft. Im Audiobereich kommt es immer wieder zu Diskussionen darüber, welche technischen Spezifikationen für ein optimales Hörerlebnis erforderlich sind und welche nicht. Die Hi-Fi-Normen, wie sie in diesem Text erwähnt werden, sind eine Möglichkeit, grundlegende

Anforderungen an Audio-Systeme zu definieren. Allerdings kann es auch in der Praxis vorkommen, dass bestimmte Komponenten, wie der Verstärker, nicht in der Lage sind, die volle Dynamik von modernen Aufnahmen wie SACD oder Bluray Audio zu bewältigen, ohne dass die THD-Werte (Klirrfaktor) stark ansteigen. In diesem Fall kann es notwendig sein, spezielle Verstärker mit höherer Leistung und besserer Dynamik zu verwenden, um das bestmögliche Hörerlebnis zu erzielen. Hierbei wird es mit Normen oft absurd, wichtig ist dass die THD niedrig bleibt, auch wenn die Leistung an die hohe Dynamik angepasst wird. Es ist jedoch wichtig zu betonen, dass die Wahl der Komponenten und die technischen Spezifikationen immer auch von den individuellen Präferenzen und Anforderungen abhängen.

Technische Anforderungen

Die HiFi-Norm DIN 45500 für Niederfrequenzverstärker legt bestimmte technische Anforderungen fest. Der Übertragungsbereich sollte mindestens von 40...16000 Hz betragen und darf maximal um 1,5 dB (bei linearen Eingängen) bzw. 2,0 dB (bei entzerrten Eingängen) von 1 kHz abweichen. Stereogeräte sollten eine Übertragungsdifferenz von maximal 3 dB (bei Einstellbereich ≤ 8 dB) oder 6 dB (bei Einstellumfang > 8 dB) zwischen den beiden Kanälen aufweisen. Der Klirrfaktor von Vollverstärkern im Frequenzbereich von 40 bis 12500 Hz sollte maximal 1 % betragen. Der Intermodulationsfaktor von Vor- oder Leistungsverstärkern sollte maximal 2 % und bei Vollverstärkern maximal 3 % betragen. Die Leistungsbandbreite (-3 dB) sollte mindestens von 40...12500 Hz betragen. Der Fremdspannungsabstand bei Leistungs- und Vollverstärkern sollte bei einer Ausgangsleistung von 100 mW Mono bzw. 2 x 50 mW Stereo mindestens 50 dB betragen.

Die Übersprechdämpfung sollte im Frequenzbereich von 250 Hz bis 10 kHz mindestens 30 dB und bei einer Frequenz von 1 kHz mindestens 40 dB betragen. Die Ausgangsleistung sollte für Monogeräte mindestens 10 W und für Stereogeräte mindestens 2 x 6 W betragen. Die Ausgangsimpedanzen der Lautsprecheranschlüsse sollten 4 oder 8 Ω betragen und die Impedanz der Kopfhöreranschlüsse sollte 200 oder 400 Ω betragen. Die technischen Anforderungen, die durch die DIN 45500 geregelt werden, sind sehr detailliert und dienen dazu, eine hohe Klangqualität bei Hi-Fi-Systemen sicherzustellen.

Dazu gehört beispielsweise die Anforderung an den Übertragungsbereich, der mindestens von 40...16000 Hz betragen muss, um eine möglichst breite Palette an Klängen wiedergeben zu können. Auch die Übertragungsdifferenz zwischen den beiden Kanälen bei Stereogeräten muss begrenzt sein, um eine gleichmäßige Klangwiedergabe zu ermöglichen. Die Leistungsbandbreite, der Fremdspannungsabstand und die Übersprechdämpfung sind weitere Faktoren, die in der DIN 45500 festgelegt werden und die für eine hohe Klangqualität und eine geringe Störgeräuschentwicklung sorgen sollen. Auch die Leistungsanforderungen für Monogeräte und Stereogeräte sowie die Impedanzanforderungen für Lautsprecher- und Kopfhöreranschlüsse werden in der Norm geregelt. Diese Regelungen tragen dazu bei, dass Hi-Fi-Systeme eine konsistente und hochwertige Klangqualität aufrechterhalten, unabhängig davon, welche Geräte und Komponenten verwendet werden. Die DIN 45500 hilft Herstellern, sicherzustellen, dass ihre Produkte den technischen Anforderungen entsprechen, die für eine optimale Klangwiedergabe notwendig sind. Zusätzlich zu den Regelungen für Übertragungsbereich, Übertragungsdifferenz, Klirrfaktor, Intermodulationsfaktor, Leistungsbandbreite, Fremdspannungsabstand und Übersprechdämpfung gibt es auch Regelungen für andere technische Merkmale, wie z.B. das Rauschverhältnis und die Dämpfungsfaktoren. Diese Anforderungen tragen dazu bei, dass Hi-Fi-Systeme ein klares und störungsfreies Klangerlebnis bieten, das auch bei lauten Lautstärken und hoher Lautstärke erhalten bleibt. Letztendlich hat die DIN 45500 eine wichtige Rolle bei der Definition und Überwachung von Hi-Fi-Systemen. Indem sie technische Anforderungen festlegt, sorgt sie dafür, dass Konsumenten hochwertige und zuverlässige Geräte kaufen können, die ihren Anforderungen an Klangqualität und Leistung entsprechen. Darüber hinaus kann die Einhaltung dieser Norm dazu beitragen, dass Hi-Fi-Systeme als Branche und Kultur weiter wachsen und sich entwickeln. Eine schlechte Klangqualität von Audiogeräten kann auf unsachgemäße Schaltungsentwürfe und minderwertige Bauteile zurückzuführen sein. High-End-Audio-Systeme können eine bessere Klangqualität bieten, aber es ist wichtig, ein gesundes Verständnis für die Ursache-Wirkungs-Beziehung zwischen den technischen Spezifikationen und der Klangqualität von Hi-Fi-Systemen zu haben. Bessere Einzelteile sind nicht immer notwendig, da ein gut durchdachter Schaltungsentwurf mit Standardbauteilen oft zu einer besseren Klangqualität führen kann als ein falsches Schaltungsdesign mit hochwertigen Bauteilen.

Es ist entscheidend zu beachten, dass die Klangqualität von Audiogeräten von vielen verschiedenen Faktoren abhängt, einschließlich der technischen Spezifikationen, der Schaltungsentwürfe, der Raumakustik und der individuellen Hörgewohnheiten und -fähigkeiten. Der Begriff "Klang" wird oft fälschlicherweise verwendet, da das Gerät selbst

keinen Klang hat, sondern lediglich das reproduziert, was durch die Lautsprecher wiedergegeben wird. Die Klangqualität von Audiogeräten ist jedoch wichtig, um ein optimales Hörerlebnis zu bieten.

HiFi-Stereofonie

Das Wort "HiFi-Stereo" hat einen ungewöhnlichen Klang für viele Menschen. Es gibt auch unterschiedliche Meinungen über die korrekte Aussprache. Die Aussprache des Namens alleine kann bereits eine Herausforderung für Fachleute sein. Doch wieviel schwieriger ist es dann, den Begriff "HiFi-Stereo" für den technisch interessierten Laien zu erklären. Für einen Experten ist "HiFi-Stereo" eng mit bestimmten technischen Daten verbunden. Aber für den Laien sollte man das Konzept mit Musik in Verbindung bringen. Stereo kann man hören, aber "HiFi-Stereo" ist das ultimative Erlebnis der Musikwiedergabe, bei der die eigenen vier Wände und die Illusion eines Konzertsaals eingerissen werden, das für den Nutzer zu Gänsehaut führt. Das Ziel war es, eine so hohe Klangqualität zu erreichen, dass bei guten Aufnahmen und Quellen "kein Lautsprecher mehr da" ist. Das heißt, man hört nur noch die Instrumente und vergisst dabei komplett, dass überhaupt Lautsprecher im Raum stehen.



HiFi und Stereo sind zwei getrennte Merkmale, die jedoch miteinander harmonieren, um eine atemberaubende Musikwiedergabe zu ermöglichen. Obwohl man eine hohe Tonqualität auch ohne Stereoeffekte erreichen kann, und stereophonische Übertragung auch ohne HiFi-Technologie möglich ist, vereint erst das Zusammenspiel beider Aspekte die Musik in einer Art und Weise, bei der man die einzelnen Instrumente im Orchester voneinander unterscheiden kann. Während bei der Präsentation und dem Verkauf von HiFi-Stereo-Systemen oft technische Daten im Fokus stehen, kann das für technikaffine Kunden durchaus hilfreich sein, aber es kann auch Verwirrung stiften, wenn man nicht mit den Angaben umgehen kann. Daher ist es wichtig, dass die präsentierten Daten korrekt und verständlich vermittelt werden, um auch die breitere Käufergruppe zu erreichen. Ein potentieller Käufer, der auf der Suche nach einer hochwertigen HiFi-Anlage ist, um seine Musik in einer hervorragenden Tonqualität zu hören, könnte sich von einem Kauf abschrecken lassen, wenn er erfährt, dass es mehr als nur das simple Bedienen eines

"Radio-Geräts" erfordert. Der Käufer muss sich nicht nur die technischen Daten des Geräts einprägen, sondern auch über das dimensionalen klassischen Musikrepertoire informiert sein, um es optimal nutzen zu können. Diese Faktoren können für einige Käufer eine Herausforderung darstellen und könnten dazu führen, dass sie sich für eine einfachere Option entscheiden. Trotzdem gibt es auch viele Musikliebhaber, die bereit sind, die zusätzliche Zeit und Energie zu investieren, um eine erstklassige Klangerfahrung zu genießen. Wenn es darum geht, die Qualität einer HiFi-Stereo-Anlage zu beurteilen, spielen technische Daten und Leistungskurven eine Rolle. Allerdings sollte man nicht ausschließlich auf diese Faktoren vertrauen, da das Ohr ein wichtiger Indikator für die Klangqualität ist.

Die Klangeigenschaften eines Hi-Fi-Systems sollten nicht nur anhand von Messgeräten, sondern auch nach menschlichem Empfinden beurteilt werden. Zusätzlich können die akustischen Eigenschaften des Raumes, in dem das System betrieben wird, den Klangeindruck erheblich beeinflussen. Es ist zu beachten, dass Messgeräte zwar hilfreich sein können, aber nicht alle Faktoren berücksichtigen können, die das Hörerlebnis beeinflussen, wie persönliche Hörgewohnheiten und Umwelteinflüsse. Eine falsche Aufstellung der Lautsprecherboxen kann oft der Hauptgrund für schlechte Klangqualität sein. Eine sorgfältige Abstimmung der Lautsprecher und des Raumes ist entscheidend, um eine optimale Klangqualität zu erreichen. Bei der Planung der Einrichtung von Wohnräumen sollte daher auch die Akustik berücksichtigt werden. Ein weiterer wichtiger Punkt, der nicht unerwähnt bleiben darf, ist die Wahl

zwischen Stereo- oder Dolby-Surround-Systemen. Beide Systeme haben unterschiedliche Anforderungen an die Raumakustik. Während Stereo-Aufnahmen eine gewisse Raumakustik als Unterstützung benötigen, erfordert Dolby Surround eine geringe Nachhallzeit. Die Bedämpfungsarmut, die für eine gute Stereo-Wiedergabe erforderlich ist, kann bei Dolby Surround dazu führen, dass der Klang unangenehm trocken wirkt. Es ist daher wichtig, dass Hi-Fi-System und die Raumakustik entsprechend auszuwählen, um eine optimale Klangqualität zu erreichen.



HiFi Technik

Bei HiFi-Technik geht es darum, Klänge so gut wie möglich wiederzugeben. Oft wird von einer naturgetreuen oder natürlichen Klangwiedergabe gesprochen, aber das ist eigentlich falsch. HiFi-Technik ist eine elektro-akustische Übertragung von Klängen, die so gut wie möglich wiedergegeben werden sollen. Die Absicht ist nicht, die Dynamik eines Orchesters nachzubilden, denn das würde für den Hörer und die Nachbarn unangenehm sein. Um beispielsweise in einem Wohnraum eine mittlere Lautstärke von 50 Phon zu erreichen, benötigt man eine Verstärkerleistung von ungefähr 0,25 Watt.

Bei der HiFi-Wiedergabe geht es um eine möglichst hochwertige Übertragung von Musik, die jedoch keine exakte Reproduktion des Originalklanges darstellt. Vielmehr soll eine

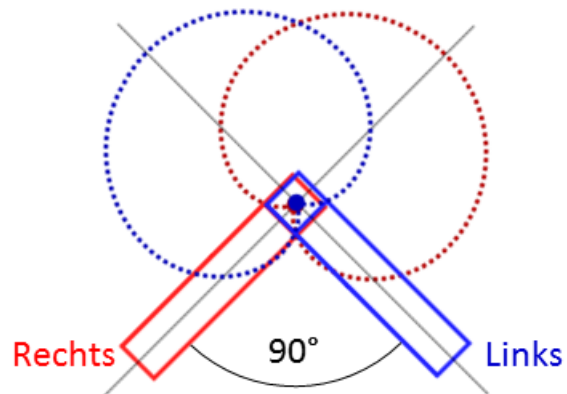
beabsichtigte Illusion entstehen, die eine angenehme und reine Musikwiedergabe ermöglicht. Die HiFi-Norm in Deutschland misst die Dauertonleistung eines HiFi-Verstärkers. Diese bezieht sich auf die Leistung, die ein Verstärker mindestens 10 Minuten lang mit seinem eigenen Netzteil liefern kann, wobei der Klirrfaktor nicht über 1% liegen darf. Beim Messen werden beide Kanäle gleichzeitig geprüft, um auch die Nachgiebigkeit des Netzteils zu berücksichtigen. Mehr dazu in späteren Kapiteln. Wenn man einen Verstärker misst, kann man aus den Ergebnissen viel über seine Leistung erfahren. Bei der Messung des Verstärkers mit einem Sinus-Dauerton wird besonders die Leistung des Netzteils berücksichtigt, da sie bei steigender Belastung absinkt und somit auch die Leistung des Verstärkers zurückgeht. Eine andere Messmethode ist die Ermittlung der Musikleistung, bei der die Leistung des Netzteils keine Rolle spielt und die von der Belastung abhängigen Schwankungen nicht beachtet werden. Oft wird als Musikleistung ein Wert angegeben, der gerade so aus den Endstufen des Verstärkers herausgeholt werden kann. Hierbei sollte man jedoch vorsichtig sein, da solche Daten leicht manipuliert sein können. Es ist wichtig, auf verlässliche Messmethoden und genaue Messergebnisse zu achten, um ein realistisches Bild von der Leistung eines Verstärkers zu erhalten. Wenn man die Musikleistung eines Verstärkers mithilfe seines eigenen Netzteils ermittelt, liegen die Leistungswerte normalerweise nicht mehr als 20% über der Leistung im Sinus-Dauerton. Die Musikleistung ist allerdings sehr schwer zu messen, weil sie stark schwankenden Impulscharakter hat. Daher ist es schwer, diese Werte zu überprüfen. Deshalb ist es wichtig, dass bei der Angabe der Musikleistung auch die Messmethoden angegeben werden. Nur wenn man beide Werte, die Musik- und die Sinus-Dauertonleistung, betrachtet, kann man eine realistische Aussage über die Leistungsfähigkeit des Verstärker-Netzteils und die Arbeitsweise der Endstufen treffen. Daher sollte die Angabe der Musikleistung nur als ergänzendes Kennzeichen betrachtet werden. Transistoren in Verstärkern sind oft mit elektronisch regulierten Netzteilen ausgestattet, die sicherstellen, dass die Betriebsspannung immer gleichbleibend bleibt. Daher sind die Werte der Sinus-Dauerton- und der Musikleistung immer gleich. Schwankungen in der Betriebsspannung durch unterschiedliche Belastungen werden durch die elektronische Regulierung ausgeglichen. Wenn jedoch geringe Abweichungen zwischen den Werten festgestellt werden, bedeutet dies, dass das Netzteil nicht vollständig stabilisiert ist. Die Musikleistung spielt hierbei eine Rolle bei Impulsen die kurzzeitig eine hohe Leistung erfordern.

In der Welt der Musikwiedergabe ist es von großer Bedeutung, dass der Klang so natürlich und realistisch wie möglich ist. HiFi Stereophonie ist eine Technologie, die eine dreidimensionale Klangwiedergabe erzeugen kann, die dem Erlebnis eines Live-Konzerts nahekommt. Allerdings kann dies aufgrund von schlechter Mikrofonaufstellung oft zu unzureichenden Ergebnissen führen. Ein besserer Ansatz ist die Lautsprecherbezogene Aufnahme, die in Verbindung mit einer korrekten Lautsprecheraufstellung zu einer höherwertigen Klangwiedergabe führen kann. Wenn der Raumhall im Konzertsaal in die Aufnahme gemischt wird, kann dies den Klang verfälschen und die originale Raumwirkung beeinträchtigen. Eine gute Anlage ist daher entscheidend, um eine optimale Klangqualität zu erreichen. Die Auswahl der Komponenten wie Lautsprecher, Verstärker und CD-Player spielt

hierbei eine wichtige Rolle. Es ist auch wichtig, dass die Anlage richtig aufgestellt und eingestellt wird, um eine optimale Klangwiedergabe sicherzustellen. Empfohlen werden Breitband-Lautsprecher mit Membran-Vorauskorrektur, die eine Impulstreue und einen weiten Frequenzbereich ermöglichen. Eine korrekte Aufstellung der Lautsprecher vor der längeren Wandseite und nicht zu nah an den Seitenwänden kann ebenfalls dazu beitragen, eine bessere Klangqualität zu erzielen.

Stereoverfahren

In der HiFi-Branche geht es darum, Musik möglichst authentisch und realitätsgetreu wiederzugeben. Dafür gibt es verschiedene Technologien und Verfahren, die jedoch unterschiedlich gut geeignet sind, je nach Situation und Anforderungen. Die monofone Wiedergabe ist eine einfache Möglichkeit, Klang wiederzugeben, aber sie bietet keine räumliche Tiefe oder Klangkulisse.



Das bedeutet, dass man keine räumlichen Informationen erhält, wie beispielsweise die Position eines Instrumentes oder einer Stimme im Klangbild. Dies führt besonders bei komplexen Klangkompositionen zu einer eingeschränkten Klangerfahrung.

Die stereophone Wiedergabe hingegen nutzt zwei Kanäle, um eine räumliche Klangerfahrung zu schaffen. Durch die Verwendung von zwei Lautsprechern kann man die Klangquelle präziser orten und somit ein viel detailliertes Klangbild erzeugen. So kann man beispielsweise die Position einer Geigenvirtuose im Klangbild eines Orchesters viel genauer erkennen und nachvollziehen. Dies führt besonders bei komplexen Klangkompositionen und klassischen Musikstücken zu einem besseren Klangerlebnis. Es gibt jedoch nicht nur die Möglichkeit, mit zwei Lautsprechern zu arbeiten, sondern auch die Möglichkeit, mehr als zwei Lautsprecher zu verwenden. Diese Verfahren werden oft als Surround-Sound-Systeme bezeichnet und bieten noch mehr Möglichkeiten, eine räumliche Klangerfahrung zu schaffen. Hierbei werden oft mehrere Lautsprecher eingesetzt, um ein 360-Grad-Klangbild zu erzeugen. So kann man beispielsweise ein Klangbild erzeugen, in dem der Klang von hinten kommt, während man vorne einen anderen Klang wahrnimmt. Dies kann besonders bei Filmen oder Computerspielen zu einem immersiven Klangerlebnis führen.

Durch die Verwendung von mindestens zwei Mikrofonen und zwei getrennten Kanalverstärkern kann ein dreidimensionales Klangbild erzeugt werden, das eine besonders präzise (PFLEID-Recording) Trennung der einzelnen Instrumente und Klangquellen ermöglicht.

In der Hi-Fi-Technologie werden bei der Stereophonie zwei separate Kanalverstärker genutzt, um die von den beiden Mikrofonen aufgenommenen Klänge auf jeweils einen eigenen Lautsprecher oder eine eigene Lautsprechergruppe zu leiten. Dies erzeugt ein Klangbild, das

eine räumliche Trennung der Klangquellen wiedergibt und dem Klang im Raum so nahe wie möglich kommt. Um ein möglichst realistisches Klangbild zu erzeugen, müssen phasenrichtige Lautsprecher eingesetzt und Phasenfehler vermieden werden. Die Verwendung von falschen Mehrweglautsprechern kann zu falschen Ortungen und verschmierter Impulswiedergabe führen und somit das Klangerlebnis beeinträchtigen. Daher ist es wichtig, auf eine optimale Lautsprecher- und Raumakustikabstimmung zu achten, um eine realistische Klangwiedergabe zu erreichen. Die Verwendung von zusätzlichen Technologien wie psychoakustischen Klangeffekten kann das Klangerlebnis zwar optimieren, jedoch sollte dabei nicht die Authentizität des Klangs verfälscht werden.

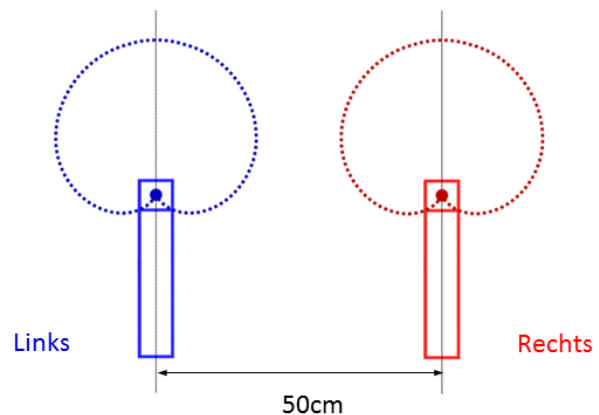
Die stereofone Wiedergabe, das Raumton-Verfahren, hat in der Tat viele Vorteile im Vergleich zur monofonen Wiedergabe. Es ermöglicht uns, ein klareres und durchsichtigeres Klangbild zu erhalten, selbst in Situationen, in denen mehrere Stimmen gleichzeitig vorhanden sind. Dies liegt daran, dass bei der stereofonen Wiedergabe die Informationen über die Position der verschiedenen Klangquellen bereitgestellt werden. Die Stereophonie ist eine Technik, die es uns ermöglicht, Klang in einer realistischeren Art und Weise wahrzunehmen. Während bei einer einkanaligen Wiedergabe die Klänge vermischt werden und somit unverständlich werden können, ermöglicht die Stereophonie eine klare Trennung der Klänge. Eine Diskussion beispielsweise, bei der mehrere Personen gleichzeitig sprechen, kann durch die Stereophonie verständlicher werden. Die Technik nutzt hierbei zwei oder mehrere Kanäle, die unabhängig voneinander aufgenommen werden und dann auch unabhängig voneinander übertragen werden.

Die Stereophonie kann auch bei anderen Aufnahmen von Klängen und Geräuschen eingesetzt werden, um ein durchsichtigeres und realistischeres Klangbild zu erzeugen. So können beispielsweise Instrumente eines Orchesters besser voneinander unterschieden werden und es entsteht das Gefühl, als ob das Orchester im Raum präsent ist.

Nicht nur in der Musikwiedergabe, sondern auch in anderen Bereichen wie Filmen und Videospielen findet die Stereophonie Anwendung, um ein realistischeres Klangerlebnis zu schaffen. Eine gute Stereophonie ist also entscheidend für ein authentisches Klangerlebnis und kann die Erfahrung des Zuhörers deutlich verbessern. Insgesamt hat die stereofone Wiedergabe einen bedeutenden Einfluss auf unsere Fähigkeit, Klang und Musik zu genießen. Es ermöglicht uns, eine klarere und dreidimensionale Wiedergabe zu erleben, die uns dazu einlädt, tiefer in die Klanglandschaft einzutauchen und das Klangerlebnis zu maximieren.

AB Stereophonie

In diesem Kapitel werden wir uns mit der Technik der AB-Stereophonie befassen, einer Methode zur Schaffung eines räumlichen Klangerlebnisses. Die Stereophonie hat in der Tonaufnahme- und Wiedergabetechnik eine lange Geschichte und ist ein wichtiger Aspekt bei der Schaffung eines immersiven Hör-Erlebnisses. Die Grundform der räumlichen Tonaufnahme erfolgt durch



den Einsatz eines künstlichen Kopfes, welcher in die Mitte des Orchesters platziert wird. Dieser künstliche Kopf verfügt über zwei Mikrofone, die an den Stellen angebracht sind, wo bei einem menschlichen Kopf die Ohren sitzen. Diese Mikrofone erfassen den Klang getrennt für das rechte und linke Ohr. Um eine realistischere Tonaufnahme zu erzielen, gibt es auch ausgefeilte Methoden wie das Abstrahlen von Schallwellen auf künstliche Ohren oder das Verwenden von mehreren Mikrofonen, um die räumlichen Eigenschaften des Klangs zu erfassen. Eine verbesserte Tonaufnahme kann auch dazu beitragen, dass das Publikum eine intensivere Hör-Erfahrung hat und dass Tontechniker eine bessere Kontrolle über die Tonaufnahme haben. Je nach verwendeter Richtcharakteristik der Mikrofone und ihrer Basis wird auch der Aufnahmebereich bestimmt. In der Praxis kann dieser Abstand zwischen wenigen Zentimetern und mehreren Metern betragen.

Bei der A/B Stereophonie Mikrofonierung geht es darum, eine Stereoabbildung bei der Wiedergabe über Lautsprecher zu ermöglichen. Hierbei nutzt man den Wahrnehmungseffekt des menschlichen Gehörs, das aufgrund der Zeitdifferenz durch den Abstand der Trommelfelle die Richtung einer Schallquelle erkennen kann. Dies geschieht allein durch Laufzeitdifferenzen zwischen den beiden baugleichen Mikrofonen und nicht durch den Phasenwinkel der Mikrofon-Membranen. Die Stereo-Mikrofonbasis, also der Abstand zwischen den beiden Mikrofonen, hat einen großen Einfluss auf die wahrgenommene 'Breite' des stereophonen Eindrucks. In der Praxis kann dieser Abstand zwischen wenigen Zentimetern und mehreren Metern betragen, abhängig von der Breite der Mikrofonierten Schallquelle und dem Abstand des Mikrofonpaares zur Schallquelle. Auch die verwendete Richtcharakteristik der Mikrophone bestimmt über die Mikrofonbasis den Aufnahmebereich. Die Membran-Achsen bei der A/B Mikrofonierung sollten parallel ausgerichtet sein, da sonst neben den Laufzeitdifferenzen auch frequenzbewertete Pegelunterschiede entstehen, die zu Verfärbungen und unklarer Lokalisation führen können. Eine zu große Mikrofonbasis kann zum Effekt des "Lochs in der Mitte" führen, während eine proportional zu kleine Basis eine unklare Lokalisation beeinträchtigt. Eine häufig gewählte Mikrofonbasis von 20 cm, die sich nach einem durchschnittlichen interauralen Abstand richtet, führt nicht zu einer optimalen Stereo-Breite. Um eine optimale Lokalisation von Schallquellen über ein Lautsprecherpaar zu erreichen, ist es notwendig, eine Links-Rechts-Zeitdifferenz von 1 bis 1,5 Millisekunden zu haben, was einem Mikrofonabstand von etwa 73

cm bei einem Achsenwinkel von 45 bis 90 Grad entspricht. Es ist jedoch zu beachten, dass diese Werte möglicherweise nicht auf Lautsprechersysteme ohne Phasenfehler oder Mehrwegboxen zutreffen. Die Verwendung von Kunstkopfstereofonie oder kopfbezogenen Mikrofonen ist nicht empfehlenswert, wenn diese mit Lautsprechern abgehört werden, da dies zu einer doppelten Prägung der Funktion des "Außenohrs" am Kunstkopf führen kann. Eine Abhörmöglichkeit mit Kopfhörern ist hier die bessere Wahl.

Niederfrequenz-Verstärker

Einführung

Ein Niederfrequenzverstärker ein elektronisches Gerät oder Schaltung, das dazu dient, Signale im niederfrequenten Bereich (unter 100 Hz) zu verstärken. Diese Signale repräsentieren die Bass-Frequenzen in Musik und Filmen und sind für ein ausgewogenes Klangbild von entscheidender Bedeutung. Sie sind in vielfältiger Bauart und in vielen Lebensbereichen zu finden, wie z.B. in öffentlichen Einrichtungen wie Bahnhöfen, Flughäfen, Stadthallen und vielem mehr, wo der Schwerpunkt eher bei der Sprachverständlichkeit als der qualitativ hochwertigen Tonübertragung liegt. Andererseits sind sie in der Studioteknik, wo Tonaufnahmen gemacht werden, und in der High-End-HiFi-Technik im Heimbereich, wo höchste Tonqualität und originalgetreue Signalübertragung gefordert sind, unerlässlich. Zur objektiven Beurteilung sind einheitliche und reproduzierbare Messverfahren unumgänglich. Dazu sind eindeutig definierte Bezugswerte notwendig. In der Mehrzahl der Prospekte, die die Hersteller von HiFi-Geräten herausgeben gibt es jedoch keine Angaben zu den spezifischen technischen Daten der Niederfrequenzverstärker.

Röhren

Röhren bestehen aus einem Glasgehäuse, das ein oder mehrere elektronische Bauelemente enthält. Im Inneren einer Röhre befindet sich ein Kathodenstrahler, der elektrisch aufgeladen wird. Dieser Kathodenstrahler erzeugt elektronische Teilchen, die durch den Vakuumraum innerhalb der Röhre strömen. Diese elektronischen Teilchen treffen auf eine Anode, die ebenfalls elektrisch geladen ist, und erzeugen so einen elektrischen Strom.



In Niederfrequenzverstärkern werden Röhren häufig als Verstärkerstufen verwendet. Dabei nimmt eine Röhre ein schwaches elektrisches Signal auf und verstärkt es, indem sie den elektrischen Strom erhöht. Dies geschieht, indem ein elektrisches Signal an die Anode angelegt wird, was zu einer Erhöhung der elektronischen Ströme innerhalb der Röhre führt. Diese erhöhte Stromstärke wird dann als verstärktes Signal ausgegeben.

Obwohl die Technologie im Laufe der Jahre fortgeschritten ist und digitale Verstärker immer verbreiteter geworden sind, nutzen einige Musikliebhaber immer noch Niederfrequenzverstärker mit Röhren. Dies ist auf eine Reihe von Gründen zurückzuführen.

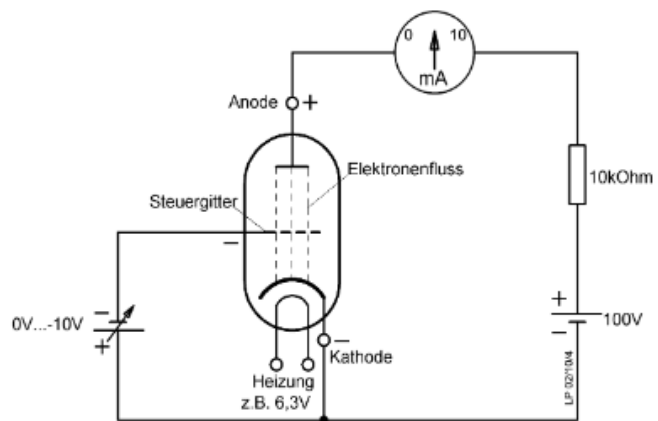
Ein Grund von Röhren in Niederfrequenzverstärkern ist ihre Fähigkeit, eine warme und raue Klangcharakteristik zu erzeugen, die häufig von Musikern und Hörern als angenehm und bevorzugt empfunden wird. Diese Klangcharakteristik ist auf die charakteristische elektrische Impedanz von Röhren und ihre Interaktion mit anderen Bauteilen im Verstärker zurückzuführen. Die elektrische Impedanz von Röhren ist durch ihre Konstruktion und

Materialeigenschaften bedingt und kann von verschiedenen Faktoren beeinflusst werden. Diese Impedanz hat Auswirkungen auf den Klang, da sie die Übertragung und Verarbeitung des Signals durch den Verstärker beeinflusst. Des Weiteren spielt auch die Interaktion von Röhren mit anderen Bauteilen im Verstärker eine wichtige Rolle bei der Entstehung der warmen und rauen Klangcharakteristik. Die Art und Weise, wie Röhren und andere Bauteile zusammenwirken, beeinflusst die Übertragung und Verarbeitung des Signals und trägt zu den einzigartigen Klangeigenschaften von Röhrenverstärkern bei.

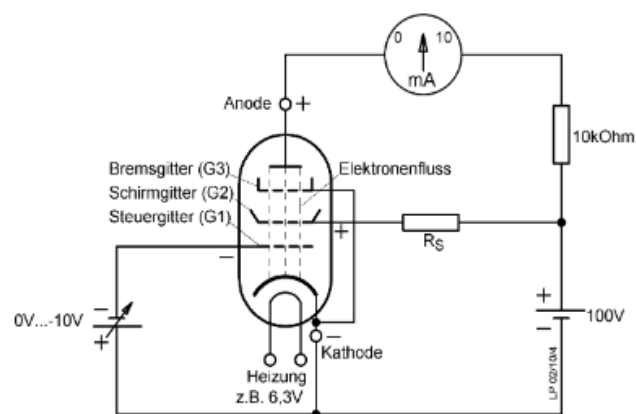
Zusammenfassend kann man sagen, dass die Fähigkeit von Röhren in Niederfrequenzverstärkern, eine warme und raue Klangcharakteristik zu erzeugen, einer ihrer wichtigsten Vorteile ist. Diese Klangcharakteristik resultiert aus der charakteristischen elektrischen Impedanz von Röhren und ihrer Interaktion mit anderen Bauteilen im Verstärker und ist ein wichtiger Grund, warum Röhrenverstärker so häufig in der Musikproduktion und -wiedergabe eingesetzt werden. Zudem sind viele Transistorverstärker falsch konstruiert was bei Röhren kaum vorkommt.

Trioden Vs Pentoden

Trioden und Pentoden sind beides elektronische Bauteile, die in Röhrenverstärkern eingesetzt werden. Eine Triode ist eine Art elektronischer Schaltung, die drei Elektroden hat: Kathode, Anode und Grid/Gitter. Sie wurde erstmals im Jahr 1906 von Lee De Forest erfunden und wird seitdem in vielen elektronischen Geräten eingesetzt,



einschließlich Röhrenverstärkern. Eine Triode kann als Verstärker oder Schalter verwendet werden und ist für den Betrieb mit hohen Spannungen und niedrigen Strömen ausgelegt. Eine Pentode hingegen hat fünf Elektroden: Kathode, Anode, Grid/Gitter, Suppressor und Anodenschirm. Sie wurde im Jahr 1924 erfunden und wird oft als Verstärker in Röhrenverstärkern verwendet. Im Gegensatz zur Triode hat die Pentode eine höhere Leistung und ist für den Betrieb bei höheren Strömen und niedrigeren Spannungen ausgelegt.



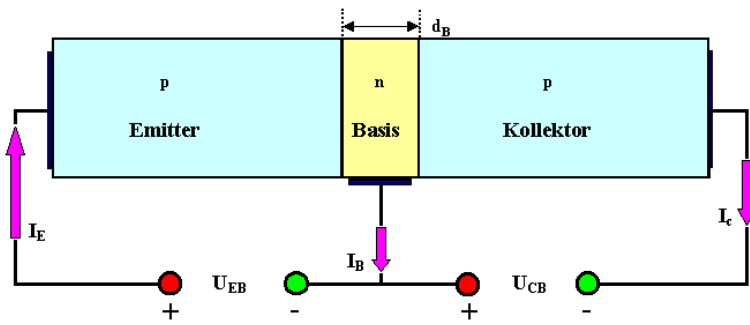
Eine häufig diskutierte Debatte in der Verstärkertechnologie ist, ob Trioden- oder Pentoden-Verstärker "besser" sind. Um eine bestimmte Verstärkung zu erreichen, erfordern Trioden

mehr Stufen und somit auch mehr Heiz- und Anodenstrom. Dieser höhere Aufwand an Röhren wird jedoch durch den zusätzlichen Bedarf an Schaltmitteln zur Linearisierung der Frequenzkurve und zur Erzeugung von Hilfsgitterspannungen ausgeglichen. Trotzdem ist bekannt, dass der Pentodenverstärker einen Ruf hat, klanglich schlechter als ein Triodenverstärker zu sein. Das liegt daran, dass Pentoden einen höheren Innenwiderstand haben und schädliche Schaltkapazitäten und Gitterkapazitäten der nachfolgenden Stufe die Höhen beeinträchtigen können. Außerdem müssen die Katodenwiderstände aufgrund der hohen Verstärkung besonders groß dimensioniert werden, um Verluste bei den Tiefen zu vermeiden. Heutzutage bietet die Industrie hochwertige Ausgangsübertrager an, was es ermöglicht, auch mit Pentoden Verstärker von hervorragender Qualität zu bauen. Die Technik der Gegenkopplung trägt zu dieser Entwicklung bei, obwohl sie immer noch ihre Limitationen hat. Ein Übermaß an Gegenkopplung kann die Verstärkungsziffer herabsetzen und in einigen Fällen kann es sogar so weit absinken, dass es besser wäre, eine Triode zu verwenden. Ein vernünftiger Aufbau, insbesondere die Verwendung kapazitätsarmer Verdrahtung, kann jedoch diese Limitationen vermeiden.

Ein weniger bekanntes Problem bei Trioden ist die größere Anoden-Gitter-Rückwirkung im Vergleich zu Pentoden. Diese Rückwirkung bewirkt eine Gegenkopplung bei den hohen Tönen, was zu einer Verminderung der Verstärkung führt. Je höher der Innenwiderstand der vorgeschalteten Tonspannungsquelle ist, desto stärker wirkt sich diese Höhendämpfung aus. Zum Beispiel kann dies bei Verwendung einer Pentode mit hohem Außenwiderstand oder eines hochohmigen Lautstärkereglers der Fall sein. In Bezug auf Verstärker haben beide Typen, Trioden und Pentoden, ihre jeweiligen Stärken und Schwächen. Während Triodenverstärker oft als "reiner" und einfacher angesehen werden, benötigen sie eine hohe Steuerspannung, um eine ausreichende Verstärkung zu erreichen. Dies kann jedoch zu störenden Klirrgraden in den Vorstufen führen, wenn die Einstellung nicht sehr genau ist. Auf der anderen Seite bieten Pentodenverstärker durch ihre höhere Eigenverstärkung eine bessere Verstärkung bei geringeren Spannungen und sind durch die Gegenkopplungstechnik weniger anfällig für Verzerrungen in den Vorstufen.

Transistor

Eine wichtige Komponente bei Niederfrequenzverstärkern ist der Transistor. Er dient als Schalt- und Verstärkungskomponente und hat in den letzten Jahrzehnten die Röhrenverstärker in vielen Anwendungsbereichen abgelöst. Der Transistor ist ein elektronisches Bauteil, das durch elektrische Signale gesteuert werden kann, um den Stromfluss durch einen externen elektrischen Kreis zu regeln. Bei Niederfrequenzverstärkern wird der Transistor oft als Bipolartransistor oder als Field-Effect Transistor (FET) verwendet. Bipolartransistoren bestehen aus drei Hauptbereichen: Emitter, Basis und Kollektor. Die



Basis steuert den Stromfluss zwischen Emitter und Kollektor, wodurch der Bipolartransistor als Verstärker wirkt. FETs hingegen arbeiten aufgrund eines elektrischen Feldes, das an der Gate-Elektrode erzeugt wird und den Stromfluss durch den Kanal

reguliert. Ein wichtiger Faktor bei der Wahl des richtigen Transistors ist die Übertragungsfähigkeit, auch als Transistorverstärkung bezeichnet. Diese ist ein Maß für die Fähigkeit des Transistors, kleine Signale zu verstärken, und hängt von verschiedenen Parametern wie den Materialeigenschaften und der Geometrie des Transistors ab. Des weiteren sollte auch die Sättigungs- und Verzerrungsverhalten des Transistors berücksichtigt werden. Sättigung tritt auf, wenn der Stromfluss durch den Transistor maximal ist und weitere Steigerung des Signals keine Verstärkung mehr bewirkt. Verzerrungen hingegen treten auf, wenn das Ausgangssignal nicht mehr proportional zum Eingangssignal ist. Ein weiterer wichtiger Faktor bei der Verwendung von Transistoren in Niederfrequenzverstärkern ist die elektrische Impedanz. Diese beschreibt die Wechselwirkung zwischen Strom und Spannung im elektrischen Kreis und beeinflusst die Übertragung des Signals.

Die schnelle Weiterentwicklung der Transistortechnologie macht es schwer, zukunftssichere Schaltungen zu entwickeln, da heute hochmoderne Schaltungen bereits morgen veraltet sein können, da die verwendeten Transistoren nicht mehr produziert werden. Einzelteil-Versandhäuser besitzen jedoch oft noch große Mengen solcher Transistoren, die zu einem günstigen Preis erhältlich sind. Prognosen zufolge werden Niederfrequenzverstärker in Zukunft hauptsächlich mit Transistoren ausgestattet sein. Ob dies jedoch kosteneffektiv ist, muss immer im Einzelfall sorgfältig abgewogen werden. Ein einfacher Rufverstärker oder Modulationsverstärker für einen Amateursender beispielsweise kann mit einer einzigen Röhre EL 84 ausgestattet werden, die günstiger ist als vier benötigte Transistoren und zwei teure Übertrager. Es ist daher wichtig, die Vor- und Nachteile sorgfältig zu berücksichtigen. Wenn es darum geht, Verstärker mit Leistungen über 25 Watt zu entwickeln, kommen ähnliche Überlegungen zum Tragen. Hier kann die Kühlung der Endtransistoren eine entscheidende Rolle spielen. Konstrukteure bestätigen, dass es derzeit schwierig ist, einen Niederfrequenz-Verstärker mit einer Leistung von 50 bis 100 Watt und Transistoren kleiner zu bauen als einen vergleichbaren Röhrenverstärker, da die notwendigen Kühlflächen einfach zu groß sind. Zwar benötigt ein solches Gerät weniger Strom für die Stromversorgung, aber bei einem Netzbetrieb ist dies kein wichtiger Faktor. In Bezug auf die Kosten ist ein Röhrenverstärker im Vergleich zu einem Transistorverstärker wesentlich günstiger. Die Entscheidung hängt davon ab, ob man Zugang zu einem Stromnetz hat oder nicht. Wenn man jedoch ausschließlich auf Batterien angewiesen ist, kann ein Transistorverstärker günstiger sein, auch wenn er wegen der zusätzlichen Stufen teurer ist.

Des weiteren müssen bei der Verwendung von Transistoren auch mehr die thermischen Eigenschaften berücksichtigt werden. Ein zu hoher Stromfluss durch den Transistor kann zu

Überhitzung und damit zu permanenten Schäden führen. Aus diesem Grund ist es wichtig, den Transistor mit einer geeigneten Wärmeableitung zu versehen und den Stromfluss zu begrenzen. Eine weitere Herausforderung bei der Verwendung von Transistoren in Niederfrequenzverstärkern ist die elektromagnetische Interferenz (EMI). Diese kann durch elektromagnetische Störungen verursacht werden und beeinträchtigt die Übertragung des Signals. Um EMI-Probleme zu vermeiden, müssen geeignete Schutzmaßnahmen ergriffen werden, wie z.B. das Verwenden von Abschirmungen und Filterung. Es gibt verschiedene Arten von Verstärkern, darunter die bekanntesten: A-, B- und AB-Verstärker.

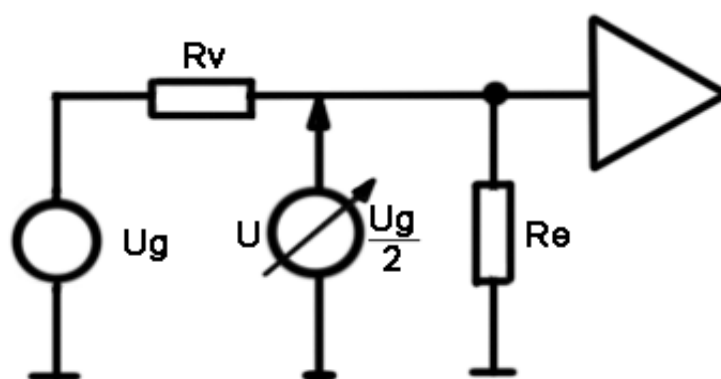
Ein A-Verstärker ist ein Verstärker, der eine hohe Verstärkung und eine hohe Ausgangsleistung bietet. Er ist in der Regel für den Einsatz in Hi-Fi-Systemen oder für den professionellen Einsatz geeignet. Ein Vorteil von A-Verstärkern ist ihre hohe Klangqualität, da sie das Signal ohne Verzerrung verstärken. Ein Nachteil von A-Verstärkern ist jedoch ihre ineffiziente Energieverwendung, was zu einer erhöhten Wärmeentwicklung führt und die Lebensdauer des Geräts verkürzen kann.

Ein B-Verstärker ist ein Verstärker, der für eine hohe Effizienz ausgelegt ist und in der Regel für den Einsatz in Auto-Stereosystemen oder für kleine Lautsprecher geeignet ist. Ein Vorteil von B-Verstärkern ist ihre hohe Energieeffizienz, da sie nur dann Strom verbrauchen, wenn ein Signal anliegt. Ein Nachteil von B-Verstärkern ist jedoch ihre geringere Klangqualität im Vergleich zu A-Verstärkern, da sie ein gewisses Maß an Verzerrung erzeugen können.

Ein AB-Verstärker ist ein Verstärker, der die Vorteile von A- und B-Verstärkern kombiniert. Er bietet eine hohe Klangqualität wie A-Verstärker und eine hohe Energieeffizienz wie B-Verstärker. Ein Vorteil von AB-Verstärkern ist ihre hohe Klangqualität und Energieeffizienz. Ein Nachteil von AB-Verstärkern ist jedoch, dass sie komplexer und teurer in der Herstellung sind als A- oder B-Verstärker.

Eingangswiderstand

Normalerweise haben gängige Verstärker einen Eingangswiderstand im mittleren bis hohen Kiloohmbereich, der vernachlässigbar gegenüber dem Ausgangswiderstand eines Sinusgenerators von 50Ω ist. Auf dem Bild ist eine dafür passende



Messanordnung zu sehen. Um zu vermeiden, dass der Verstärker übersteuert wird, muss die Generatorspannung U_g begrenzt werden. Der Vorwiderstand R_v wird so lange angepasst, bis das Messgerät die halbe Generatorspannung anzeigt. Auf diese Weise können R_v und der Eingangswiderstand des Verstärkers bestimmt werden. Diese Messung wird in der Regel bei 1 kHz durchgeführt, aber es kann auch sinnvoll sein, sie bei höheren oder niedrigeren

Frequenzen durchzuführen, um Schaltkapazitäten oder Übertrager zu berücksichtigen. Ein Verhältnis zwischen Quellwiderstand und Eingangswiderstand von mindestens 1:10 ist üblich, um Frequenzgangverschiebungen zu vermeiden, die den Klang beeinflussen können. Es ist auch wichtig, dass der Eingangswiderstand im Übertragungsbereich von 20 Hz bis 20 kHz konstant bleibt.

Dämpfungsfaktor

Der Dämpfungsfaktor (D) beschreibt das Verhältnis des Lastwiderstands (RL) zum Innenwiderstand (Ri) einer Leistungsstufe bei Leistungsstufen. Berechnet wird der Faktor, indem man einfach den Lastwiderstand (RL) durch den Innenwiderstand (RI) teilt.

Der Dämpfungsfaktor ist sehr wichtig, da angenommen wird, dass ein Verstärker mit einem Innenwiderstand nahe Null den Lautsprecher vollständig kontrollieren kann. Ein sehr niedriger Innenwiderstand kann nur durch eine hohe Gegenkopplung erreicht werden. Ein dynamischer Lautsprecher erzeugt beim Ausschlagen eine Spannung (Gegen EMK), die Rückwirkungen auf den Verstärkerausgang hat. Über die Gegenkopplungsschleife muss ein Korrektursignal erzeugt werden, welches das Störsignal ausgleicht, damit das Ausgangssignal gleich Null ist, wenn das Eingangssignal Null ist. Bei stark gegengekoppelten Verstärkern führt die endliche Signallaufzeit jedoch dazu, dass das Korrektursignal der Realität immer hinterherläuft, was zu Klangverzerrungen führen kann. Je langsamer der Verstärker ist, desto größer wird der Einfluss der ausschlagenden Lautsprechermembran auf das Signal sein. Daher ist eine schnelle Endstufenschaltung äußerst wichtig. Diese muss schneller sein als die Inputschaltung des Leistungsverstärkers.

Das Oszilloskop kann ideal verwendet werden, um die Spannungen an den Lautsprecherklemmen zu messen, indem der Eingang des Oszilloskops an die Klemmen angeschlossen wird und die Membran des Lautsprechers schnell mit beispielsweise den Fingern angestoßen wird, um eine kleine Messspannung zu erzeugen. Die Höhe des Membranhubs sollte dabei etwa zwischen 5 und 10 mm liegen. Ein Speicheroszilloskop kann verwendet werden, um die Messung zu speichern und genauer zu analysieren. Wenn ein Verstärker einen hohen Gegenkopplungsfaktor aufweist, wird das Verhalten des Lautsprechers einen größeren Einfluss auf das Gesamtsystem haben als bei geringeren Gegenkopplungsfaktoren. Weitere Informationen können auch den Themen Gegenkopplung und Innenwiderstand entnommen werden.

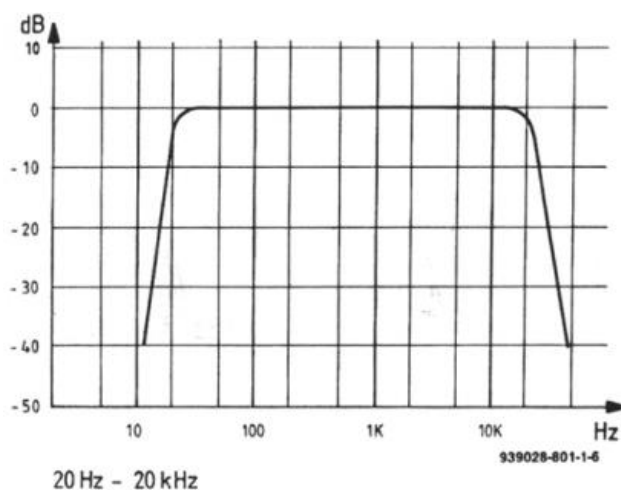
Eingangsempfindlichkeit

Die Eingangsempfindlichkeit ist ein Maß für die minimale Eingangsspannung, die benötigt wird, um eine bestimmte Nennausgangsleistung zu erzielen. Bei Endstufen ist die Eingangsempfindlichkeit besonders wichtig, da eine Übersteuerung des Verstärkers vermieden werden muss, um eine Verzerrung des Ausgangssignals zu verhindern. Daher gibt die Eingangsempfindlichkeit Auskunft darüber, wieviel Eingangssignal benötigt wird, um den Verstärker vollständig auszusteuern und eine optimale Leistung zu erzielen. Vorverstärker sind in der Regel mit einem Lautstärkesteller, möglicherweise einem schaltbaren Abschwächer und einem Klangstellerteil ausgestattet. Es ist wichtig zu

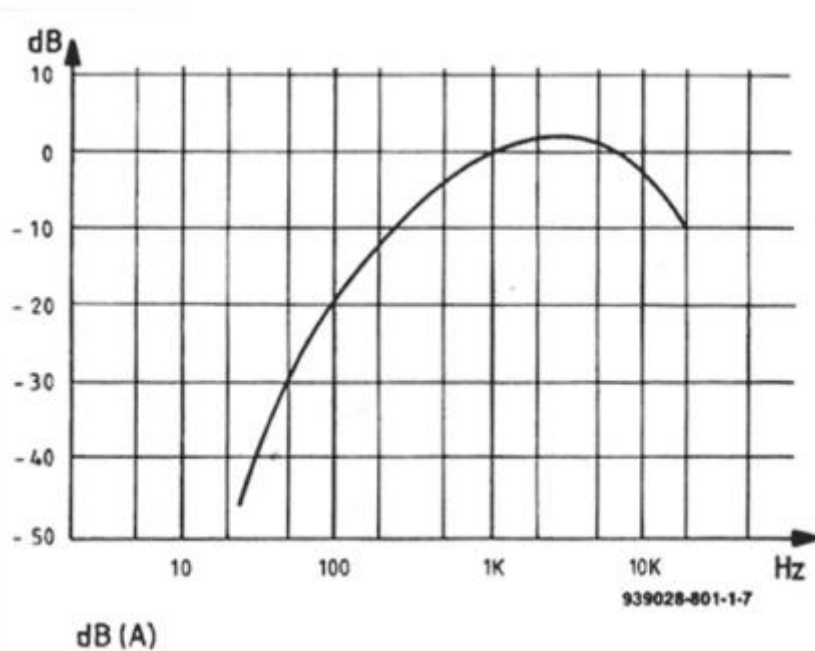
definieren, welche Einstellungen bei der Messung verwendet werden, z. B. halb aufgedrehter Lautstärksteller oder eine bestimmte Stellung des Abschwächers. Die Arbeitsverstärkung wird aus dem Verhältnis von Ausgangs- zu Eingangsspannung ermittelt, und die Verstärkungsreserve ist wichtig, um auch schwache Signale adäquat wiedergeben zu können.

Fremdspannung & Geräuschespannung

Mit diesen beiden Werten wird die Eigenstörspannung eines Verstärkers beschrieben. Jeder Verstärker hat ein physikalisches Grundrauschen und – je nach Qualität des Netzteils bzw. des elektrischen Aufbaus – einen Restbrumm. Mit der Fremdspannung werden alle störenden Produkte des Verstärkers im Hörbereich zusammengefasst. Mit der Geräuschespannung wird erfasst, wie lästig sich diese Störungen auf das Gehör auswirken. Weil beide Angaben zusammenhängen, werden sie in einem Abschnitt zusammengefasst. Für beide Filtertypen gilt die Bezugsfrequenz 1 kHz. Die Fremdspannung eines Verstärkers wird mit dem Fremdspannungsfiter gemessen.



Die Durchlasskurve des Fremdspannungsfilters zeigt, welche Frequenzen durch das Filter passieren dürfen und welche blockiert werden. Das Ziel des Fremdspannungsfilters ist es, nur die Frequenzen durchzulassen, die für die Messung relevant sind, und alle anderen Frequenzen zu blockieren, um eine möglichst genaue Messung der Fremdspannung zu ermöglichen. Im Gegensatz zur Fremdspannung gibt die Geräuschespannung an, wie störend die Störungen des Verstärkers für das menschliche Gehör sind. Hierfür wird ein Geräuschespannungsfiter verwendet, dessen Durchlasskurve in der Regel eine andere Form hat als die des Fremdspannungsfilters. Das Ziel des Geräuschespannungsfilters ist es, diejenigen Frequenzen zu betonen, die besonders störend für das menschliche Gehör sind, und diejenigen zu dämpfen, die weniger störend sind. In folgende Abbildung sieht man die Geräuschespannungskurve.



Die Bewertung des Verstärkers kann durch die Gehörkurve beeinflusst werden. Der Geräuschspannungswert kann in Volt oder als bezogener Wert in dBV angegeben werden. Wenn der Geräuschspannungswert eines Verstärkers beispielsweise 200 μV beträgt, wird dies als 200 $\mu\text{V(A)}$ oder als -74 dBV(A) bezeichnet. Das "A" in Klammern zeigt an, dass bei der Messung der Geräuschspannung der A-Filtercharakteristik verwendet wurde. Es gibt auch andere Filter mit verschiedenen Bewertungskurven für unterschiedliche Anwendungen, die mit einem angehängten Großbuchstaben oder auf andere Weise gekennzeichnet sind, aber in der HiFi-Technik nicht verwendet werden.

Die A-Filtercharakteristik ist eine Bewertungskurve, um die Empfindlichkeit des menschlichen Gehörs zu berücksichtigen. Die Kurve ist so gestaltet, dass sie die Empfindlichkeit des Gehörs bei niedrigen Frequenzen reduziert und bei höheren Frequenzen erhöht. Dies liegt daran, dass das menschliche Gehör bei niedrigen Frequenzen weniger empfindlich ist als bei höheren Frequenzen. Durch Verwendung der A-Filtercharakteristik bei der Messung von Geräusch- und Fremdspannung wird sichergestellt, dass das Ergebnis eine realistische Bewertung der tatsächlichen Hörbarkeit der Störungen im Audio-Spektrum liefert.

Um die Messung der Fremd- und Geräuschspannung durchzuführen, wird der Eingang des Verstärkers mit einem definierten Widerstand abgeschlossen. Im realen Betrieb ist der Eingang des Verstärkers jedoch nie offen, sondern immer an ein Signalquelle angeschlossen. Wenn der Eingang des Verstärkers offen ist, kann er Störspannungen einfangen, die das Messergebnis verfälschen. Aus diesem Grund wird bei der Messung der Fremd- und Geräuschspannung immer ein definiertes Signal an den Eingang des Verstärkers angeschlossen, um genaue Messergebnisse zu erzielen. Es kann interessant sein, Messungen an einem Verstärker durchzuführen, indem der Eingang offen, abgeschlossen oder kurzgeschlossen wird. Ein kurzer Eingang sollte den niedrigsten Wert für die Fremdspannung aufweisen. Wenn das nicht der Fall ist, kann es ein Problem mit der Masse des Verstärkers oder eine fehlerhafte Masseplatzierung geben. Wenn der Eingang

abgeschlossen ist, sollte der Messwert nur geringfügig schlechter als bei einem kurzgeschlossenen Eingang sein, insbesondere wenn ein Widerstand von 1 k Ω verwendet wird, um eine mittelohmige Signalquelle zu simulieren. Bei einem offenen Eingang kann sich der Messwert verschlechtern, besonders bei einem hohen Verstärkungsfaktor und großer Eingangsempfindlichkeit. Vor allem Phono-Verstärker sind besonders anfällig dafür.

Wenn ein Verstärker einen Eingangsübertrager hat, stellt der Kupferwiderstand der Sekundärwicklung bereits einen definierten ohmschen Abschluss dar. Es ist wichtig, dass die Anschlüsse der Primärwicklung sowie deren Beschaltung keine Störsignale einfangen und somit das Messergebnis verfälschen. Wenn der Eingangsübertrager korrekt beschaltet ist und keine Störungen am Eingang auftreten, kann es sein, dass kein nennenswerter Unterschied zwischen einem offenen und einem abgeschlossenen Primärwicklungseingang bei der Messung festgestellt wird. Die Geräuschspannung ist aufgrund der Frequenzgänge von Fremd- und Geräuschspannungsfiler um etwa 4 dB besser. Wenn der Wert der Geräuschspannung weit höher ist als der der Fremdspannung, deutet dies auf einen höheren Brummanteil hin. Wenn die Fremdspannung jedoch insgesamt sehr niedrig ist, wird der Brumm nicht sehr ins Gewicht fallen, es sei denn, es sind Lautsprecherboxen mit hohem Wirkungsgrad angeschlossen. In diesem Fall kann der Brumm störend wirken. In der Frequenzweiche wird vor dem Tieftöner ein Tiefpass geschaltet, der alle hohen Frequenzen ausblendet und nur die tiefen durchlässt. Dadurch wird der Brumm aus dem Rauschen herausgefiltert und im Tieftöner hörbar.

Schwingneigung

Die Schwingneigung bei Niederfrequenzverstärkern ist ein Phänomen, das durch instabile Betriebsbedingungen entsteht und zur Selbstoszillation des Verstärkers führen kann. Um dieses Phänomen fundiert zu erklären, sollte man zunächst die grundlegenden Eigenschaften von Niederfrequenzverstärkern und die Faktoren, die die Stabilität beeinflussen, verstehen.

Niederfrequenzverstärker verstärken typischerweise im Frequenzbereich von 20 Hz bis 20 kHz. Sie sind in verschiedenen Typen erhältlich, einschließlich Transistor-, Operationsverstärker- und Röhrenverstärker. Die Stabilität des Verstärkers ist von großer Bedeutung, um Verzerrungen oder unerwünschte Schwingungen im Ausgangssignal zu vermeiden.

Die Schwingneigung kann auf mehrere Faktoren zurückgeführt werden, wie beispielsweise:

1. Rückkopplung: Eine positive Rückkopplung, bei der das Ausgangssignal wieder in den Eingang des Verstärkers eingespeist wird, kann zu instabilem Verhalten führen. Wenn die Rückkopplung zu stark ist, kann dies zur Selbstoszillation des Verstärkers führen.
2. Phasenverschiebung: Bei höheren Frequenzen führen die internen Komponenten des Verstärkers zu einer Phasenverschiebung zwischen dem Eingangs- und Ausgangssignal. Wenn diese Phasenverschiebung 180 Grad beträgt und gleichzeitig eine hohe Verstärkung auftritt, kann dies zu instabilem Verhalten führen.
3. Kapazitive Lasten: Ein Verstärker, der eine kapazitive Last antreibt, kann instabil werden, wenn die Lastimpedanz mit steigender Frequenz abnimmt und die Phase des Ausgangssignals beeinflusst.

Um die Schwingneigung bei Niederfrequenzverstärkern zu reduzieren, sind mehrere Ansätze möglich:

1. Negative Rückkopplung: Eine negative Rückkopplung kann verwendet werden, um die Stabilität des Verstärkers zu verbessern. Sie reduziert die Verstärkung bei höheren Frequenzen und verhindert so, dass die Phasenverschiebung zu Instabilitäten führt.
2. Kompensation: Die Stabilität eines Verstärkers kann durch das Hinzufügen von Kompensationsnetzwerken verbessert werden, die die Phasenverschiebung bei hohen Frequenzen reduzieren.
3. Impedanzanpassung: Die Anpassung der Impedanz zwischen dem Verstärker und der Last kann dazu beitragen, die Stabilität des Systems zu verbessern und unerwünschte Schwingungen zu vermeiden.

Übersteuerungsfestigkeit

Die Übersteuerungsfestigkeit bei Niederfrequenzverstärkern bezieht sich auf die Fähigkeit eines Verstärkers, Eingangssignale mit einer Amplitude zu verarbeiten, die über dem für eine lineare Verstärkung vorgesehenen Bereich liegt, ohne dass es zu unakzeptabler Verzerrung oder Beschädigung des Verstärkers kommt. Diese Eigenschaft ist für die Leistung und Zuverlässigkeit eines Verstärkers von großer Bedeutung, da sie die Grenzen der Signalverarbeitung und die Toleranz gegenüber starken Eingangssignalen bestimmt.

Verstärker arbeiten innerhalb eines bestimmten linearen Bereichs, in dem das Ausgangssignal proportional zum Eingangssignal ist. Wenn das Eingangssignal jedoch die lineare Betriebsgrenze des Verstärkers überschreitet, tritt Übersteuerung auf. Dies kann dazu führen, dass das Ausgangssignal beschnitten oder "geclippt" wird, was zu einer Verzerrung des Signals führt. In extremen Fällen kann die Übersteuerung auch die internen Bauteile des Verstärkers beschädigen.

Um die Übersteuerungsfestigkeit bei Niederfrequenzverstärkern zu maximieren und Verzerrungen zu minimieren, können verschiedene Designprinzipien und Techniken angewendet werden:

1. Hohe lineare Verstärkungsbereiche: Die Verwendung von Verstärkern mit einem großen linearen Verstärkungsbereich erhöht die Toleranz gegenüber hohen Eingangssignalen. Dies kann durch die Auswahl geeigneter Verstärkertypen und die Optimierung der Schaltung erreicht werden.
2. Begrenzerschaltungen: Eine Begrenzerschaltung kann am Eingang des Verstärkers implementiert werden, um das Eingangssignal auf einen bestimmten maximalen Wert zu begrenzen, bevor es in den Verstärker gelangt. Dadurch wird das Risiko von Übersteuerung und Verzerrungen reduziert.
3. Automatische Verstärkungsregelung (AGC): Ein AGC-System kann verwendet werden, um die Verstärkung des Verstärkers dynamisch anzupassen, basierend auf der Amplitude des Eingangssignals. Dies kann dazu beitragen, die Übersteuerungsfestigkeit zu erhöhen und Verzerrungen zu vermeiden.
4. Robuste Bauteile: Die Verwendung von robusten und widerstandsfähigen Bauteilen in der Schaltung kann dazu beitragen, die Übersteuerungsfestigkeit zu erhöhen, indem die Wahrscheinlichkeit einer Beschädigung der Bauteile durch hohe Eingangssignale verringert wird.

Zusammenfassend ist die Übersteuerungsfestigkeit ein wichtiger Aspekt bei der Gestaltung und Bewertung von Niederfrequenzverstärkern. Durch die Anwendung der oben genannten Designprinzipien und Techniken kann die Übersteuerungsfestigkeit maximiert und die Signalqualität und Zuverlässigkeit des Verstärkers sichergestellt werden.

Erwartungen und Überprüfung eines Leistungsverstärkers

Ein Verstärker soll seine Arbeit ohne Probleme erledigen und gemäß der DIN 45 500 darf er nicht überhitzen, wenn er 10 Minuten lang bei voller Leistung mit einem Klirrfaktor von 1% betrieben wird. Allerdings ist dieser Test nicht aussagekräftig genug, da die Verlustleistung nicht bei voller Ausgangsleistung, sondern in einem Bereich dazwischen am höchsten ist. Es müssen deshalb zwei verschiedene Testverfahren angewendet werden, je nachdem, ob es sich um eine Eintakt-A- oder Gegentakt-B-Endstufe handelt. Der theoretische Wirkungsgrad einer Eintakt-A-Endstufe in Röhrentechnik mit Ausgangsübertrager liegt bei voller Aussteuerung bei etwa 50%. Bei einer reinen Gegentakt-B-Endstufe, bei der die Endtransistoren oder Endröhren ohne Aussteuerung stromlos sind, liegt der theoretische Wirkungsgrad bei 78,5%. Der Wirkungsgrad gibt an, wieviel von der zugeführten Leistung tatsächlich als Nutzleistung abgegeben werden kann.

In der Praxis liegen die tatsächlich erreichbaren Wirkungsgrade eines Verstärkers deutlich niedriger als die theoretischen Werte. Bei Röhren muss eine gewisse Restspannung zwischen Anode und Kathode vorhanden sein, um eine vernünftige Arbeitsweise zu gewährleisten. Auch bei Transistoren ist eine Mindestspannung zwischen Kollektor und Emitter erforderlich, um Übernahmeverzerrungen zu vermeiden. Darüber hinaus benötigen Vor- und Treiberstufen elektrische Leistung, die nicht als Ausgangsleistung zur Verfügung steht. Bei Röhrenverstärkern kommt die Heizleistung hinzu. Das Verhältnis zwischen der an den Lautsprecher abgegebenen Leistung und der zugeführten Leistung gibt den tatsächlichen Wirkungsgrad eines Verstärkers an. Die Leistung, die nicht an den Lautsprecher abgegeben wird, geht als Verlustleistung in Wärme über. Eine Eintakt-A-Endstufe wird immer mit vollem Strom betrieben, weshalb im Leerlauf ohne Signal die volle Verlustleistung auftritt. Je höher die Endstufe ausgesteuert wird, desto mehr Leistung gibt sie jedoch ab und kühlt somit prinzipiell ab.

Verlustleistungen

Eine Gegentakt-AB-Endstufe hat im Vergleich zu einer Eintakt-A-Endstufe einen anderen Verlauf der Verlustleistung. Im Ruhezustand ist die geringste Verlustleistung zu verzeichnen, während sie mit zunehmender Aussteuerung steigt, um bei Vollaussteuerung wieder abzufallen. Das Maximum der Verlustleistung hängt von der Verstärkerkonstruktion und der Ruhestromeinstellung ab und liegt typischerweise bei etwa der halben bis zu zwei Drittel der Vollaussteuerung. Es empfiehlt sich, bei einer Gegentakt-AB-Endstufe zwei Tests durchzuführen, jeweils für etwa 10-20 Minuten und bei korrekt eingestellten Ruhestromen. Beim ersten Test wird die Endstufe bei voller Aussteuerung betrieben, um zu prüfen, wie sich das Gerät wärmemäßig verhält und wie warm der Netztrafo wird. Beim zweiten Test wird die Endstufe bei etwa halber bis zu zwei Drittel der maximalen Aussteuerung betrieben, um dieselben Wärmebedingungen zu überprüfen. Wenn alles höchstens handwarm wird, ist das in Ordnung. Für die Dokumentation der Tests ist es auch empfehlenswert, die Temperaturen

genau zu messen. Bei Volllaussteuerung wird der Ausgangsübertrager etwas wärmer, da hier vor allem die Kupferverluste zum Tragen kommen. Bei einer Eintakt-A-Endstufe wird im Leerlauf keine Leistung abgegeben und somit entsteht keine Verlustleistung. Je größer die abgegebene Leistung ist, desto mehr Verlustleistung entsteht bei dieser Endstufenart. Die Stromaufnahme der gesamten Endstufe steigt bei Volllaussteuerung etwas an. Ein Teil der Verlustleistung entsteht durch den Anodenstrom, bei Pentoden steigt mit der Aussteuerung der Schirmgitterstrom an. Deshalb ist es bei Eintakt-A-Endstufen empfehlenswert, sowohl einen Test bei Leerlauf als auch bei Volllaussteuerung durchzuführen. Bei ausreichend groß dimensioniertem Ausgangsübertrager wird dieser kaum warm, außer es sind Röhren mit großen Ruhestromen im Einsatz. In der Regel wird sich ein gut konstruierter Eintakt-A-Übertrager kaum bis mäßig erwärmen.

Das thermische Verhalten eines Gerätes sollte nicht vernachlässigt werden, da es eine wichtige Rolle bei der Zuverlässigkeit und Lebensdauer des Gerätes spielt. Das Gehäuse sollte äußerlich höchstens handwarm sein, um Verletzungsgefahr zu vermeiden. Auch im Inneren des Geräts sollte die Temperatur nicht zu hoch sein, da dies auf unzureichende Wärmeableitung hinweisen kann. Die Lebensdauer von Elkos hängt stark von der Betriebstemperatur ab, wobei eine Erhöhung um 10 Grad die Lebensdauer halbieren kann. Hot Spots sollten vermieden werden, da sie potenzielle Schwachstellen sind, die zu Frühausfällen führen können. Die thermische Prüfung unter realistischen Betriebszuständen ist daher ratsam, um die Zuverlässigkeit und Lebensdauer eines Gerätes zu gewährleisten.

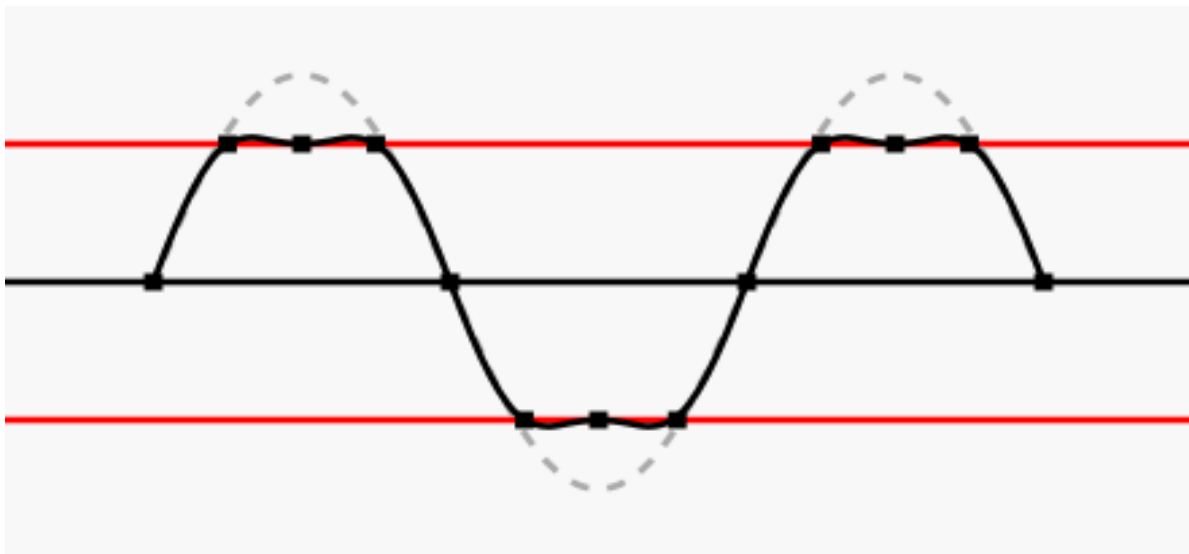
Kanalgleichlauf

Eine wichtige Anforderung an eine Stereoanlage ist eine gleichmäßige Lautstärke beider Kanäle, d.h. die Pegel müssen unter allen Umständen gleich sein. Diese Gleichheit kann leicht mit einem Zweikanaloszilloskop überprüft werden. Die Eingänge beider Kanäle werden an einen Sinusgenerator angeschlossen und das Oszilloskop wird an den Ausgängen angeschlossen, um die Signale übereinander zu legen. Unterschiede in der Verstärkung der Kanäle werden auf dem Bildschirm deutlich sichtbar. Eine höhere Messgenauigkeit kann mit einem Pegelmesser erreicht werden, der auch gleich Werte in Dezibel anzeigen kann. Normalerweise werden bei gleich aufgebauten Kanälen keine Unterschiede in der Lautstärke messbar sein. Wenn jedoch Potentiometer im Signalweg verwendet werden, können diese je nach Schleiferstellung unterschiedliche Pegel verursachen. Bei qualitativ hochwertigen Potentiometern beträgt die Abweichung in der Regel weniger als 1 dB. Wenn im Verstärker anstelle von Potentiometern Stufenschalter mit eng tolerierten Widerständen verwendet werden, sollten im Idealfall keine Unterschiede messbar sein oder die Abweichung sollte bei weniger als 0,1 dB liegen. Unterschiede bis zu 0,5 dB sind noch akzeptabel und können bei Potentiometern toleriert werden. Elektronische Pegelsteller in Form von Halbleiterchips können, wenn sie richtig dimensioniert sind, auch Pegelunterschiede von weniger als 0,1 dB erzeugen.

Leistung

Maximale Verstärkerleistung

Die maximale Verstärkerleistung ist ein wichtiger Faktor bei Verstärkeranlagen und bezieht sich auf die Sinusleistung, die der Verstärker bei Anlegen eines Sinussignals an eine definierte Last liefern kann. Die Verstärkerleistung wird immer in Verbindung mit dem Klirrfaktor angegeben (mit Ausnahme von Firmen, die lieber das Gewicht angeben und den Klirrfaktor nicht veröffentlichen), da ein geringerer zulässiger Klirrfaktor die Verstärkerleistung reduziert. Verzerrungen können auftreten, wenn die Verstärkerleistung die maximale Pegelgrenze überschreitet, was als Clipping bezeichnet wird.



Bei älteren Eintakt-A-Endstufen in Röhrentechnik wurden Leistungsangaben mit einem Klirrfaktor von 10% angegeben, während moderne Verstärker in der Regel Leistungsangaben mit einem Gesamtklirrfaktor von 1-2% haben. Bei kleineren Eintakt-A-Endstufen können die maximalen Leistungswerte auf 3-5% bezogen werden oder es wird gleich die Leistung kurz vor der Clipping-Grenze angegeben. Die Leistungsmessung bei Verstärkern wird typischerweise bei einer Referenzfrequenz von 1 kHz durchgeführt. Es ist jedoch wichtig zu überprüfen, ob der Verstärker auch bei den Grenzfrequenzen von 20 Hz und 20 kHz seine maximale Leistung erreicht, insbesondere im Bassbereich, wo die meiste Leistung benötigt wird (dies ist aufgrund der Leistungsverteilungskurve und Gehörkurven der Fall). Bei Röhrenverstärkern kann es zu erheblichen Signalverzerrungen kommen, wenn der Ausgangsübertrager nicht richtig dimensioniert ist, was zu einer Sättigung des Eisenkerns führt. Es gibt verschiedene Möglichkeiten, die maximale erzielbare Leistung eines Verstärkers zu messen, abhängig von den verfügbaren Messinstrumenten. Die genaueste und elegante Methode ist die Verwendung eines Klirrfaktormessers, eines klirrfreien Sinusgenerators und eines Pegelmessers. Diese drei Komponenten können in einem Audio-Messplatz vereint sein, der auch ein Oszilloskop für die Signalüberwachung enthält. Wenn der Verstärker an einen definierten Lastwiderstand R_L angeschlossen ist und beispielsweise

bis zu einem Gesamtklirrfaktor von 1 % (THD+N) angesteuert ist, kann die Leistung durch Ablesen des Effektivwerts der Spannung am Pegelmesser berechnet werden. Hierbei gilt:

$$P = \frac{U_{eff}^2}{R_L}$$

Wenn kein Pegelmesser zur Verfügung steht, kann die Leistung auch mithilfe eines Klirrfaktormessers und eines Oszilloskops ermittelt werden. Zunächst wird die Ausgangsspannung mit dem Klirrfaktormesser auf den gewünschten Klirrwert eingestellt. Dann kann die Spannung mit dem Oszilloskop gemessen werden, am einfachsten als Spitze-Spitze-Wert (U_{ss}). Um die Leistung zu berechnen, muss dieser Wert in den Effektivwert umgerechnet werden, was mit der folgenden Formel erreicht wird.

$$U_{eff} = \frac{U_{ss}}{2 * \sqrt{2}}$$

Wenn man die eine Formel in die obere einsetzt erhält ergibt sich dann folgende Formel:

$$P = \frac{U_{eff}^2}{R_L} = \frac{\left(\frac{U_{ss}}{2 * \sqrt{2}}\right)^2}{R_L} = \frac{U_{ss}^2}{8 * R_L}$$

Wenn man keinen Klirrfaktormesser hat, kann man die Clipping-Grenze des Verstärkers auf zwei Arten bestimmen. Zunächst wird mittlere Aussteuerung verwendet, um die Eingangs- und Ausgangssignale des Verstärkers mit einem Zweikanal-Oszilloskop übereinanderzulegen. Der Kanal, der das Ausgangssignal misst, hat eine feste Empfindlichkeitseinstellung (V/cm), während der Kanal, der die Eingangsspannung anzeigt, so eingestellt wird, dass beide Signale in Bezug auf ihre Amplitude gleich sind. Wenn das Ausgangssignal bei großer Aussteuerung nicht mehr dem Eingangssignal folgen kann, hat der Verstärker seine Aussteuerungsgrenze erreicht. Wenn man das Eingangssignal so verringert, dass Eingangs- und Ausgangssignal gerade noch gleich sind, hat man den maximalen Ausgangspegel des Verstärkers bestimmt. Um eine Stereoendstufe, bei der beide Kanäle aus einem gemeinsamen Netzteil betrieben werden, zu prüfen, ist es wichtig, dass zwei gleiche Lastwiderstände zur Verfügung stehen. Wird nur ein Kanal angesteuert und gemessen, kann dies zu einer falschen Messung und einer überhöhten angezeigten Leistung führen, da die Belastung des gemeinsamen Netzteils geringer ist. Um eine korrekte Messung durchzuführen, müssen beide Kanäle vollständig angesteuert werden, um sicherzustellen, dass das Netzteil vollständig belastet ist und eine genaue Messung ermöglicht wird.

Nennleistung (RMS):

Die RMS-Leistung wird in Watt angegeben und gibt somit Auskunft über die Leistungsfähigkeit eines Gerätes. Sie wird aus dem mittleren Betriebsstrom und der Nennspannung berechnet und stellt somit den durchschnittlichen Stromverbrauch eines Gerätes dar.

Bei der Auswahl von Elektronikgeräten ist es wichtig, dass die RMS-Leistung auf die Bedürfnisse abgestimmt ist. Wird ein Gerät mit zu hoher Leistung betrieben, kann es Schäden erleiden und im schlimmsten Fall sogar zu einem Brand führen. Andererseits sollte die Leistung aber auch nicht zu niedrig gewählt werden, da das Gerät sonst nicht optimal arbeiten kann und möglicherweise schneller verschleißt.

Ein Beispiel für die Anwendung der RMS-Leistung ist die Auswahl eines Verstärkers für Lautsprecher. Hier ist es wichtig, dass der Verstärker genügend Leistung hat, um die Lautsprecher ausreichend zu betreiben. Andererseits darf die Leistung aber auch nicht zu hoch sein, da sonst die Gefahr besteht, dass der Verstärker beschädigt wird oder sogar ein Brand entsteht. Es ist besonders relevant für den Betrieb von elektrischen Geräten, da es eine Voraussetzung für die Berechnung der Größe von Bauteilen und für den Schutz gegen Überlastungen ist. Die Nennleistung wird berechnet, indem das Signal im Zeitbereich untersucht wird.

Die Nennleistung eines Wechselstromsignals wird berechnet, indem die Auslenkungen des Signals quadriert und über einen bestimmten Zeitraum integriert werden. Der Effektivwert ist dann die Wurzel aus dem Durchschnitt dieser Integrale. Daher lautet die Formel für den RMS-Wert:

$$U_{\text{RMS}} = \sqrt{\frac{1}{T} * \int_{\{0\}}^{\{T\}} u(t)^2 dt}$$

wobei T die Zeitdauer ist, über die das Integral berechnet wird, und u(t) das elektrische Signal. Der RMS-Wert kann nur für rechteckige und sinusförmige Signale genau berechnet werden. Für andere Signalformen müssen die Integrale numerisch berechnet werden. In der Praxis wird oft ein digitales Messgerät verwendet, um den RMS-Wert von einem Signal zu berechnen. Diese Geräte berechnen den RMS-Wert auf der Grundlage einer Vielzahl von Messwerten, die in kurzen Zeitabständen gesammelt werden.

Peak-Leistung | Spitzenwert

Die Peak-Leistung ist ein Wert, der beschreibt, wieviel Leistung eine Endstufe oder ein Lautsprecher kurzzeitig (im Millisekunden Bereich) abgeben bzw. verkraften kann. Es handelt sich hierbei um einen sehr hohen Wert, der deutlich über dem RMS-Wert (durchschnittliche Leistung) liegt. Oft wird er in Verbindung mit der Nennleistung angegeben, die das durchschnittliche Leistungsvermögen widerspiegelt. Im Gegensatz zum Spitzenwert gibt die Nennleistung an, wie viel Leistung ein Gerät dauerhaft abgeben kann.

In der Audiotechnik spielt der Spitzenwert eine wichtige Rolle, da er Auskunft darüber gibt, wie laut ein Audiosystem in kurzen Zeitintervallen spielen kann. Ein Audiosystem mit einem hohen Spitzenwert kann zum Beispiel auch bei hoher Lautstärke noch klar und deutlich wiedergeben. Es ist jedoch wichtig zu beachten, dass der Spitzenwert nur ein Teilaspekt von vielen ist, der die Leistungsfähigkeit eines elektronischen Geräts oder eines Audiosystems bestimmt. Andere Faktoren wie die Qualität der Verarbeitung, die Klangtreue und die Funktionalität spielen ebenfalls eine wichtige Rolle. Die Peak-Leistung hat in erster Linie eine

Werbewirksamkeit und sagt wenig über die tatsächliche Leistungsfähigkeit aus. Eine Aussagekraft hat sie eher, wenn man das Verhältnis von Peak-Leistung zu RMS-Leistung betrachtet. In diesem Fall können höhere Werte für eine bessere Impulsverarbeitung sprechen. Auch in anderen Bereichen der Messtechnik, wie der Elektrotechnik oder der Kommunikationstechnik, kommt die Messung von Spitzenwerten zum Einsatz. Hier wird oft die Spitzenleistung eines Signals oder einer Übertragung gemessen, um Informationen über die Qualität der Übertragung oder die Integrität des Signals zu erhalten.

Sinusleistung:

Die Sinusleistung ist fast gleichbedeutend mit der Nennleistung, mit dem Unterschied, dass der Mittelwert hier nur aus sinusförmigen Signalen berechnet wird und nicht aus beliebigen Signalformen. Die Sinusleistung ist ein wichtiger Faktor in wird verwendet, um die Leistung von elektrischen Geräten und Schaltungen zu beschreiben. Sie gibt an, wieviel Leistung ein Gerät oder eine Schaltung dauerhaft abgeben kann und wird in Watt angegeben. Die Sinusleistung wird gemessen, indem man ein Gerät oder eine Schaltung mit einer sinusförmigen Spannung betreibt. Eine sinusförmige Spannung ist eine Wechselspannung, die in ihrem Verlauf einer Sinuskurve folgt. Sie wird oft verwendet, um elektrische Geräte zu testen, da sie eine gute Annäherung an die Spannungen darstellt, die in der Praxis auftreten. Um die Sinusleistung zu messen, wird zunächst die Stromstärke bestimmt, die das Gerät oder die Schaltung bei der sinusförmigen Spannung aufnimmt. Anschließend wird die Sinusleistung berechnet, indem man die Spannung und die Stromstärke miteinander multipliziert. Sie ist essentiell für die Dimensionierung von Schaltungen und für die Auslegung von elektrischen Geräten, um sicherzustellen, dass sie ausreichend dimensioniert sind, um die an sie gestellten Anforderungen zu erfüllen.

Musikleistung

Die Musikleistung ist eine spezielle Art von Leistung, die in der Audiotechnik verwendet wird, um die Leistungsfähigkeit von Audiosystemen bei der Wiedergabe von Musik zu beschreiben. Sie gibt an, wie viel Leistung ein Audiosystem abgeben kann, wenn es Musik wiedergeben muss. Die Musikleistung wird in der Regel in Watt angegeben und ist in der Regel höher als die Nennleistung, da Musik eine größere Belastung für das Audiosystem darstellt als ein Dauertonsignal. Sie gibt Auskunft darüber, wieviel Leistung ein Audiosystem abgeben kann, ohne dass die Klangqualität leidet. Die Musikleistung ist wichtig für die Auslegung von Audiosystemen, insbesondere in professionellen Anwendungen wie zum Beispiel bei der Veranstaltungstechnik. Sie gibt Auskunft darüber, wieviel Leistung ein Audiosystem abgeben kann, ohne dass es überlastet wird und die Klangqualität leidet.

Die Musikleistung ist eine wichtige Größe in der Audiotechnik, die Auskunft darüber gibt, wieviel Leistung ein Audiosystem bei der Wiedergabe von Musik abgeben kann. Sie ist wichtig für die Auslegung von Audiosystemen und hilft dabei, sicherzustellen, dass das System ausreichend dimensioniert ist, um die an es gestellten Anforderungen zu erfüllen. Es ist auch wichtig, die Klangqualität und die Fähigkeit des Verstärkers zu berücksichtigen, kurzzeitige Peaks bei hoher Lautstärke zu verarbeiten, um ein vollständiges Bild der Leistung

des Verstärkers zu erhalten. Um diese Fähigkeiten des Verstärkers zu messen, müssen oft andere Messgeräte wie Oszilloskope, Signalgeneratoren und Frequenzanalysegeräte verwendet werden. Eine weitere wichtige Überlegung bei der Messung der Sinusleistung ist die Last, unter der der Verstärker getestet wird. Es ist wichtig, dass die Last, die dem Verstärker zugeführt wird, eine realistische Simulation der Last darstellt, die der Verstärker in seiner tatsächlichen Anwendung erleiden wird. Unangemessene Lastbedingungen können zu ungenauen Messungen der Sinusleistung und einer Fehleinschätzung des tatsächlichen Leistungsvermögens des Verstärkers führen.

Die Musikleistung kann viel höher sein als die Sinusleistung. Wenn Hersteller nur die Musikleistung in ihren Prospekten angeben, kann dies einen leistungsstarken Verstärker vortäuschen. Die meisten Leistungsverstärker werden aus ungestabilisierten Netzteilen betrieben, die die Netzfrequenz von 50 Hz über einen Brückengleichrichter gleichrichten. Der Ladekondensator muss die Spannung bis zur nächsten Halbwelle halten, wodurch kurze Impulse zu hohen Leistungswerten führen können. Allerdings sinkt die Netzteilspannung deutlich ab, wenn der Impuls länger als 1 ms dauert. Wenn stabilisierte Netzteile verwendet würden, wären Sinus- und Musikleistung gleich. Da Musik aus einem komplexen Gemisch verschiedener Frequenzen und Impulsen unterschiedlicher Amplitude besteht, sind hohe Verstärkerleistungen notwendig, um starke Impulse verzerrungsfrei übertragen zu können. Das Netzteil muss ausreichend dimensioniert sein, um während der Dauer des Impulses die Spannung im Wesentlichen zu halten. Bis zum nächsten Impuls sind die Netzteilkondensatoren wieder nachgeladen. Es gibt verschiedene Messverfahren zur Bestimmung der Musikleistung, wobei eine dynamische Impulsmessung ideal ist, um die Realität der Musiksignale möglichst genau abzubilden. Eine einfache Methode zur Abschätzung der Musikleistung besteht darin, die Ausgangsspannung eines Verstärkers mit einer Last von 16 Ω und einer vorgegebenen Klirrfaktorvorgabe zu messen und dann anzunehmen, dass diese Spannung auch bei einer Last von 4 Ω auftritt. Da das Netzteil bei einer geringeren Belastung weniger belastet wird, ist die Ausgangsspannung bei einer höheren Last entsprechend höher. Dies ist eine gute Annäherung an das Verhalten des Verstärkers bei Impulsen. Die angegebene Ausgangsspannung von 20 V_{eff} an 4 Ω entspricht einer effektiven Leistung von 100 W. Der Klirrfaktor gibt an, wie stark das Signal durch Verzerrungen verfälscht wird. Ein Klirrfaktor von 1 % bedeutet, dass die Verzerrungen 1 % der Ausgangsleistung betragen

$$P = \frac{U^2}{R} = \frac{20V_{eff}^2}{4\Omega} = 100W$$

Schalldruckpegel | Akustische Leistung

Um die akustische Leistung (also den Schalldruckpegel = SPL = Sound Pressure Level) eines Systems zu bestimmen, muss neben der elektrischen Leistung auch der Wirkungsgrad der Lautsprecher mit einbezogen werden. Letzterer liegt niedrig. Lautsprecher weisen

Wirkungsgrade zwischen 0,06 und 2,5 Prozent auf. Die restliche elektrische Leistung wird in mechanische Arbeit und vor allem in Wärme umgesetzt.

Um den maximalen Schalldruck eines Systems grob zu berechnen, werden daher sowohl die maximale Verstärkerleistung als auch die Empfindlichkeit der Lautsprecher benötigt. Die Empfindlichkeit wird auch als Kennschalldruck bezeichnet und ist bei guten Speakern auf der Rückseite bei den Typendaten oder in der Anleitung zu finden. Sie beschreibt den Schalldruck, der in einem Abstand von 1 Meter zum Lautsprecher und einer elektrischen Eingangsleistung von einem Watt erreicht wird. Bisweilen ist zusätzlich noch die Frequenz angegeben, bei der dieser Wert gemessen wurde. Je nach System liegt sie zwischen 80dB/1W/1m und etwa 95dB/1W/1m. Hifi-Systeme weisen in der Regel Empfindlichkeiten zwischen 82dB/1W/1m und 89dB/1W/1m auf. Professionelle Audiosysteme (PA) liegen über 90dB/1W/1m.

Nützlich ist ferner das Wissen, dass sich der akustische Schalldruck nach der Formel $\Delta SPL = -20 * \log(\Delta r)$ mit der Abstandsänderung r zum Lautsprecher verringert. Als Faustformel leichter zu merken ist die Tatsache, dass der Schalldruckpegel bei einer Verdopplung des Hörabstandes um etwa 6dB abfällt. Ebenfalls wichtig zu wissen ist, dass eine Verdopplung der elektrischen Leistung nicht etwa auch eine Verdopplung der akustischen Leistung mit sich bringt. Eine Verdopplung der elektrischen Leistung bewirkt lediglich einen Schalldruckanstieg um 3dB, während das Ohr erst bei einer Lautstärkeänderung von etwa +10dB diese Änderung als Verdopplung der akustischen Leistung wahrnimmt. Ferner lässt sich der Schalldruckpegel durch Hinzufügen eines weiteren Lautsprechers nicht verdoppeln, sondern nur um 3dB erhöhen.

Mithilfe der obigen Angaben kann für eine gegebene Lautsprecherempfindlichkeit mit Hilfe einer Überschlagsrechnung herausgefunden werden, welche elektrische Leistung für einen bestimmten maximalen Schalldruckpegel benötigt wird. Angenommen wir haben Lautsprecher mit 84dB/1W/1m und möchten in drei Metern Entfernung einen Schalldruck von 100dB erreichen (das entspricht in etwa dem maximalen Schalldruck eines Großorchesters).

Wir verwenden in diesem Beispiel Stereolautsprecher, also ergibt sich bei einem Watt Eingangsleistung in einem Meter Entfernung:

$$SPL (1W, 1m, Stereo) = 84dB + 6dB = 90dB$$

Wieviel Leistung ist sinnvoll?

Beim Kauf eines Verstärkers werden Verkäufer oft mit der hohen Leistung des Produkts werben, während manche Menschen gerne damit angeben, wie leistungsstark ihr Verstärker ist. Manche glauben sogar, dass ein Verstärker erst dann richtig klingt, wenn er über eine hohe Leistung verfügt. Besonders bei Heimkino- und Car-Hifi-Enthusiasten ist es üblich, sich erst zufrieden zu geben, wenn sie den kräftigsten Verstärker im Laden erwerben können. In der Audiotechnik gibt es verschiedene Faktoren, die die Leistung bestimmen. Dazu gehört beispielsweise die Lautstärke, die Klarheit und die Dynamik. Doch wieviel Leistung ist in der Audiotechnik sinnvoll?

Grundsätzlich lässt sich sagen, dass die Leistung in der Audiotechnik davon abhängt, wo und wie das Audiosystem genutzt wird. In einem kleinen Wohnzimmer ist beispielsweise weniger Leistung erforderlich als in einem großen Partykeller oder in einem professionellen Musikstudio. Ein weiterer Faktor, der die Leistung in der Audiotechnik beeinflusst, ist die Qualität der Lautsprecher. Gute Lautsprecher können auch bei weniger Leistung eine hohe Klangqualität liefern. In der Regel reichen für den Einsatz in einem Wohnzimmer oder einem kleineren Raum Leistungen von 50 bis 100 Watt aus. Für größere Räume oder den Einsatz in professionellen Umgebungen sind Leistungen von 200 bis 500 Watt empfehlenswert. Es ist jedoch wichtig zu beachten, dass die Leistung nicht das einzige Kriterium für eine gute Audiotechnik ist. Auch andere Faktoren wie die Qualität der Verarbeitung, die Klangtreue und die Funktionalität spielen eine wichtige Rolle. Ein weiterer wichtiger Aspekt bei der Wahl der richtigen Leistung in der Audiotechnik ist der Stromverbrauch. Gerade bei größeren Anlagen oder bei häufigem Einsatz kann ein hoher Stromverbrauch schnell zu hohen Stromkosten führen. Deshalb empfiehlt es sich, bei der Wahl der Audiotechnik auch auf den Stromverbrauch zu achten und gegebenenfalls auf energieeffizientere Alternativen zurückzugreifen.

Abschließend lässt sich sagen, dass es in der Audiotechnik wichtig ist, das richtige Maß an Leistung zu finden. Eine zu geringe Leistung kann dazu führen, dass das Audiosystem nicht laut genug oder nicht klar genug ist. Eine zu hohe Leistung hingegen kann überflüssig sein und sogar den Klang negativ beeinflussen. Deshalb sollte die Leistung immer auf den jeweiligen Einsatzbereich abgestimmt werden und auch andere Faktoren wie die Klarheit, die Lautstärke und die Dynamik berücksichtigt werden. Insgesamt lässt sich sagen, dass es in der Audiotechnik darauf ankommt, das richtige Maß an Leistung für den jeweiligen Einsatzbereich zu finden. Zu viel Leistung kann zwar imponieren, ist aber oft überflüssig und kann sogar den Klang negativ beeinflussen. Eine sinnvolle Leistung hingegen trägt zu einem optimalen Hörvergnügen bei. Lassen Sie sich hierbei bei solchen Angelegenheiten am besten von uns beraten und wir helfen Ihnen bei Ihrer individuellen Konfiguration.

Arten der Leistungsmessung

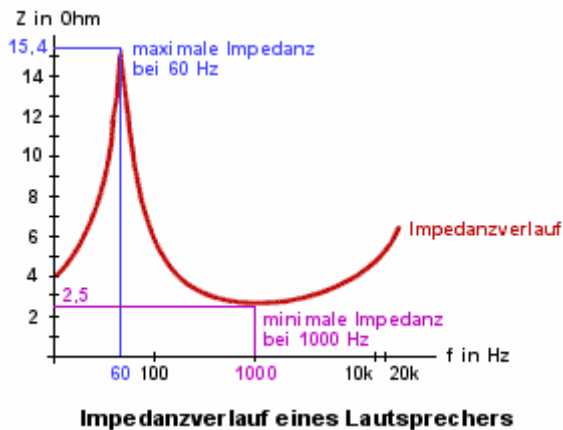
Messung ohne Last

Die Leistungsmessung ohne Last ist auch bei Niederfrequenzverstärkern ein wichtiger Test, um sicherzustellen, dass diese ordnungsgemäß arbeiten, bevor sie unter Last gesetzt werden. Bei der Leistungsmessung ohne Last wird die maximale Leistung des Niederfrequenzverstärkers gemessen, wenn keine Signalbelastung anliegt. Dies wird erreicht, indem eine kurzgeschlossene Eingangsklemme angeschlossen wird, wodurch das Signal an der Eingangsstufe des Verstärkers unterbrochen wird. In diesem Zustand wird die Leistung aufgenommen, die der Verstärker zur Verfügung stellen kann, ohne dass das Signal durch die Verstärkerschaltung beeinflusst wird. Die Messungen sollten unter kontrollierten Bedingungen durchgeführt werden, um die Genauigkeit der Messungen sicherzustellen. Insbesondere sollten die Messungen bei Raumtemperatur und unter Berücksichtigung des Stromverbrauchs durchgeführt werden, um sicherzustellen, dass die Ergebnisse vergleichbar sind und die Ergebnisse des Tests repräsentativ für die Leistung des Niederfrequenzverstärkers sind. Es ist dabei zu beachten, dass der Niederfrequenzverstärker ordnungsgemäß arbeitet, bevor er unter Signalbelastung gesetzt wird. Dies liegt daran, dass die Signalbelastung die Leistung des Verstärkers erhöht und zu Verzerrungen oder sogar zu Schäden führen kann, wenn der Verstärker nicht ordnungsgemäß funktioniert. Durch die Durchführung einer Leistungsmessung ohne Last kann sichergestellt werden, dass der Verstärker die erforderliche Leistung liefert, um Audio-Signale ordnungsgemäß zu verstärken und somit eine hohe Klangqualität zu gewährleisten.

Zusammenfassend ist die Leistungsmessung ohne Last ein Test, um sicherzustellen, dass Niederfrequenzverstärker ordnungsgemäß arbeiten, bevor sie unter Signalbelastung gesetzt werden. Die Durchführung dieses Tests kann dazu beitragen, die Lebensdauer des Verstärkers zu verlängern und Schäden oder Verzerrungen zu vermeiden, die zu einem schlechteren Hörerlebnis führen können.

Messung mit einfacher Last

Um die Leistung des Verstärkers mit einer einfachen Last zu messen, wird der Ausgang des Verstärkers mit dem entsprechenden konstanten Lastwiderstand belastet. Hierzu werden in der Regel bestimmte Lastwiderstände (meist 4, 6 oder 8 Ohm, im Car-Hifi Bereich auch 2 Ohm) verwendet. Allerdings ist diese Messung nicht sehr aussagekräftig in Bezug auf die tatsächlich abgegebene Leistung am realen Lautsprecher. Das liegt daran, dass ein Lautsprecher keine reinen ohm'schen Widerstand darstellt, sondern aus induktiven und kapazitiven Widerstandsanteilen besteht. Deshalb schwankt die Impedanz des Lautsprechersystems mitunter gewaltig mit der Frequenz.



Die Angabe der Impedanz eines Lautsprechers bezieht sich meist auf einen gemittelten Widerstandswert (meist 4 oder 8 Ohm). Doch in der Realität kann der Widerstand des Lautsprechers bei verschiedenen Frequenzen deutlich abweichen. Bei der Messung der Leistung des Verstärkers wird jedoch als Widerstand des Lautsprechers vereinfachend ein für alle Frequenzen gleichbleibender Widerstand angenommen. Die Impedanz eines Lautsprechers schwankt aufgrund von induktiven und kapazitiven Widerstandsanteilen mit der Frequenz. Zum Beispiel kann der verwendete Lautsprecher bei 60 Hz ein Impedanzmaximum von 15,4 Ohm haben, während der Widerstand bei 1000 Hz bei rund 2,5 Ohm liegt. Wenn die Impedanz eines Lautsprechers angegeben wird, bezieht sich der Wert in der Regel auf einen gemittelten Widerstandswert (meist 4 oder 8 Ohm). Basierend auf dieser Angabe würde der Lautsprecher im Beispiel bei 1000 Hz mit 4 Ohm angegeben werden, da er eine recht niedrige Impedanz aufweist.

Allerdings wird bei der Messung der Leistung des Verstärkers ein für alle Frequenzen gleichbleibender Widerstand als Ersatz für den Lautsprecher angenommen. Diese vereinfachte Vorgehensweise steigert die Aussagefähigkeit der Leistungsmessung nicht für tatsächliche Anwendungen, da die Impedanz des Lautsprechers in der Realität bei verschiedenen Frequenzen deutlich abweichen kann. Ein weiterer wichtiger Faktor bei der Leistungsmessung von Verstärkern ist das Musikmaterial selbst. Je nach Programm wird dem Verstärker unterschiedlich viel Leistung abverlangt. Wenn eine bestimmte akustische Lautstärke erreicht werden soll, muss der Verstärker beispielsweise wesentlich mehr Leistung für die Wiedergabe tiefer Frequenzen aufbringen als für die Wiedergabe hoher Tonbereiche. Dies liegt daran, dass die Tieftonchassis innerhalb der Lautsprecherboxen bei weitem mehr Leistung für ihren Antrieb benötigen als die oft filigranen Hochtöner. Wenn Musik mit hauptsächlich hohen Tönen wiedergegeben wird, muss sich der Verstärker weniger anstrengen als bei tiefen Bassfrequenzen, wie sie beispielsweise in manchen Hollywood-Filmen vorkommen.

Dieser Umstand führt dazu, dass die Leistungsangaben in den Bedienungsanleitungen und Katalogen der Hersteller oft nicht sehr klar sind. Um zu entscheiden, wie viel Leistung für ein bestimmtes Musikstück oder einen bestimmten Lautsprecher benötigt wird, ist eine generelle

Aussage allein über die Leistungsangaben nicht ausreichend. Es ist jedoch möglich, die Leistungsfähigkeit von Verstärkern miteinander zu vergleichen.

Messung mit realer Last

Während die Messung der Leistung eines Niederfrequenzverstärkers ohne praktisches Signal eine nützliche Prüfung sein kann, um eine ordnungsgemäße Funktion des Verstärkers zu gewährleisten, sollte darauf hingewiesen werden, dass dies keine praktische Messung darstellt, da in realen Anwendungen, wie beispielsweise in einem Audio-System, fast immer eine Last an den Verstärker angeschlossen wird, wie zum Beispiel Lautsprecher. Daher ist es wichtig, auch die Leistung des Verstärkers unter Signalbelastungsbedingungen zu testen, um sicherzustellen, dass er die tatsächlichen Signale, die er verstärkt, ordnungsgemäß verarbeiten kann. Dies kann helfen, potenzielle Probleme wie Verzerrungen oder Überhitzung zu identifizieren, die auftreten können, wenn der Verstärker unter realen Betriebsbedingungen arbeitet. Letztendlich kann die Messung der Leistung des Verstärkers ohne Last zwar einige nützliche Informationen liefern, es ist jedoch wichtig, den Verstärker auch unter realen Betriebsbedingungen zu testen, um sicherzustellen, dass er Signale mit geringer Verzerrung und hoher Klangqualität ordnungsgemäß und sicher verstärken kann.

Eine Möglichkeit, die Leistung eines Niederfrequenzverstärkers unter Signalbelastungsbedingungen zu testen, ist die Verwendung einer Lastwiderstandsbox wie der Burosch LCR Box. Diese Box ermöglicht es, den Verstärker mit verschiedenen Lastwiderständen zu belasten und die Ausgangsleistung unter realen Bedingungen zu messen. Dadurch kann man sicherstellen, dass der Verstärker nicht nur unter idealen Bedingungen, sondern auch unter realen Betriebsbedingungen einwandfrei funktioniert. So kann man durch die Verwendung der Burosch LCR Box sicherstellen, dass der Niederfrequenzverstärker nicht nur unter Laborbedingungen, sondern auch unter realen Betriebsbedingungen ordnungsgemäß funktioniert. Dies kann dazu beitragen, potenzielle Probleme zu identifizieren und die Klangqualität des Audio-Systems insgesamt zu verbessern.

TIM tritt normalerweise bei Verstärkern auf, die nicht in der Lage sind, schnell genug auf schnelle Signalveränderungen zu reagieren. Dadurch kommt es zu einer Überlagerung von Signalen mit unterschiedlichen Frequenzen und Amplituden, die in der Folge zu hörbaren Verzerrungen führen können. Eine Messung mit realer Last bedeutet, dass der Verstärker an eine tatsächliche Last, wie zum Beispiel einen Lautsprecher, angeschlossen ist. In diesem Fall gibt es eine realistische Impedanz, die dem Verstärker widersteht, und somit ist der Verstärker gezwungen, seine tatsächliche Leistung zu liefern. Dadurch werden die meisten Verstärker gezwungen, schnell auf Änderungen im Musiksinal zu reagieren, was das Auftreten von TIM verhindert oder zumindest minimiert.

Warmlaufzeit

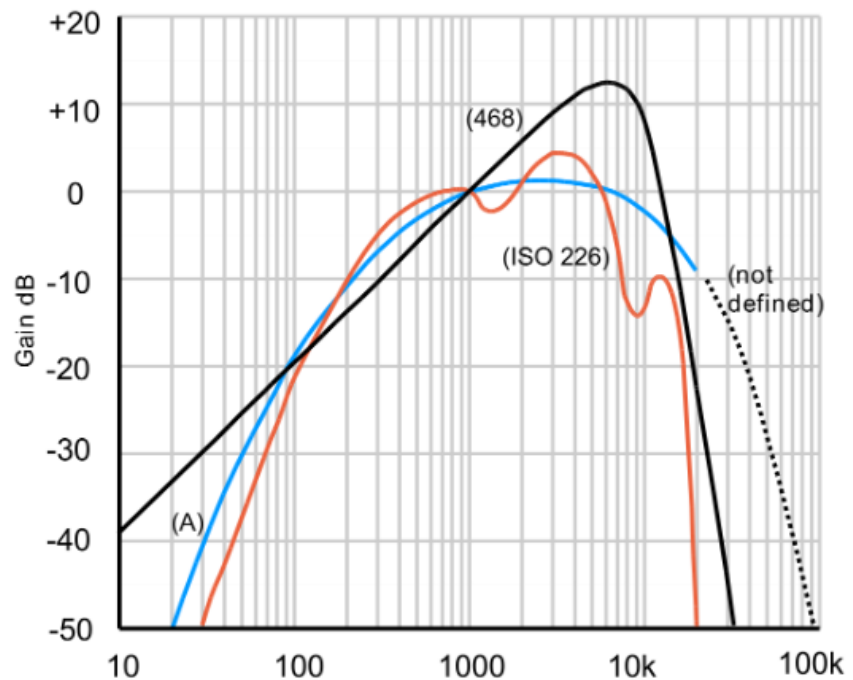
Die Warmlaufzeit beschreibt die Zeit, die ein Gerät benötigt, um seine Betriebswerte zu erreichen. Sowohl Röhren- als auch Halbleitergeräte haben Warmlaufzeiten, da alle relevanten Teile erst ihre Betriebstemperatur erreichen müssen, bevor brauchbare Messungen möglich sind. Röhren benötigen mehr Zeit zum Aufheizen als Halbleitergeräte, da sie anfangs Strom für das Aufheizen der Röhren ziehen müssen. Je größer die Röhre, desto länger ist die Aufwärmzeit, da die Kathoden volle Temperatur erreichen müssen, um den maximalen Strom abgeben zu können. Die Warmlaufzeit hängt auch von der Heizleistung ab, je höher die Heizleistung, desto länger die Warmlaufzeit. Die Warmlaufzeit ist wichtig zu beachten, insbesondere bei der Prüfung von Röhrenendstufen. Auch bei Geräten mit Halbleiterbauteilen ist eine Warmlaufzeit zu beachten. Hier hängt die benötigte Zeit von der Größe und Leistungsfähigkeit der Halbleiter ab. Leistungshalbleiter, die in Endstufen eingesetzt werden, sind in der Regel größer und müssen daher länger aufheizen als Vorstufenhalbleiter. Die Warmlaufzeit hängt auch von der Kühlung des Geräts ab. Wenn das Gerät über eine gute Kühlung verfügt, kann es schneller auf Betriebstemperatur kommen. Die Warmlaufzeit ist bei der Inbetriebnahme eines Geräts zu beachten. Insbesondere bei der Durchführung von Messungen ist es wichtig, dass das Gerät seine Betriebstemperatur erreicht hat. Nur dann können zuverlässige Messergebnisse erzielt werden. Es empfiehlt sich daher, das Gerät einige Minuten lang aufzuheizen, bevor man mit Messungen beginnt. Eine sichere und empfehlenswerte Vorgehensweise nach dem Einschalten von Röhrengeräten ist, sie zunächst mit halber Aussteuerung und einer bestimmten Mindestzeit laufen zu lassen, um die benötigte Warmlaufzeit zu erreichen. Diese Zeit ist abhängig von der Größe der Röhren und der Heizleistung. In der Regel dauert die Warmlaufzeit bei größeren Endröhren länger als bei kleineren Vorstufenröhren. Durch das Erhöhen der Temperatur steigt auch die Ausgangsleistung von leistungsstarken Endröhren. Nach etwa 10 Minuten ist das Gerät in der Regel ausreichend aufgeheizt. Dabei können sich die ursprünglich eingestellten Ruhestrome verändern. Etwa 2 bis 5 Minuten nach dem Abschalten der Signalquelle können die Ruhestrome von Endröhren und Endtransistoren korrekt eingestellt werden. Je heißer die Katoden sind, desto mehr Strom geben sie ab. Bei Transistoren sinkt die Basis-Emitter-Schwellspannung um 2 mV/K ab, womit mehr Kollektorstrom fließt. Die Temperaturkompensation kann dem entgegenwirken, hat aber auch Grenzen. Nach einer kurzen Abkühlphase kann dann mit der korrekten Ruhestromeinstellung gemessen werden, um zu brauchbaren Ergebnissen zu gelangen.

ITU-R 468 Gewichtung

Die ITU-R 468 (ursprünglich in der CCIR-Empfehlung 468-4 definiert, daher früher auch als CCIR-Gewichtung bekannt) ist ein Standard im Bereich der Messung von Geräuschpegeln in Audio-Systemen. Der Standard beschreibt eine spezielle Art von Messfilter, welches als ITU-R BS.468-4 bezeichnet wird.

Das ITU-R 468 GewichtungsfILTER ist eine wichtige Technik für die Messung von Schallpegeln in einer Vielzahl von Anwendungen, insbesondere in den Bereichen Audiotechnik und Schallmessung. Es wird verwendet, um Geräusche in einem bestimmten Frequenzbereich zu messen und zu bewerten. Durch die Anwendung des ITU-R 468 Gewichtungsfilters kann man eine verzerrungsarme Messung des Schallpegels erreichen.

Der Standard definiert eine GewichtungsfILTERkurve, die dazu verwendet wird, die Lautstärke von Schallwellen im Bereich von 20 Hz bis 20 kHz zu messen. Die Filterkurve wird in Kombination mit einem quasipeak Rektifikator eingesetzt, um ein akkurates Messergebnis zu erzielen. Dieser Rektifikator verfügt über besondere Merkmale, die durch bestimmte Tonimpulstests definiert sind. Das GewichtungsfILTER ist besonders in Ländern wie



Großbritannien, Europa und den ehemaligen Ländern des britischen Empires, wie Australien und Südafrika, weit verbreitet. In den USA wird dagegen eher das A-GewichtungsfILTER eingesetzt. Es gibt jedoch auch ein eng verwandtes Filter, das M-GewichtungsfILTER, das eine abgewandelte Version der gleichen Kurve ohne den quasipeak Rektifikator ist. Das ITU-R 468 GewichtungsfILTER ist ein wichtiger Standard für die Schallpegelmessung und wird heute vom Internationalen Telekommunikationsunion (ITU) gepflegt, nachdem es von der CCIR (Comité Consultatif International pour la Radio) übernommen wurde. Die ITU ist eine spezialisierte Agentur der Vereinten Nationen, die sich auf die Regulierung und Standardisierung von Telekommunikationstechnologien konzentriert. Durch die Verwendung des ITU-R 468 Gewichtungsfilters können Schallpegel in einer Vielzahl von Umgebungen, einschließlich Industrieanlagen, Büros, Schulen, Wohngebieten und anderen Orten, genau gemessen

werden. Es hilft dabei, ein Verständnis für den Schallpegel und die Auswirkungen auf die Umgebung und die Menschen zu erlangen, die davon betroffen sind. Dies ist wichtig, um gesundheitliche Auswirkungen zu minimieren und Maßnahmen zur Lärminderung zu treffen.

Darüber hinaus kann das ITU-R 468 GewichtungsfILTER auch in der Musikproduktion und im Tonstudio eingesetzt werden, um den Schallpegel zu messen und zu kontrollieren. Es hilft dabei, den Klangqualität und den Mix zu verbessern, indem es das Verhältnis von Frequenzen im Mix ausgleicht. In Bezug auf die Lärmmessung ist es wichtig, dass das ITU-R 468 GewichtungsfILTER korrekt eingesetzt wird, um eine akkurate Messung zu erzielen. Dies erfordert die Verwendung von qualitativ hochwertigen Messgeräten, die dem Standard entsprechen, sowie eine sorgfältige Überwachung und Kalibrierung des Geräts.

CCIR 468 Empfehlung

Spätere Versionen bis hin zur CCIR 468-4 unterschieden sich nur in geringfügigen Änderungen der zulässigen Toleranzen. Dieser Standard wurde dann in viele andere nationale und internationale Standards (IEC, BSI, JIS, ITU) aufgenommen und in den 1970er Jahren weitverbreitet als Standardmethode zur Messung von Lärm in Rundfunk, professioneller Tontechnik und Hi-Fi-Spezifikationen angenommen. Als die CCIR nicht mehr existierte, wurde der Standard offiziell von der ITU-R (Internationale Telekommunikationsunion/ Fernmeldeunion) übernommen. Die aktuelle Arbeit an diesem Standard findet hauptsächlich im Rahmen der Wartung von IEC 60268, dem internationalen Standard für Tonanlagen, statt.



Die CCIR-Kurve unterscheidet sich stark von der A-Gewichtung im Bereich von 5 bis 8 kHz, in dem sie bei 6,3 kHz mit +12,2 dB auf ihrem Höhepunkt liegt, einem Bereich, in dem wir angeblich lärmempfindlich sind. Die A-Gewichtung ist ein akustisches Filter, das verwendet wird, um den menschlichen Ohrempfindlichkeiten entsprechend Schallpegel zu bewerten. Es wurde entwickelt, um eine bessere Schätzung des subjektiven Lautstärkeindrucks zu ermöglichen, indem es die Schallpegel in Übereinstimmung mit den hörbaren Frequenzen und der Ohrempfindlichkeit justiert. Obwohl irrtümlich behauptet wurde, dass der Unterschied auf eine Anforderung zur Beurteilung der Störung durch Lärm im Vorfeld von Programmmaterial, anstatt nur der Lautstärke, zurückzuführen ist, wurde im Laufe der Zeit klar, dass dies nicht die Grundlage der Experimente war. Der eigentliche Grund für den Unterschied dürfte mit der Art und Weise zusammenhängen, in der unser Gehör Geräusche in Bezug auf den spektralen Inhalt entlang der Cochlea analysiert. Dies verhält sich wie eine Reihe von eng beieinanderliegenden Filtern mit einem etwa konstanten Q-Faktor, das heißt, Bandbreiten proportional zu ihren Mittelfrequenzen. Hohe Haarzellen wären daher empfindlicher gegenüber einem größeren Anteil der Gesamtenergie im Lärm als niedrige Haarzellen. Obwohl -Reaktionen nicht exakt konstant Q sind und die Angelegenheiten durch die Art und Weise, in der das Gehirn benachbarte Haarzellen-Ausgänge integriert, weiter verkompliziert werden, wirkt das Ergebnis ungefähr wie ein Neigungsversatz, der bei 1 kHz auf der A-Gewichtung. Die Abhängigkeit vom spektralen

Inhalt führt dazu, dass 468-gewichtete Messungen von Lärm im Allgemeinen etwa 11 dB höher sind als A-gewichtete. Dies ist wahrscheinlich ein Faktor bei der jüngsten Entwicklung weg von der 468-Gewichtung in den Gerätespezifikationen, da die Verwendung von Kassettenbändern zurückgeht.

Es ist wichtig zu erkennen, dass die 468-Spezifikation sowohl gewichtete als auch "ungebundene" Messungen (mit einem 22 Hz bis 22 kHz 18 dB/Oktav-Bandpassfilter) umfasst und dass beide einen sehr speziellen Quasi-Peak-Detektor mit sorgfältig ausgearbeiteter Dynamik verwenden. Anstatt einer einfachen Integrationszeit erfordert dieser Detektor die Implementierung mit zwei kaskadierten "Peak-Followern" mit unterschiedlichen Angriffszeitkonstanten, die sorgfältig gewählt wurden, um die Reaktion auf einzelne und wiederholte Tonimpulse verschiedener Dauern zu kontrollieren. Dies stellt sicher, dass Messungen an impulsiven Lärmstörungen unser reduziertes Hörvermögen auf kurze Impulse ordnungsgemäß berücksichtigen. Diese Peak-Messung wird auch als Psophometrie-Gewichtung bezeichnet. Dies war früher wichtiger, da Außenübertragungen über "Musikkreise" übertragen wurden, die Telefonleitungen verwendeten, mit Klicks von Strowger und anderen elektromechanischen Telefonaustauschen. Es findet jetzt neue Relevanz in der Messung von Lärm auf "Audio-Karten" von Computern, die häufig Klicks aufgrund des Startens und Stoppens von Laufwerken aufweisen.

Funktionsweise

Die ITU-R 468 Gewichtung ist eine spezielle Filterkurve, die für die Messung von Schallpegeln entwickelt wurde. Sie wird durch den Anschluss eines Gewichtungsfilters an ein Schallpegelmessgerät verwendet, um den Schallpegel in einem bestimmten Frequenzbereich zu messen und zu bewerten.

Technisch funktioniert die ITU-R 468 Gewichtung, indem sie das eingehende Schallsignal durch den Gewichtungsfiler leitet. Dieser Filter verändert die Amplitude des Schallsignals entsprechend der ITU-R 468 Gewichtungskurve. Diese Kurve ist so konstruiert, dass sie die menschliche Ohrwahrnehmung von Schallpegeln simuliert und dabei bestimmte Frequenzbereiche mehr gewichtet, um ein ausgewogenes Schallpegelmessergebnis zu erzielen. Die ITU-R 468 Gewichtung nutzt einen sogenannten Quasi-Peak-Detektor, um Schallpegel zu messen und zu bewerten. Dieser Detektor arbeitet, indem er die Amplitude eines Signals in Echtzeit verfolgt und den Pegel in Einheiten von Dezibel (dB) berechnet. Der Quasi-Peak-Detektor ist so konstruiert, dass er Schallpegelpegel besser nachahmt, wie sie von menschlichem Gehör wahrgenommen werden. Im Vergleich zu anderen Detektortypen, wie z.B. dem RMS-Detektor, berücksichtigt der Quasi-Peak-Detektor die kurzzeitigen Spitzenwerte eines Signals, die für menschliches Gehör von besonderer Bedeutung sind. Dies ist besonders wichtig bei der Bewertung von Schallpegel in Umgebungen, in denen lärmbedingte Gesundheitsprobleme auftreten können. Der Quasi-Peak-Detektor berechnet den Schallpegel auf der Grundlage der kurzzeitigen Spitzenwerte des Signals. Dies bedeutet, dass er eine höhere Empfindlichkeit gegenüber kurzen, lauten Schallimpulsen hat, im Vergleich zu einem RMS-Detektor. Dies ist besonders hilfreich bei der Messung von

Schallpegel in Umgebungen, in denen laute Impulse, wie beispielsweise Explosionen oder Schüsse, vorkommen können.

M-Gewichtung

M-Gewichtung ist ein eng verwandtes Filter, das eine versetzte Version der gleichen Kurve ist, ohne den Quasi-Peak-Detektor. Diese Gewichtungsmethode wird verwendet, um Schallpegel in einem bestimmten Frequenzbereich zu messen und zu bewerten. Das M-Gewichtungsfilter wurde entwickelt, um die Unzulänglichkeiten des ITU-R 468 Gewichtungsfilters, insbesondere bei Messungen mit kurzen Signalen, zu überwinden. Im Vergleich zum ITU-R 468 Gewichtungsfiler verzerrt das M-Gewichtungsfiler Schallpegel in einem geringeren Maße und bietet eine höhere Genauigkeit bei Messungen mit kurzen Signalen. Das M-Gewichtungsfiler basiert auf der gleichen Filterkurve wie das ITU-R 468 Gewichtungsfiler, aber es fehlt der Quasi-Peak-Detektor. Dies bedeutet, dass das M-Gewichtungsfiler ein einfacheres Verfahren ist, das jedoch eine geringere Genauigkeit als das ITU-R 468 Gewichtungsfiler aufweist. Trotzdem wird das M-Gewichtungsfiler in einigen Anwendungen, wie z.B. in der Schallpegelmessung von Schallquellen mit kurzen Signalen, bevorzugt eingesetzt. Es ist ebenfalls in einigen Ländern, in denen das ITU-R 468 Gewichtungsfiler nicht verbreitet ist, als Standard für die Schallpegelmessung anerkannt. In der Praxis wird das M-Gewichtungsfiler oft in Verbindung mit einem Integrator verwendet, um Schallpegel über einen bestimmten Zeitraum zu messen und zu bewerten. Es ist auch wichtig zu beachten, dass das M-Gewichtungsfiler nicht für alle Schallquellen geeignet ist und dass es unter bestimmten Bedingungen zu ungenauen Messergebnissen führen kann.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die M-Gewichtung ein nützliches Filter ist, das eine einfachere und genauere Methode zur Messung und Bewertung von Schallpegel in bestimmten Frequenzbereichen bietet. Obwohl es nicht so genau wie das ITU-R 468 Gewichtungsfiler ist, wird es aufgrund seiner Einfachheit und hohen Genauigkeit bei bestimmten Anwendungen bevorzugt eingesetzt.

Akustik und Wahrnehmung Einleitung

In der physikalischen Akustik geht es um die Studie von Schallwellen und deren Verhalten in verschiedenen Materialien, einschließlich gasförmiger, flüssiger und feststoffartiger Medien. Es werden verschiedene Eigenschaften von Schallwellen wie Amplitude, Frequenz, Phase und Polarisation untersucht. Auch die Übertragung von Schall durch Wände, Türen und Fenster wird erforscht. Physiologische Akustik bezieht sich auf die Wissenschaft, die sich mit dem menschlichen Hörvermögen und dem Schallverhalten im Innenohr beschäftigt. Es ist ein interdisziplinäres Gebiet, das sowohl die Physiologie als auch die Akustik einschließt. Es ist von großer Bedeutung für die Entwicklung von Hörgeräten, Lautsprechern und Akustikumgebungen, die für den Menschen angenehm und nützlich sind.

In Bezug auf die Messtechnik wird die physiologische Akustik genutzt, um Schallpegel im Ohr des Menschen zu messen. Dies ist wichtig, um sicherzustellen, dass Geräusche, die von Lautsprechern, Musikinstrumenten oder anderen Schallquellen produziert werden, nicht zu Lärmschäden am Gehör führen. Die Messung des Schallpegels im Ohr erfolgt mithilfe von sogenannten OAEs (Otoakustischen Emissionen), die von speziellen Mikrofonen im Gehörgang aufgezeichnet werden. Die OAEs sind kleine Schallimpulse, die bei der Stimulation des Innenohrs erzeugt werden. Sie können dazu verwendet werden, die Funktionsfähigkeit des Innenohrs zu überprüfen und mögliche Schäden zu identifizieren. Außerdem kann die Analyse der OAEs auch Aufschluss darüber geben, wie gut ein Hörgerät funktioniert und ob es für einen bestimmten Patienten geeignet ist. Eine weitere wichtige Anwendung der physiologischen Akustik in der Messtechnik ist die Messung des Schalldrucks im Ohr. Hierfür werden sogenannte Earmuffs oder Ohrstöpsel verwendet, die einen Schallpegel messen, der direkt im Ohr ankommt. Diese Messung ist wichtig, um sicherzustellen, dass der Schalldruck innerhalb sicherer Grenzen bleibt und das Gehör des Benutzers nicht geschädigt wird.

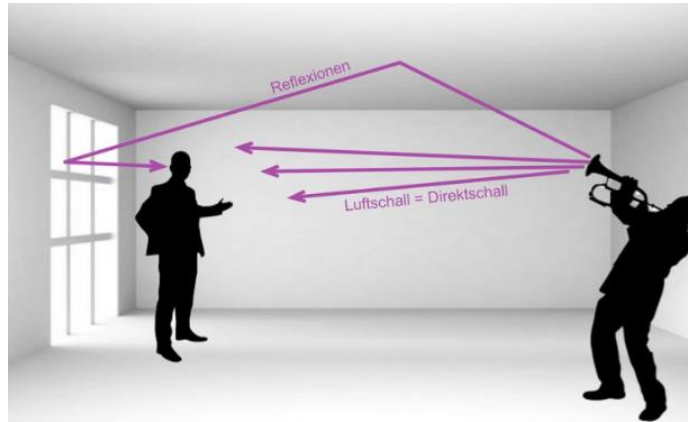
Die Psychologische Akustik bezieht sich im Gegensatz auf die Wissenschaft, die sich mit dem menschlichen Wahrnehmungsvermögen im Hinblick auf Schall und Geräusche beschäftigt. Es ist ein interdisziplinäres Gebiet, das sowohl die Psychologie als auch die Akustik einschließt. Es ist von großer Bedeutung für die Entwicklung von akustischen Umgebungen, die für den Menschen angenehm und nützlich sind, einschließlich Büros, Schulen, Krankenhäusern und Freizeiteinrichtungen. In Bezug auf die Messtechnik wird die psychologische Akustik genutzt, um das subjektive Empfinden des Menschen in Bezug auf Schall und Geräusche zu messen. Dies ist wichtig, um sicherzustellen, dass akustische Umgebungen den Bedürfnissen und Vorlieben der Benutzer entsprechen und ihr Wohlbefinden und ihre Leistung nicht beeinträchtigen. Eine wichtige Methode zur Messung des subjektiven Empfindens ist die Durchführung von Befragungen, bei denen die Benutzer nach ihren Eindrücken und Empfindungen gefragt werden. Hierbei können Fragen zu verschiedenen Aspekten der akustischen Umgebung gestellt werden, wie z.B. Lautstärke, Klangqualität, Hintergrundgeräusche und Störgeräusche. Die Ergebnisse dieser Befragungen können dann verwendet werden, um die akustische Umgebung zu verbessern

und den Bedürfnissen der Benutzer gerecht zu werden. Eine weitere Methode zur Messung des subjektiven Empfindens ist die Verwendung von sogenannten psychoakustischen Indizes. Diese Indizes messen verschiedene Aspekte des Schalls und der Geräusche, wie z.B. Klangfarbe, Klangintensität, Klanglänge und Klangkomplexität. Die Ergebnisse dieser Indizes können verwendet werden, um das subjektive Empfinden des Benutzers zu bewerten und zu verstehen, wie sich verschiedene Aspekte des Schalls auf die Wahrnehmung auswirken.

Zusammenfassend kann man sagen, dass die psychologische Akustik in Bezug auf die Messtechnik ein wichtiger Faktor ist, um sicherzustellen, dass akustische Umgebungen den Bedürfnissen und Vorlieben der Benutzer entsprechen und ihr Wohlbefinden und ihre Leistung nicht beeinträchtigen. Die Verwendung von Befragungen und psychoakustischen Indizes ist ein wichtiger Ansatz, um das subjektive Empfinden des Menschen zu messen und zu verstehen, wie verschiedene akustische Merkmale die Wahrnehmung beeinflussen.

Einfluss der Raumakustik

Die Raumakustik ist ein wichtiger Faktor für das menschliche Wohlbefinden und die Leistungsfähigkeit. Sie beeinflusst nicht nur das Klangerlebnis bei Musik- und Theateraufführungen, sondern auch das Verständnis von Gesprochenem in Konferenzen, Klassenzimmern und anderen öffentlichen Räumen. Eine gute Raumakustik kann dazu beitragen, dass Menschen sich in einem Raum wohl fühlen und konzentriert arbeiten können.



Eine schlechte Raumakustik hingegen kann zu unangenehmen akustischen Verzerrungen, Lärmbelästigung und Kommunikationsproblemen führen. Die Raumakustik ist ein interdisziplinäres Forschungsfeld, das sowohl die Physik als auch die Psychologie des Klangs berücksichtigt. Die Physik der Raumakustik beschäftigt sich mit den grundlegenden Gesetzen und Prozessen des Schalls, während die Psychoakustik sich mit den Auswirkungen von akustischen Merkmalen auf das menschliche Gehör und die Wahrnehmung beschäftigt. Ziel der Raumakustik ist es, ein Verständnis für die Wechselwirkungen zwischen Schall und Raum zu entwickeln und die akustische Umgebung so zu gestalten, dass sie den Anforderungen der Benutzer entspricht.

Um die Raumakustik zu messen und zu bewerten, werden eine Vielzahl von Methoden und Werkzeugen eingesetzt, darunter Schallpegelmessungen, Impulsantwortanalysen, Schallstrahlungsdruckpegel und Schallfeldsimulationen. Diese Tools ermöglichen es, die akustischen Eigenschaften eines Raumes zu quantifizieren und zu optimieren, um eine angenehme und leistungsorientierte akustische Umgebung zu schaffen.

Es ist wichtig zu beachten, dass jeder Raum einzigartige akustische Eigenschaften hat und dass die Anforderungen an die Raumakustik von Anwendung zu Anwendung unterschiedlich sind, beispielsweise sind die Dimensionen eines Konferenzraums und einer Theater- oder Konzerthalle stark unterschiedlich in Bezug auf ihre akustischen Anforderungen. In Konferenzräumen ist eine gute Verständlichkeit des Gesprochenen von größter Bedeutung, während Theater- und Konzerthallen eine hohe akustische Klangqualität erfordern. Diese Unterschiede haben Auswirkungen auf die erforderliche Messtechnik. Konferenzräume sind oft kleiner und haben eine deutlich höhere akustische Absorption, was es schwieriger macht, eine gute Verständlichkeit des Gesprochenen zu erreichen. Um eine klare Verständlichkeit des Gesprochenen zu erreichen, müssen in Konferenzräumen oft spezielle Maßnahmen ergriffen werden, wie z.B. die Verwendung von akustischen Absorptionsmaterialien und einer angemessenen Lautstärkeanpassung. Andererseits erfordern Theater- und Konzerthallen eine hohe akustische Klangqualität, insbesondere für Musikaufführungen. Hier müssen die akustischen Eigenschaften des Raumes berücksichtigt werden, um eine gleichmäßige

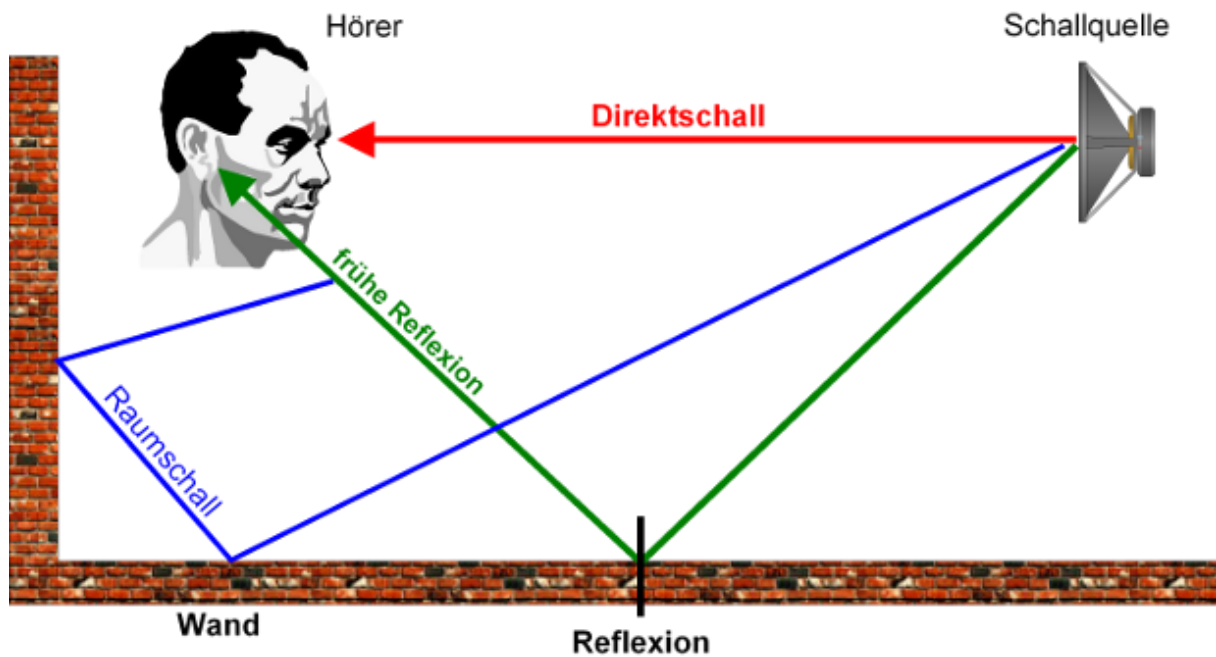
Klangverteilung und eine angemessene Lautstärke zu erreichen. Hierfür müssen die Wand- und Deckenflächen oft besonders bearbeitet werden, um eine ausreichende Reflektion und Schallstreuung zu erreichen. Um diese unterschiedlichen Anforderungen zu erfüllen, ist eine spezialisierte Messtechnik erforderlich. Für Konferenzräume sind Messungen der Verständlichkeit des Gesprochenen und der Lautstärkeanpassung erforderlich, während für Theater- und Konzerthallen Messungen der akustischen Klangqualität und der Lautstärkeverteilung notwendig sind.

Wie Raum die Wiedergabequalität bestimmt

Der Raum, in dem wir Musik hören oder sprechen, hat eine große Auswirkung auf das Klangerlebnis. Schon in der Antike wurde die Bedeutung akustischer Gesetze für Klang und Verständlichkeit erkannt. Die Form von Amphitheatern wurde nicht zufällig gewählt. Im Gegensatz dazu sind unsere Wohnräume in Form von Quadern mit parallelen Wänden nicht ideal und können unerwünschte akustische Artefakte wie Resonanzen und Reflexionen erzeugen, die die Raumakustik und somit das Klangerlebnis maßgeblich beeinflussen.

Schall breitet sich in freiem Raum einzeln betrachtet nahezu geradlinig aus, ähnlich wie Licht. In teilweisen oder vollständig geschlossenen Räumen verhält es sich jedoch anders, da die Raumbegrenzungen den Schall reflektieren. Im Raum erreicht das Ohr des Hörers nicht nur den Direktschall einer Schallquelle, sondern auch zahlreiche Reflexionen von Wänden, Decke und Boden. Wenn Schallwellen auf eine begrenzende Fläche treffen, werden sie teilweise absorbiert und teilweise mit veränderter Phasenlage und Richtung in den Raum zurückgeworfen. Diese Reflexionen tragen zum Raumeindruck bei, der von Raum zu Raum stark variieren kann und nicht in der ursprünglichen Musik- oder Tonaufzeichnung enthalten ist. Die Akustik eines Raums hängt von der Richtung, Stärke und Häufigkeit ab, mit der Reflexionen im Vergleich zum Direktschall beim Hörer eintreffen.

Der Mix aus Direktschall von Lautsprechern und Raumakustik ergibt das tatsächliche Klangerlebnis am Hörplatz. Der resultierende Wiedergabeverlauf weicht aufgrund der Verzerrungen der Raumakustik erheblich vom Wiedergabeverlauf des Lautsprechers ab.

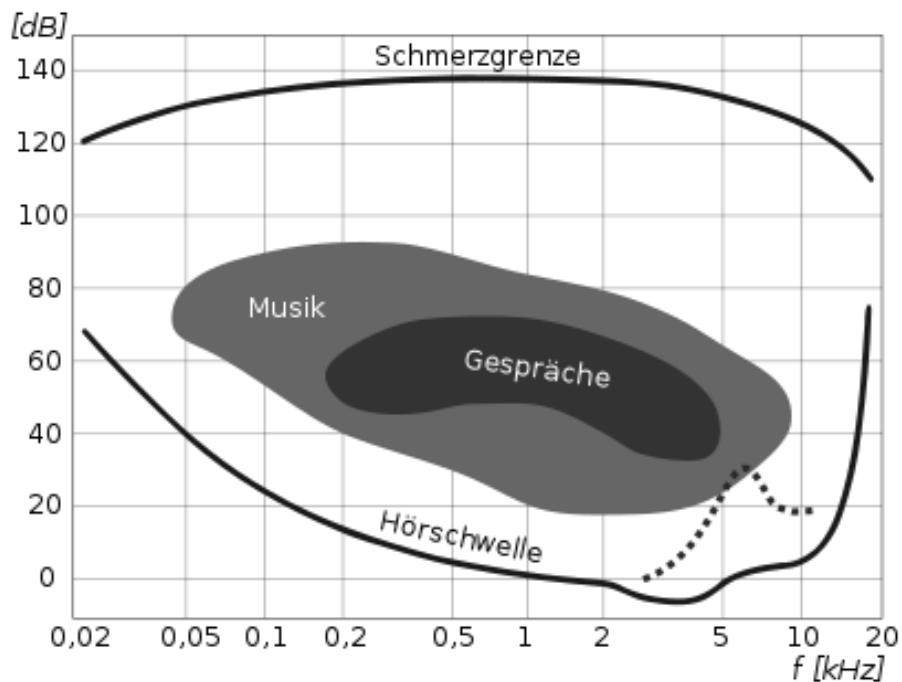


Schall

Schall ist eine Schwingung in Gasen (zum Beispiel Luft), Flüssigkeiten (zum Beispiel Wasser) oder festen Stoffen (zum Beispiel Wände). Er breitet sich wellenförmig aus und kann durch das Schwingen von Luftmolekülen oder die dadurch verursachte Veränderung des Luftdrucks – den Schalldruck – wahrgenommen werden.

Zwei Faktoren sind für das Hörempfinden von besonderer Bedeutung: Lautstärke und Tonhöhe. Die Lautstärke hängt von der Größe des Schalldrucks ab. Je größer die Druckschwankungen sind, desto mehr Energie steckt in der Schallwelle und desto lauter wird sie bei gleichbleibender Tonhöhe wahrgenommen. Die Tonhöhe eines Schalls hängt von der Häufigkeit der Druckschwankungen ab. Die Anzahl der Schwingungen pro Sekunde wird Frequenz genannt und in Hertz (Hz) angegeben. Je höher die Frequenz des Tons, desto höher wird er wahrgenommen. Das menschliche Gehör ist in der Lage, einen sehr breiten Bereich an Schalldruck- und Frequenzen wahrzunehmen. Ein junger, gesunder Mensch kann Töne im Frequenzbereich von 16 Hz bis 20.000 Hz hören. Schall, der höhere Frequenzen hat, wird als Ultraschall bezeichnet, während Schall mit niedrigeren Frequenzen als Infraschall bezeichnet wird. Um die Schallqualität zu messen, kann man unterschiedliche technische Methoden einsetzen, die auf der Messung von Schallparametern wie Schalldruck, Frequenz und Schallfeldstärke basieren.

In der Akustik gibt es einen Unterschied zwischen einem Ton, einem Klang und einem Geräusch. Ein Ton ist ein einzelnes Schallereignis mit einer definierbaren Grundfrequenz mit einer Sinusform. Ein Klang besteht aus einem Grundton und seinen harmonischen Obertönen, die eine vielfache Frequenz des Grundtones haben. Ein Geräusch besteht aus verschiedenen und unabhängigen Frequenzen. Lärm ist in diesem Zusammenhang Schall, der die Stille stört und zu Belästigungen oder gesundheitlichen Beeinträchtigungen führen kann.



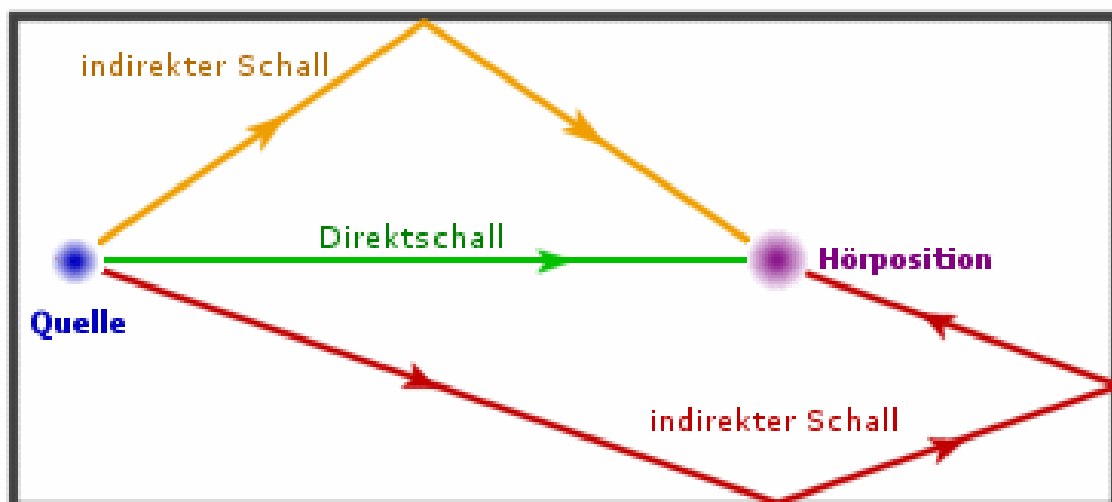
Schall messen

Für die Messung der Schallfeldstärke werden Schallfelderfassungssysteme wie Mikrofone und Schallpegelmessgeräte verwendet, die in der Lage sind, Schallfeldstärken in der Umgebung zu messen und aufzuzeichnen. Eine weitere wichtige Methode ist die Schallanalyse, bei der Schallwellen mithilfe von analogen und digitalen Signalverarbeitungsmethoden untersucht werden. Hierbei werden Schallwellen in die Zeit- und Frequenzbereiche überführt, um eine detailliertere Analyse von Schallfeldstärke und Frequenzeigenschaften durchführen zu können. In bestimmten Anwendungen wie Konferenzräumen, Theater- und Konzerthallen, ist es wichtig, eine gute Verständlichkeit des Gesprochenen sowie eine hohe akustische Klangqualität zu erzielen. Um das zu erreichen, können unterschiedliche Methoden eingesetzt werden, wie beispielsweise die Akustikoptimierung durch Absorber, Diffusoren oder Schallfeldoptimierung durch Reflektoren. Es ist entscheidend, dass die Messungen auf eine präzise und genaue Art und Weise durchgeführt werden, um eine effiziente Lösung für die Schalloptimierung bereitstellen zu können. Dies kann durch die Verwendung von fortgeschrittenen Messtechniken, wie beispielsweise der Messung von Schallfeldstärken mittels Schallfeldsimulationen, erreicht werden. Diese Simulation nutzt numerische Modelle, um die Ausbreitung von Schallwellen in einem Raum vorherzusagen. Die Schallfeldstärken werden berechnet und auf einer Karte visualisiert, um die akustischen Eigenschaften des Raumes zu verstehen. Ein wichtiger Faktor in Schallfeldsimulationen ist die Wahl des richtigen Modells, das den Raum und seine Eigenschaften angemessen beschreibt. Es gibt verschiedene Modelle, die unterschiedliche Eigenschaften berücksichtigen, wie z.B. Schallabsorption, -reflexion und -streuung sowie die geometrische Form des Raumes. Mit Schallfeldsimulationen kann man die Akustik eines Raumes vorab simulieren, bevor man eine tatsächliche Messung durchführt. So kann man bestimmte Änderungen an der akustischen Gestaltung des Raumes vornehmen, bevor man diese tatsächlich umsetzt. Dies kann Zeit und Kosten sparen, da man nicht mehrere

Iterationen durchführen muss, bis man die gewünschte Akustik erreicht hat. Man kann z.B. die Schallfeldstärken in einem Konferenzraum bei einer bestimmten Beschallungsstärke berechnen und vergleichen, wie sie sich bei einer anderen Beschallungsstärke verändern. Diese Informationen können wichtig sein, um die akustische Qualität eines Raumes zu verbessern und eine optimale Klangqualität zu erzielen.

Reflexion

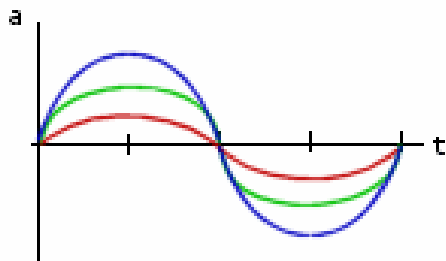
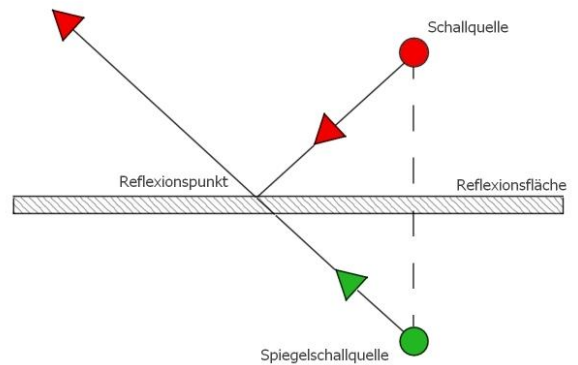
Reflexionen entstehen, wenn sich die Schallwelle im Wohnraum an einer Fläche bricht und zurück zum Hörer geworfen wird. In der Regel treffen die ersten Reflexionen innerhalb der ersten 5-50 ms nach dem Direktschall relativ vereinzelt am Hörplatz ein. Diese ersten Reflexionen haben einen starken Einfluss auf den primären Klangeindruck des Raums durch ihre Lautstärke. Mit zunehmender Zeit fallen die einzelnen Reflexionen immer dichter zusammen und verwischen sich zu einem abklingenden Nachhall. Um sicherzustellen, dass die feinen Ausklingvorgänge nicht im Schmutz- und Rauschteppich untergehen, ist es wichtig, einen hohen Signal-Rauschabstand zu haben. Dadurch wird sichergestellt, dass die subtilen Nuancen des Klangs nicht durch Hintergrundgeräusche oder Störungen überdeckt werden.



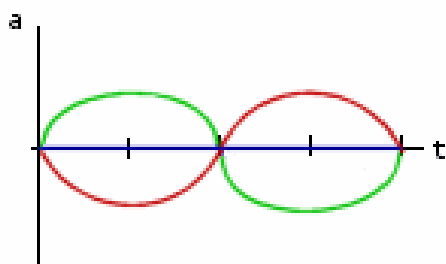
Schallreflexionen im Hörraum

Reflexionen sind Schallwellen, die von Flächen im Raum zurückgeworfen werden. Sie verursachen Verzögerungen gegenüber dem Direktschall und führen zu Phasenverschiebungen zwischen den beiden Schallanteilen. Dies kann zu neuen harmonischen Schwingungen führen, die sich in Auslöschungen oder Pegelüberhöhungen im Amplitudenverlauf äußern und die Qualität der Wiedergabe beeinträchtigen. Um hohe Reflexionsanteile zu vermeiden, kann man die Sitzposition näher zum Lautsprecher verlegen oder stark reflektierende Flächen bedämpfen. Eine homogene Abstrahlcharakteristik des Lautsprechers über das gesamte Frequenzband kann dazu beitragen, die Diffusschallanteile

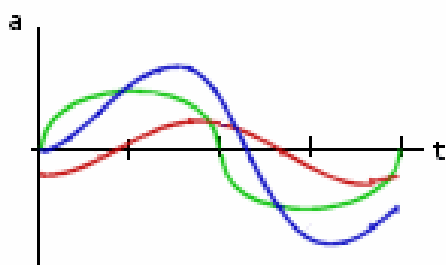
gleichmäßiger zu verteilen. Zusätzlich zu diesen Maßnahmen kann man auch durch den Einsatz von Akustikpanels und Schallabsorbern im Raum die Reflexionen verringern und somit den Klang verbessern. Diese Absorber können entweder an Wänden oder Decken montiert oder als freistehende Elemente platziert werden. Eine ausgewogene Kombination dieser Elemente kann eine optimale akustische Raumakustik schaffen, die den natürlichen Klang des Raums erhält, aber gleichzeitig unnötige Reflexionen vermeidet. Um ein optimales akustisches Ergebnis zu erzielen, sollte man sich von einem Akustikexperten beraten lassen, der die spezifischen Bedürfnisse des Raums berücksichtigen kann.



Phasenverschiebung ~ 0 Grad zwischen
Original und Reflexion
 \Rightarrow Verstärkung



Phasenverschiebung ~ 180 Grad zwischen
Original und Reflexion
 \Rightarrow starke Abschwächung bzw. Auslöschung



Phasenverschiebung beliebiger Winkel
 \Rightarrow Modifikation der Originalschwingung
 \Rightarrow Neues Mischprodukt aus Original und Reflexion

Messtechnik im Vergleich zu Hören

Obwohl oft verglichen, unterscheiden sich die Ansätze und Ziele von Innenohr und Außenohr. Unser Gehör ist stets mit dem Innenohr, dem Außenohr und dem Kopf als Ganzes verbunden und erzeugt eine raumbezogene Wahrnehmung. Diese Wahrnehmung kann nicht durch ein einzelnes Mikrofon erfasst werden, sondern entspricht dem Schall an dem Punkt, an dem sich unser Kopf befindet. Die Hörposition ist daher ein subjektiver und entscheidender "Messpunkt" für die akustische Wahrnehmung. Unterschiedliche Hörpositionen können zu unterschiedlichen Wahrnehmungen führen, was bei der Tonaufnahme und -wiedergabe berücksichtigt werden sollte.

Messtechnik bezieht sich auf die Verwendung von speziellen Geräten und Verfahren zur Messung von Schall- und Akustikparametern, wie Schalldruck, Schallpegel, Frequenz und Dämpfung. Diese Messungen können sowohl in einem Labor als auch in einer realen Umgebung durchgeführt werden. Die Messtechnik bietet eine präzise und objektive Methode zur Messung von Schall- und Akustikparametern, die für wissenschaftliche, industrielle und regulatorische Zwecke verwendet werden kann.

Hören hingegen bezieht sich auf die Wahrnehmung von Schall durch das menschliche Ohr. Es ist ein subjektiver Prozess, bei dem jeder Mensch einen einzigartigen Schall anders wahrnimmt und interpretiert. Das menschliche Ohr ist ein komplexes und empfindliches Instrument, das Schall in elektrische Signale umwandeln kann, die vom Gehirn interpretiert werden.

Obwohl Messtechnik und Hören unterschiedliche Ziele verfolgen, kann das menschliche Hören eine wichtige Rolle bei der Interpretation von Schall- und Akustikmessungen spielen. Es kann eine Hilfe sein, um subjektive Beurteilungen von Schallqualität und Komfort zu erhalten, die für bestimmte Anwendungen wichtig sein können. In diesem Kapitel werden die Messtechnik und das Hören im Detail untersucht und miteinander verglichen, um ein besseres Verständnis für ihre Stärken und Schwächen zu erlangen.

Schallmessungen und Schallemissionen

Schallmessungen und Schallemissionen sind wichtige Aspekte bei der Bewertung und Überwachung der Leistung von Niederfrequenzverstärkern. Eine genaue Messung des Schalls ist erforderlich, um sicherzustellen, dass die Anforderungen an die Schallemissionen eingehalten werden und dass das Gerät sicher und zuverlässig betrieben werden kann.

Eine Schallmessung besteht aus der Messung des Schalldrucks und der Schallpegel. Der Schalldruck ist eine Messgröße für die Schallenergie in einer bestimmten Umgebung. Es wird in Pascal (Pa) gemessen und kann mithilfe eines Schalldruckmikrofons gemessen werden. Der Schallpegel ist eine Maßeinheit für den Schalldruck, die in Dezibel (dB) angegeben wird und die menschliche Hörbarkeit berücksichtigt. Es ist wichtig zu überwachen, wie laut das Gerät ist und ob es geltende Grenzwerte für Schallemissionen einhält. Diese Grenzwerte werden in der Regel durch lokale Gesetzgebung festgelegt und

können für verschiedene Orte und Umgebungen unterschiedlich sein. Um die Schallemissionen zu messen, wird in der Regel ein Schalldruckpegelmessgerät verwendet, das den Schalldruckpegel in der Umgebung des Geräts misst. Die Messung kann an einer oder mehreren Stellen durchgeführt werden, um ein genaues Bild der Schallemissionen zu erhalten. Es ist wichtig, dass das Messgerät kalibriert wird, um sicherzustellen, dass die Messungen genau sind.



Es ist auch wichtig, dass das Gerät in einer repräsentativen Umgebung getestet wird. Dies kann bedeuten, dass das Gerät in einem Schallisierungsraum oder in einer speziellen Testumgebung getestet wird, die die Eigenschaften des Verwendungsortes nachbildet. Die Messungen sollten unter normalen Betriebsbedingungen durchgeführt werden, um ein realistisches Bild der Schallemissionen zu erhalten. In einigen Fällen kann es erforderlich sein, dass Maßnahmen ergriffen werden, um die Schallemissionen zu reduzieren. Dies kann durch Änderungen am Gerätedesign, die Verwendung von Schallabsorptionsmaterialien oder die Optimierung der Positionierung des Geräts erreicht werden. Es ist wichtig, dass diese Maßnahmen sorgfältig überdacht und getestet werden, um sicherzustellen, dass sie den gewünschten Effekt haben, ohne die Leistung oder Zuverlässigkeit des Geräts zu beeinträchtigen.

Schallmessungen und Schallemissionen sind wichtige Überlegungen bei der Entwicklung und Verwendung von Niederfrequenzverstärkern. Es ist wichtig, dass die Messungen sorgfältig und genau durchgeführt werden, um sicherzustellen, dass die Geräte sicher und zuverlässig betrieben werden und den Anforderungen an die Schallemissionen gerecht werden. Durch die Überwachung und Optimierung der Schallemissionen kann sichergestellt werden, dass die Umgebung rund um den Verstärker sicher und angenehm ist.

Schallemissionen können von Lärmquellen wie Maschinen, Verkehr, Musik oder Gesprächen stammen. Die Art und Weise, wie Schallemissionen vom menschlichen Ohr aufgenommen und wahrgenommen werden, hängt von mehreren Faktoren ab, wie Schallwellenform, Frequenz, Dämpfung und Distanz zur Quelle.

Das menschliche Ohr ist ein komplexes Instrument, das Schallwellen empfängt und in elektrische Signale umwandelt, die vom Gehirn interpretiert werden. Die Schallaufnahme beginnt im äußeren Ohr, wo Schallwellen von den Ohrmuscheln auf die Trommelfelle übertragen werden. Diese Schwingungen werden dann über die Gehörknöchelchen an den Innenohrknorpel weitergeleitet, der sie in elektrische Signale umwandelt. Diese Signale werden dann über den Hörnerv an das Gehirn weitergeleitet, wo sie als Schall wahrgenommen werden.

Die Frequenz, Amplitude und Form der Schallwellen haben einen direkten Einfluss auf die Wahrnehmung von Schall. Niederfrequente Schallwellen haben eine längere Wellenlänge

und erzeugen einen tieferen Ton, während hochfrequente Schallwellen eine kürzere Wellenlänge und einen höheren Ton haben. Je höher die Amplitude einer Schallwelle ist, desto lauter wird sie wahrgenommen. Die Form der Schallwelle bestimmt, ob ein Ton als kontinuierlich oder unregelmäßig wahrgenommen wird. Ein weiterer Faktor, der die Wahrnehmung von Schallemissionen beeinflusst, ist die Dämpfung. Dämpfung tritt auf, wenn Schallwellen durch Materialien wie Wände, Türen und Fenster absorbiert werden. Je größer die Dämpfung, desto geringer ist die Lautstärke, die vom menschlichen Ohr wahrgenommen wird. Die Distanz zur Quelle ist ein weiterer wichtiger Faktor, der die Wahrnehmung von Schallemissionen beeinflusst. Je größer die Distanz zur Quelle, desto geringer ist die Amplitude der Schallwellen und desto leiser wird der Ton wahrgenommen.

Schallaufnahme- und Wiedergabegeräte

Schallaufnahmegeräte sind Geräte, die verwendet werden, um Schallwellen in digitale oder analoge Signale umzuwandeln. Diese Geräte können in verschiedenen Formen und Größen vorliegen, von tragbaren Diktiergeräten bis hin zu hochmodernen Studiogeräten. Eine wichtige Komponente eines Schallaufnahmegeräts ist das Mikrofon, das verwendet wird, um die Schallwellen in elektrische Signale zu wandeln. Es gibt verschiedene Typen von Mikrofonen, wie z.B. dynamische Mikrofone, Kondensatormikrofone und MEMS-Mikrofone, die jeweils für bestimmte Anwendungen optimiert sind. Die elektrischen Signale, die von dem Mikrofon erzeugt werden, müssen anschließend verstärkt und gefiltert werden, um Rauschen und Störungen zu minimieren. Dies geschieht in der Regel durch eine Vorverstärker-Schaltung, die auch die Empfindlichkeit und den Klang des Mikrofons anpassen kann. Nach der Vorverstärkung werden die elektrischen Signale dann in digitale Signale umgewandelt, die auf einer Speichermedien gespeichert werden können. Diese Umwandlung geschieht durch einen Analog-Digital-Wandler (ADC), der eine hohe Sampling-Rate und Bit-Tiefe benötigt, um eine hohe Klangqualität zu erzielen. Ein weiterer wichtiger Faktor bei der Schallaufnahme ist die Störgeräuschunterdrückung, die verwendet wird, um Rauschen und andere störende Geräusche zu minimieren. Dies kann durch die Verwendung von Schallabsorptionsmaterialien, Geräuschunterdrückungs-Algorithmen oder durch die Optimierung der Positionierung des Mikrofons erreicht werden.

Schallwiedergabegeräte dagegen sind Geräte, die verwendet werden, um Schallsignale wiederzugeben, die auf einem Speichermedium gespeichert wurden. Eine wichtige Komponente eines Schallwiedergabegeräts ist der Verstärker, der verwendet wird, um das schwache digitale oder analoge Signal auf eine höhere Spannung zu erhöhen, die für den Antrieb des Lautsprechers erforderlich ist. Verstärker gibt es in verschiedenen Ausführungen, wie z.B. Operationsverstärker, Vollverstärker und Klasse-D-Verstärker, die jeweils für bestimmte Anwendungen optimiert sind. Die digitalen Signale müssen vor der Wiedergabe zuerst in ein analoges Signal umgewandelt werden, das dann von dem Verstärker verarbeitet werden kann. Dies geschieht durch einen Digital-Analog-Wandler (DAC), der eine hohe Sampling-Rate und Bit-Tiefe benötigt, um eine hohe Klangqualität zu erzielen. Lautsprecher gibt es in verschiedenen Ausführungen, wie z.B.

Kompaktlautsprecher, Studiolautsprecher und Subwoofer, die jeweils für bestimmte Anwendungen optimiert sind. Die Synchronisation von mehreren Lautsprechern, um ein räumliches Klangerlebnis zu erzeugen, steht hier im Mittelpunkt. Dies kann durch die Verwendung von Lautsprechermanagement-Systemen erreicht werden, die die Tonhöhen- und Phasenverzögerungen automatisch korrigieren. Schallwiedergabegeräte sind also eine Kombination aus Verstärkern, DACs, Lautsprechern und Klangoptimierung erfordern, um hochwertige Schallwiedergabe zu erzielen.

Schall- und Akustikmodellierung bzw. Simulation

Schall- und Akustikmodellierung haben ihre Berechtigung in der Messtechnik von Niederfrequenzverstärker, da sie eine effiziente und präzise Möglichkeit bietet, das akustische Verhalten von Verstärkern und Lautsprechern zu simulieren und zu bewerten.

Mit Schall- und Akustikmodellierung können die akustischen Eigenschaften von Verstärkern und Lautsprechern, einschließlich Frequenzgang, Übertragungscharakteristik und Schallfeldverteilung, in virtuellen Umgebungen simuliert werden. Dies gibt Ingenieuren und Entwicklern die Möglichkeit, das akustische Verhalten ihrer Geräte ohne den Aufwand und die Kosten tatsächlicher Tests zu überprüfen. Außerdem kann Schall- und Akustikmodellierung dazu beitragen, das akustische Verhalten von Räumen und Gebäuden zu bewerten und zu optimieren. Dies kann bei der Entwicklung von Klanginstallationen und akustischen Systemen nützlich sein, um eine optimale akustische Performance zu erzielen. In der Messtechnik von Niederfrequenzverstärker kann Schall- und Akustikmodellierung auch verwendet werden, um Messunsicherheiten zu minimieren und die Genauigkeit von Messungen zu verbessern. Durch die Verwendung von Schall- und Akustikmodellen kann die tatsächliche Leistung von Verstärkern und Lautsprechern genauer bestimmt werden, was bei der Entwicklung und Optimierung von Geräten hilfreich sein kann.

Die Simulation solcher Modellierungen ist ein komplexer Prozess, der viele Faktoren berücksichtigen muss, um ein realistisches Schall- und Akustikmodell zu erzeugen. Es gibt eine Vielzahl von Methoden und Werkzeugen, die bei der Simulation solcher Modellierungen verwendet werden können, darunter numerische Methoden wie die Finite-Elemente-Methode (FEM) und die finite-Volumen-Methode (FVM), sowie analytische Methoden wie die Wellenleiter-Theorie. Die Finite-Elemente-Methode (FEM) ist ein Verfahren, bei dem eine Struktur in kleine, diskrete Elemente unterteilt wird. Diese Elemente werden dann so berechnet, dass sie eine Annäherung an die tatsächlichen Verhältnisse in der Struktur darstellen. Die Ergebnisse aus den Berechnungen der einzelnen Elemente werden dann zusammengeführt, um ein Gesamtbild der Struktur zu erhalten. Die FEM ist ein flexibles und vielseitiges Verfahren, das für eine Vielzahl von Anwendungen verwendet werden kann, einschließlich der Simulation von Schall- und Akustikmodellen.

Die finite-Volumen-Methode (FVM) ist eine weitere numerische Methode, die zur Simulation von Schall- und Akustikmodellierungen verwendet wird. Dieses Verfahren basiert auf der Idee, dass die Struktur in kleine, diskrete Volumenelemente unterteilt wird. Diese Volumenelemente werden dann so berechnet, dass sie eine Annäherung an die

tatsächlichen Verhältnisse in der Struktur darstellen. Die Ergebnisse aus den Berechnungen der einzelnen Volumenelemente werden dann zusammengeführt, um ein Gesamtbild der Struktur zu erhalten. Die FVM ist besonders nützlich bei der Simulation von Schall- und Akustikmodellen, bei denen die räumliche Verteilung von Schall und Vibrationen wichtig ist.

Eine wichtige Voraussetzung für eine erfolgreiche Simulation ist ein genaues Verständnis der akustischen Eigenschaften der Strukturen und Systeme, die modelliert werden sollen. Dies kann durch die Durchführung von Messungen und Analyse der Ergebnisse erreicht werden. Außerdem ist es wichtig, dass die Simulation die richtigen Grenzbedingungen und Materialeigenschaften berücksichtigt, um ein realistisches Ergebnis zu erzielen. Die Simulation solcher Modelierungen kann sehr rechenaufwändig sein, daher ist es wichtig, dass die Simulationen auf leistungsstarken Computern ausgeführt werden. Darüber hinaus ist es notwendig, die Simulationen sorgfältig zu validieren und zu überprüfen, um sicherzustellen, dass das Ergebnis akkurat und zuverlässig ist. Es ist wichtig zu beachten, dass die Simulation solcher Modelierungen nur ein Teil des Gesamtprozesses ist. Eine erfolgreiche Schall- und Akustikmodellierung erfordert auch eine gründliche Analyse der Simulationen und ein tiefes Verständnis der Schall- und Akustikprinzipien, um die erzielten Ergebnisse sinnvoll interpretieren und verwenden zu können.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Simulation solcher Modelierungen ein komplexer und anspruchsvoller Prozess ist, der viel Fachwissen und Erfahrung erfordert. Durch die Verwendung von Schall- und Akustikmodellierung können jedoch wertvolle Einsichten in das akustische Verhalten von Strukturen und Systemen gewonnen werden, die bei der Entwicklung und Optimierung von Geräten hilfreich sein können. In der Audiotechnik kann der menschliche Hörer durch Schall- und Akustikmodellierung oder Simulation auf verschiedene Arten getäuscht werden. Eine Technik, die oft in Filmen, Videospielen und digitalen Medien verwendet wird, ist die Simulation einer virtuellen Umgebung. Hierbei werden spezielle Kopfhörer oder Lautsprecher eingesetzt, um den Hörer dazu zu bringen, dass er sich in einer anderen Umgebung befindet, als er tatsächlich ist. Eine andere Technik ist das 3D-Audio, bei dem Klänge in einer virtuellen Raumumgebung simuliert werden, um ein realistisches akustisches Erlebnis zu erzeugen. Eine weitere Möglichkeit, den Hörer zu täuschen, ist die Simulation von Nachhall und Echos in einer virtuellen Umgebung. Hierbei werden die Klänge in der virtuellen Umgebung so verarbeitet, dass sie realistisch klingen, als würden sie von den Wänden und Oberflächen eines Raumes zurückgeworfen werden.

Optimierung der Musikwiedergabe

Ohne die Beachtung der grundlegenden Voraussetzungen der Raumakustik, kann selbst die beste Gerätekombination zu einem unbefriedigendem Klangergebnis führen. Umfangreiche Messungen und Untersuchungen sind notwendig, um die beste Raumakustik zu erreichen, aber dieser Aufwand und Kosten sind für den durchschnittlichen Musikhörer oft zu hoch. Auch Änderungen im Raum können oft aufgrund von Designvorstellungen oder anderen Gründen nicht durchgeführt werden. Der Autor gibt jedoch an, dass es möglich ist, mit verhältnismäßig wenig Aufwand und Hörerfahrung, die Raumakustik zu verbessern. Der Autor schlägt auch vor, spezielle Musikquellen zu verwenden, die genau definiert und bekannt sind, um die Ortbarkeit von virtuellen Schallquellen zu analysieren.

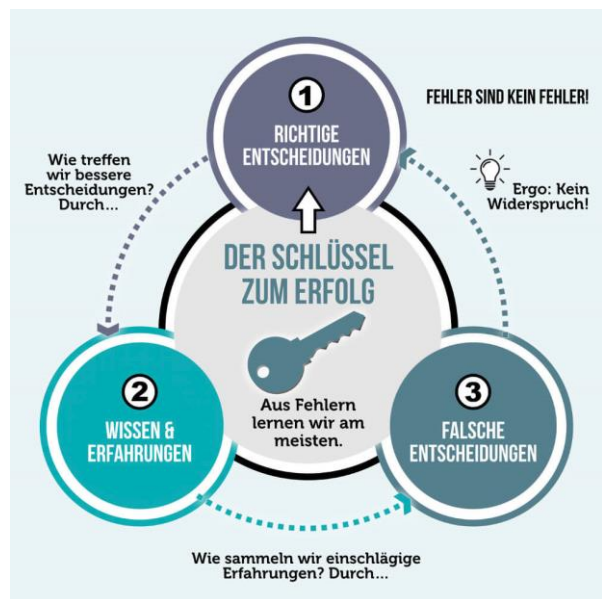
Die CD, die hier beschrieben wird, dient dazu, ein paar grundlegende Voraussetzungen für eine gute akustische Wiedergabequalität im Hörraum zu schaffen. Diese Voraussetzungen beziehen sich auf die richtige Platzierung von Lautsprechern und Racks, die optimale Positionierung von Lautsprechern und Hörplatz und die Analyse akustischer Probleme wie Raumresonanzen, unsymmetrische Dämpfungseigenschaften und unerwünschte Reflexionen. Durch die Verwendung der CD ist es möglich, gehörmäßig bestimmte Parameter zu erkennen, die eine Rolle bei der Verbesserung der akustischen Wiedergabequalität spielen. Zum Beispiel kann man erkennen, an welchen Standorten Lautsprecher besonders gut oder schlecht klingen und wie man die Lautsprecher und den Hörplatz optimal positionieren kann. Es ist jedoch zu beachten, dass die CD keine professionelle Raumanalyse ersetzen kann, die von spezialisierten Unternehmen angeboten wird. Die CD kann lediglich als Hilfsmittel für eine erste Einschätzung dienen und sollte nicht als Ersatz für eine umfassende und professionelle Raumanalyse verwendet werden. Zusätzlich zu den praktischen Anwendungen bietet die CD auch einen Überblick über die Einordnung subjektiver und objektiver Gütekriterien für die Musikwiedergabe entsprechend den Schallfeldstrukturen. Dies hilft dem Benutzer, ein besseres Verständnis für die komplexen Zusammenhänge bei der Wiedergabe von Musik im Raum zu erlangen und ermöglicht eine fundierte Entscheidung bei der Gestaltung des Hörraums.

Schallfeldstruktur	Subjektiver Eindruck	Meßparameter
Zeitlich	Durchsichtigkeit Halligkeit Subjektive Nachhallzeit Echo Flatterecho	Nachhallzeit Hallmaß Hallabstand Anfangsnachhallzeit Reflexionsmaß
Zeitlich-räumlich	Raumeindruck Eingehülltsein	Raumeindrucksmaß

Räumlich	Räumlichkeit Breite der Schallquelle Entfernung der Schallquelle	Maximaler Korrelationsgrad Seitenschallpegel Seitenschallgrad Kurzzeit-Korrelationsfaktor
Dynamisch	Lautstärke bei fortissimo sowie piano Balance Klangfülle	Lautstärkemaß Schallpegelverteilung Balancemaß
Spektral	Klangfarbe Sprachtimbre Sprachmelodie Wärme Brillanz Intonation	Frequenzgang der Nachhallzeit Klangfarbenmaße Bass-Ratio

Es gibt Meßverfahren, mit denen subjektive Eindrücke und messbare Werte miteinander in Beziehung gesetzt werden können. Dies erfordert jedoch viel Erfahrung, Fachwissen und Mathematik. Trotz fortgeschrittener Meßtechniken wird in der Akustik oft noch das Trial-and-Error-Verfahren verwendet. Das Trial-and-Error-Verfahren in der Akustik bezieht sich auf den Prozess, bei dem man durch Versuche und Fehler die beste Lösung für ein akustisches Problem sucht. Dieser Prozess beinhaltet in der Regel die mehrfache Durchführung von Experimenten oder Tests, um die Auswirkungen von verschiedenen Faktoren auf die akustische Qualität des Raumes oder der Musikwiedergabe zu beurteilen. Anschließend werden die Ergebnisse analysiert und die gewonnenen Erkenntnisse werden verwendet, um weitere Versuche zu planen und durchzuführen, bis die gewünschten Ergebnisse erreicht werden. Dieser Ansatz wird oft verwendet, wenn es keine bekannten Lösungen für das akustische Problem gibt oder wenn die verfügbaren Meß- und Analysemethoden nicht ausreichend sind, um die Situation genau zu erfassen.

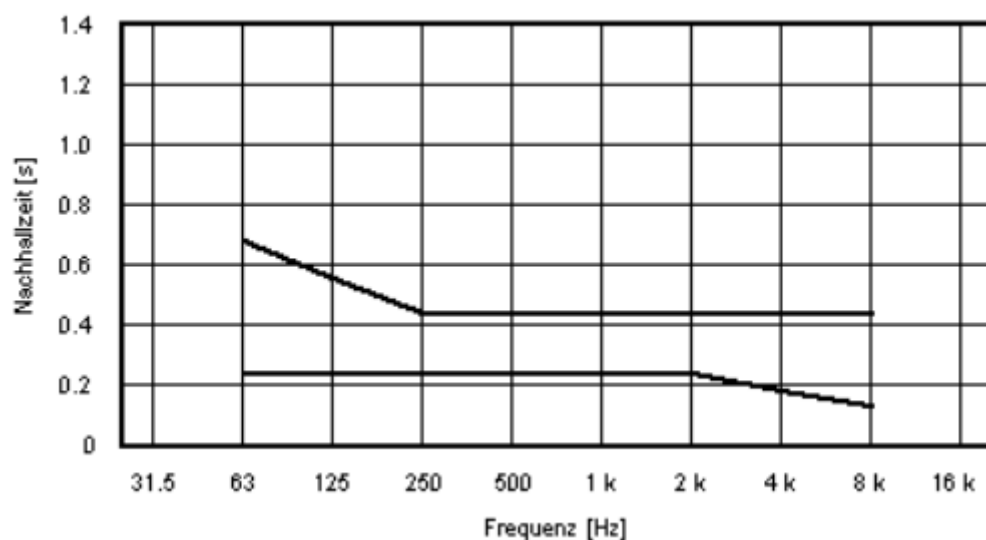
Um objektive Gütekriterien zu ermitteln, werden verschiedene Meßverfahren eingesetzt, wie z.B. Impulsschalltest zur Ermittlung der Raumimpulsantwort, Anregung des Raumes mit oktavbreitem ungerichtetem Rauschen und Schallpegelmessung.



Die Ergebnisse von Messungen in der Akustik werden oftmals mithilfe von mathematischen Verfahren miteinander verknüpft werden und nach Erfahrungswerten ausgewertet. Es ist hierbei wichtig zu betonen, dass die optimalen Meßwerte stark von der Raumgröße abhängen und daher in diesem Zusammenhang nicht aufgelistet werden können. In der Bewertung von Messergebnissen gibt es unterschiedliche Meinungen und Ansätze. Mit der Anleitung und der dazugehörigen CD soll es jedoch möglich sein, die wichtigsten Probleme in Bezug auf die akustische Qualität zu erkennen und entsprechende Maßnahmen zu ergreifen.

Schallausbreitung im Hörraum

Wenn eine Schallquelle in einem geschlossenen Raum ist, dann erreicht das Ohr einer Person, die sich auch in diesem Raum befindet, sowohl den direkten Schall als auch die Schallwellen, die von den Wänden reflektiert werden (Nachhall). Je nach dem Material, aus dem die Wände bestehen, wird ein bestimmter Teil der reflektierten Signale frequenzabhängig absorbiert (gedämpft). Eine Möglichkeit, die Dämpfung eines Raumes zu messen, ist die frequenzabhängige Nachhallzeit. Je nach den Anforderungen an den Raum und der Größe des Raumes unterscheiden sich die erforderlichen Nachhallzeiten. Das Diagramm zeigt das Toleranzfeld, in dem sich die optimalen Werte der Nachhallzeit für einen typischen Wohnraum mittlerer Größe befinden sollten, wenn man eine HiFi-Wiedergabe anstrebt.



Ein Raum wird als "trocken" bezeichnet, wenn der Klang schnell verklingt, während ein halliger Klang einen Raum mit längeren Nachhallzeiten kennzeichnet. Ein merklicher Zeitunterschied entsteht durch die unterschiedlichen Laufstrecken des direkten und reflektierten Schalls in großen Räumen. Wenn die Zeitdifferenz mehr als 50 ms beträgt, hört man ein Echo. Flatterechos entstehen besonders zwischen parallelen Wänden mit kurzen Abständen. In halligen Räumen kann die Ortbarkeit und Verständlichkeit der übertragenen Signale beeinträchtigt werden. Um den Einfluß des Nachhalls zu verringern, kann man näher an die Schallquelle herangehen, damit der Anteil des direkten Schalls überwiegt.

Zum besseren Verständnis nehmen wir einmal die Klangqualität in einen Konzertraum. Ein "trockener" Raum, also ein Raum mit kurzen Nachhallzeiten, kann für eine klare und präzise Wiedergabe von Musik sorgen, da der Klang schnell verklingt und die Schallwellen nicht überlappen. Dies kann besonders für kammermusikalische Aufführungen oder solistische Auftritte vorteilhaft sein. Im Gegensatz dazu kann ein halliger Raum, also ein Raum mit längeren Nachhallzeiten, für einen volleren und kraftvolleren Klang sorgen, besonders für chorische und orchestralen Musik. Allerdings kann ein zu halliger Raum die Ortbarkeit und Verständlichkeit der Musik beeinträchtigen und es kann schnell zu einem Echo kommen. Daher ist es wichtig, die Nachhallzeiten in Konzerträumen sorgfältig zu optimieren, um die bestmögliche Klangqualität zu erzielen.

Resonanz eines Raumes

Eine wichtige Eigenschaft eines Raumes sind seine Eigenresonanzen, die sich ausstehenden Wellen bestimmter Frequenzen zwischen parallelen Wänden ergeben. Die Wellenlängen dieser Resonanzen hängen von den Abmessungen des Raumes ab. Stehende Wellen können nicht vermieden werden, aber man kann durch eine geschickte Wahl der Raumabmessungen die Resonanzen möglichst breitbandig verteilen. Eine gleichmäßige Verteilung der Raumresonanzen entsteht bei einem Verhältnis der Raumabmessungen von 1:1.3:1.6. Glücklicherweise erfüllen die meisten Wohnräume annähernd diese Bedingung. Stehende Wellen führen auch zur Ausbildung von Schalldruckmaxima und -minima. Überall dort, wo die Geschwindigkeit der Luftteilchen in der stehenden Welle gleich Null ist (z.B. direkt an der Wand), bildet sich ein Schalldruckmaximum aus, während sich überall dort, wo die Geschwindigkeit der Luftteilchen ihr Maximum erreicht (z.B. in der Raummitte), ein Schalldruckminimum bildet. Das bedeutet, dass es ungünstig ist, Geräte wie ein Geräterack oder ein Plattenspieler direkt an der Wand aufzustellen, da sie durch das breitbandige Schalldruckmaximum leicht zum Schwingen angeregt werden könnten.

Der direkte Schall geht in Hall über, wenn man sich von der Schallquelle entfernt und den Hallradius überschreitet. Der Hallradius ist die Entfernung von der Schallquelle, bei der die Schallenergiegedichte des Direktfeldes gleich der des diffusen Hallfeldes ist. Der Wert des Hallradius hängt von der Dämpfung des Raumes ab und erhöht sich mit zunehmender Dämpfung. Um einen Hallradius von 1 Meter in einem normalen Wohnraum von 60m³ zu erreichen, darf die Nachhallzeit nicht länger als 0,2 ms sein. Je größer der Abstand zur Schallquelle ist, desto mehr Dämpfung ist im Raum erforderlich, um die Ortbarkeit und Stabilität des Klangbildes zu gewährleisten. Es ist auch zu beachten, dass der Schalldruckpegel in normal gedämpften Räumen in der Nähe von Wänden um 3 dB, in der Nähe von Ecken um 9 dB höher ist als im Mittelpunkt des Raumes. Diese Eigenschaft kann genutzt werden, um fehlendes Tieffrequenzbereiche auszugleichen.

Lautsprecher können zudem unter Umständen anfangen zu dröhnen, wenn sie innerhalb eines Schalldruckmaximums stehen. Um diese Probleme zu vermeiden, sollten die Positionen von Lautsprechern, Hörplatz und Geräterack überprüft werden. Raumresonanzen können sowohl in horizontaler als auch in vertikaler Richtung auftreten, daher ist auch der

vertikale Standort der Komponenten innerhalb eines Geräteracks von Bedeutung. Um störende tiefe Frequenzen zu reduzieren, kann man Helmholtzresonatoren einsetzen.

Überprüfen Ihrer Hifi-Anlage

Es ist unerlässlich, dass die Hi-Fi-Anlage in einwandfreiem Zustand ist, bevor man mit der Benutzung dieser CD beginnt. Selbst wenn man vorhat, den Klang erst durch die Verwendung dieser CD zu verbessern, sind einige Vorbereitungen notwendig. Auch der Zustand des Hörers (inklusive der Ohren) sollte gut sein. Es ist auch wichtig, bestimmte Umgebungsbedingungen zu berücksichtigen, um das Hörvermögen nicht zu beeinträchtigen: alle elektronischen Komponenten, die beteiligt sind, sollten einen Tag lang vorher aufgewärmt werden, nicht eingespielte Komponenten wie Lautsprecher sollten mindestens sechs Wochen in Betrieb gewesen sein, die Raumtemperatur sollte angenehm sein ($20\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$) zudem sollte es kein Tag mit starker Luftdruckschwankung (Wetterumschwung) sein.

Um die Lautsprecherkabel an den Verstärker anzuschließen, sollten Sie die folgenden Dinge beachten:

- Überprüfen Sie, ob die Stecker an den Lautsprechern und dem Verstärker die richtige Polarität haben. Rot bedeutet normalerweise Plus und Schwarz bedeutet Minus.
- Überprüfen Sie, ob die Stecker festsitzen.
- Stellen Sie sicher, dass die Kanäle richtig angeschlossen sind und nicht vertauscht wurden.
- Überprüfen Sie, ob irgendwo ein Kurzschluss durch einzelne Adern oder ähnliches verursacht werden kann.
- Stellen Sie sicher, dass die Steckergehäuse bei Berührung miteinander kurzschlussicher sind.
- Lassen Sie die Kabel nicht irgendwie herumliegen, wo sie beschädigt werden können.

Um sicherzustellen, dass die **Lautsprecher** stabil und sicher stehen, sollten Sie die folgenden Dinge beachten:

- Stellen Sie sicher, dass die Lautsprecher ruhig und fest stehen, indem Sie eventuell vorhandene Untersetzer (Spikes, etc.) verwenden.
- Überprüfen Sie, ob alle Schrauben fest angezogen sind.

Um sicherzustellen, dass die **Verbindungen** zwischen den Geräten ordnungsgemäß funktionieren, sollten Sie die folgenden Dinge beachten:

- Entfernen Sie alle Verbindungen zwischen den Geräten und verkabeln Sie sie erneut, um eventuelle Oxidschichten auf den Steckern zu entfernen.
- Überprüfen Sie, ob die Stecker festsitzen, insbesondere bei CINCH-Steckern, die häufig locker sitzen.

Um sicherzustellen, dass die Netzstecker richtig **polarisiert** sind, sollten Sie die folgenden Dinge beachten:

- Überprüfen Sie die Polarität aller Netzstecker, um sicherzustellen, dass es keine Potentialausgleichsströme zwischen den Geräten gibt, die den Klang beeinträchtigen können.

Um die **Netzversorgung** der Geräte zu verbessern, empfehlen wir folgendes:

- Trennen Sie die analogen und digitalen Geräte strommäßig, indem Sie jeder Gruppe eine separate Steckdose oder Verteilung zuweisen.

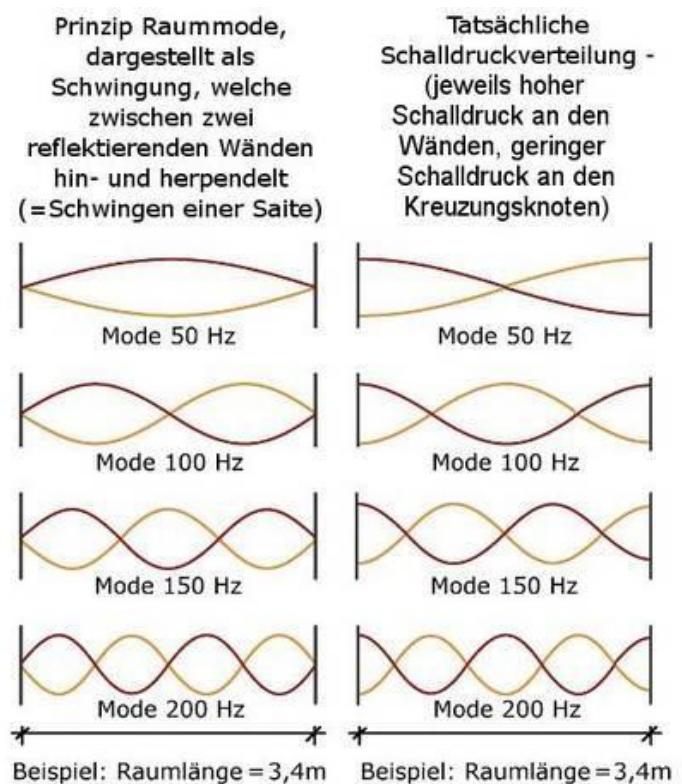
Um sicherzustellen, dass die Geräte stabil und sicher stehen, sollten Sie die folgenden Dinge beachten:

- Überprüfen Sie den festen Stand aller Geräte, insbesondere der, die auf Spikes stehen. Überprüfen Sie, ob die Spikes richtig eingestellt sind, um ein wackelfreies Stehen zu gewährleisten.
- Stellen Sie sicher, dass das Rack selbst stabil und wackelfrei steht.
- Einige Geräte können an Klang gewinnen, wenn ihre Gehäuse durch Beschwerung beruhigt werden. Beachten Sie jedoch, dass dies nicht für alle Geräte gilt und es auf die individuellen Anforderungen ankommt.
- Vermeiden Sie es, dass das Rack oder Regale in Ecken oder an Wänden aufzustellen, da dies die Raumresonanzen und Nachhallzeiten beeinflussen kann.
- Vermeiden Sie es, dass das Rack oder Regale in der Nähe von Fenstern oder anderen Lichtquellen aufzustellen, da dies die Klangqualität beeinflussen kann.

Raummode

Die Akustik eines Raumes beeinflusst die Qualität des Klangs von Homerecording-Studios, Heimkinos, HiFi-Systemen und Regieräumen. Ohne richtige Akustikmaßnahmen kann selbst der beste Klang von professionellen Studio-Monitoren oder HiFi-Lautsprechern beeinträchtigt werden. Besonders im Bassbereich klingen Räume ohne Akustikmodule oft unausgewogen und unsauber. Tiefe Frequenzen breiten sich in einem Raum kugelförmig aus, während hohe Frequenzen gerichtet abgestrahlt werden. Wenn die Schallwellen der tiefen Frequenzen auf die Wände oder Decken eines Raums treffen, werden sie reflektiert. Wenn die reflektierten Wellen aufeinandertreffen, überlagern sie sich und es entstehen Interferenzen, die zu Auslöschungen oder Verstärkungen bestimmter Frequenzen führen. Diese Interferenzen werden als Raummoden bezeichnet und treten besonders häufig in kleinen, quadratischen Räumen mit parallelen Wänden auf. Um diese Probleme zu lösen, sind raumakustische Maßnahmen erforderlich.

Eine Raummode besteht aus Schwingungsknoten und Schwingungsbäuchen also einer starken Überlagerung bzw. Minderung der Frequenzen. Diese sorgen an vielen Stellen für Auslöschung oder Überbetonung von einzelnen Frequenzbändern an verschiedenen festen Positionen im Raum. Du hörst also bestimmte Frequenzen gar nicht oder mit bis zu doppelter Lautstärke. Insbesondere das unangenehme Dröhnen einer Raummode an deinem Abhörplatz kann das Hören und Bearbeiten von Ton deutlich erschweren und dich einiges an Nerven kosten. Doch nicht nur der Frequenzgang leidet unter Raummoden. Da vor allem tiefe Schallwellen zwischen parallelen Wänden hin- und herreflektiert werden, verweilen die betroffenen Frequenzen länger im Raum. Das sorgt zusätzlich für einen Mangel an Definition im Bassbereich, was zu unklaren Tiefen führt.



Auswirkung des Raumes

Um die akustischen Eigenschaften eines Raumes zu beurteilen, kann man betrachten, wo und wie Schall im Raum reflektiert wird. Allerdings ist dies nur für höhere Frequenzen

möglich, da hier die Wellenlängen klein genug sind. Um den Klang eines Raumes in den tiefen Frequenzen zu verstehen, muss man seine Dimensionen betrachten. Es ist auch wichtig, dass der Raum und die Lautsprecheraufstellung symmetrisch sind, um akustische Vorteile zu erzielen. Tonstudios haben oft keine einfachen Rechteckräume, da zwischen parallelen Wänden Raummoden entstehen können, die den Klang negativ beeinflussen. Wenn eine Hälfte der Wellenlänge oder ein Vielfaches davon genau zwischen zwei Wänden passt, wird diese Frequenz weniger gedämpft und behält ihre Energie länger, was zu einem stärkeren Nachhall führt. Dieser Effekt ist auch in Badezimmern bekannt, wo manche Tonhöhen stark resonieren und lange nachklingen können. Im Bassbereich fällt oft ein auffälliger Bereich um 70-80 Hz auf, da Boden und Decke oft parallel zueinander liegen. Die halbe Wellenlänge der Frequenz 75 Hz passt genau zwischen diese beiden Flächen, was zu stehenden Wellen führen kann. Auch das mehrfache dieser Frequenz wird zum Problem. Diese lassen sich nicht vollständig vermeiden und können nur mit aufwändigen akustischen Maßnahmen bekämpft werden. Allerdings sind Moden nicht grundsätzlich schlecht und können akustisch ausgewogen sein, solange sie im Frequenzband ausreichend verteilt sind und nicht zu stark hervorstechen. In größeren Räumen beginnen die Moden in der Regel tiefer und liegen dichter beieinander. Rechteckige Räume können besonders ausgewogene Moden haben, wenn die Dimensionen in möglichst unterschiedlichen Verhältnissen vorliegen, um das Auftreten von Modenhäufungen in einem schmalen Frequenzbereich zu vermeiden.

Raummode verhindern

Es gibt verschiedene Möglichkeiten, um Raummoden effektiv zu bekämpfen. Einige davon sind:

1. **Absorptionsmaterialien:** Diese Materialien absorbieren Schallwellen und reduzieren dadurch die Reflektionen im Raum. Man kann sie an Wänden, Decken oder auch Boden anbringen. Beispiele für Absorptionsmaterialien sind Schaumstoff, Vliesstoffe, Textilien oder auch spezielle Akustikplatten.
2. **Diffusionsmaterialien nutzen:** Diese Materialien brechen Schallwellen auf und verhindern dadurch, dass sie sich an bestimmten Stellen im Raum konzentrieren und überbetonen. Beispiele für Diffusionsmaterialien sind Holz- oder Kunststoff-Diffusoren, die an Wänden oder Decken montiert werden können.
3. **Bass Traps:** Dies sind spezielle Absorptionsmaterialien, die für tiefe Frequenzen ausgelegt sind und besonders effektiv gegen Raummoden im Bassbereich sind. Sie können in Ecken oder an den Decken-Wand-Übergängen platziert werden, um die Schallwellen zu absorbieren und den Bassbereich zu verbessern.
4. **Raumform:** Wenn möglich, sollte man versuchen die Raumform so anzupassen, dass die parallelen Wände vermieden werden. Eine asymmetrische Raumform kann dazu beitragen, dass Schallwellen nicht so stark reflektiert werden und somit die Raummoden reduziert werden. Sie müssen jetzt nicht ihren ganzen Raum umbauen

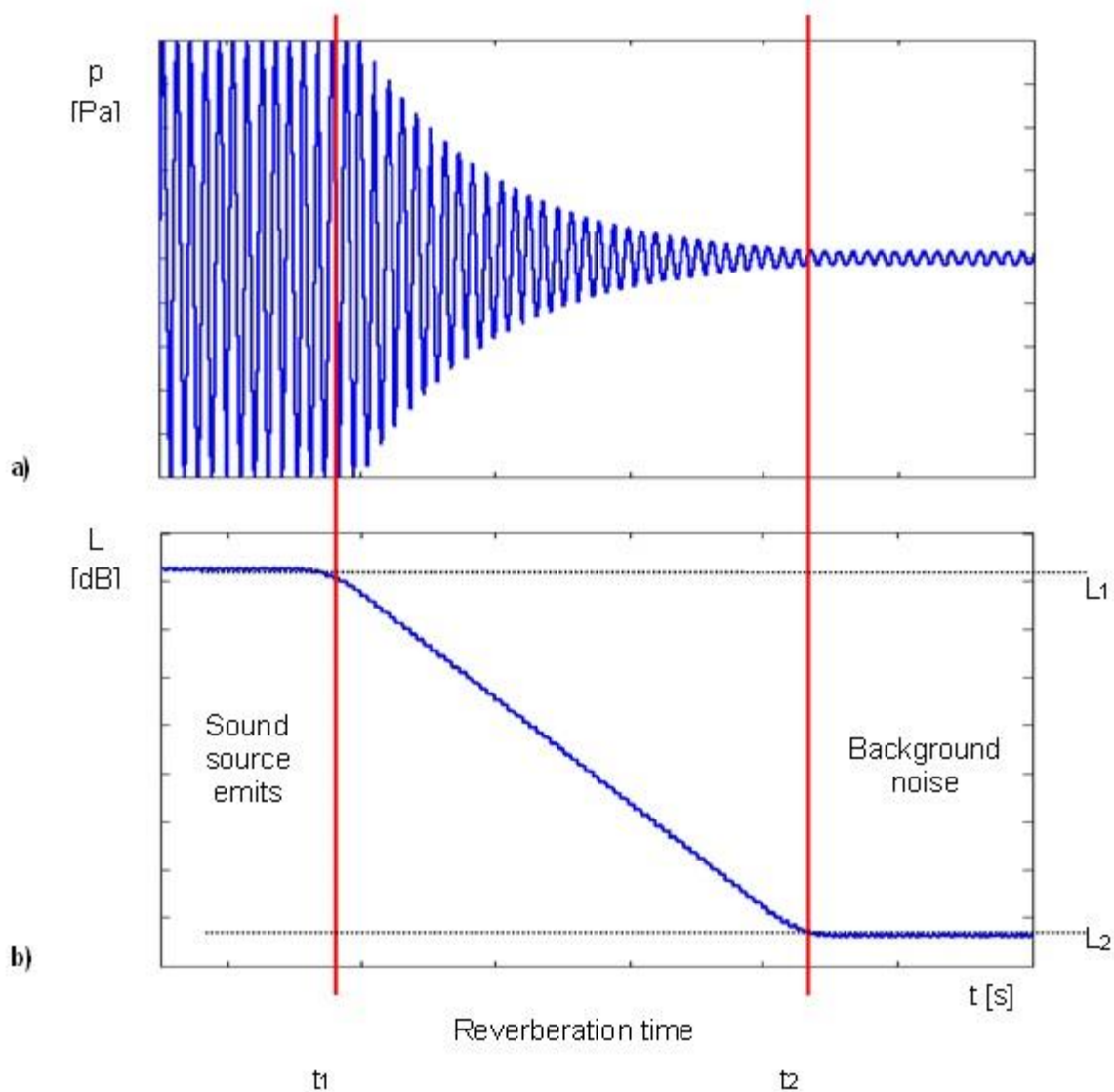
lassen, um Ihre Akustik zu verbessern, es ist jedoch sinnvoll sich im vorhinein Gedanken darüber zu machen, wo man sein Studio bzw. Heimkino aufbaut.

5. Position des Abhörplatzes: Versuchen Sie, den Abhörplatz so zu positionieren, dass er nicht in einer "schlechten" Zone des Raumes liegt. Dies kann dazu beitragen, dass die Raummoden weniger störend wirken.

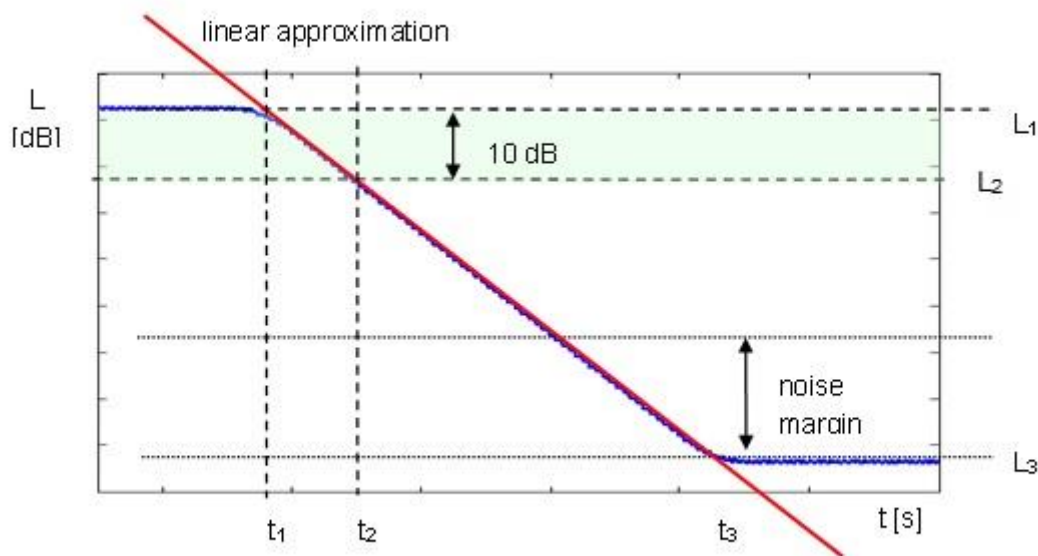
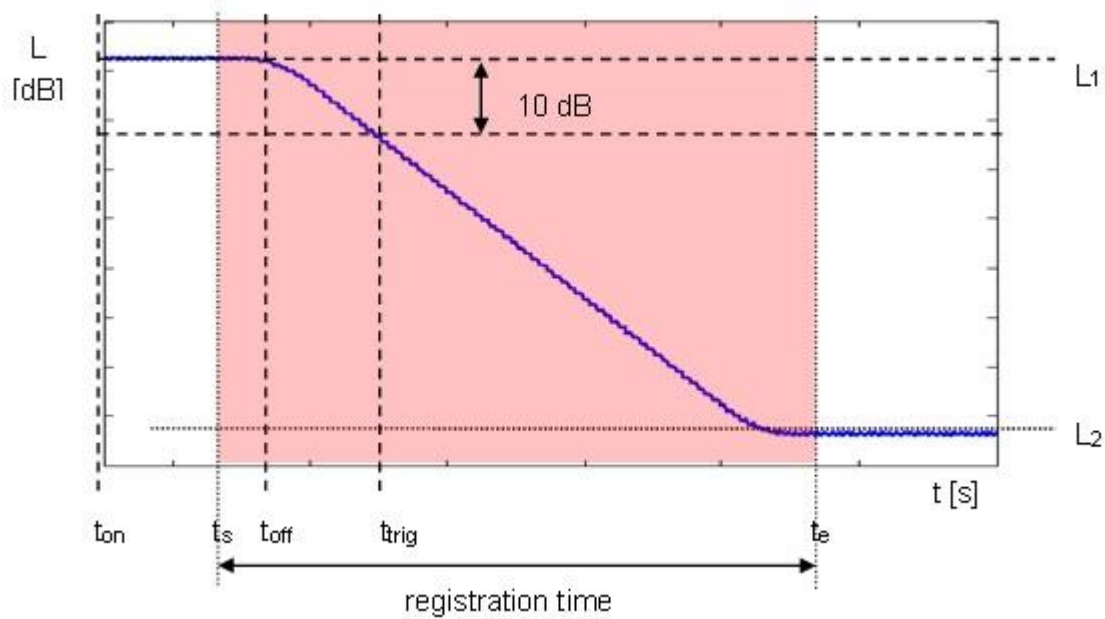
Es ist zu beachten, dass es keine universellen Lösungen gegen Raummoden gibt, da es immer auf die spezifischen Umstände im Raum ankommt. Eine Kombination aus verschiedenen Methoden und Anpassungen kann am effektivsten sein. Es ist auch empfehlenswert, professionelle Hilfe von Akustik-Experten in Anspruch zu nehmen, um die besten Lösungen für Ihren Raum zu finden. Melden sich gerne bei uns für weitere Informationen und individuelle Beratung. Sie finden unser Impressum mit jeglichen Kontaktmöglichkeiten unter: <https://www.nflabor.de/impressum-burosch-nf-labor.html> .

RT60

Die Nachhallzeit, auch bekannt als RT60, ist ein wichtiger Faktor in der Akustik eines Raums. Es beschreibt die Dauer, in der der Schalldruck in einem Raum auf einen Bruchteil seines Ausgangswerts absinkt. Dieser Wert variiert je nach Anwendungsbereich, wobei sich kürzere Nachhallzeiten in Räumen wie Hörräumen und Heimkinos als günstiger erweisen. Ein Wert von unter 0,5 Sekunden ist hier anzustreben. In Bereichen wie Einzelbüros und Besprechungsräumen wird eine Nachhallzeit von ungefähr 0,5 Sekunden empfohlen. In öffentlichen Bereichen wie Empfangsbereiche und Gaststätten sollte die Nachhallzeit sogar noch kürzer sein. Ein langer Nachhall kann sowohl die Klangqualität als auch die Sprachverständlichkeit beeinträchtigen. Um dies zu vermeiden, können Schallabsorber verwendet werden, um die Akustik in einem Raum zu optimieren. Es gibt aber nicht nur die eine Nachhallzeit und somit verschiedene Varianten der RT60. Eine häufig verwendete Variante ist die T20 oder T30, die die Zeit misst, bis der Schalldruck im Raum um 20dB oder 30dB abgenommen hat und dann auf 60dB Abnahme extrapoliert wird. Diese Methode ist sinnvoller als die Messung von 60dB Abnahme, da hier das Grundrauschen die Messung beeinflussen würde.



Eine weitere interessante Variante ist die Early Decay Time (EDT), die die RT60 aufgrund der Schalldruckabnahme um die ersten 10dB extrapoliert. Die Early Decay Time (EDT) ist ein raumakustischer Parameter, der ähnlich wie die RT60 (Reverberation Time) die Nachhaltigkeit des Schalls im Raum beschreibt. Während die RT60 die Zeit misst, bis der Schalldruck um 60 dB abgenommen hat, misst die EDT die Schalldruckabnahme um die ersten 10 dB. Diese Methode hat den Vorteil, dass sie frühe Reflexionen im Raum besser berücksichtigt und somit ein genaueres Bild der Akustik liefert.



Ein wichtiger Anwendungsbereich der EDT ist die Beurteilung der Sprachverständlichkeit in Räumen. Durch die Berücksichtigung der frühen Reflexionen wird die Klangqualität im Raum realistischer eingeschätzt. Ein hoher EDT-Wert deutet darauf hin, dass die frühen Reflexionen eine wichtige Rolle im Klangeindruck im Raum spielen und damit die Sprachverständlichkeit beeinflussen. Im Gegensatz dazu kann die RT60 in kleinen Räumen ein zu positives Bild liefern, da sie auf der Annahme eines gleichmäßig verteilten Diffusschallfeldes basiert. In kleinen Räumen, in denen die frühen Reflexionen eine starke Rolle spielen, ist diese Annahme jedoch nicht gültig. Daher ist die EDT in kleinen Räumen ein besserer Indikator für die Akustik als die RT60.

Allerdings ist es wichtig zu beachten, dass die EDT nur ein Aspekt der Akustik darstellt und dass weitere raumakustische Parameter wie die Energy Time Curve (ETC) oder die Messung der frühen Reflexionen zusätzlich bestimmt werden sollten, um eine realistische Einschätzung der Akustik zu erhalten.

Es ist jedoch wichtig zu beachten, dass die RT60 allein nicht immer eine ausreichende Aussage über die Akustikqualität eines Raums trifft. In kleinen Räumen, in denen die frühen Reflexionen stark betont sind, kann die RT60 ein zu positives Bild liefern. In solchen Fällen sind ergänzende Messungen wie die Energy Time Curve (ETC) oder die Messung der frühen Reflexionen erforderlich, um eine realistischere Einschätzung der Akustik zu erhalten.

Berechnung

Die Berechnung von Raummoden erfolgt in der Regel mithilfe der Methode der Finiten Elemente (FEM). Diese Methode basiert auf der Annahme, dass ein Raum in viele kleine Teilräume unterteilt werden kann, die einzeln analysiert werden können. Jeder Teilraum wird als ein eigenständiges Element betrachtet, dessen Schwingungen sich auf die Schwingungen der angrenzenden Elemente auswirken. In der Akustik wird die FEM insbesondere verwendet, um die Schwingungsformen von Räumen zu berechnen und dadurch die akustischen Eigenschaften des Raumes, wie die Schallabsorption und die Nachhallzeit, zu bestimmen. Dies ist von großer Bedeutung bei der Planung von Räumen, die für eine gute akustische Qualität optimiert werden sollen, wie zum Beispiel Konferenzräume, Theater und Konzertsäle. Die FEM basiert auf der Idee, das zu untersuchende System in viele kleine Elemente aufzuteilen. Diese Elemente werden durch eine Gleichung beschrieben, die die Schwingungen der Elemente beschreibt. Diese Gleichungen werden dann miteinander verbunden, um das gesamte System zu beschreiben. Ein wichtiger Bestandteil der FEM ist die Wahl der Elemente. Es gibt verschiedene Arten von Elementen, die verwendet werden können, wie zum Beispiel die Finite Elemente Methode der Einheitlichen Deformation (FEMUD) und die Finite Elemente Methode der Potentialenergie (FEMP). Jede Methode hat ihre eigenen Vor- und Nachteile und es kommt darauf an, welche Art von Problem gelöst werden soll, welche Methode am besten geeignet ist. Die Finiten Elemente Methode bietet eine sehr genaue Lösung und ermöglicht es, selbst komplexe Probleme in der Akustik zu lösen. Ein Nachteil der FEM ist jedoch, dass sie sehr rechenaufwendig ist und daher in der Regel mit speziellen Computerprogrammen durchgeführt werden muss. Die Finiten Elemente Methode hat sich in den letzten Jahren als eine sehr nützliche Methode in der Berechnung von Raummoden etabliert. Es gibt viele verschiedene Computerprogramme, die die FEM unterstützen, und es gibt auch viele Wissenschaftler und Ingenieure, die sich mit der FEM beschäftigen und sie weiter entwickeln. Mit diesen Daten wird ein Modell des Raumes erstellt, das die Schwingungen des Raumes simulieren kann.

Nach der Erstellung des Modells werden die Schwingungen des Raumes unter verschiedenen Bedingungen simuliert, um die verschiedenen Raummoden zu bestimmen.

Hierbei werden sowohl die natürlichen Schwingungen des Raumes als auch die Schwingungen, die durch Schallquellen wie Musik oder Stimmen ausgelöst werden, berücksichtigt. Es gibt verschiedene Arten von Raummoden, die unterschiedlich beeinflussen können. Die am häufigsten vorkommenden sind die sogenannten Längsmode, die durch die Längsseiten des Raumes verursacht werden, und die Quermode, die durch die Querseiten des Raumes verursacht werden. Längsmode haben in der Regel eine höhere Schwingungsfrequenz als Quermode und beeinflussen daher in der Regel die höheren Frequenzen des Schalls. Quermode haben hingegen in der Regel eine niedrigere Schwingungsfrequenz und beeinflussen daher in der Regel die tieferen Frequenzen des Schalls.

Modenknoten

Es gibt auch eine weitere Art von Raummode, die als Modenknoten bezeichnet wird. Modenknoten, auch bekannt als Schwingungsknoten, sind Orte innerhalb eines Schwingungssystems, an denen die Schwingungen am geringsten sind. Diese Knotenpunkte können in verschiedenen Arten von Schwingungssystemen auftreten, wie zum Beispiel in Strings von Musikinstrumenten, Schallwellen in Räumen und in der Schwingung von Brücken und Gebäuden.

In Bezug auf Räume und Schallwellen werden Modenknoten oft in Bezug auf die Berechnung von Raummoden verwendet. Raummoden, auch bekannt als Schwingungsmode oder Akustikmode, sind Schwingungsmuster, die in einem geschlossenen Raum auftreten können. Diese Muster werden durch die geometrischen Eigenschaften des Raumes und die Art und Weise, wie Schallwellen sich innerhalb des Raumes verhalten, bestimmt. Modenknoten sind besonders wichtig, wenn es darum geht, Schallwellen in einem Raum zu kontrollieren und zu steuern. Sie können verwendet werden, um Schallabsorber oder -lenkungseinrichtungen an bestimmten Stellen im Raum zu platzieren, um die Schwingungen zu reduzieren oder zu steuern. Ein Beispiel dafür wäre die Platzierung von Schallabsorbern in den Modenknoten eines Konferenzraums, um die Schallreflexionen zu reduzieren und die Sprachverständlichkeit zu verbessern.

Eine weitere Anwendung von Modenknoten ist die Identifizierung von Resonanzen in Gebäuden und Strukturen. Durch die Analyse der Schwingungsmuster in einem Gebäude kann man potenzielle Probleme erkennen, bevor diese zu Schäden führen. Dies ist besonders wichtig, wenn es um die Sicherheit von Brücken und Hochhäusern geht. Modenknoten können in verschiedene Kategorien unterteilt werden, wie zum Beispiel die axialen Moden, die tangentialen Moden und die radialen Moden. Axiale Moden entstehen, wenn die Schwingungen des Schalls entlang der Längsachse des Raumes verlaufen, tangentiale Moden entstehen, wenn die Schwingungen des Schalls entlang der tangentialen Achse des Raumes verlaufen und radiale Moden entstehen, wenn die Schwingungen des Schalls entlang der radialen Achse des Raumes verlaufen.

Die Anzahl der Modenknoten in einem Raum hängt von verschiedenen Faktoren ab, wie zum Beispiel der Größe des Raumes, der Form des Raumes und den Eigenschaften des Schalls.

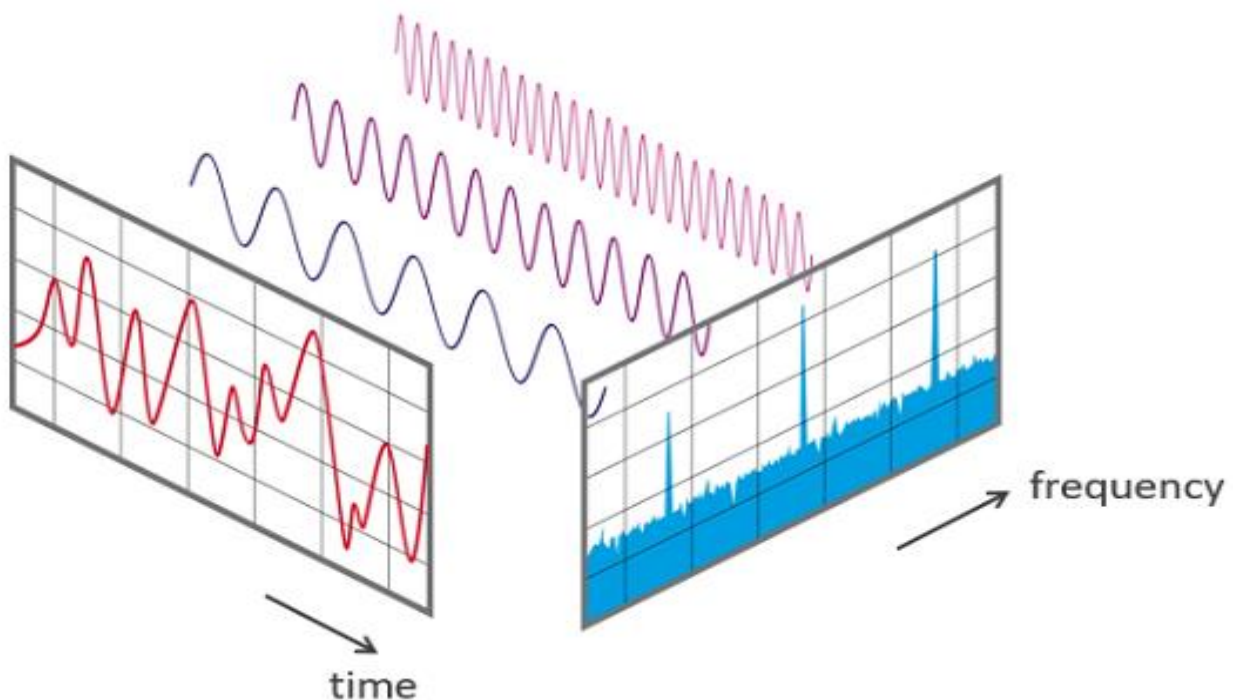
Je größer der Raum, desto mehr Modenknoten entstehen. Je unregelmäßiger die Form des Raumes, desto mehr Modenknoten entstehen. Je höher die Frequenz des Schalls, desto mehr Modenknoten entstehen.

Testtöne

Ein Testton ist ein akustischer Signalton, der verwendet wird, um die Funktionalität von Audio-Ausrüstung oder -Systemen zu überprüfen. Sie dienen dazu, die Leistungsfähigkeit und Qualität von Audio-Systemen zu messen und zu beurteilen. Testtöne kommen in verschiedenen Formen und Frequenzen vor und werden in der Regel von speziellen Testgeneratoren erzeugt. Einer der häufigsten Testtöne ist der sogenannte Sinus, der eine konstante Frequenz hat und sich ideal zur Messung von Frequenzgang und Verzerrungen eignet. Der Sinus wird häufig bei der Kalibrierung von Audio-Systemen und der Überprüfung von Klangqualität verwendet. Ein weiterer häufig verwendeter Testton ist der Impuls, der ein kurzes, hochfrequentes Signal darstellt und sich besonders zur Messung von Klirrvverzerrungen und Dämpfungseigenschaften eignet. Der Impuls wird häufig bei der Überprüfung von Audio-Systemen und Lautsprechern verwendet.

Ein weiterer wichtiger Testton ist der Warnton, der eine kontinuierliche Frequenzänderung aufweist und sich besonders zur Überprüfung von Systemen mit hoher Dynamik und Klirrempfindlichkeit eignet. Der Warnton wird häufig bei der Überprüfung von Audio-Systemen und Lautsprechern verwendet.

Die Messung von Testtönen ist ein wichtiger Teil der Audiotechnik und erfordert spezielle Messgeräte und -techniken. Eine häufig verwendete Methode ist die FFT (Fast Fourier Transform), die es ermöglicht, die Frequenzkomponenten eines Audiosignals zu analysieren und zu visualisieren.



Andere Methoden zur Messung von Testtönen umfassen die Verwendung von Oszilloskopen, Spektralanalysatoren und SPL-Meter (Schallpegelmessgeräte). Es gibt viele verschiedene Testtöne, die je nach den zu testenden Systemen und Anforderungen eingesetzt werden können. Sinustöne eignen sich beispielsweise besonders zur Messung von Frequenzgang und Verzerrungen, während Impulstöne besonders geeignet sind, um Klirrvverzerrungen und Dämpfungseigenschaften zu messen. Warntöne wiederum eignen sich besonders zur Überprüfung von Systemen mit hoher Dynamik und Klirrempfindlichkeit. Die Messung von Testtönen erfordert spezielle Messgeräte und -techniken, die es ermöglichen, die Frequenzkomponenten von Audiosignalen zu analysieren und zu visualisieren. Dazu zählen beispielsweise die vorhin genannte FFT-Analysen, Oszilloskope, Spektralanalysatoren und SPL-Meter. Mit diesen Werkzeugen können Audiotechniker die Leistungsfähigkeit und Qualität von Audio-Systemen genau bestimmen und gegebenenfalls Verbesserungen vornehmen, um eine optimale Klangqualität zu gewährleisten.

Insgesamt spielen Testtöne in der Audiotechnik eine wichtige Rolle bei der Überprüfung und Kalibrierung von Audio-Systemen und -Geräten und tragen dazu bei, dass Audiosignale von hoher Qualität produziert werden können. Sie sind ein unverzichtbares Werkzeug für alle, die sich mit der Audiotechnik befassen und leisten einen wichtigen Beitrag zur Verbesserung der Klangqualität in der Audioindustrie. Aus diesem Grund wird bei der Überprüfung im Burosch Studio auf eine präzise Kalibrierung mittels Testton und ähnlichen Verfahren gearbeitet, um den Nutzer das beste Ergebnis liefern zu können.

Einfache Töne

Reine Sinustöne sind einfache Schallwellen, die durch die periodische Wiederholung einer einzigen Schwingung definiert werden. Diese Schwingungen können als Tonhöhen beschrieben werden, die durch die Anzahl der Schwingungen pro Sekunde gemessen werden, bekannt als Frequenz. Die Frequenz wird in Hertz (Hz) gemessen und bestimmt die Tonhöhe eines reinen Sinustons. Reine Sinustöne sind in der Audiotechnik von großer Bedeutung, da sie als Referenzton bzw. Testton verwendet werden, um andere Schallwellen zu charakterisieren. Reine Sinustöne können einfach erzeugt und gemessen werden, was sie zu einem wichtigen Werkzeug für die Kalibrierung und Überprüfung von Audio-Systemen macht. Bei Testtönen werden reine Sinustöne häufig als Referenz verwendet, um die Frequenzeigenschaften eines Audio-Systems zu überprüfen. Durch die Verwendung von reinen Sinustönen kann ein genaues Bild der Übertragungseigenschaften des Systems erstellt werden, einschließlich Verzerrungen, Dämpfung und Resonanzen. Dies ermöglicht es dem System, optimiert zu werden und Probleme zu erkennen, die andernfalls übersehen werden könnten. Ein weiteres Anwendungsgebiet von reinen Sinustönen ist die Überprüfung des Frequenzganges von Lautsprechern und Kopfhörern. Hierbei wird ein reiner Sinuston mit einer bestimmten Frequenz abgespielt und die resultierende Schallspannung gemessen. Dies ermöglicht es, den Frequenzgang des Systems zu überprüfen, indem die Übereinstimmung mit der gewünschten Übertragungskurve überprüft wird.

Rechteck

Die Verwendung von Rechteck-Tönen in der Messtechnik bietet viele Vorteile. Rechteck-Töne bestehen aus einer Folge von schnellen Anstiegen und Abfällen und werden häufig in der Messtechnik verwendet, um die Impulsantwort eines Systems zu messen. Die Impulsantwort gibt Auskunft darüber, wie ein System auf unterschiedliche Frequenzen reagiert, was bei der Entwicklung von Audiogeräten und -systemen von entscheidender Bedeutung ist. Im Gegensatz zu Sinus-Tönen, die nur eine Frequenz enthalten, können Rechteck-Töne aus mehreren Frequenzen zusammengesetzt werden, um ein breiteres Frequenzspektrum abzudecken. Dadurch können Ingenieure und Tontechniker eine umfassendere Analyse der Leistung eines Systems durchführen und Probleme wie Verzerrungen und Übersteuerungen genau identifizieren. Rechteck-Tönen sind ideal, um nichtlineare Verzerrungen in einem System zu erkennen. Dies ist besonders wichtig bei der Entwicklung von Audiogeräten, da Verzerrungen zu einem schlechten Klang führen können. Durch die Verwendung von Rechteck-Tönen können Ingenieure und Tontechniker die nichtlinearen Verzerrungen im System genau identifizieren und gezielt an der Verbesserung der Schaltung arbeiten, um eine höhere Klangqualität zu erreichen.

Multitöne

Die Multiton Messtechnik ist eine fortschrittliche Methode zur Messung von Niederfrequenzverstärkern. Diese Methode verwendet ein Multiton-Signal, das aus mehreren Sinuswellen mit unterschiedlichen Amplituden, Phasen und Frequenzen besteht, um eine präzise Analyse von Verstärkerschaltungen durchzuführen. Im Vergleich zur herkömmlichen Messung mit nur einem Ton bietet die Multiton Messtechnik viele Vorteile. Durch die Verwendung von mehreren Tönen können unterschiedliche Frequenzbereiche abgedeckt werden, was eine umfassendere Analyse der Verstärkerschaltung ermöglicht. Darüber hinaus kann die Multiton Messtechnik den Klirrfaktor des Verstärkers präziser bestimmen und bietet somit eine genauere Bewertung der Klangqualität des Verstärkers. Ein weiterer Vorteil der Multiton Messtechnik ist ihre Fähigkeit, nichtlineare Verzerrungen im Verstärker aufzudecken. Dies ist besonders wichtig bei der Entwicklung von Verstärkern für Audioanwendungen, bei denen Verzerrungen zu einem schlechten Klang führen können. Durch die Identifizierung von nichtlinearen Verzerrungen kann der Entwickler des Verstärkers gezielt an der Verbesserung der Schaltung arbeiten, um eine höhere Klangqualität zu erreichen.

Audio Test CD

Eine Audio Test CD ist eine CD, die speziell für die Messtechnik von Audiosignalen und dessen Auswirkungen entwickelt wurde, um verschiedene Funktionen von Audiogeräten zu testen. Sie enthält eine Reihe von Testsignalen und Testtönen, die verwendet werden, um die Leistung und Qualität von Audiogeräten wie CD-Playern, Verstärkern, Lautsprechern und anderen Geräten zu messen und zu bewerten. Audio Test CDs können verschiedene Arten von Testsignalen und Testtönen enthalten, darunter Sinuswellen, Rauschen, Impulstöne und

Frequenzsweeps. Diese Testsignale können verwendet werden, um die Frequenzantwort, den Klirrfaktor, die Verzerrung und andere Parameter von Audiogeräten zu messen und zu bewerten. Neben den grundlegenden Testsignalen können Audio Test CDs auch spezielle Testtöne enthalten, die für die Fehlersuche und die Problembeseitigung bei Audiogeräten verwendet werden können. Zum Beispiel können Phasentests durchgeführt werden, um sicherzustellen, dass Lautsprecher korrekt angeschlossen sind und sich in Phase befinden. Andere Testtöne können dazu verwendet werden, um die Kanaltrennung, den Dynamikbereich und andere Parameter von Audiogeräten zu messen.



Was sind und bedeuten schlechte Messwerte

In der Audiotechnik gibt es verschiedene Messgrößen, die Aussagen über die Qualität eines Audiosignals machen können. Einige dieser Messgrößen werden als "schlechte" Messwerte bezeichnet, weil sie darauf hinweisen, dass das Audiosignal möglicherweise nicht den gewünschten Qualitätsstandards entspricht. Es ist wichtig bei diesem Kapitel zu erwähnen, dass die Messergebnisse ein Indikator für die Leistung des Verstärkers sind und dazu beitragen können, dessen Qualität zu bewerten. Dabei ist es wichtig zu berücksichtigen, dass nicht alle Messergebnisse gleich gewichtet werden sollten. Einige Messwerte sind wichtiger als andere und können einen größeren Einfluss auf die Gesamtbewertung haben. Die Kosten einer Messung haben direkten Einfluss auf die Qualität der Messwerte. Je höher die Kosten für eine Messung, desto höher ist in der Regel die Genauigkeit der Messwerte. Dies liegt daran, dass hochwertigere Messgeräte und -verfahren in der Regel teurer sind als einfachere und weniger präzise Alternativen.

Zum Beispiel kann ein günstiger Klirrfaktor-Messverstärker nur grobe Schätzungen liefern, während ein hochwertiger Messverstärker, der auf den Klirrfaktor spezialisiert ist, eine genauere Messung liefern kann. Ebenso kann eine detailliertere Frequenzgang-Messung, die mit einem hochwertigen Oszilloskop durchgeführt wird, teurer sein als eine einfachere Messung mit einem günstigeren Messgerät. Es ist wichtig zu beachten, dass eine hohe Messgenauigkeit nicht immer erforderlich ist, und dass es für einige Anwendungen ausreichend sein kann, mit günstigeren Messgeräten arbeiten zu können. Die Wahl des richtigen Messgeräts hängt also von den Anforderungen an die Genauigkeit der Messwerte ab, und von den Kosten, die für die Messung aufgewendet werden können oder sollen. In jedem Fall ist es wichtig, dass Messwerte so genau wie möglich sind, insbesondere wenn sie für kritische Entscheidungen verwendet werden, und dass die Wahl des Messgeräts auf die Anforderungen abgestimmt ist, die an die Genauigkeit der Messwerte gestellt werden.

Rauschen

Rauschen ist in der Audiotechnik ein unerwünschtes Phänomen, da es die Qualität der Audiowiedergabe beeinträchtigen kann. Rauschen kann in verschiedenen Formen auftreten, wie zum Beispiel elektronischem Rauschen, Hintergrundrauschen oder Kompressionsrauschen.

Elektronisches Rauschen entsteht, wenn elektrische Ströme innerhalb von elektronischen Geräten fließen. Es kann beispielsweise durch defekte Hardware oder Störungen durch elektromagnetische Felder verursacht werden.

Hintergrundrauschen hingegen ist ein leises, ständiges Rauschen, das in der Regel durch die elektrische Leitfähigkeit der Atmosphäre verursacht wird.

Kompressionsrauschen entsteht, wenn Audio-Dateien komprimiert werden, um Platz zu sparen. Durch die Komprimierung gehen jedoch Informationen verloren, was zu einer Verschlechterung der Qualität führen kann.

All diese Arten von Rauschen können die Qualität der Audiowiedergabe erheblich beeinträchtigen, indem sie den Klang verfälschen oder stören. Hohe Rauschpegel können dazu führen, dass das Audiosignal schwer verständlich ist oder sogar unangenehm für das Ohr ist.

Daher ist es wichtig, Maßnahmen zu ergreifen, um Rauschen in der Audiotechnik so weit wie möglich zu minimieren.

Klirrfaktor

Der Klirrfaktor, auch als Verzerrung bekannt, tritt auf, wenn die Form eines Audiosignals verändert wird, wodurch es verzerrt oder verfälscht wird. Es ist ein unerwünschtes Phänomen in der Audiotechnik, da es die Qualität der Audiowiedergabe beeinträchtigen kann.

Es gibt verschiedene Arten von Verzerrungen, die auf verschiedene Weise verursacht werden können. Verzerrung kann den Klang verfälschen oder stören und ist daher wichtig zu minimieren. Es gibt verschiedene Arten von Verzerrungen, wie zum Beispiel harmonische Verzerrung, intermodulierende Verzerrung und Klirverzerrung. Harmonische Verzerrung entsteht, wenn das Audiosignal harmonische Komponenten enthält, die nicht im ursprünglichen Signal vorhanden waren. Intermodulierende Verzerrung hingegen entsteht, wenn sich zwei Audiosignale gegenseitig stören und dadurch verzerrt werden.

Klirverzerrung entsteht, wenn das Audiosignal seine Form ändert, wodurch es verzerrt oder verfälscht wird. Verzerrung kann durch verschiedene Faktoren verursacht werden, wie zum Beispiel defekte Hardware, Übersteuerung von Verstärkern oder unzureichende Signalübertragung. Sie kann auch durch die Verwendung von ungeeigneten Codecs oder Kompressionsverfahren bei der Audiokomprimierung entstehen. Verzerrung kann die Qualität der Audiowiedergabe erheblich beeinträchtigen, indem sie den Klang verfälschen oder stören. Daher ist es wichtig, Maßnahmen zu ergreifen, um Verzerrung in der Audiotechnik soweit wie möglich zu minimieren.

Dynamik

In der Audiotechnik ist Dynamik der Unterschied zwischen den lautesten und leisesten Teilen eines Audiosignals. Eine hohe Dynamik bedeutet, dass das Audiosignal große Schwankungen in der Lautstärke hat, während eine niedrige Dynamik bedeutet, dass das Audiosignal eine konstante Lautstärke hat.

Eine schlechte Dynamik kann die Qualität der Audiowiedergabe beeinträchtigen, indem sie den Klang verfälschen oder stören. Es gibt verschiedene Gründe, warum die Dynamik schlecht sein könnte:

- Übersteuerung: Wenn das Audiosignal zu laut aufgenommen wird, kann es zu Verzerrungen und Klirren kommen, die die Dynamik verfälschen.
- Kompression: Wenn das Audiosignal komprimiert wird, um Platz zu sparen, gehen Informationen verloren, was zu einer Verschlechterung der Dynamik führen kann.
- Schlechte Raumakustik: Die Akustik eines Raums kann die Dynamik beeinflussen, indem sie Schallreflexionen oder Echo verursacht, die die Lautstärkeverteilung im Raum verändern.

Um die Dynamik zu verbessern, empfehle ich Ihnen, darauf zu achten, dass das Audiosignal nicht übersteuert wird und dass Sie geeignete Codecs und Kompressionsverfahren verwenden. Sie sollten auch darauf achten, dass die Akustik des Raums für die Audiowiedergabe geeignet ist. Wenn Sie Schwierigkeiten haben, die Dynamik zu verbessern, könnte es hilfreich sein, sich an einen professionellen Audiotechniker oder den Hersteller des betreffenden Geräts zu wenden.

Es ist wichtig zu beachten, dass keine dieser Messgrößen per se schlecht ist. Vielmehr hängt es davon ab, welche Anforderungen an das Audiosignal gestellt werden und in welchem Kontext es verwendet wird. Ein Audiosignal mit hohem Rauschen könnte beispielsweise in einer Live-Performance akzeptabel sein, während es in einem professionellen Aufnahmestudio unannehmbar wäre. Es gibt zudem viele weitere Gründe, warum ihr Tonwiedergabe nicht Ihren Wünschen erfüllt.

Wie zum Beispiel:

- Defekte Hardware: Möglicherweise ist eines Ihrer Audiogeräte oder Kabel beschädigt oder defekt.
- Störungen durch elektromagnetische Felder: Elektronische Geräte wie Handys, Laptops und Wi-Fi-Router können Interferenzen verursachen, die die Qualität Ihrer Audiowiedergabe beeinträchtigen.
- Probleme mit der Software: Möglicherweise gibt es Probleme mit den Treibern oder der Software, die für die Audiowiedergabe verwendet wird.
- Schlechte Raumakustik: Die Akustik eines Raums kann die Qualität der Audiowiedergabe beeinträchtigen. Dazu gehören Dinge wie Hall, Echo und Schallreflexionen.

Um herauszufinden, was die Ursache für Ihre Probleme ist, empfehle ich Ihnen, die oben genannten Möglichkeiten einzeln zu überprüfen und zu versuchen, das Problem zu beheben. Wenn Sie Schwierigkeiten haben, das Problem selbst zu lösen, könnte es hilfreich sein, sich an einen professionellen Audiotechniker oder den Hersteller des betreffenden Geräts zu wenden. Mehr zu diesen Themen in den passenden Kapiteln.

Störungen im Netz

Im Stromnetz können verschiedene Arten von Störungen auftreten, die die Qualität und Stabilität der Stromversorgung beeinträchtigen können. Eine häufige Art von Störungen ist das sogenannte Trafobrummen, das durch den Sättigungseffekt von Transformatoren verursacht wird. Wenn Transformatoren überlastet sind oder aufgrund von Störungen im Stromnetz zu viel Strom durch sie hindurchfließt, kann es zu einer Sättigung des Transformators kommen. In diesem Zustand kann der Transformator den Strom nicht mehr effektiv in Stromstärke und Spannung umwandeln, was zu einem Brummen führt. Dieses Brummen wird als Trafobrummen bezeichnet. Das Trafobrummen kann verschiedene Ursachen haben, wie zum Beispiel Netzüberlastungen, fehlerhafte oder unzureichende Erdung, kaputte Isolation oder mangelhafte Wartung des Transformators. Um das Trafobrummen zu reduzieren oder zu verhindern, können verschiedene Maßnahmen ergriffen werden. Eine Möglichkeit ist die Verwendung von Entstörfiltern, die zwischen dem Stromnetz und dem Gerät, das betrieben wird, geschaltet werden. Diese Filter reduzieren die Störungen im Stromnetz und können das Trafobrummen reduzieren oder beseitigen. Eine andere Möglichkeit ist die Installation von Störschutzmaßnahmen an den Transformatoren selbst, wie zum Beispiel die Verwendung von Schirmblechen oder die Anbringung von Schutzblechen um die Transformatoren. Zusätzlich können auch Maßnahmen ergriffen werden, um die Stromversorgung im Allgemeinen zu stabilisieren und zu verbessern. Dazu gehören zum Beispiel die Verwendung von Spannungsreglern, die die Spannung im Stromnetz stabilisieren und so die Auswirkungen von Über- oder Unterspannungen minimieren. Auch die Verbesserung der Erdungssysteme im Stromnetz kann dazu beitragen, die Stabilität und Qualität der Stromversorgung zu verbessern. Das Trafobrummen wirkt sich stark auf die Audiotechnik und die Klangqualität von Audioaufnahmen oder -wiedergaben aus. Wenn beispielsweise ein Verstärker oder ein Mischpult mit einem transformatorbasierten Netzteil verwendet wird, kann das Trafobrummen zu einem störenden Hintergrundgeräusch führen, das sich auf die Aufnahme oder Wiedergabe des Audiosignals auswirkt. Das Trafobrummen kann auch den Frequenzgang des Audiosignals beeinflussen und bestimmte Frequenzen verstärken oder abschwächen, was zu einer Verzerrung oder einem verzerrten Klang führen kann. In einigen Fällen kann das Trafobrummen so laut sein, dass es die Musik oder den Dialog vollständig übertönt und somit unbrauchbar wird.

Rauschen | Noise

Obwohl es oft als unerwünschter Faktor angesehen wird, kann es auch wichtige Informationen über die Qualität eines Audiosignals liefern. In diesem Kapitel werden wir uns mit verschiedenen Arten von Rauschen befassen und untersuchen, wie sie in der Messtechnik erfasst und analysiert werden können. Wir werden uns mit Pseudozufälligen und zufälligen Rauschsignalen beschäftigen und untersuchen, wie sie sich auf die Messung von Audiosignalen auswirken. Wir werden auch verschiedene Methoden zur Schätzung der Leistungsdichte-Spektren (PSD) von Rauschsignalen betrachten und diskutieren, wie diese in der Praxis angewendet werden können. Schließlich werden wir uns mit der Anwendung von Rauschreduktionsverfahren in der Audiotechnik befassen und diskutieren, wie sie verwendet werden können, um die Qualität von Audiosignalen zu verbessern.

Pseudozufällige vs. zufällige Rauschsignale

Rauschsignale sind jedem bekannt der sich schon einmal mit Audiotechnik in irgendeiner Form befasst hat. Es gibt jedoch verschiedene Arten von Rauschsignalen, die in der Praxis verwendet werden, und es ist wichtig, die Unterschiede zwischen diesen Arten von Signalen zu verstehen. Eine wichtige Unterscheidung in diesem Zusammenhang ist die zwischen pseudozufälligen und zufälligen Rauschsignalen.

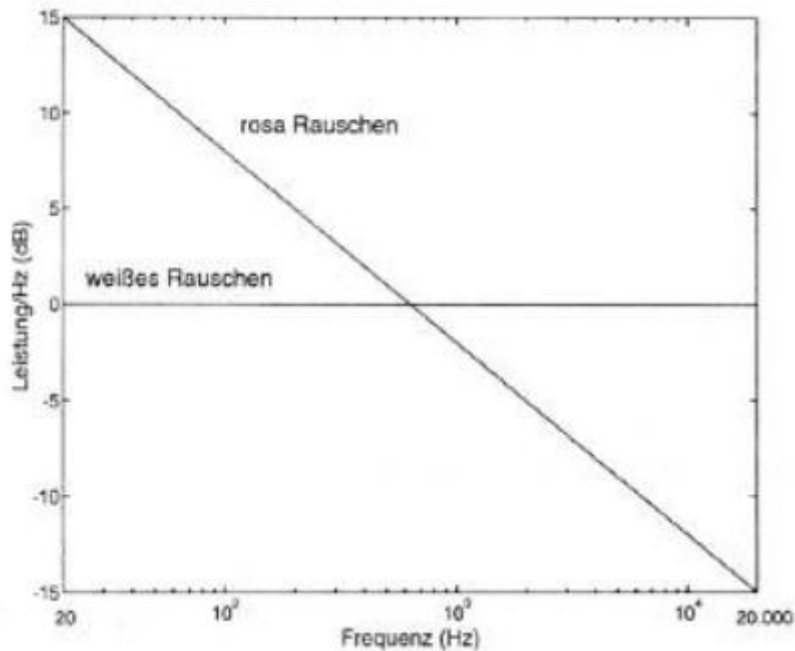
Zufällige Rauschsignale, auch als weißes Rauschen bekannt, sind Signale, die von einem zufälligen Prozess erzeugt werden und deren Energie gleichmäßig über einen breiten Frequenzbereich verteilt ist. Dies bedeutet, dass die Energie in jedem Frequenzbereich gleich ist und dass es keine bevorzugten Frequenzen gibt. Weißes Rauschen wird oft verwendet, um Systeme oder Geräte zu testen, da es eine gute Möglichkeit darstellt, die Empfindlichkeit und die Grenzwerte von Systemen zu bestimmen.

Pseudozufällige Rauschsignale hingegen, auch als pinkes Rauschen bekannt, sind Signale, die von einem deterministischen Prozess erzeugt werden, jedoch eine Energieverteilung aufweisen, die der von zufälligen Signalen ähnelt. Im Gegensatz zu weißem Rauschen, welches eine gleichmäßige Energieverteilung aufweist, hat pinkes Rauschen eine Energieverteilung, die sich mit abnehmender Frequenz abschwächt. Dies bedeutet, dass die Energie in höheren Frequenzbereichen höher ist als in niedrigeren Frequenzbereichen. Pinkes Rauschen wird oft verwendet, um die Schallabsorption von Materialien oder die Schalldämpfung von Räumen zu messen, da es eine gute Möglichkeit darstellt, die Empfindlichkeit von Systemen in unterschiedlichen Frequenzbereichen zu bestimmen.

Während weißes Rauschen eine gute Wahl ist, um die Empfindlichkeit von Systemen in allen Frequenzbereichen zu bestimmen, eignet sich pinkes Rauschen besser für die Messung von Schallabsorption oder Schalldämpfung in bestimmten Frequenzbereichen.

White Noise

Weißes Rauschen oder white noise, ist eine Art von Rauschen, das aus einem stetigen Strom von Energiefrequenzen besteht. Alle Frequenzen im Rauschen haben die gleiche Amplitude, sodass es leicht zu hören ist. Das menschliche Ohr beurteilt die Energie in den Geräuschfrequenzen logarithmisch. So hätten Sie beispielsweise im Bereich von 20 Hz bis 20 kHz 80 Frequenzen bei 20 Hz, 100 Frequenzen bei 100 Hz, 900 Frequenzen bei 1000 Hz und 10.000 Frequenzen bei 10 kHz.



Analyse von White Noise (PSD)

Weißes Rauschen ist ein zufälliges Signal, das eine gleichmäßige Leistungsdichte aufweist. Das bedeutet, es enthält die gleiche Leistung in allen Frequenzbereichen, was es für eine Vielzahl von Anwendungen nützlich macht, wie zum Beispiel die Prüfung von Audiogeräten, die Messung von Geräuschpegeln in einem Raum und die Simulation bestimmter Arten von zufälligen Prozessen in Simulationen. Die Analyse von Weißem Rauschen ist eine wichtige Aufgabe in Bereichen wie der Signalverarbeitung, der Telekommunikation und der Akustik.

Ein wichtiger Aspekt der Analyse von Weißem Rauschen ist die Charakterisierung seiner statistischen Eigenschaften. Eine der wichtigsten statistischen Eigenschaften ist der Mittelwert, der den durchschnittlichen Wert des Signals darstellt. Der Standardfehler ist eine weitere wichtige Eigenschaft, die die Ausbreitung des Signals um den Mittelwert misst. Die Autokorrelationsfunktion ist ebenfalls wichtig und misst die Korrelation zwischen verschiedenen Signalproben. Um weißes Rauschen zu analysieren, ist es auch wichtig, es erzeugen zu können. Eine der gängigsten Methoden zur Erzeugung von Weißem Rauschen ist die Verwendung eines Pseudozufallszahlengenerators. Diese Methode erzeugt eine Folge von Zahlen, die eine gleichmäßige Leistungsdichte aufweisen. Eine weitere Methode ist die Verwendung eines Weißrauschgenerators, der ein Signal erzeugt, das eine

Überlagerung von verschiedenen Frequenzbereichen ist. Bei der Analyse von Weißem Rauschen ist vor allem auf die Auswirkungen von Filtern zu achten.

Eine der gängigsten Methoden zur Analyse von Weißem Rauschen ist die Verwendung einer Schätzung der Leistungsdichtespektrum (PSD). Die PSD (Power Spectral Density- Wirkleistungsspektrum) Schätzung ist ein wichtiger Bestandteil der Signalverarbeitung und -analyse. Es handelt sich dabei um eine Schätzung der Energieverteilung eines Signals in Abhängigkeit von der Frequenz. Diese Schätzung ist besonders nützlich, wenn man die Frequenzeigenschaften eines Signals untersuchen möchte, insbesondere in Anwendungen wie Kommunikationssystemen, Schwingungsanalyse und Akustik. Eine PSD-Schätzung wird normalerweise durch die Anwendung von Fourier-Transformationen auf ein Zeitfenstersignal erreicht. Dabei wird das Zeitfenstersignal in seine Frequenzkomponenten zerlegt und die Amplituden dieser Komponenten werden quadriert. Das Ergebnis ist eine Schätzung der Energieverteilung des Signals in Abhängigkeit von der Frequenz.

Es gibt verschiedene Methoden zur PSD-Schätzung, die sich unterscheiden können in Bezug auf Genauigkeit, Rechenaufwand und Robustheit gegenüber verschiedenen Arten von Signalen und Störungen. Eine der gebräuchlichsten Methoden ist die Welch-Methoden, die auf der Verwendung von zeitlich überlappenden Fenstern und deren Durchschnitt berechnung basiert. Diese Methode hat den Vorteil, dass sie robust gegenüber periodischen Störungen und Unterdrückung von Rauschen ist. Eine andere Methode ist die periodogramm Methode, die auf der Anwendung der Fourier-Transformation auf das komplette Zeitfenster basiert. Diese Methode ist jedoch anfällig für periodische Störungen und erfordert eine große Anzahl von Daten, um eine gute Schätzung zu erhalten. In der Praxis wird die PSD-Schätzung häufig in Verbindung mit anderen Techniken wie der Filterung und der Entfernung von Rauschen verwendet, um die Genauigkeit der Schätzung zu verbessern und um nützliche Informationen aus dem Signal zu extrahieren. Es ist auch wichtig zu beachten, dass die PSD-Schätzung nur eine Schätzung der tatsächlichen Energieverteilung des Signals ist und dass es immer Unsicherheiten und Fehler in der Schätzung gibt.

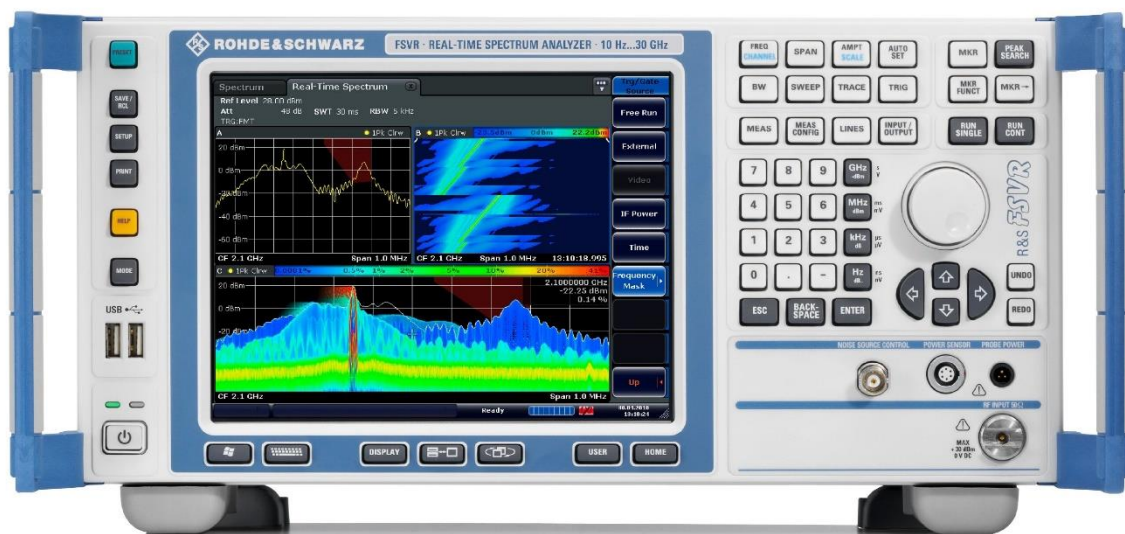
Pink Noise

Pink Noise, auch als rosa Rauschen bekannt, ist für akustische Zwecke besser geeignet als andere Arten von Rauschen, da die Energie pro Terz oder Oktave konstant ist. Dies erreicht man durch Filterung, bei der die Einzelamplituden der mittleren und hohen Frequenzen entsprechend abgesenkt werden. Oktave und Terz beziehen sich auf das Verhältnis zweier aufeinanderfolgender Frequenzbereiche, wobei die Oktave ein Verhältnis von 2:1 und die Terz ein Verhältnis von 5:4 darstellt. Pink Noise hat einen ausgewogenen und grundtonbetonten Klang (ohne die Höhen zu vernachlässigen) und entspricht gefühlsmäßig der Farbe Rosa auf der Farbskala.

Gefiltertes Pink Noise wird verwendet, um bestimmte Frequenzbereiche zu bewerten. Dazu wird das breitbandige Pink Noise-Signal durch Filterung auf bestimmte schmalbandige Frequenzbereiche eingeschränkt. Beispielsweise wird bei Lautsprecherdiagnose-Signalen Pink Noise entsprechend den Frequenzbereichen der Chassis gefiltert. Beim Schalldruckmessen mit einem Schallpegelmessgerät wird das breitbandige Pink Noise entsprechend vorgegebenen Oktav- oder Terzfrequenzbändern gefiltert. Ein Beispiel dafür wäre eine Oktavmessung bei 1 kHz, die alle Frequenzen von 647 - 1354 Hz enthält oder eine Terzmessung bei 1 kHz, die alle Frequenzen von 885 - 1115 Hz enthält.

Analyse von Pink Noise (RTA)

Pink-Rauschen wird normalerweise mit einem selektiven Analysator mit einer konstanten Prozentbandbreite bei allen Frequenzen untersucht. Beispiele für solche Analysatoren sind die Real-Time-Analysatoren (RTAs), die häufig in der akustischen Arbeit verwendet werden, oder ein Analysator, der einen konstanten Q-Filter über das Spektrum hinweg sweepen oder schrittweise verschieben kann. Ein Real-Time-Analyzer (RTA) besteht in der Regel aus einer Bank von Filtern gleicher Q (Q steht für die Bandbreite), die auf progressiv höhere Frequenzen über den Bereich abgestimmt sind. Jeder Filter wird von einem Detektor und Indikator gefolgt.



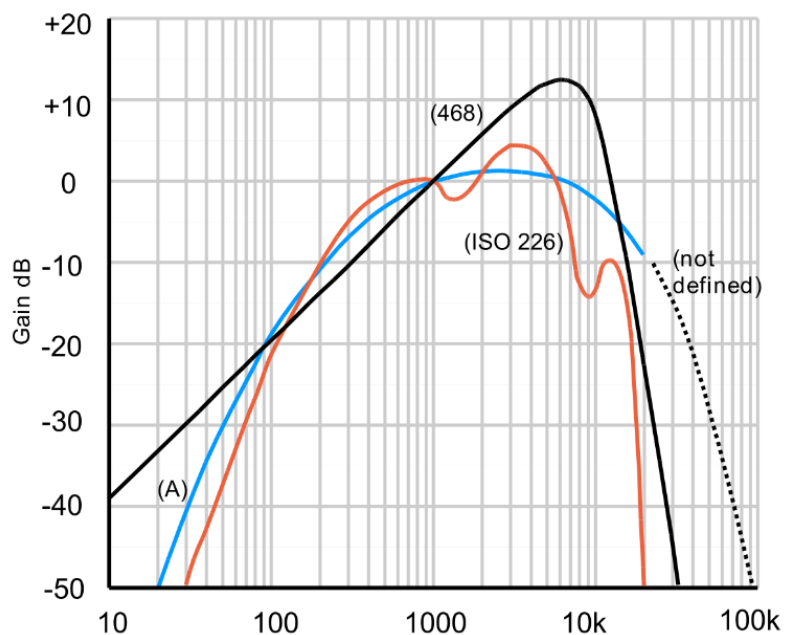
Das Eingangssignal wird an alle Filter aufgeteilt. Die Anzahl der Filter und ihre Mittelfrequenzen werden so gewählt, dass sie mit der Bandbreite jedes Filters übereinstimmen, so dass benachbarte Filterkurven am -3 dB-Punkt kreuzen. Um das 20 Hz-20 kHz-Spektrum mit 1/3-Oktave-Bandbreitenfiltern in einem RTA zu erfassen, sind beispielsweise etwa 31 Filter erforderlich. Mit 1/2-Oktave-Bandbreitenfiltern kann das gleiche Spektrum mit 20 Filtern abgedeckt werden. Die Kombination von Pink-Rauschen und einem konstanten Q-Analysator wird die gleichen Antwortgraphen erzeugen wie die geschwungene Sinuswellen-Technik, mit Ausnahme von Details.

In-Phase (L+R) und Out-of-Phase (L-R) sind Begriffe, die verwendet werden, um die Polarität von Lautsprecherboxen und Einzelchassis zu bestimmen. Dazu wird bei einer Stereo-Aufnahme manchmal ein Kanal invertiert, indem die Signalpolarität in diesem Kanal vertauscht wird. In den meisten Fällen sind die Signale auf beiden Kanälen absolut identisch, was zu einem monauralen Klangeindruck führt. Eine Invertierung eines Kanals (oder Lautsprechers oder Kabels) kann dazu führen, dass das Signal diffus erscheint und die Gesamtlautstärke abnimmt, insbesondere im Tieftonbereich. Stimmen klingen dann nicht mehr scharf ortbar und der Klang scheint von überall und nirgends zu kommen. Zuverlässiges Erkennen von Verpolungen ist wichtig für eine optimale Klangwiedergabe.

Noise Messungen

Eine wichtige Rolle bei der Noise Messung spielen Gewichtungsfiler, die dazu verwendet werden, bestimmte Frequenzbereiche des Messsignals zu unterdrücken oder zu betonen.

Dazu gehört bei der Noise Messung die Bandbreite, in der das Signal gemessen wird. Rauschen ist ein zufälliges Signal, das sich über einen breiten Frequenzbereich ausbreitet. Daher ist es wichtig, die Bandbreite, in der das Rauschen gemessen wird, genau zu spezifizieren, um vergleichbare Messungen durchführen zu können. Eine Erhöhung der Bandbreite verdoppelt die gemessene Leistung bei "weißem" Rauschen. Gewichtungsfiler werden verwendet, um bestimmte Frequenzbereiche des Messsignals zu unterdrücken oder zu betonen. Es gibt verschiedene Arten von Gewichtungsfilern, wie zum Beispiel Hochpassfilter, Tiefpassfilter und Bandpassfilter. Hochpassfilter unterdrücken alle Frequenzen unterhalb einer bestimmten Schwelle, während Tiefpassfilter alle Frequenzen oberhalb einer bestimmten Schwelle unterdrücken. Bandpassfilter unterdrücken alle Frequenzen außerhalb eines bestimmten Frequenzbereichs. Ein häufig verwendeter Gewichtungsfiler bei der Noise Messung ist der CCIR 468-Filer, der einen Frequenzbereich von 22 Hz bis 22 kHz abdeckt und somit die meisten Störgeräusche im Bereich des menschlichen Hörvermögens erfasst. In Anwendungen im Bereich der Kommunikationstechnik wird häufig ein engerer Frequenzbereich von 300 Hz bis 3,5 kHz verwendet. Ein weiterer wichtiger Gewichtungsfiler bei der Noise Messung ist der 400 Hz Hochpassfilter, der dazu verwendet wird, das Rauschen durch Wechselstromnetze bei 50 Hz oder 60 Hz und den dazugehörigen Oberharmonischen zu unterdrücken.



Zeitabweichung

In der Messtechnik ist es von großer Bedeutung, die Zeitabweichung von Rauschsignalen zu berücksichtigen. Dies liegt daran, dass Rauschen ein zeitvariables Signal ist, dessen Energie sich über ein breites Frequenzspektrum erstreckt. Das bedeutet, dass die Messergebnisse von der effektiven Messzeit "Fenster" abhängen. Längere Messzeiten führen zu einer höheren Integration des Rauschsignals und somit zu wiederholbareren Ergebnissen von Probe zu Probe. Kurze Messzeiten hingegen führen zu mehr variablen Ergebnissen, die letztendlich gegen Augenblickswerte ansteigen. Neben der Integration, die bei langen

Messzeiten automatisch entsteht, ist es oft wünschenswert, weitere statistische Verarbeitungen auf die Ergebnisse einer Reihe von aufeinanderfolgenden Messproben durchzuführen. Es ist nicht ungewöhnlich, die maximale, durchschnittliche und mehrere Standardabweichungswerte (zwei Sigma, drei Sigma, etc.) einer Folge von Rauschmessungen mathematisch zu bestimmen.

Eine Möglichkeit, die Auswirkungen der Zeitabweichung von Rauschsignalen zu minimieren, besteht darin, die Messungen über einen längeren Zeitraum durchzuführen und dann die Ergebnisse statistisch zu verarbeiten. Dies kann entweder durch die Verwendung von längeren Fenstern oder durch die Durchführung von mehreren Messungen und deren Mittelung erreicht werden. Es gibt auch spezielle Messtechniken, die sich auf die Erfassung von Zeitvariationen von Rauschsignalen konzentrieren und diese in die Analyse einbeziehen, wie z.B. die Zeit-Frequenz-Analyse oder die Verwendung von pseudozufälligen Signalen.

DUT-Eingangsbedingungen

In vielen Arten von Audio-Geräten entsteht der größte Teil des Rauschens am Ausgang an der Eingangsstufe des Geräts und wird von den folgenden Stufen verstärkt. Das Niveau des erzeugten Rauschens in einem Verstärker ist typischerweise eine Funktion der Eingangsimpedanz des Verstärkers. Daher sollten Rauschmessungen eine Bedingung für die Eingangsterminierung angeben, die oft als "Back-Terminierung" bezeichnet wird. Die beiden gängigsten Spezifikationen sind mit kurzgeschlossenem Eingang (0Ω Terminierung) und mit einem bestimmten Wert für die Eingangsterminierung, der normalerweise eine Annäherung an die Ausgangsimpedanz des vorherigen Geräts ist, das normalerweise an diesem Punkt angeschlossen ist. Für Geräte mit hohem Verstärkungsfaktor ist die physische Konstruktion und Abschirmung der verwendeten Eingangsterminierung während der Rauschmessungen von großer Bedeutung, um falsche Messungen aufgrund von externen Signalen, die in die Terminierung eingekoppelt werden, zu vermeiden. Die meisten modernen, hochwertigen Audio-Generatoren sind so aufgebaut, dass ihr Ausgangskonnetektor mit einem Widerstand, der gleich der normalen Ausgangsimpedanz des Generators, zurückterminiert ist, wenn das Ausgangssignal des Generators ausgeschaltet ist. Bei der Prüfung von Geräten mit sehr hohem Verstärkungsfaktor und geringem Rauschen wie Mikrofonvorverstärkern kann es jedoch immer noch erforderlich sein, das Kabel von Generator zu DUT-Eingang zu trennen und es durch eine kleine, gut abgeschirmte Rückterminierung direkt am DUT-Eingang zu ersetzen, um Erdschleifen oder das Rauschen, das in sogar gut abgeschirmte Kabel von erheblicher Länge eingekoppelt wird, zu vermeiden. Hierbei ist das Rauschen quadratisch zum Widerstand.

Signalmessungen (mit Belastung)

Es gibt Fälle, in denen man das Rauschen aus einer Messung ausschließen möchte, um ein Signal in der Nähe oder sogar unterhalb des breitbandigen Rauschniveaus genau zu messen. Wenn das Signal eine Sinuswelle ist, kann dies mit einem einstellbaren, engen Bandpassfilter erreicht werden. Mit dem Filter auf der Signalfrequenz eingestellt, wird die Sinuswelle ohne Dämpfung durchgelassen, während das Rauschen außerhalb des

Filterdurchlassbereichs abgeschwächt wird. Je schmaler der Filterbandbreite, desto mehr breitbandiges Rauschen wird abgeschwächt. Allerdings wird es je schmaler die Bandbreite, desto schwieriger, einen genauen und stabilen Verstärkungsfaktor durch einen filter zu erreichen. Daher gibt es einen praktischen Kompromiss zwischen dem Messfehler der Sinusamplitude aufgrund des variablen Filterverstärkungsfaktors und der möglichen Rauschunterdrückung durch Verringerung der Bandbreite.

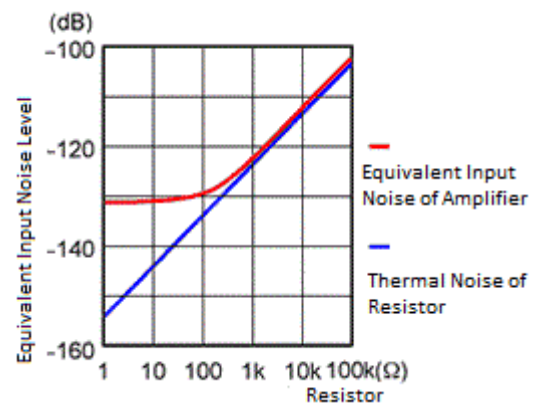
Equivalent Input Noise (EIN)

Die Equivalent Input Noise (EIN) ist eine Messkonvention, die zur Spezifikation des Rauschpegels in Vorverstärkern verwendet wird. Die Verwendung von EIN ermöglicht es, einfachere Vergleiche zu ermöglichen, da es viele Quellen für den eingebauten Rauschpegel in Vorverstärkern gibt und die Gewinne weit voneinander abweichen können. Daher ist eine standardisierte Vorgehensweise für wie-für-wie Vergleiche hilfreich. Wie der Name schon sagt, ist die EIN ein Maß für den Eingangstrauschpegel in einem Vorverstärker. Es wird als negativer Wert angegeben und je niedriger die EIN (d. h. je größer der negative Wert) ist, desto besser ist es. Ein EIN von beispielsweise -129 dBu ist besser als ein EIN von -125 dBu (d.h. es wird weniger Rauschpegel von dem Vorverstärker mit -129 dBu produziert). EINs werden in der Regel mit Mikrofon-Vorverstärkern in Verbindung gebracht - praktisch gesehen messen sie, wieviel Rauschpegel ein Mikrofon-Vorverstärker zum Signal eines Mikrofons hinzufügt. Die Idee, sich auf den Eingangstrauschpegel zu konzentrieren, ist es, ein Gefühl für die Menge an Rauschpegel zu vermitteln, die der Vorverstärker nach der Anpassung des Einflusses des Gewinns erzeugt - wenn dies nicht getan wird, würden sich die Rauschmessungen bei unterschiedlichen Gewinnstufen stark unterscheiden, was Vergleiche erschwert. Zusätzlich ist es wichtig zu beachten, dass die EIN-Messung eine Art von Simulation ist, die den Einfluss der Gewinnstufe des Vorverstärkers auf den Rauschpegel ausgleicht. Hierbei wird angenommen, dass ein bestimmter Gewinn eingestellt ist und dann wird der Rauschpegel gemessen. Dieser Wert kann dann verglichen werden, unabhängig davon, welche Gewinnstufe tatsächlich verwendet wird. Es ist auch wichtig zu wissen, dass es unterschiedliche Methoden gibt, um EIN zu messen. Einige Hersteller können ihre eigenen Methoden verwenden, um EIN zu berechnen, aber es ist wichtig, sicherzustellen, dass die gleichen Messbedingungen verwendet werden, um vergleichbare Ergebnisse zu erhalten.

Das Eingangsrauschen (EIN) ist ein wichtiger Indikator für die Leistung eines Vorverstärkers. Um das EIN eines Vorverstärkers zu messen, wird ein Quellwiderstand an die Eingangsterminals des Vorverstärkers angeschlossen.

Die Verstärkung des Vorverstärkers wird dann auf ein Maximum eingestellt, um das Ausgaberauschen zu messen. Diese Messung imitiert die Situation, wenn ein Mikrofon angeschlossen ist, und ist wichtig, da das Rauschen, das bei einem unterminierten Eingang gemessen würde, viel höher sein würde und somit falsche Messwerte liefern würde. In den meisten Fällen wird ein Standardwiderstand von 150 Ω als Quellwiderstand verwendet. Dieser Widerstand wird an

den aktiven Leitern eines balancierten Kabels angeschlossen, um eine Mikrofonverbindung zu emulieren. Die gemessene Ausgaberauschpegel wird dann von dem Verstärkungswert subtrahiert, um das EING zu bestimmen. Beispielsweise, bei Verwendung eines 150 Ω



Widerstands und einer Verstärkung von 60 dB bei einem gemessenen Ausgaberauschen von -65 dBu, beträgt das EING -125 dBu. Es ist wichtig, das EING bei der Bewertung eines Vorverstärkers zu berücksichtigen, da es einen Einfluss auf die Signalqualität und -integrität hat. Ein niedriges EING ist für einen guten Vorverstärker unerlässlich, da es den Rauschpegel minimiert und somit ein sauberes und klares Signal sicherstellt. Ein hohes EING hingegen kann zu einer Verfälschung des Signals führen und somit die Tonqualität beeinträchtigen. Es ist daher wichtig, bei der Wahl eines Vorverstärkers auf sein EING zu achten, um sicherzustellen, dass das Signal, das aufgenommen wird, möglichst sauber und unverfälscht ist.

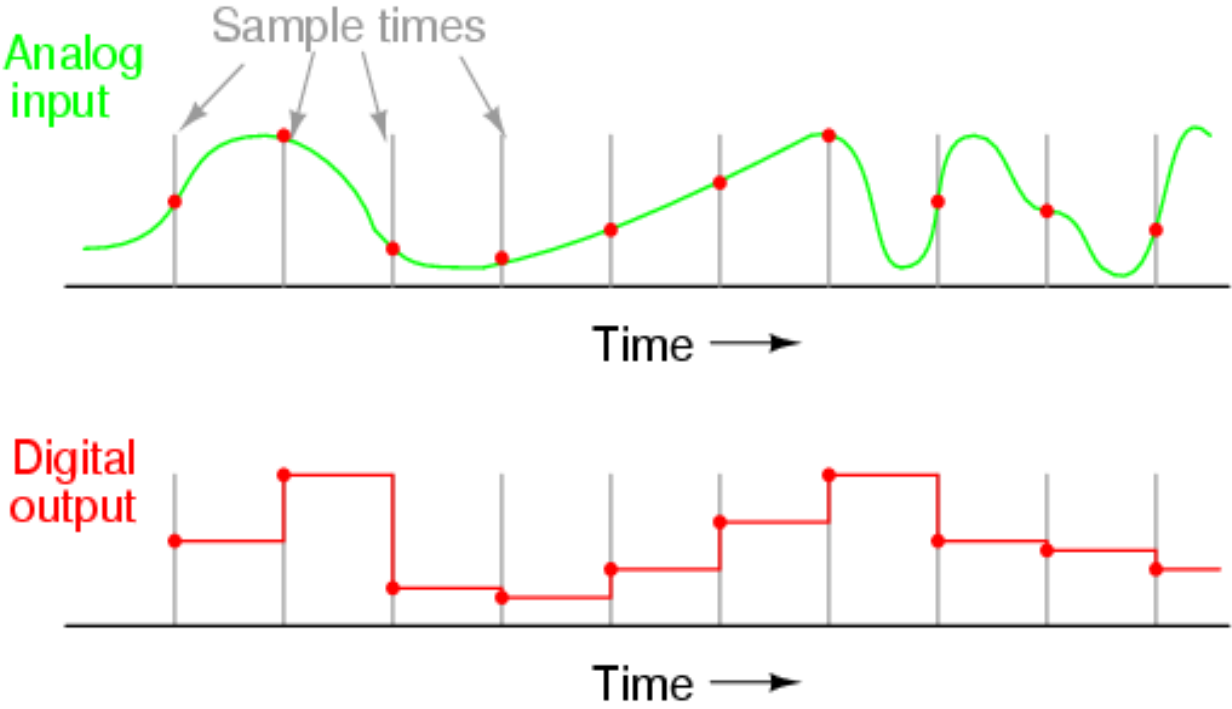
Ein weiterer Faktor, der die Messung des EING beeinflusst, ist die Wahl des Quellwiderstands. Während ein 150 Ω Widerstand häufig verwendet wird, kann auch ein höherer oder niedrigerer Widerstand verwendet werden, je nach Anforderungen. Es ist wichtig, den richtigen Widerstand auszuwählen, um eine realistische Simulation eines Mikrofons zu gewährleisten und somit genaue Messungen zu erhalten.

Die Messung des EING ist ein wichtiger Indikator für die Qualität eines Vorverstärkers. Wenn es mit einem 150 Ω Quellwiderstand gemessen wird, beträgt das theoretische Minimum des EING ungefähr -131 dBu. Dies ist rein auf das thermische Rauschen des 150 Ω Widerstands zurückzuführen. Jegliches zusätzliche Rauschen, das vom Vorverstärker kommt, wird das EING verschlechtern (d.h. einen kleineren negativen Wert ergeben, wie z.B. -128 dBu).

In der Praxis liegen die Werte des EING (wenn sie ordnungsgemäß gemessen werden) in einem Bereich von -120 dBu bis -129 dBu. Aus einer Sammlung von Erfahrungen, ist -125 dBu das Minimum für akzeptable professionelle Ergebnisse (d.h. das EING sollte -125 dBu oder niedriger sein, wie z.B. -128 dBu, um professionelle Standards zu erfüllen). Ein niedriger EING-Wert garantiert, dass das aufgenommene Signal so sauber und unverfälscht wie möglich ist und eine gute Tonqualität gewährleistet. Daher ist es wichtig, bei der Wahl eines Vorverstärkers auf sein EING zu achten, um professionelle Ergebnisse zu erzielen.

Die meisten Audiogeräte kommen mit integrierten Vorverstärkern, die zum Gesamtrauschpegel des Geräts beitragen, wenn sie verwendet werden. Wenn ein Audiogerät eine EIN-Bewertung hat, bezieht sich dies auf die Vorverstärker, die Teil des Geräts sind. Es ist zu beachten, dass es in Audiogeräten eine Reihe von Rauschquellen gibt - einschließlich Rausch, der durch die Analog-Digital-Konversion (ADC) und den Rausch im Schaltkreis verursacht wird - zusätzlich zu dem Rausch, der durch Vorverstärker verursacht wird. Diese verschiedenen Arten von Rausch haben unterschiedliche Ursachen - Rausch aus ADC bezieht sich beispielsweise auf digitale Abtastparameter, während Schaltungsrausch aus den thermischen und physikalischen Eigenschaften elektronischer Komponenten stammt. Wie wir gesehen haben, entsteht Vorverstärkerrausch auch aus den inhärenten Eigenschaften elektronischer Schaltungen und kann in Audiogeräten eine wichtige Überlegung sein. Dies liegt daran, dass Vorverstärker bei niedrigen Eingangssignalen hohe Verstärkungen anwenden. Eine Verstärkung von 60-80 dB kann beispielsweise verwendet werden, um ein typisches Mikrofonsignal zu verstärken. Selbst

eine geringe Menge an Rausch kann bei einer hohen Verstärkung problematisch sein, dies kommt im Bereich zum Glück selten vor.



Charakteristische Messgrößen

Charakteristische Messgrößen sind quantitativ bestimmte Eigenschaften von technischen Systemen, die bestimmte Funktionen und Leistungen des Systems beschreiben. In der Messtechnik werden Charakteristische Messgrößen verwendet, um das Verhalten von Systemen und deren Komponenten unter verschiedenen Bedingungen zu bewerten und zu vergleichen. Die Charakteristischen Messgrößen können elektrische, mechanische, thermische oder andere Eigenschaften von Systemen sein. In der elektrischen Messtechnik sind beispielsweise die Spannung, Stromstärke, Leistung und Widerstand charakteristische Messgrößen. Die Spannung und Stromstärke können beispielsweise verwendet werden, um den elektrischen Widerstand eines Systems zu berechnen, während die Leistung eine Indikation für die Fähigkeit des Systems liefern kann, Arbeit zu verrichten. Wir werden uns mit den charakteristischen Messgrößen auseinander setzen.

Schalleistung, Schallintensität:

Der Schalldruckpegel ist eine Maßzahl, die aus dem Verhältnis von momentanem Schalldruck zu einer Referenzgröße (dem Bezugsschalldruck, dem Schwellwert des menschlichen Gehörs) berechnet wird. Die Frequenzempfindlichkeit des Ohrs wird in Messgeräten grob nachgebildet durch die Verwendung von sogenannten Bewertungsfiltren. Ein international gebräuchlicher Filter ist der "A-Filter", bei dessen Verwendung die Schalldruckpegelangebe in Dezibel (dB(A)) erfolgt. Es gibt jedoch auch andere Bewertungsfiltren, die zur Messung von Schall verwendet werden können. Deshalb ist es wichtig, zu beachten, mit welcher Filtereinstellung die Geräuschemessung vorgenommen wurde. Zur Frequenzbewertung gibt es auch drei unterschiedliche Zeitbewertungen, die bei Schallmessungen verwendet werden können: schnell (Anstiegszeit = 125 ms, Abfallzeit = 125 ms), langsam (Anstiegszeit = 1 s, Abfallzeit = 1 s) und Impuls (Anstiegszeit = 35 ms, Abfallzeit = 1,5 s). Die Angabe der Zeitbewertung ist besonders wichtig bei der Messung von impulsartigen und kurzdauernden Schallereignissen.

Schallgeschwindigkeit

Die Schallgeschwindigkeit beschreibt, wie schnell sich Schallwellen in einem bestimmten Medium ausbreiten. Sie hängt von der Temperatur ab und beträgt bei 20 Grad Celsius zum Beispiel 343 Meter pro Sekunde. Wenn sich die Entfernung zwischen Schallquelle und Empfänger verdoppelt, sinkt die Schallintensität um etwa sechs dB(A) bei punktförmigen Schallquellen (zum Beispiel Maschinen) und um etwa drei dB(A) bei linienförmigen Schallquellen (zum Beispiel Straßen). Die Ausbreitung von Schall kann durch verschiedene Faktoren wie Schallbrechung, -beugung, -reflexion, -interferenz und -absorption beeinflusst werden, wodurch in extremen Fällen witterungsbedingte Schwankungen im Schalldruckpegel an gleichen Orten auftreten können. Der Schall ist eine Schwingung, die sich durch ein

Medium ausbreitet. Die Geschwindigkeit, mit der sich der Schall ausbreitet, hängt von den Eigenschaften des Mediums ab, insbesondere von seinem Widerstand gegen elastische Deformationen und seiner Dichte. Die Schallgeschwindigkeit steigt im Allgemeinen mit der Temperatur, aber in der Nähe von Phasenübergängen kann sie wieder fallen. Die Schallgeschwindigkeit ist im Allgemeinen wenig vom Druck abhängig. In Flüssigkeiten und Gasen gibt es nur eine Art von Druckwellen, die sich ausbreiten können, nämlich Longitudinalwellen, und es gibt daher nur eine Schallgeschwindigkeit. In Festkörpern gibt es auch Transversalwellen, die sich langsamer ausbreiten. In anisotropen Festkörpern kann die Schallgeschwindigkeit in verschiedenen Richtungen unterschiedlich sein und es gibt daher zwei verschiedene Transversalwellen mit leicht unterschiedlichen Ausbreitungsgeschwindigkeiten. Die Schallgeschwindigkeit wird im Allgemeinen für unbegrenzte Medien angegeben, aber in der Nähe von Grenzflächen kann sie reduziert werden.

Die Schallgeschwindigkeit ist aus mathematischer Sicht der Faktor, der die Beziehung zwischen der Wellenlänge und der Frequenz einer monochromatischen Schallwelle beschreibt. Sie gibt an, wie schnell sich die Welle durch ein bestimmtes Medium bewegt. Die Wellenlänge gibt an, wie lang eine Periode der Welle ist, während die Frequenz beschreibt, wie oft die Welle in einer bestimmten Zeit schwingt. Die Schallgeschwindigkeit ist also proportional zur Wellenlänge und der Frequenz.

In der Gleichung

$$c_S = \lambda * f$$

ist c_S die Schallgeschwindigkeit, λ die Wellenlänge und f die Frequenz.

Schalldruckpegel

Der Schalldruckpegel ist eine Verhältnissgröße, die aus dem Bezugsschalldruck (Hörschwelle) und dem momentanen Schalldruck gebildet wird. Der Schalldruckpegel gibt an, wie laut ein Schallereignis ist. Er ist eine Maßeinheit, die in Dezibel (dB) angegeben wird und wird verwendet, um Schallpegel zu messen und zu beschreiben. Der Schalldruckpegel wird häufig verwendet, um die Lautstärke von Geräuschen zu beurteilen und um Lärmquellen zu identifizieren und zu bewerten. Der Schalldruckpegel wird gemessen, um die Lautstärke von Schall zu bestimmen. Der messbare Bereich liegt zwischen etwa 0 und 150-160 dB. Die Obergrenze wird durch die Tatsache bestimmt, dass die Gesetze der linearen Akustik nur dann anwendbar sind, wenn die Luftdruckschwankungen geringer sind als der Atmosphärendruck. Der Schalldruckpegel wird mithilfe von Mikrofonen gemessen, die den Effektivwert des Schalldrucks messen und diesen dann in dB umrechnen. Die Richtcharakteristik von Schallpegelmessmikrofonen ist normalerweise kugelförmig, aber für binaurale Tonaufnahmen werden Kunstköpfe verwendet. Der binaurale Schalldruckpegel, auch BSPL (binaural sound pressure level) genannt, wird aus den Schalldruckpegeln beider Ohren berechnet und durch das sogenannte 6-dB-Lautheits-Gesetz bestimmt. Es ist schwierig, den Schalldruckpegel mit der wahrgenommenen „Lautheit“ in Verbindung zu

bringen. Generell kann man sagen, dass eine Erhöhung oder Senkung des Schalldruckpegels tendenziell auch zu lauterem oder leiserem Schallempfinden führt. Wenn der Lautstärkepegel 40 phon (entsprechend einem Schalldruckpegel von 40 dB bei einem 1-kHz-Sinuston) überschreitet, folgt die Wahrnehmung der Lautheit dem Stevensschen Potenzgesetz und ein Unterschied von 10 phon wird als Verdopplung der Lautheit empfunden. Unterhalb von 40 phon führt schon eine geringere Veränderung des Lautstärkepegels zu einem Gefühl der Verdopplung der Lautheit. Die Fähigkeit, Veränderungen des Schalldruckpegels zu erkennen, hängt vom Ausgangspegel ab. Hohe Schalldruckpegel verursachen Unbehaglichkeit und Schmerzen. Die Unbehaglichkeitsschwelle variiert stark je nach Art und Ursprung des Geräuschs oder Lärms, während die Schmerzschwelle zwischen 120 dB und 140 dB liegt, je nach Frequenzzusammensetzung des Geräuschs. Wenn das Gehör hohen Schalldrücken ausgesetzt ist, sind sogar bei kurzer Einwirkdauer dauerhafte Hörschäden zu erwarten.

Schalleistungspegel

Der Schalleistungspegel beschreibt die von einer Schallquelle abgegebene Schalleistung. Er gibt an, wieviel Schallenergie von einer Schallquelle pro Zeiteinheit abgestrahlt wird. Die Bezugsschalleistung ist ein Referenzwert, an dem sich die Schalleistung anderer Schallquellen orientiert. Der Schalleistungspegel ist eine reine Messgröße, die die Schalleistung einer Quelle objektiv und unabhängig von der Entfernung oder den akustischen Verhältnissen des Raumes beschreibt. Er wird berechnet, indem man den Schalldruckpegel misst, der auf einer Kugel mit einer Fläche von einem Quadratmeter auftritt, wenn sich die Schallquelle im Zentrum befindet. Der Schalleistungspegel gibt Aufschluss über die Schallemission einer Quelle und ist vergleichbar mit der elektrischen Leistung eines Leuchtmittels. Er bleibt unverändert, egal aus welcher Entfernung er betrachtet wird oder in welchem Raum er sich befindet. Die Schalleistung wird durch die äquivalente Absorptionsfläche des Raumes beeinflusst, wobei der Schall, der von den Wänden absorbiert wird, zum Hörerlebnis beitragen kann. Der Schalleistungspegel wird häufig bei der Messung von Schall von Maschinen oder Anlagen verwendet, um deren Schalleistung zu beurteilen und zu vergleichen. Der Schalleistungspegel beschreibt die Menge an Schallenergie, die von einer Schallquelle emittiert wird. Es gibt verschiedene Verfahren, um die Schalleistung einer Quelle zu messen. Eines dieser Verfahren ist die Messung der Schallintensität über eine Hüllfläche, die die Quelle umhüllt. Dabei können Schallintensitätssonden oder Mikrofone verwendet werden. Der Schalleistungspegel ist ortsunabhängig und raumunabhängig, d.h. er hängt nicht von der Entfernung zwischen Quelle und Hörer oder den akustischen Bedingungen im Raum ab. Er wird in dB angegeben und sollte nicht mit dem ortsabhängigen Schalldruckpegel (SPL) verwechselt werden, da beide Pegel in dB ausgedrückt werden.

Mittelungspegel

Der Mittelungspegel ist ein Maß dafür, wie laut ein Schallvorgang im Durchschnitt über eine bestimmte Zeitperiode ist. Er wird berechnet, indem man alle Schalldruckpegelwerte, die während dieser Zeit gemessen wurden, zusammenfasst und diese Werte dann miteinander vergleicht. Der Mittelungspegel gibt an, wie laut der Schallvorgang im Vergleich zu anderen Schallvorgängen ist. Er wird häufig verwendet, um die Geräuschbelastung in einem bestimmten Bereich zu quantifizieren und um festzustellen, ob die Grenzwerte für die Geräuschbelastung eingehalten werden. Der Mittelungspegel ist jedoch nicht nur von der Lautstärke eines Schalls abhängig, sondern auch von seiner Dauer. Ein langanhaltender Schall kann also auch bei einem niedrigeren Schalldruckpegel einen höheren Mittelungspegel aufweisen als ein kurzer, aber sehr lauter Schall.

Beurteilungspegel

Der Beurteilungspegel ist eine Art Schallpegelmaß, das speziell entwickelt wurde, um die subjektive Bewertung von unterschiedlichen Arten von Geräuschbelastung zu berücksichtigen. Dazu wird der Mittelungspegel, der den zeitlichen Mittelwert von Schalldruckpegeln darstellt, mit Zuschlägen für verschiedene Faktoren, wie Impulshaftigkeit, Tonhaltigkeit und Ruhezeiten, kombiniert. Der Beurteilungspegel wird dann mit Immissionsrichtwerten verglichen, um die akzeptable Geräuschbelastung in einem bestimmten Bereich zu bestimmen.

Faustregeln in der Audiotechnik

In der Audiotechnik gibt es einige praktische Faustregeln, die bei der Planung und Gestaltung von Tonstudios, Veranstaltungsräumen oder anderen akustisch relevanten Räumen hilfreich sein können. Hier sind einige Beispiele:

- Ein Raum mit einer Nachhallzeit von 0,2 bis 0,5 Sekunden wird als trocken empfunden und eignet sich gut für Sprache und Gesang. Eine Nachhallzeit von 0,6 bis 1,0 Sekunden wird als mittel empfunden und eignet sich für Musik. Eine Nachhallzeit von über 1 Sekunde wird als hallig empfunden und eignet sich für Musik und Atmosphäre, kann aber für Sprache störend sein.
- Ein Raum sollte eine Absorptionsfläche von mindestens 10% seiner Gesamtfläche haben, um einen mittelmäßig halligen Klang zu erzielen. Je größer die Absorptionsfläche, desto trockener wird der Klang.
- Ein guter Schallschutz zwischen Räumen kann erreicht werden, indem man die Wandstärke auf 50 mm erhöht oder die Wand mit Schallschutzmaterialien wie Schaumstoff, Glaswolle oder Mineralfaserplatten auslegt.
- Für Veranstaltungen und Theateraufführungen sollte der Schalldruckpegel im Bereich von 80 bis 100 dB liegen, um eine gute Verständlichkeit zu gewährleisten. Für Musikveranstaltungen kann der Schalldruckpegel bis zu 110 dB betragen, aber beachte, dass hohe Schalldruckpegel Schmerzempfindungen bei den Zuhörern verursachen können.
- Für Tonstudios sollte der Schalldruckpegel im Arbeitsbereich bei etwa 85 dB liegen, um das Hörvermögen der Mitarbeiter nicht zu gefährden. Es ist wichtig, dass Tontechniker regelmäßig Pausen einlegen und Gehörschutz tragen, um Schäden an ihrem Hörvermögen zu vermeiden.

Oftmals ist es auch schwierig sich etwas Praktisches unter den Dezibel Werten vorzustellen. Grob gesagt gilt wie vorhin erwähnt, dass +10db ungefähr einer Verdopplung der wahrgenommenen Lautstärke entspricht. Hierzu ein paar praktische Beispiele, die dieses Verhalten bestätigen und ein Verständnis für Dezibel Werte liefern soll:

Schneefall, fallendes Blatt	10 Dezibel
Ticken der Armbanduhr, leichter Wind	30 Dezibel
Flüstern, ruhige Wohnstraße	40 Dezibel

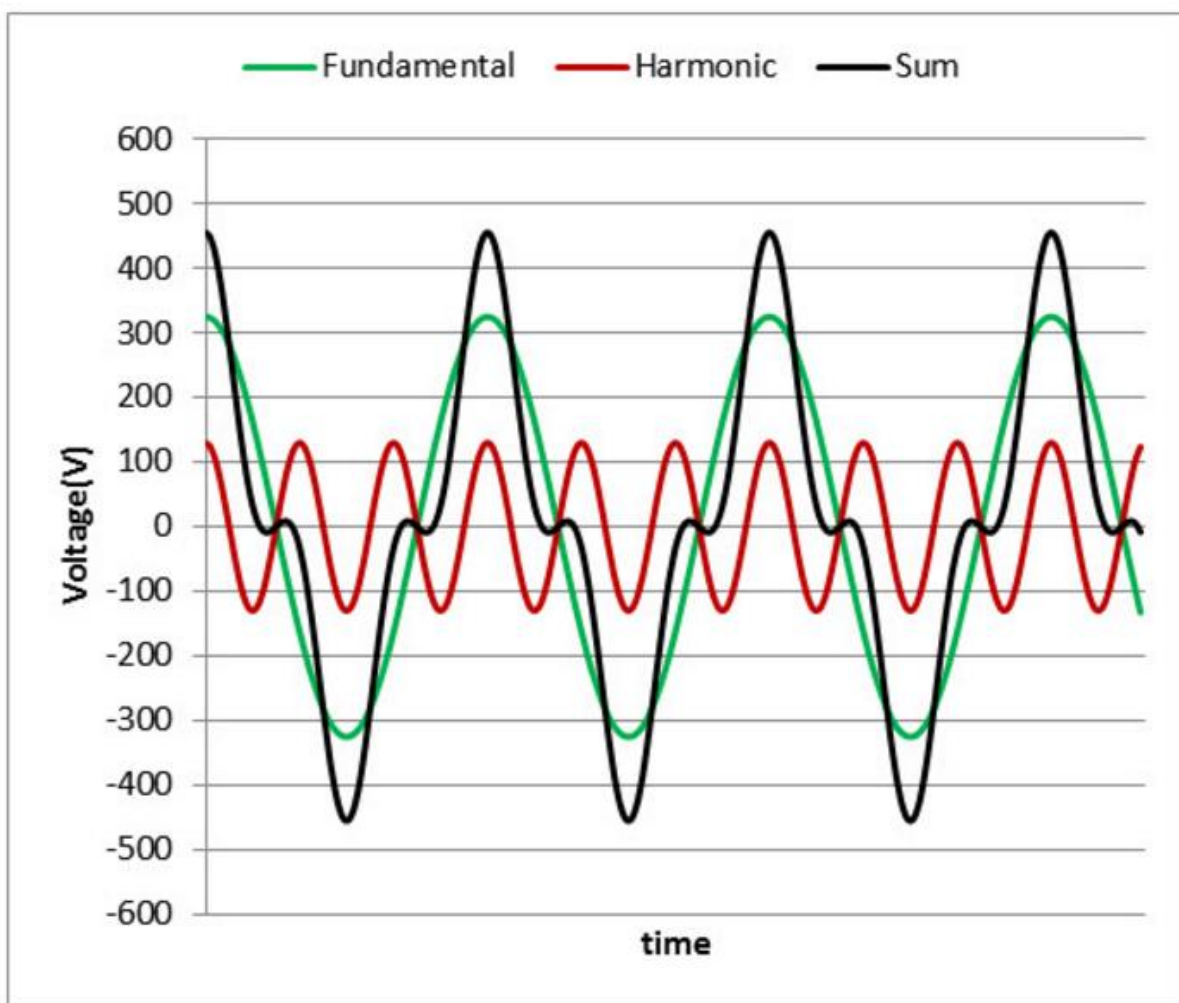
Leises Gespräch, schwacher Regen	50 Dezibel
Normales Gespräch	60 Dezibel
Staubsauger	70 Dezibel
Streitgespräch, Klavierspiel	80 Dezibel
Kammerkonzert, Türknallen	90 Dezibel
Kreissäge	100 Dezibel
Kettensäge, Diskomusik	110 Dezibel
Preßlufthammer, Symphoniekonzert	120 Dezibel
Düsenflugzeug	130 Dezibel
Gewehrschuss, Autorennen	140 Dezibel

Wenn wir zu viel Lärm ausgesetzt sind, kann dies negative Auswirkungen auf unsere Gesundheit haben und uns gestresst fühlen lassen. Bereits ab einer Lautstärke von 85 dB kann unser Gehör irreparable Schäden erleiden, was bedeutet, dass unser Hörvermögen danach eingeschränkt ist. Wenn der Lärm besonders laut wird, also etwa 95 dB erreicht, kann er sogar unerträglich werden und Schmerzen verursachen.

Verzerrungen

Verzerrungen sind Abweichungen der Ausgangsgröße eines elektronischen Systems von der Idealgröße. Im Bereich der Audiotechnik können Verzerrungen sowohl bei der Aufnahme als auch bei der Wiedergabe auftreten und beeinträchtigen somit die Klangqualität.

Es gibt unzählige Arten von Verzerrungen, wie beispielsweise die intermodulierte Verzerrung (IMD) und die harmonische Verzerrung (THD). Diese Verzerrungstypen werden in eigenen Kapiteln detailliert beschrieben. Das vorliegende Kapitel soll jedoch nur einen allgemeinen Überblick über die grundlegenden und oberflächlichen Verzerrungstypen geben in welche die späteren Verzerrungen passen.

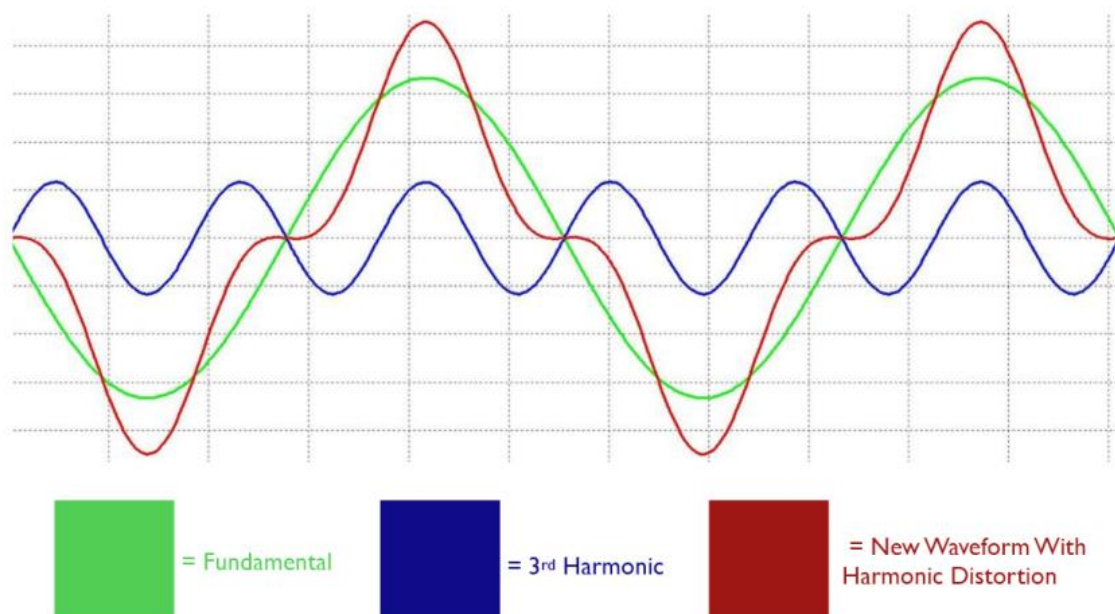


Lineare Verzerrungen

Lineare Verzerrungen beschreiben Abweichungen des Ausgangssignals von einem idealen, linear verstärkten Eingangssignal. Es gibt verschiedene Arten von linearen Verzerrungen, wie z.B. die Harmonische Verzerrung und die Intermodulationsverzerrung.

Die Harmonische Verzerrung beschreibt die Bildung von Oberschwingungen, die in ganzzahligen Vielfachen der Grundfrequenz des Signals auftreten. Diese Verzerrungen können sowohl in analogen als auch in digitalen Schaltungen auftreten und beeinflussen sowohl die Klangqualität als auch die Signalintegrität. Ein wichtiger Faktor bei der Messung der Harmonischen Verzerrung ist die Wahl des Messverfahrens. Ein gängiges Verfahren ist die Messung mit Hilfe von spektralen Analysatoren, die das Verhältnis der harmonischen Komponenten zur Grundfrequenz des Signals darstellen. Die Intermodulationsverzerrung (IMD) beschreibt die Bildung von Oberschwingungen, die durch die Wechselwirkung von mindestens zwei Frequenzen entstehen. Diese Art der Verzerrung kann besonders in nichtlinearen Schaltungen auftreten und kann zu Verfälschungen im Signal führen, die besonders in hochfrequenten Bereichen wahrnehmbar sind. Eine häufig verwendete Methode zur Messung der IMD ist die sogenannte "two-tone-Methode", bei den zwei sinusförmigen Signalen mit unterschiedlichen Frequenzen als Eingangssignal dienen und die resultierenden Oberschwingungen gemessen werden. Mehr zu diesem Themen finden Sie in den unteren Kapitel, in welchen die Messungen einzeln beschrieben werden.

Es gibt verschiedene Verfahren und Normen, die für die Messung von linearen Verzerrungen verwendet werden können, wie z.B. die IEC 60268-3 und die AES 17-2015. Um genaue und vergleichbare Ergebnisse zu erhalten, ist es wichtig, die richtigen Messverfahren und -standards zu wählen und die Messungen unter kontrollierten Bedingungen durchzuführen.



Amplitudenverzerrungen

Amplitudenverzerrungen entstehen, wenn das Ausgangssignal einer Schaltung oder eines Geräts nicht proportional zum Eingangssignal ist. Dies kann auf verschiedene Weise geschehen, beispielsweise durch nichtlineare Schaltungen oder durch unzureichende Leistungsreserven. Die Messung der Amplitudenverzerrung ist ein wichtiger Bestandteil der Messtechnik in der Audiotechnik. Eine häufig verwendete Methode ist die Verwendung eines sogenannten "Distortion Analyzers", der das Verhältnis von Verzerrungen zum Ausgangssignal misst. Es gibt auch andere Methoden, wie z.B. die Verwendung von Spektrumanalysatoren, um die Amplitudenverzerrung in verschiedenen Frequenzbereichen zu messen. Eine weitere wichtige Methode ist die Messung der Total Harmonic Distortion (THD), die die Gesamtverzerrung eines Signals in Bezug auf die harmonischen Komponenten misst. Diese Methode ist besonders nützlich, da sie die Verzerrungen in verschiedenen Frequenzbereichen sichtbar macht und somit die Schaltungen identifizieren kann, die für die Verzerrungen verantwortlich sind. Mehr dazu im dazugehörigen Kapitel.

Ein weiteres wichtiges Konzept in Bezug auf die Amplitudenverzerrung ist die Übersteuerung. Dies tritt auf, wenn das Ausgangssignal einer Schaltung oder eines Geräts größer ist als das Eingangssignal. Dies kann zu Verzerrungen führen, da die Schaltung oder das Gerät nicht in der Lage ist, die erhöhte Leistung zu handhaben. Die Messung der Übersteuerung ist ebenfalls ein wichtiger Bestandteil der Messtechnik in der Audiotechnik. Zusammenfassend ist die Amplitudenverzerrung ein wichtiger Faktor, der die Klangqualität beeinflusst und daher eine wichtige Messgröße in der Audiotechnik darstellt. Es gibt verschiedene Methoden zur Messung der Amplitudenverzerrung, wie z.B. die Verwendung von Distortion Analyzern, Spektrumanalysatoren und die Messung der Total Harmonic Distortion, die es ermöglichen, die Verzerrungen in verschiedenen Frequenzbereichen sichtbar zu machen.

Laufzeitverzerrungen

Die Laufzeitverzerrung, auch als "Group Delay" oder "Phasenverzerrung" bezeichnet, beschreibt die Abweichung der Phasenlage eines Signals an unterschiedlichen Frequenzen. In der Audiotechnik ist eine gleichmäßige Phasenlage für eine natürliche Wiedergabe von Schallwellen von großer Bedeutung. Eine Verzerrung der Phasenlage kann zu einer Verfälschung des Klangs oder einer Veränderung der räumlichen Wiedergabe führen.

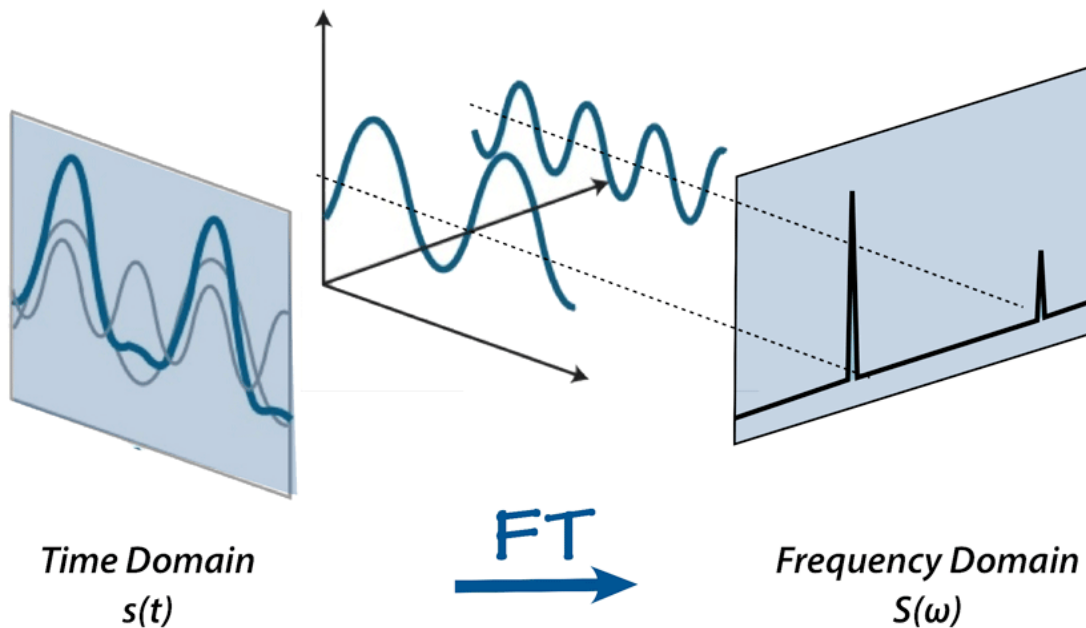
Die Messung der Laufzeitverzerrung erfolgt in der Regel durch die Verwendung von Impulsantwortmessungen. Ein Impuls wird als Eingangssignal verwendet und die Ausgangsantwort des Systems wird gemessen. Anschließend wird die Phasenlage der Ausgangsantwort in Bezug auf die des Eingangssignals bestimmt. Dies kann entweder manuell durch das Ablesen von Phasenwinkeln auf einem Oszilloskop oder automatisch mithilfe von Schwingungsanalysatoren durchgeführt werden. Eine weitere Methode zur Messung der Laufzeitverzerrung ist die Verwendung von Frequenzgangmessungen und die anschließende Berechnung der Group Delay. Hierbei wird das Eingangssignal mit unterschiedlichen Frequenzen moduliert und die Ausgangsantwort gemessen. Anschließend

wird der Frequenzgang des Systems bestimmt und die Phasenlage in Bezug auf die Frequenz berechnet.

Die FFT (Fast Fourier Transform) ist ein häufig verwendetes Werkzeug zur Messung und Analyse von Laufzeitverzerrungen. Es ermöglicht eine effiziente Berechnung des Frequenzgangs und der Phasenlage eines Signals.

Fast Fourier Transformation (FFT)

Die FFT basiert auf der Fourier-Transformation, die 1799 von Jean-Baptiste Joseph Fourier entwickelt wurde. Die ursprüngliche Fourier-Transformation war jedoch sehr rechenaufwendig und konnte nur für kurze Signale angewendet werden. Mit dem Aufkommen günstiger digitaler Signalverarbeitungsgeräte hat sich die FFT zu einem gängigen Audiomesstool entwickelt. Um genaue Messungen zu erhalten, ist es wichtig, dessen Funktionsweise, Möglichkeiten und Grenzen zu verstehen. Die FFT ist lediglich eine schnellere Methode zur Berechnung der diskreten Fourier-Transformation. Die diskrete Fourier-Transformation bestimmt die Amplitude einer bestimmten Frequenz-Sinus- oder Cosinuswelle in einem Signal. Dieser Algorithmus multipliziert das Signal Punkt für Punkt mit einer Sinuswelle mit Einheitsamplitude. Das Ergebnis wird über eine ganze Zahl von Sinuswellenzyklen gemittelt. Wenn die Sinuswelle im analysierten Signal nicht vorhanden ist, wird das Durchschnittsergebnis gegen Null tendieren. Dieser Prozess wird für eine Einheitsamplitude-Cosinuswelle wiederholt, da Sinus und Kosinus orthogonal sind. Wenn die Cosinuswelle nicht vorhanden ist, wird das Durchschnittsergebnis gegen Null tendieren. Wenn ein Teil der Sinus- oder Cosinuswelle vorhanden ist, wird das Durchschnittsergebnis proportional zur Amplitude der Komponente im Signal sein. Das relative Verhältnis von Sinus- und Cosinus-Komponenten bei einer bestimmten Frequenz zusammen mit ihren Polarisierungen repräsentiert die Phase. Wenn dieser Prozess für jede hypothetische Sinus- und Cosinuswelle wiederholt wird, deren Periode ein ganzzahliges Teilmultiple der Wellenlänge ist, werden mehrere Redundanzen in der Berechnung auftreten. Durch das Eliminieren dieser Redundanzen kann die Anzahl der Operationen reduziert werden. Der resultierende vereinfachte Prozess wird als FFT bezeichnet. Da alle hypothetischen Sinus- und Cosinusfrequenzen in der FFT-Vielfache des Reziproken/Kehrwertes der Wellenlänge sind, ist die Analyse im Wesentlichen gleichauflösend im Frequenzbereich. Diese Analyse setzt auch voraus, dass die Signal-Komponenten exakte Vielfache des Reziproken der Wellenlänge sind. Bei Verletzung dieser Voraussetzung treten schwerwiegende Probleme auf. Anders ausgedrückt geht die FFT davon aus, dass die zu analysierende Welle periodisch ist und eine Periode hat, die gleich der Länge des zu analysierenden Datensatzes ist. Infolgedessen, wenn das Anfang und Ende des Datensatzes sich nicht mit dem gleichen Wert und Neigung wiederholen, wenn sie auf sich selbst zurückgeführt werden, wird die Diskontinuität zu Artefakten im Spektrum führen. Die übliche Vorgehensweise hierbei besteht darin, die Daten zu "fenstern" und den Wert an den Endpunkten auf Null zu setzen. Dadurch wird die Welle zu einem "geformten Ausbruch", dessen Spektrum die Konvolution des Fensterspektrums und des Signalspektrums ist.



Die FFT, die von Cooley und Tukey im Jahr 1965 entwickelt wurde, ermöglicht die schnelle Berechnung der Fourier-Transformation. Sie nutzt die Symmetrie und Periodizität von Signalen, um die Anzahl der Berechnungen zu reduzieren. Dies ermöglicht die Anwendung der FFT auf lange Audiosignale.

In der Audiotechnik wird die FFT hauptsächlich verwendet, um die Frequenzanalyse von Audiosignalen durchzuführen. Dies ermöglicht es, die unterschiedlichen Frequenzen im Signal zu identifizieren und zu analysieren. So kann man z.B. die Frequenzen des menschlichen Sprachbereichs in einer Gesprächsaufnahme identifizieren, oder die Frequenzen eines Musikstücks analysieren, um die Harmonie des Musikstücks zu verstehen. Es gibt auch viele Anwendungen von FFT in anderen Bereichen wie z.B. Signalverarbeitung, Bildverarbeitung und sonstigen Bereichen die mit Zeitreihen arbeiten. In diesem technischen Handbuch werden wir die Grundlagen der FFT erläutern, ihre Anwendung in der Audiotechnik beschreiben.

FFT-Algorithmen

Es gibt verschiedene Arten von FFT-Algorithmen, die in der Messtechnik verwendet werden, wie z.B. die radix-2 FFT, die radix-4 FFT und die Prime-Factor-FFT.

Der radix-2 FFT-Algorithmus ist der am weitesten verbreitete FFT-Algorithmus und basiert auf der Tatsache, dass die Größe des Signals eine Potenz von 2 sein muss. Der Radix-2 FFT-Algorithmus basiert auf der Tatsache, dass die Größe des Signals eine Potenz von 2 ist. Dies ermöglicht es dem Algorithmus, das Signal in kleinere Teile unterteilen und diese Teile separat analysieren. Anschließend werden die Ergebnisse kombiniert, um das endgültige Ergebnis zu erhalten.

Ein wichtiger Schritt bei der Radix-2 FFT ist die Zerlegung des Signals in seine Basiswerte. Dies erfolgt durch den Einsatz eines Algorithmus namens Cooley-Tukey-Algorithmus, der es

ermöglicht, das Signal in seine Basiswerte zu zerlegen und die Frequenzanalyse durchzuführen. Sobald die Basiswerte gefunden sind, kann die Radix-2 FFT angewendet werden. Ein Vorteil der Radix-2 FFT ist, dass sie sehr schnell und effizient ist. Allgemein ist die Radix-2 FFT ein sehr nützlicher Algorithmus für die Analyse von Signalen, deren Größe eine Potenz von 2 ist. Es hat sich in vielen Anwendungen als nützlich erwiesen und ist schnell und effizient.

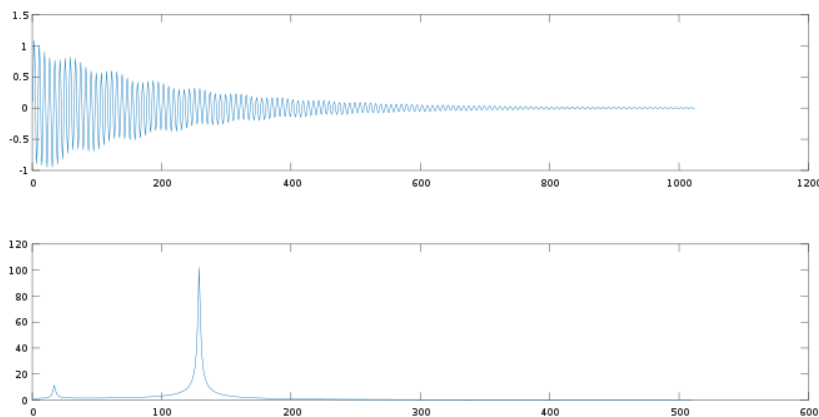
Eine beliebte Alternative zum radix-2 FFT-Algorithmus ist die radix-4 FFT, die eine höhere Genauigkeit als die radix-2 FFT aufweist. Der Algorithmus funktioniert ähnlich wie die radix-2 FFT, indem er das Signal in kleinere Teile unterteilt und diese Teile separat analysiert. Im Gegensatz zur Radix-2 FFT, die auf Signale mit einer Größe von einer Potenz von 2 beschränkt ist, kann die Radix-4 FFT auch für Signale mit einer Größe von einer Potenz von 4 verwendet werden. Dies ermöglicht es dem Algorithmus, das Signal in kleinere Teile unterteilen und diese Teile separat analysieren. Anschließend werden die Ergebnisse kombiniert, um das endgültige Ergebnis zu erhalten. Ein wichtiger Schritt bei der Radix-4 FFT ist die Zerlegung des Signals in seine Basiswerte. Dies erfolgt durch den Einsatz eines Algorithmus, der auf dem Cooley-Tukey-Algorithmus basiert, aber angepasst wurde, um die Größe von 4 zu unterstützen. Sobald die Basiswerte gefunden sind, kann die Radix-4 FFT angewendet werden.

Ein weiterer FFT-Algorithmus, der verwendet wird, ist die Prime-Factor-FFT. Dieser Algorithmus ermöglicht die Transformation von Signalen, deren Größe keine Potenz von 2 ist. Der Algorithmus funktioniert, indem er das Signal in kleinere Teile unterteilt und diese Teile separat analysiert. Anschließend werden die Ergebnisse kombiniert, um das endgültige Ergebnis zu erhalten. Ein Vorteil dieses Algorithmus ist, dass er flexibler als die radix-2 und radix-4 FFT ist, da er die Analyse von Signalen ermöglicht, deren Größe keine Potenz von 2 ist. Dies macht sie besonders nützlich in Anwendungen, in denen die Signalgröße variiert oder nicht genau bekannt ist. Der Prime-Factor-FFT-Algorithmus basiert auf der Tatsache, dass eine Zahl in ihre Primfaktoren zerlegt werden kann. Der Algorithmus funktioniert, indem er das Signal in kleinere Teile unterteilt und diese Teile separat analysiert. Anschließend werden die Ergebnisse kombiniert, um das endgültige Ergebnis zu erhalten. Ein wichtiger Schritt bei der Prime-Factor-FFT ist die Zerlegung der Signalgröße in ihre Primfaktoren. Dies erfolgt durch den Einsatz eines Algorithmus namens Pollard-rho-Algorithmus, der es ermöglicht, die Primfaktoren einer Zahl schnell zu finden. Sobald die Primfaktoren gefunden sind, kann der Prime-Factor-FFT-Algorithmus angewendet werden. Es gibt jedoch auch Nachteile, wie z.B. dass der Algorithmus mehr Rechenleistung erfordert als die radix-2 FFT und dass die Primfaktorzerlegung zusätzliche Zeit und Rechenleistung erfordert.

Funktionsweise

Die Fast Fourier Transformation (FFT) ist ein Algorithmus zur schnellen Berechnung der Fourier-Transformation eines Signals. Sie ermöglicht es, ein zeitlich orientiertes Signal in ein frequenzorientiertes Signal umzuwandeln, wodurch die unterschiedlichen Frequenzen im Signal identifiziert und analysiert werden können.

Der FFT-Algorithmus basiert auf der Idee, dass viele Signale periodisch sind und daher symmetrisch sind. Dies ermöglicht es, das Signal in kleinere Teile zu zerlegen und die Fourier-Transformation für jeden Teil einzeln zu berechnen. Durch die Wiederverwendung der bereits berechneten Teilergebnisse kann die Anzahl der Berechnungen reduziert werden. Der FFT-Algorithmus kann in zwei Schritten durchgeführt werden: Zerlegung in kleinere Teile und Berechnung der Fourier-Transformation für jeden Teil. Die Zerlegung des Signals in kleinere Teile wird durch die sogenannte "Butterfly-Operation" erreicht. Diese Operation besteht aus zwei Schritten: Einer Addition und einer Subtraktion. Diese Schritte werden für jede Stufe des Algorithmus wiederholt, bis das Signal in seine Grundfrequenzen zerlegt ist.



Danach wird die Fourier-Transformation für jeden Teil berechnet. Dieser Schritt erfolgt in $O(n \log n)$ Schritten, im Gegensatz zu $O(n^2)$ Schritten bei der klassischen Fourier-Transformation.

Die FFT hat viele Anwendungen in der Signalverarbeitung, wie z.B. die Frequenzanalyse von Audiosignalen, die Bildverarbeitung und andere Anwendungen, die mit Zeitreihen arbeiten. Aufgrund der hohen Rechengeschwindigkeit ist es möglich, die FFT in Echtzeit-Anwendungen einzusetzen.

Butterfly-Operation

Die Butterfly-Operation ist ein wichtiger Bestandteil des FFT-Algorithmus und ermöglicht die Zerlegung des Signals in kleinere Teile. Sie besteht aus zwei Schritten: Einer Addition und einer Subtraktion. Diese Schritte werden für jede Stufe des Algorithmus wiederholt, bis das Signal in seine Grundfrequenzen zerlegt ist.

Im ersten Schritt der Butterfly-Operation werden die beiden Eingangssignale addiert. Das Ergebnis dieser Addition ist das obere Ausgangssignal. Im zweiten Schritt werden die beiden Eingangssignale subtrahiert. Das Ergebnis dieser Subtraktion ist das untere Ausgangssignal.

Diese Schritte werden für jede Stufe des Algorithmus wiederholt. Jede Stufe des Algorithmus arbeitet mit einer höheren Frequenzauflösung und zerlegt das Signal in immer kleinere Teile.

Nach jeder Stufe werden die Ausgangssignale der vorherigen Stufe als Eingangssignale für die nächste Stufe verwendet. Die Butterfly-Operation ermöglicht es, das Signal in seine Grundfrequenzen zu zerlegen, ohne dass die Fourier-Transformation für jeden Teil einzeln berechnet werden muss. Durch die Wiederverwendung der bereits berechneten Teilergebnisse kann die Anzahl der Berechnungen reduziert werden.

Ein wichtiger Aspekt der Butterfly-Operation ist die Tatsache, dass sie auf parallelen Prozessoren ausgeführt werden kann, was die Geschwindigkeit der FFT-Berechnungen erhöht. Es gibt auch eine spezielle Hardware, die die Butterfly-Operation schneller ausführen kann als ein allgemeiner Prozessor, was die FFT-Berechnungen in Echtzeit-Anwendungen ermöglicht.

Die Butterfly-Operation wird in verschiedenen Audiosoftware-Tools auf unterschiedliche Weise präsentiert. Einige Tools bieten eine grafische Darstellung der Butterfly-Operation, die die Schritte der Addition und Subtraktion veranschaulicht. Andere Tools geben eine textbasierte Beschreibung der Schritte an.

Einige Audiosoftware-Tools, wie z.B. Digital Audio Workstations (DAWs) und Equalizer, bieten die Möglichkeit, die FFT-Analyse auf ein Audiosignal anzuwenden und die Ergebnisse in Form von Frequenzbändern und Amplituden anzuzeigen. In diesen Tools kann die Butterfly-Operation in Form von Frequenzbändern visualisiert werden, die die Frequenzen des Audiosignals repräsentieren.



Andere Audiosoftware-Tools, wie z.B. Spektralanalysatoren, bieten die Möglichkeit, das Audiosignal in Echtzeit in seine Frequenzen zu zerlegen. Diese Tools geben die Ergebnisse der FFT-Analyse in Form von spektralen Graphen aus, die die Frequenzen des Audiosignals auf der x-Achse und die Amplituden auf der y-Achse darstellen. In diesen Tools kann die Butterfly-Operation in Form von spektralen Graphen visualisiert werden, die die Frequenzen und Amplituden des Audiosignals repräsentieren. Einige Tools ermöglichen auch die

Anwendung von FFT-Filterungen auf das Audiosignal, durch die bestimmte Frequenzbereiche verstärkt oder gedämpft werden können. Diese Tools nutzen die Ergebnisse der FFT-Analyse und die Butterfly-Operation, um die Frequenzbereiche zu identifizieren und zu verarbeiten. Es gibt auch spezielle Algorithmen wie die radix-2 FFT und radix-4 FFT die sich auf die Anzahl der Schritte der Butterfly-Operation beziehen und schnellere Berechnungen ermöglichen. Es ist wichtig zu beachten, dass die Art und Weise, wie die Butterfly-Operation in einem bestimmten Audiosoftware-Tool präsentiert wird, von dem verwendeten Algorithmus und den Anforderungen der Anwendung abhängt.

Reale FFT | Komplexe FFT

Die Fast Fourier Transformation (FFT) ist ein essentielles Werkzeug in der Messtechnik, da es es ermöglicht, Signale im Zeitbereich in den Frequenzbereich umzuwandeln. Dies erleichtert die Identifizierung und Analyse der verschiedenen Frequenzen, die in einem Signal enthalten sind. Es gibt zwei Arten von FFTs, die in der Messtechnik verwendet werden: die reale FFT und die komplexe FFT.

Die reale FFT wird verwendet, wenn das Signal, das analysiert wird, rein reell ist, d.h. es hat keine imaginären Teile. Eine reale FFT analysiert nur die positiven Frequenzen des Signals und gibt ein Ergebnis im Frequenzbereich, das auch reell ist. Dies ist ein wichtiger Vorteil, da es die Interpretation und Verarbeitung des Ergebnisses erleichtert. Ein Nachteil der realen FFT ist jedoch, dass sie nur die Hälfte des Frequenzbereichs abdeckt.

Die komplexe FFT hingegen kann für Signale mit imaginären Teilen verwendet werden und berücksichtigt sowohl die positiven als auch die negativen Frequenzen des Signals. Das Ergebnis der komplexen FFT ist ein komplexes Signal im Frequenzbereich, das sowohl reelle als auch imaginäre Teile enthält. Ein Vorteil der komplexen FFT ist, dass sie den gesamten Frequenzbereich abdeckt. Ein Nachteil ist jedoch, dass die Interpretation und Verarbeitung des Ergebnisses komplexer ist, da sowohl reelle als auch imaginäre Teile berücksichtigt werden müssen.

In der Messtechnik wird die Wahl zwischen realer und komplexer FFT oft durch die Art des zu messenden Signals und die Anforderungen an die Analyse bestimmt. Wenn nur die positiven Frequenzen des Signals von Interesse sind, kann eine reale FFT verwendet werden. Wenn jedoch die gesamte Frequenzinformation des Signals von Interesse ist, wird eine komplexe FFT verwendet. Es ist zu beachten, dass die Wahl zwischen realer und komplexer FFT auch Auswirkungen auf die Genauigkeit der Messung hat. Da die reale FFT nur die Hälfte des Frequenzbereichs abdeckt, kann es in bestimmten Fällen zu Verzerrungen des Ergebnisses kommen. Eine komplexe FFT hingegen gibt ein vollständigeres Bild des Signales im Frequenzbereich, was zu einer höheren Genauigkeit der Messung führen kann.

Ein weiterer wichtiger Aspekt der FFT in der Messtechnik ist die Auswahl der Fensterfunktion. Eine Fensterfunktion wird verwendet, um die Auswirkungen von periodischen Randbedingungen auf das Ergebnis der FFT zu minimieren. Es gibt verschiedene Arten von Fensterfunktionen, wie z.B. das Hanning-Fenster, das Hamming-Fenster und das Blackman-Fenster, die alle unterschiedlichen Eigenschaften aufweisen. Die

Wahl der Fensterfunktion hängt von den Anforderungen an die Analyse ab und kann die Genauigkeit und Auflösung des Ergebnisses beeinflussen.

Ein weiterer wichtiger Faktor bei der Verwendung der FFT in der Messtechnik ist die Auswahl der FFT-Größe. Eine größere FFT-Größe ermöglicht eine höhere Auflösung im Frequenzbereich, was zu einer präziseren Analyse des Signals führen kann. Ein Nachteil einer größeren FFT-Größe ist jedoch, dass es zu einer Verringerung der Abtastrate und damit zu einer Verzögerung im Ergebnis kommen kann. Eine sorgfältige Auswahl der Fensterfunktion und der FFT-Größe kann die Genauigkeit und Auflösung des Ergebnisses beeinflussen. Es ist wichtig, die Vor- und Nachteile der verschiedenen Methoden zu berücksichtigen, um das bestmögliche Ergebnis zu erzielen.

Signalaufnahme

Die Signalaufnahme ist oftmals vernachlässigter Schritt in der Anwendung der FFT in der Messtechnik. Das zu analysierende Signal muss zunächst aufgenommen und in ein digitales Format umgewandelt werden, bevor es der FFT unterzogen werden kann.

Ein häufig verwendetes Messtechnik-Equipment zur Signalaufnahme ist das Oszilloskop. Es ermöglicht die visuelle Darstellung des Signals im Zeitbereich und erlaubt es, die Amplitude, die Frequenz und die Phasenlage des Signals zu bestimmen. Ein Oszilloskop kann auch verwendet werden, um das Signal zu synchronisieren, zu glätten und zu filtern, um Störgrößen zu entfernen, bevor es der FFT unterzogen wird.

Ein weiteres wichtiges Messtechnik-Equipment für die Signalaufnahme ist der Signalgenerator. Dieses Gerät erzeugt Signale in verschiedenen Frequenzbereichen und Amplituden, die zur Kalibrierung und Charakterisierung von Messgeräten verwendet werden können. Ein Signalgenerator kann auch verwendet werden, um das Signal zu modulieren, indem es mit einer Trägersignalfrequenz multipliziert wird, um zum Beispiel die Amplituden- oder Phasenmodulation zu simulieren. Es ist wichtig, dass das aufgenommene Signal möglichst störungsfrei ist, um eine präzise Analyse durchzuführen. Um dies zu erreichen, kann eine Signalvorverarbeitung durchgeführt werden. Dazu können Filter- und Glättungsverfahren verwendet werden, um Störgrößen wie Rauschen und Interferenzen zu entfernen. Diese können sowohl in analoger als auch in digitaler Form verwendet werden. Analogfilter arbeiten, indem sie das Signal in bestimmten Frequenzbereichen dämpfen, während digitale Filter das Signal in der Frequenzebene durch Multiplikation mit einem Filterkoeffizienten bearbeiten.

Anwendungen

Die Anwendungsbereiche der FFT reichen über ein enormes Spektrum. Eine der häufigsten Anwendungen der FFT in der Messtechnik von Niederfrequenzverstärkern ist die Überprüfung der Frequenzganglinearität. Hierbei wird das Ausgangssignal des Verstärkers mit einem einzelnen Frequenzsinus gemessen und anschließend mit der FFT analysiert. Durch Vergleich des resultierenden Spektrums mit dem des Eingangssignals kann die Linearität des Frequenzgangs des Verstärkers bestimmt werden.

Ein wichtiger Faktor für die Leistungsfähigkeit eines Niederfrequenzverstärkers ist seine Linearität. Das bedeutet, dass der Verstärker die Amplitude eines Eingangssignals in einem bestimmten Frequenzbereich proportional zur Amplitude des Eingangssignals verstärkt. Eine Abweichung von dieser Proportionalität führt zu Verzerrungen im Ausgangssignal, was die Qualität des Signals beeinträchtigt. Die FFT ermöglicht es, die Linearität eines Verstärkers in einem bestimmten Frequenzbereich genau zu untersuchen. Dazu wird ein Testsignal mit bekannten Frequenzen an den Eingang des Verstärkers gegeben. Das Ausgangssignal wird dann aufgenommen und mit der FFT analysiert. Durch Vergleich der Amplituden des Eingangssignals mit den Amplituden der Frequenzen im Ausgangssignal kann man die Linearität des Verstärkers im betrachteten Frequenzbereich genau bestimmen. Ein weiterer Vorteil der FFT ist, dass sie es ermöglicht, die Linearität des Verstärkers in einem breiten Frequenzbereich gleichzeitig zu untersuchen. Dies ist besonders wichtig, da die Linearität eines Verstärkers in der Regel im gesamten Frequenzbereich, für den der Verstärker ausgelegt ist, überprüft werden sollte.

Zudem ist es vorteilhaft, dass mit der FFT die Möglichkeit besteht, die Linearität des Verstärkers in einem breiten Frequenzbereich gleichzeitig zu untersuchen. Dies ist von großer Bedeutung, da die Linearität eines Verstärkers in der Regel im gesamten Frequenzbereich, für den der Verstärker ausgelegt ist, überprüft werden sollte. Durch die Verwendung der FFT können diese Messungen schnell und effizient durchgeführt werden, da die FFT es ermöglicht, die Frequenzen und Amplituden des Eingangssignals in verschiedenen Frequenzbereichen zu bestimmen.

Eine weitere Anwendung ist die Messung von Störungen, die in das Signal eingekoppelt werden. Dies können zum Beispiel Rauschen oder Interferenzen sein, die durch externe Quellen wie elektromagnetische Felder oder andere elektronische Geräte verursacht werden. Die FFT ermöglicht es, die Frequenzen und Amplituden dieser Störungen genau zu bestimmen und gegebenenfalls geeignete Gegenmaßnahmen zu ergreifen. Ein Beispiel für eine solche Gegenmaßnahme kann die Verwendung von Filtertechniken sein, um bestimmte Frequenzbereiche aus dem Signal zu unterdrücken. Dies kann beispielsweise durch die Verwendung von Tiefpass- oder Hochpassfiltern erreicht werden, die das Signal so bearbeiten, dass nur bestimmte Frequenzbereiche durchgelassen werden. Ein weiteres Beispiel kann die Verwendung von Schirmungstechniken sein, um die Einkopplung von Störungen aus externen Quellen zu verhindern. Wie Sie schon merken sind die Anwendungsfälle enorm. Sie werden im weiteren Verlauf auch noch öfters auf die FFT stoßen.

Elementare Messtechnik

Die elementare Messtechnik zur Überprüfung von Audio-Signalen basiert auf einer Kombination aus digital generierten Signalen und FFT-basierten Analysemethoden. Hierbei werden mehrere gleichzeitige Sinuswellen, auch als Multi-Tone bezeichnet, verwendet, um das Audio-Spektrum präzise zu untersuchen. Typischerweise besteht ein Signal aus 15 Sinuswellen, die gleichmäßig über einen logarithmischen Graphen des Audio-Spektrums verteilt sind. Die Messung erfolgt am Ausgang des Geräts, das überprüft werden soll (DUT),

und beinhaltet eine FFT, um die Energieverteilung des Signals in verschiedenen Frequenzbereichen zu bestimmen.

Ein wichtiger Vorteil dieser Technik ist die Möglichkeit, das Signal digital zu generieren und es genau auf die Länge des aufgezeichneten Signals abzustimmen. Dies verbessert die Messgenauigkeit, indem es verhindert, dass Energie in benachbarte Frequenzbereiche abgegeben wird. Dies wird durch die Verwendung einer speziellen Fensterfunktion erreicht.

Diese Technik kann in der Audio-Messung und -Analyse eingesetzt werden, um präzise und genaue Ergebnisse zu erzielen. Ein weiterer Vorteil ist, dass das Meßsignal, bestehend aus vielen gleichzeitigen Sinuswellen, Musik und Sprache sehr ähnlich ist. Durch die Anpassung der Amplituden der einzelnen Töne kann man die spektrale Energieverteilung an die gewünschte Art von Programmmaterial anpassen. Dies ist besonders wertvoll bei der Überprüfung der Leistung von komplexen Mehrband-Signalverarbeitungssystemen, wie sie in vielen Rundfunkstationen verwendet werden.

Die Phasenbeziehung zwischen den Kanälen eines Stereogeräts kann durch die Anwendung der Fourier-Transformation (FFT) ermittelt werden. Dazu wird die Phase jedes Signals bestimmt und die Phase eines Kanals von der Phase des anderen Kanals subtrahiert. Die Trennung der Stereokanäle (Crosstalk) kann ebenfalls mittels FFT analysiert werden, indem man unterschiedliche Wellenformen an die beiden Kanäle sendet und anschließend die Frequenzbinäre untersucht. Die schnelle Messgeschwindigkeit ist ein großer Vorteil dieser Methode: bereits 1-2 Sekunden Multitonsignal reichen aus, um das Gerät oder System unter Test zu analysieren. Die FFT-Daten können dann verwendet werden, um verschiedene Parameter wie Frequenzgang, Verzerrung, Rauschen, Phase und Trennung zu bestimmen. In Ausnahmefällen, wenn eine absolute Mindestdauer des Testsignals erforderlich ist, kann eine Variation dieser Methode, einen Multitonsignal-Burst von nur 270 Millisekunden erkennen und aufnehmen.

Multitone Messungen

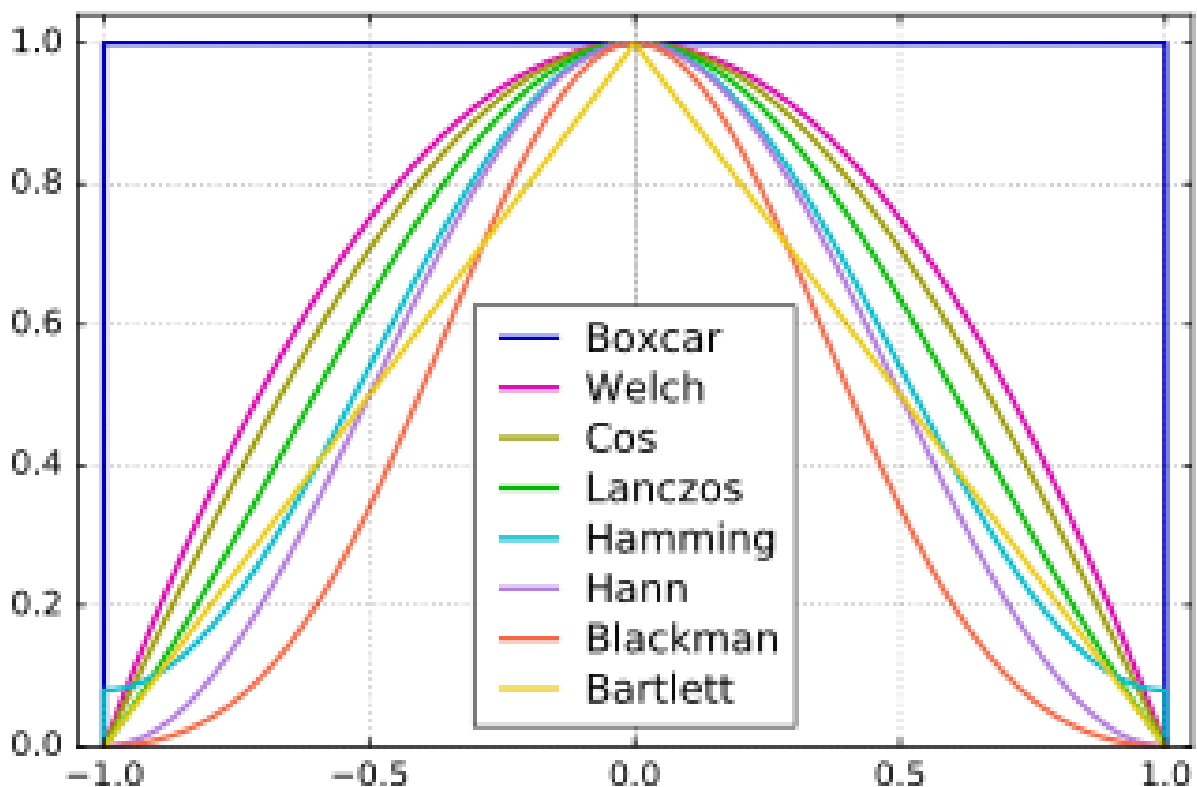
Multitone-Messungen ermöglichen sehr schnelle Messungen linearer Fehler wie Amplituden- und Phasenantwort gegenüber der Frequenz, Interkanaal-Crosstalk und Rauschen sowie nichtlinearer Effekte. Ursprünglich entwickelt, um sehr schnelle Messungen von Rundfunksendungen zu ermöglichen, hat die Technik auch aufgrund ihrer hohen Geschwindigkeit in der Produktionstest und bei der Überprüfung von Kassettenspielern eine weite Anwendung gefunden, da keine Synchronisierung zwischen Quelle und Empfänger erforderlich ist. Die Methode der elementaren Messtechnik ist ein Verfahren zur schnellen Messung von linearen Fehlern wie der Amplituden- und Phasenantwort gegenüber der Frequenz, interkanalischer Störkopplung und Rauschen sowie nichtlinearen Effekten. Ursprünglich entwickelt, um sehr schnelle Messungen von Übertragungstrecken durchzuführen, hat die Technik auch in der Produktionstestung aufgrund ihrer hohen Geschwindigkeit und in der Prüfung von Tonbandgeräten eine breite Anwendung gefunden, da keine Synchronisation zwischen Sender und Empfänger erforderlich ist. Das Verfahren wird durch eine Summe mehrerer Sinuswellen realisiert, deren Frequenzen typischerweise

logarithmisch im Audiobereich verteilt sind. Das Ausgabespektrum des Geräts unter Test wird gemessen und die Amplituden und Phasen der Komponenten an den ursprünglichen Stimulusfrequenzen bieten die lineare Amplituden- und Phasenantwort gegenüber der Frequenz. Zusätzliche Messungen wie Störkopplung und Rauschen können durch geeignete Wahl von Signal- und Analysefrequenzen leicht erhalten werden. Die Anzahl der einzelnen Sinuswellen im Signal, ihre Frequenzen und die individuellen Amplituden können von dem Benutzer eingestellt werden. Die einzige Einschränkung besteht darin, dass sie ein Vielfaches der grundlegenden FFT-Analysenlänge sein müssen. In der üblichen Konfiguration mit einer 8192-Punkt-Wellenform bei einer 48-kHz-Abtastrate resultiert dies in 4096 Bins mit einer Frequenzauflösung von 5,96 Hz, die den Bereich von Null Hertz bis 24 kHz abdecken. Diese Art der Messung ermöglicht nicht nur schnelle, sondern auch sehr präzise Messungen, da sie auf der Detektion der einzelnen Frequenzen des Signals basiert. Dies bietet eine genaue Überwachung der Leistung und Qualität von Geräten und Übertragungstrecken und kann daher in vielen Bereichen, einschließlich der Übertragungstechnik, der Unterhaltungselektronik und der Industrie, von großem Nutzen sein. Außerdem ermöglicht es durch Anpassung des Testsignalspektrums dessen Frequenzverteilung simulieren zu können. Auch die Phasen der Sinuswellen, die das Testsignal bilden, können angepasst werden, um den Spitzenwert zu kontrollieren. Wenn zum Beispiel alle Töne so eingestellt werden, dass sie ein Kosinus förmige Phasenbeziehung aufweisen, werden die Spitzen sich kohärent hinzufügen und eine maximale Amplitude ergeben, die gleich der Summe der individuellen Sinuswellen-Spitzenamplituden ist. Die RMS-Amplitude des Testsignals wird die Leistungssumme jeder Sinuswellen-RMS-Amplitude sein, und der resultierende Spitzenwert wird proportional zur Wurzel aus der Anzahl der Töne sein. Dies ist das Maximum, das für ein gegebenes Signal-Spektrum möglich ist. Alternativ können die Phasen so angepasst werden, dass der Spitzenwert minimiert wird. Dies führt typischerweise zu einem Spitzenwert, der mit der vierten Wurzel aus der Anzahl der Töne zunimmt. Typische Spitzenwerte für Ton-Signale mit einer 1/3-Oktave-Abstand befinden sich bei etwa 3,5, was ungefähr 2,5-mal mehr ist als bei einer einzigen Sinuswelle.

Fensterfunktionen

Fensterfunktionen spielen eine wichtige Rolle bei der Anwendung von FFT (Fast Fourier Transform) in der Frequenzanalyse und dem Filterdesign. In der Frequenzanalyse kommt es aufgrund der Verarbeitung von Signalen in endlichen Blöcken zum sogenannten Leck-Effekt, der zu einer breiteren Darstellung des Frequenzspektrums führt. Die Verwendung einer geeigneten Fensterfunktion kann diesen Effekt vermindern. Hierbei wird das Signal am Fensterbeginn "eingebledet" und am Fensterende "ausgebledet", was zu einer künstlichen Periodisierung des Signals innerhalb des Zeitfensters führt. In der Filterdesign-Methode wird die Fenstermethode häufig angewendet. Hierbei wird der gewünschte Frequenzgang des Filters definiert und durch die inversen Fouriertransformation die ideale Impulsantwort ermittelt. Um eine endlich lange Impulsantwort zu erhalten, wird durch eine Fensterfunktion

ein Ausschnitt der unendlichen Impulsantwort ausgewählt. Der tatsächliche Frequenzgang des Filters entspricht somit der Multiplikation des gewünschten Frequenzgangs mit der Fouriertransformierten der Fensterfunktion. Es gibt verschiedene Fensterfunktionen, die unterschiedliche Eigenschaften aufweisen. Die Auswahl einer passenden Fensterfunktion ist daher ein Kompromiss, der den speziellen Anforderungen des Anwendungsfalls Rechnung trägt. Breite Fensterfunktionen führen zu steilen Übergängen zwischen Durchlass- und Sperrbereich, aber zu geringer Sperrdämpfung. Hingegen führen schmale Fensterfunktionen zu flachen Übergängen, aber zu größerer Sperrdämpfung. Im folgenden werden die wichtigsten Beschrieben.



Der einfachste in der gängigen Verwendung befindliche Fenstertyp ist das Hann-Fenster, benannt nach seinem Erfinder, dem österreichischen Astronomen Julius von Hann (oft falsch als Hanning-Fenster bezeichnet aufgrund der Verwechslung mit dem Hamming-Fenster, benannt nach Richard Hamming). Das Hann-Fenster ermöglicht eine gute Unterscheidung von eng beieinanderliegenden Tönen gleicher Amplitude und ist aufgrund seiner gebogenen kosinusförmigen Welle sehr einfach zu berechnen. Das Hann-Fenster hat eine besondere Formel, die es zu einem guten Kompromiss zwischen dem Glätten des Signals und dem Erhalt von Informationen macht. Es ist leicht zu implementieren und hat eine glatte Überlappung, was es zu einer guten Wahl für Anwendungen macht, bei denen eine gleichmäßige Überlappung gefordert ist. Das Hann-Fenster hat jedoch auch einige Nachteile. Da es eine kosinusförmige Welle ist, hat es eine höhere Sidelobe-Leistung als andere Fenstertypen. Dies kann bei Anwendungen, bei denen eine geringe Sidelobe-Leistung erforderlich ist, zu Problemen führen. Darüber hinaus kann das Hann-Fenster in Anwendungen, bei denen eine hohe Frequenzauflösung erforderlich ist, nicht die beste Wahl

sein. Insgesamt ist das Hann-Fenster jedoch ein flexibler und einfacher zu verwendender Fenstertyp, der bei vielen Anwendungen eine gute Leistung liefert. Es ist ein wichtiger Bestandteil der Signalverarbeitungstechnik und bleibt eine beliebte Wahl für Anwendungen, bei denen eine gute Signal-Rausch-Verhältnis und eine gleichmäßige Überlappung gefordert sind.

Das Rechteckfenster, auch bekannt als Rectangular Window, ist ein einfacher Fenstertyp, der oft in der Signalverarbeitung verwendet wird. Es wird oft in Anwendungen eingesetzt, bei denen eine einfache und schnelle Berechnung des Signals erforderlich ist, wie beispielsweise in der Übertragungstechnik oder bei der Messung von Signalen in der Naturwissenschaft. Das Rechteckfenster hat eine einfache Formel und besteht aus einem konstanten Wert während seiner Länge. Es hat keine Glättung des Signals und liefert eine hohe Frequenzauflösung. Das Rechteckfenster ist jedoch auch für seine hohen Sidelobes bekannt, was es für Anwendungen, bei denen eine geringe Sidelobe-Leistung gefordert ist, weniger geeignet macht. Das Rechteckfenster ist auch nicht besonders gut geeignet für Anwendungen, bei denen eine gleichmäßige Überlappung erforderlich ist, da es eine scharfe Überlappung hat. Es ist jedoch eine gute Wahl für Anwendungen, bei denen eine schnelle Berechnung des Signals erforderlich ist, da es einfach zu berechnen ist und keine komplexen Berechnungen erfordert. Insgesamt ist das Rechteckfenster ein einfacher Fenstertyp, der oft in Anwendungen verwendet wird, bei denen eine einfache und schnelle Berechnung des Signals erforderlich ist. Obwohl es nicht die beste Wahl für alle Anwendungen ist, hat es aufgrund seiner Einfachheit und Schnelligkeit seinen Platz in der Signalverarbeitungstechnik.

Das Hamming-Fenster, benannt nach dem amerikanischen Mathematiker und Informatiker Richard Hamming, ist ein häufig verwendeter Fenstertyp in der Signalverarbeitung. Es ist ein gutes Beispiel für ein geglättetes Fenster und wird oft verwendet, um die Überlappungs-Artefakte von Fenstern mit scharfen Überlappungen zu reduzieren. Das Hamming-Fenster hat eine einfache Formel, die eine kosinusförmige Glättung des Signals beinhaltet. Es liefert eine gute Kompromiss-Lösung zwischen Frequenzauflösung und Überlappungs-Artefakten und ist daher oft die erste Wahl für viele Anwendungen in der Signalverarbeitung. Das Hamming-Fenster hat auch geringere Sidelobes als das Rechteckfenster, was es für Anwendungen, bei denen eine geringere Sidelobe-Leistung gefordert ist, wie beispielsweise bei der Radarsignalverarbeitung, besonders geeignet macht. Obwohl das Hamming-Fenster eine gute Wahl für viele Anwendungen ist, ist es jedoch nicht die beste Wahl für alle Anwendungen. Zum Beispiel ist es nicht so gut geeignet für Anwendungen, bei denen eine höhere Frequenzauflösung erforderlich ist, da es durch die Glättung einen Verlust an Frequenzauflösung hat. Das Hammingfenster bietet eine gute Kompromiss-Lösung zwischen Frequenzauflösung und Überlappungs-Artefakten. Es ist eine gute Wahl für viele Anwendungen und hat sich als nützliches Werkzeug in der Signalverarbeitung etabliert.

Harmonic Distorsion

Die Harmonische Verzerrung (Harmonic Distortion) wird durch nichtlineare Geräte im Stromsystem verursacht. Ein nichtlineares Gerät ist eines, bei dem der Strom nicht proportional zur angelegten Spannung ist. Auch wenn die angewendete Spannung perfekt sinusförmig ist, kann der resultierende Strom verzerrt sein. Eine Erhöhung der Spannung um ein paar Prozent kann dazu führen, dass der Strom sich verdoppelt und eine andere Wellenform annimmt. Dies ist die Quelle der meisten harmonischen Verzerrungen in einem Stromsystem. Jede periodische und verzerrte Wellenform kann als Summe von Sinusoiden dargestellt werden kann. Wenn eine Wellenform von einem Zyklus zum nächsten identisch ist, kann sie als Summe von reinen Sinuswellen dargestellt werden, bei denen die Frequenz jeder Sinusoid ein ganzzahliges Vielfaches der Grundfrequenz der verzerrten Welle ist. Dieses Vielfache wird als harmonische Grundfrequenz bezeichnet, weshalb dieses Thema so heißt. Die Summe von Sinusoiden wird als Fourierreihe bezeichnet, benannt nach dem großen Mathematiker, der diesen Begriff entdeckt hat. Die Messtechnik von Niederfrequenzverstärkern spielt eine wichtige Rolle bei der Überwachung und Analyse von harmonischen Verzerrungen. Diese Verzerrungen sind kein neues Phänomen, aber ihre Auswirkungen auf die Signalqualität können erheblich sein. Die Niederfrequenzverstärker-Messtechnik ermöglicht es, die harmonischen Verzerrungen in der Nähe der Last zu erfassen und zu analysieren, insbesondere bei industriellen Anwendungen wie geregelten Antrieben, Lichtbogenöfen und Induktionsöfen. Dies ermöglicht es, Probleme frühzeitig zu erkennen und zu beheben, um die Betriebssicherheit und -effizienz der Anlage sicherzustellen. Daher ist die Messtechnik von Niederfrequenzverstärkern ein wichtiger Bestandteil der Stromversorgungsüberwachung und -analyse. Harmonische Verzerrungen können auf verschiedene Arten gemessen werden. Alle haben die folgenden grundlegenden Konzepte gemeinsam:

- Das DUT (Device Under Test) wird mit einer reinen Sinuswelle stimuliert, so dass praktisch keine harmonische Energie im Stimulus-Signal vorhanden ist.
- Die Nichtlinearität des DUT führt zu Harmonischen verschiedener Ordnung (2., 3., usw.) und verschiedener Amplituden.
- Das Ausgangssignal wird so gemessen, dass die harmonische Energie von der Grundenergie getrennt wird. Typischerweise wird die harmonische Energie im Verhältnis zur Amplitude der Grundkomponente am Ausgang oder zur Amplitude des komplexen Signals (Grund und Harmonische) ausgedrückt. Diese Messtechnik ist besonders wichtig, um die Auswirkungen der harmonischen Verzerrungen auf die Stromversorgung zu verstehen und zu beheben, insbesondere bei industriellen Anwendungen.

Individuelle Harmonische Verzerrung

Ein hochselektiver einstellbarer Bandpassfilter ist erforderlich, um eine individuelle harmonische Verzerrung zu messen. Einige Analysegeräte (oft als Wellenanalysegeräte oder sweeping Spektrumanalysegeräte bezeichnet) erreichen dies durch die Verwendung

einer Superheterodyn-Empfängerarchitektur, die einen Mixer, einen Lokalszillator und feste hochselektive Filter bei einer Zwischenfrequenz verwendet. Analysegeräte können auch direkt durch Audiofrequenzen durchsuchbare tunable Filter oder FFT- (Fast Fourier Transform) Analyse-Techniken verwenden, um eine hohe Auflösungsanalyse zu ermöglichen. Das Isolieren einzelner Harmonischen kann für einen Entwicklungs- und Design-Ingenieur besonders nützlich sein, da unterschiedliche nichtlineare Mechanismen unterschiedliche Arten von Verzerrungen verursachen können. Beispielsweise führen nichtlineare Übertragungsfunktionen, die symmetrisch um Null sind, zu ungeraden Harmonischen. Nichtlineare Übertragungsfunktionen, die nicht symmetrisch um Null sind, erzeugen vorwiegend gerade Harmonischen. Symmetrische Clipping erzeugt hauptsächlich ungerade Harmonischen, oft sehr hoher Ordnung. Daher kann die Messung der Verteilung von Harmonischen Hinweise darauf geben, wo die Verzerrung eingeführt wird.

Die Messgenauigkeit von einzelnen harmonischen Verzerrungen ist in der Regel geringer als bei anderen Methoden, die später in diesem Handbuch beschrieben werden. Um eine zweite harmonische Komponente mit 90 dB unter der Grundfrequenz genau zu messen, benötigen Sie einen Bandpassfilter mit einer Dämpfung von mehr als 90 dB bei der Hälfte seiner Zentralfrequenz. Heterodyn-artige Spektrumanalysatoren können diese Selektivität bieten, jedoch ist deren Dynamikbereich durch die Mischerstufe begrenzt. FFT-Analysatoren, die mindestens 16-Bit-Design aufweisen, können 90 dB nützliche Selektivität erreichen. Wenn der Filter ein Konstant-Q-Design (konstante Prozentbandbreite) hat, wird ein sehr hohes Q benötigt, um einen -90 dB zweiten Harmonischen von seiner Grundfrequenz zu trennen. Dies kann jedoch zu Problemen beim Erhalt einer konstanten, kalibrierten Gewinnsteigerung und damit zu einer ungenauen Messung über einen Frequenzbereich hinweg führen. Darüber hinaus kann ein Konstant-Q-Filter Schwierigkeiten haben, hochreihige Harmonische voneinander zu trennen, insbesondere bei niedrigamplitudigen Harmonischen, die von höheramplitudigen umgeben sind.

THD

THD steht für "Total Harmonic Distortion" (Gesamtharmonische Verzerrung) und bezieht sich auf die Menge an unerwünschter Verzerrung, die in einem elektronischen Signal enthalten ist. Harmonische Verzerrung entsteht, wenn ein Gerät das Eingangssignal verändert und harmonische Frequenzen hinzufügt, die mit der ursprünglichen Eingangsfrequenz korreliert sind. Das Ergebnis ist ein verändertes Signal, das im Allgemeinen als schlechtere Klangqualität wahrgenommen wird. Die Gesamtharmonische Verzerrung ist das Verhältnis zwischen der Summe aller harmonischen Frequenzen und der Grundfrequenz, ausgedrückt als Prozentsatz. Ein niedriger THD-Wert bedeutet, dass ein System eine geringere Verzerrung aufweist und somit ein sauberes und klares Signal liefert. Ein hoher THD-Wert hingegen deutet darauf hin, dass das System eine höhere Menge an Verzerrung enthält, was zu einer schlechteren Klangqualität führen kann. THD wird oft gemessen, indem ein Testsignal in das Gerät eingespeist wird und dann die harmonischen Frequenzen, die im Ausgangssignal enthalten sind, gemessen werden. Dies kann mit einem Spektrumanalysator oder anderen Messgeräten durchgeführt werden. Da Verzerrungen das Audiosignal verfälschen und die Klangqualität verschlechtern können wird bei uns genauestens auf den THD-Wert geachtet. Sie können beispielsweise dazu führen, dass das Audiosignal kratzig oder unnatürlich klingt. Deshalb ist es wichtig, dass Geräte, die Audiosignale verarbeiten oder wiedergeben, möglichst geringe THD-Werte aufweisen, um eine möglichst hohe Klangqualität zu gewährleisten.

Eine THD-Messung wird dann durchgeführt, wenn das zu testende System als nicht-linear angenommen wird. In diesem Fall kann die Ausgangsamplitude nicht mehr direkt mit der Eingangsamplitude verglichen werden und die Phasenlage des Ausgangssignals kann von der des Eingangssignals abweichen. Es schwieriger, die THD zu berechnen und es wird oft eine speziellere Methode verwendet, um die Verzerrungen zu quantifizieren. Die nichtlinearen Verzerrungen sind eine der komplexesten Beeinträchtigungen, die bei der Übertragung von Signalen auftreten können. Begriffe wie Klirrfaktor oder Total Harmonic Distortion (THD) werden ebenfalls verwendet, um diese Art von Verzerrungen zu beschreiben. Im Gegensatz zu linearen Verzerrungen ändern nichtlineare Verzerrungen die Form des Signals. Die Auswirkungen auf den Klang sind schwer zu definieren. Diese Veränderungen entstehen durch pegelabhängige Verstärkungen oder Dämpfungen des Signals in Geräten der Unterhaltungselektronik. Techniker kennen lineare, quadratische und kubische Kennlinien, die elektronische Schaltungen aufweisen und das eigentliche Musiksignal modulieren. Die Ursachen für nichtlineare Verzerrungen liegen darin, dass Bereiche, in denen die Geräte linear arbeiten sollten, überfordert sind oder wegen schlechter Leistung bestimmter Bauteile oder äußerer Einflüsse Wechselwirkungen auftreten. Als Ergebnis davon stimmt die Wellenform des Ausgangssignals nicht mehr vollständig mit dem Eingangssignal überein. Nichtlineare Verzerrungen können sowohl am Lautsprecher als auch an einem klassischen Verstärker oder anderen Geräten auftreten, wie z.B. D/A-Wandler in digitalen Geräten. Auch ältere Geräte, wie Phono-Abtastsysteme,

Vorverstärker und analoge Magnetbandgeräte, haben einen gewissen Anteil an Verzerrungen. Es ist wichtig zu beachten, dass sowohl lineare als auch nichtlineare Verzerrungen oft gemeinsam vorkommen können.

In der Praxis ist es wichtig zu beachten, dass die meisten elektronischen Schaltungen und Geräte nicht perfekt linear sind. Daher ist es in der Regel sinnvoll, eine nicht-lineare THD-Messung durchzuführen, um ein realistischeres Ergebnis zu erhalten. Eine niedrigere lineare THD-Messung kann jedoch immer noch als Indikator für eine geringere Verzerrung des Ausgangssignals verwendet werden.

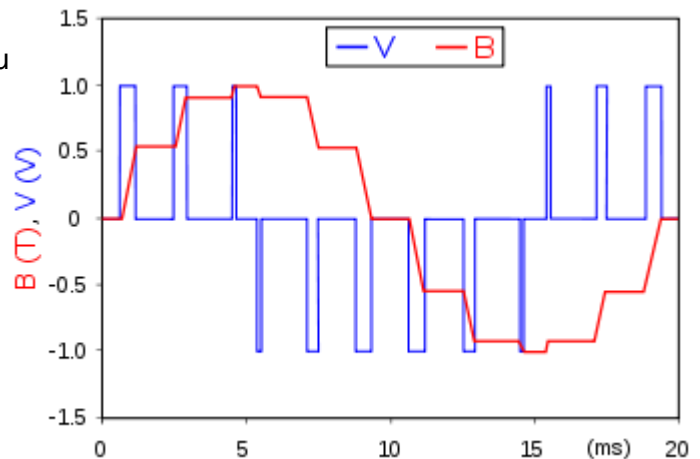
Messung

Die Messung der Total Harmonic Distortion (THD) ist ein wichtiger Bestandteil der Qualitätskontrolle in der Audiotechnik. Um THD zu messen, wird meist ein sinusförmiger Eingang verwendet, da Sinuswellen nur Energie bei einer einzigen Frequenz enthalten; Energie, die bei jeder anderen Frequenz auftaucht, ist somit das Ergebnis von Nichtlinearitäten oder zeitlich veränderlichem Verhalten des Systems. Energie, die genau bei Harmonischen der Eingangsfrequenz auftaucht, wird fast sicherlich durch Nichtlinearitäten im System erzeugt. Andere periodische Testsignale oder Breitband-Signale eignen sich nicht für THD-Messungen, da die im Eingangssignal enthaltene Energie die durch Nichtlinearitäten im System erzeugte Energie maskieren kann. Es ist daher wichtig, ein reines Eingangssignal zu haben, d.h. eines, das fast alle seine Energie bei einer einzigen Frequenz enthält. Um eine wahre THD-Messung durchführen zu können, muss die Energie separat bei Harmonischen des Eingangssignals gemessen werden. Amplituden bei jeder harmonischen Frequenz werden quadriert und dann summiert. Der Wurzel der Summe ist der Wert der THD. Manchmal wird dieser Wert als Bruchteil (Prozentsatz) der Amplitude des Eingangssignals präsentiert. Um die THD-Messung möglich zu machen, können nur eine begrenzte Anzahl von Harmonischen in die Messung einbezogen werden. Bei milden Nichtlinearitäten fällt die Energie bei höheren Harmonischen ab, so dass die meiste THD-Energie in den niedrigen Harmonischen enthalten ist. Bei starken Nichtlinearitäten müssen viele Harmonischen einbezogen werden, um eine präzise Messung zu erhalten.

In den meisten Fällen hängt die THD-Menge von der Amplitude des Eingangssignals ab. Bei Systemen, die saturieren, ist zu erwarten, dass die THD-Ebenen bei steigender Signalamplitude zunehmen. In der Praxis werden THD-Messungen häufig durchgeführt, um die Leistung von Audiogeräten zu bewerten. Eine niedrige THD-Zahl ist ein Indikator dafür, dass das Ausgangssignal des Geräts wenig Verzerrungen enthält und eine hohe Klangqualität aufweist. Eine höhere THD-Zahl kann jedoch darauf hinweisen, dass das Gerät nicht optimal funktioniert und Verzerrungen im Ausgangssignal verursacht, die sich negativ auf die Klangqualität auswirken können. Wenn THD-Messungen durchgeführt werden, sollte sichergestellt werden, dass das Eingangssignal möglichst rein ist und fast alle seine Energie bei einer einzigen Frequenz enthält. Dies ermöglicht es, die Energie separat bei Harmonischen des Eingangssignals zu messen und so eine präzise THD-Messung durchzuführen. Es ist auch wichtig, die Anzahl der zu berücksichtigenden Harmonischen sorgfältig auszuwählen, um eine genaue Messung zu gewährleisten. Eine weitere

Möglichkeit, THD zu messen, ist die Verwendung von Spektralanalysatoren. Diese Geräte untersuchen das Signal in seine harmonischen Komponenten auf und berechnen dann den Prozentsatz der Harmonics im Verhältnis zur Grundfrequenz. Es gibt auch digitale Methoden zur Messung von THD, wie z.B die Verwendung von Fourier-Transformationen und die Berechnung des THD aus den erhaltenen Ergebnissen. Eine weitere Möglichkeit THD zu reduzieren ist durch den Einsatz von Filtertechniken. Dazu gehören unter anderem

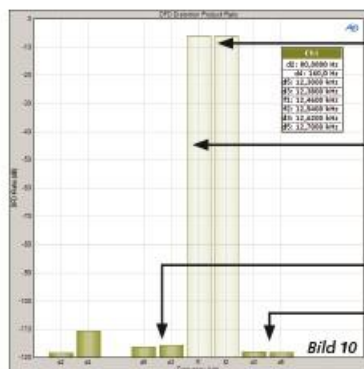
Tiefpassfilter, die dazu dienen, die höheren harmonischen Komponenten des Signals zu entfernen. Eine andere Methode ist die Verwendung von PWM-Techniken (Pulse Width Modulation), bei der das Signal in kurze Impulse unterteilt wird, um die höheren harmonischen Komponenten zu reduzieren. Es ist relevant, den Pegel des Eingangs- oder Ausgangssignals für die Messung festzulegen, da die nichtlinearen Verzerrungen abhängig davon sind. Die



meisten nichtlinearen Verzerrungen werden als Total Harmonic Distortion plus Noise (THD+N) bewertet. Hierbei wird das Verhältnis der Effektivwerte der harmonischen Anteile (außer der Stimulationsfrequenz) zum Eingangssignal erfasst und als Prozent angegeben, wobei nur ein bestimmter Frequenzbereich analysiert wird.

Das "N" für Noise gibt an, dass weitere Störungen wie Brummen und Rauschen ebenfalls erfasst werden. Mit dem Zusatz "P" wird angegeben, mit welchem effektiven Pegel die erfassten Werte gemessen wurden. Intermodulation- und Differenztonfaktor (IMD, DFD) sind weitere Messverfahren für Verzerrungen, die besonders geeignet sind, um störende Summ- und Differenztöne eines Frequenzgemisches zu erfassen.

Bei diesen Verfahren werden dem Prüfling mindestens zwei unterschiedliche Frequenzen zugeführt, um dann mit unterschiedlichen Bewertungsverfahren, die durch die Elektronik erzeugten Summen- und Differenztöne auszuwerten. Dies geschieht zum Teil mit bis zu fünf Modulationsprodukten, die in die Analyse einbezogen werden.



Diese großen Balken zeigen die Pegel der Frequenzen an, mit denen der Prüfling gespeist wird.

Die kleinen dunkleren Balken sind die Summen- und Differenztöne bzw. Modulationsprodukte. Je kleiner diese Balken ausfallen, desto geringer ist der Einfluß auf den Klang

Bild 10

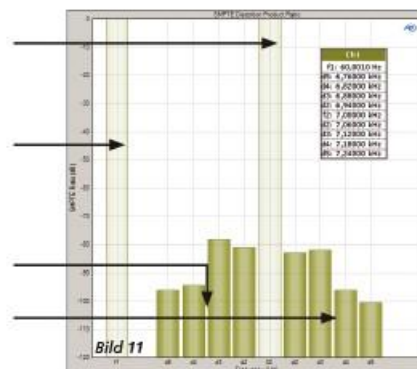


Bild 11

Berechnung

Total Harmonic Distortion (THD) wird berechnet, indem das Verhältnis der Summe der Amplituden aller Harmonischen im Ausgangssignal zur Amplitude der Grundfrequenz des Signals bestimmt wird, dies wird in der Regel als Prozentsatz ausgedrückt. Die Grundfrequenz des Signals ist die Hauptfrequenz, die man identifizieren würde, wenn man das Signal mit einem Oszilloskop untersucht. THD wird in der Regel als Prozentsatz ausgedrückt. Ein niedriger THD-Wert bedeutet, dass das Signal wenig von seiner Grundfrequenz abweicht, während ein hoher THD-Wert darauf hindeutet, dass das Signal stark von seiner Grundfrequenz abweicht. Um die THD zu berechnen, wird das Ausgangssignal zunächst in seine harmonischen Komponenten zerlegt, indem es durch einen Fouriertransformator (FFT) geschickt wird. Anschließend werden die Amplituden der harmonischen Komponenten gemessen und die Summe der Amplituden aller Harmonischen (außer der Grundfrequenz) berechnet. Diese Summe wird dann durch die Amplitude der Grundfrequenz geteilt und mit 100 multipliziert, um die THD als Prozentsatz auszudrücken. In der Praxis wird die THD in der Audiotechnik oft gemessen, um die Qualität des Ausgangssignals eines Audiogeräts zu bewerten. Ein niedriger THD-Wert deutet darauf hin, dass das Ausgangssignal des Geräts wenig Verzerrungen enthält und eine hohe Klangqualität aufweist. Ein höherer THD-Wert kann auf eine schlechtere Klangqualität und mehr Verzerrungen im Ausgangssignal hinweisen, die durch die Verarbeitung des Signals innerhalb des Geräts verursacht werden.

Es ist jedoch zu beachten, dass die THD-Messung nur ein Indikator für die Klangqualität ist und dass andere Faktoren wie die Rauschzahl und die Dynamik des Signals ebenfalls berücksichtigt werden sollten. Eine niedrige THD-Zahl ist also nicht automatisch ein Indikator für eine hochwertige Klangqualität.

Die einfachste Möglichkeit, THD zu „berechnen“, ist die Verwendung der Gleichung:

$THD = (\text{RMS aller harmonischen Frequenzen}) / (\text{RMS der Grundfrequenz}) \times 100\%$.

Mathematisch ausgedrückt wird THD durch die folgende Formel:

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} V_{rms}^2}}{V_{grms}}$$

V_{rms} : RMS-Spannung der n-ten Harmonischen

V_{grms} : MS-Spannung der Grundfrequenz

Da die Amplituden der Harmonischen benötigt werden, um THD zu berechnen, kann die Fourier-Analyse verwendet werden, um THD zu bestimmen.

Umrechnung von Dezibel in Prozent (%) und umgekehrt

In diesem Abschnitt geht es um die Umrechnung von Verzerrungen in Dezibel. Insbesondere wird auf die Gesamt-Harmonischen-Verzerrung (THD) eingegangen. Nichtlineare Verzerrungen können entweder als Dämpfung in Dezibel oder als Dämpfungsfaktor in Prozent (THD) angegeben werden. THD wird definiert als das Verhältnis der

Effektivspannung der Harmonischen zur Grundkomponente. Zur Bestimmung der einzelnen Harmonischen wird ein Spektrumanalysator verwendet. Anschließend erfolgt eine Root-Mean-Square-Summe, um das Verhältnis von Harmonischen zu Grundkomponente zu berechnen, welches als THD in Prozent angegeben wird.

Das Konzept von THD wird auch bei der Amplitudenverzerrung eines Signals verwendet. In diesem Fall wird die Differenz zwischen der Harmonischen Verzerrung (unerwünschte Obertöne) und dem Gesamtsignal in Dezibel angegeben. Die Verzerrung eines Audio-Geräts gibt an, inwieweit unerwünschte Obertöne und Harmonische dem Sinus-Signal hinzugefügt werden. Der THD-Wert wird in Prozent angegeben und bezieht sich auf das Gesamtsignal. Harmonische Verzerrungen können sowohl mit positiven als auch mit negativen Vorzeichen in Dezibel angegeben werden. Es gibt auch Größen ohne Einheit, die oft mit Prozent (%) oder Dezibel (dB) verbunden sind.

Der Verzerrungsfaktor ist immer kleiner als 1 oder 100% und die Gesamt-Harmonischen-Verzerrung muss daher immer einen negativen dB-Wert haben. Die Gesamt-Harmonischen-Verzerrung wird in dB dargestellt, während der Eingangswert k in Prozent angegeben wird.

$$a_k = 20 \cdot \lg \frac{k}{100}$$

Alternativ wird die Gesamt-Harmonischen-Verzerrung als Klirrfaktor in % bezeichnet, während der Eingangswert a_k in dB mit einem Minuszeichen angegeben wird. Es gibt zwei verschiedene Formeln, um den Verzerrungsfaktor zu berechnen:

$$K = \sqrt{\frac{U_2^2 + U_3^2 + U_4^2}{U_1^2 + U_2^2 + U_3^2 + U_4^2}} \cdot 100$$

Und

$$K = \sqrt{\frac{U_2^2 + U_3^2 + U_4^2}{U_1^2}}$$

Der Verzerrungsfaktor wurde historisch vor dem THD-Wert eingeführt, welcher das Verhältnis des Effektivwerts aller Harmonischen zum Effektivwert aller Harmonischen plus Grundfrequenz (dem Gesamtsignal) angibt. THD wird als Verhältnis des RMS-Signals aller Harmonischen zum RMS des Grundsignals berechnet. Es ist üblich, THD+N anzugeben, wobei N für Rauschen steht, wie im Kapitel darüber genauer beschrieben wird. Diese Prüfung misst alles, was dem Eingangssignal hinzugefügt wird, einschließlich Harmonischen, Brummen, Rauschen, RFI und Summen.

Die folgende Tabelle zeigt die THD mit Faktor, Prozent sowie in dB, um ein grobes Gefühl zu vermitteln:

k	K (%)	ak (db)
Faktor	Prozent	Dezibel
1	100	0
0.5	50	-6
0.2	20	-14
0.1	10	-20
0.05	5	-26
0.02	2	-34
0.01	1	-40
0.005	0.5	-46
0.002	0.2	-54

Auswirkungen

Bevor diskutiert wird, wie gut man nicht-linear verzerrte Signalformen wahrnimmt, ist es wichtig, einige physiologische Aspekte zu betrachten. Die Empfindlichkeit ist von Person zu Person unterschiedlich und hängt von ihrem Hintergrund ab. Es ist auch wichtig zu berücksichtigen, dass das Gehör selbst Verzerrungen produzieren kann, die bei höheren Lautstärken deutlich zunehmen und schon bei mittleren Pegeln präsent sind. Diese Verzerrungen des Gehörs können manchmal Verzerrungen überdecken, die in der Aufnahme- und Wiedergabekette entstehen können. Im Allgemeinen werden nichtlineare Verzerrungen erst wahrgenommen, wenn sie hörbar und frequenzabhängig über der Hörschwelle liegen. Es kann jedoch auch Verdeckungseffekte geben, die das unverzerrte Signal abschwächen, wodurch es erst bei höheren Pegeln wahrgenommen wird. Das Wissen über die Auswirkungen von THD auf die Wahrnehmung von Musik ist von entscheidender Bedeutung, um die Wiedergabequalität zu bewerten. Es ist bekannt, dass bei reinen Sinustönen eine THD von 1% hörbar ist, aber in komplexen Musikstücken kann es mehrere Prozentpunkte sein, die unentdeckt bleiben. Hier spielt die individuelle Obertonstruktur der Musik und Instrumente eine große Rolle für die Wahrnehmung. Wenn sich mehrere solcher Oberwellen aus verschiedenen Instrumenten miteinander verbinden, wird es noch schwieriger, die THD zu beurteilen. Hier eignen sich Intermodulation- und Differenztonfaktor (IMD, DFD) Messungen besser, um eine ähnlichere Beurteilung im Hinblick auf die Wahrnehmung zu erreichen. Dies ist aufgrund ihrer Fähigkeit, das Zusammenspiel von mehreren Schallwellen zu simulieren und zu untersuchen. Diese Messungen können die Wechselwirkungen von Frequenzen und die daraus resultierenden Intermodulationsprodukte

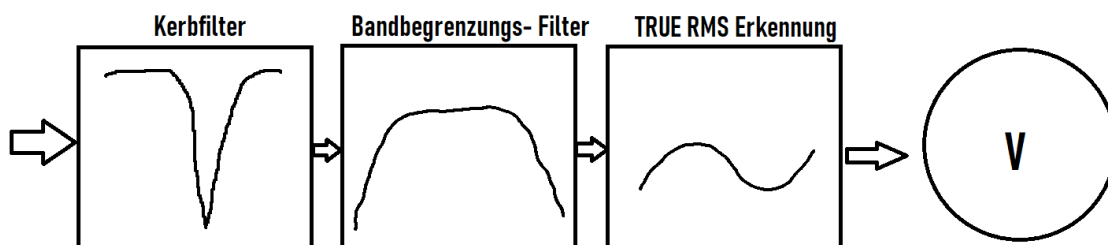
genau beurteilen, was zu einem besseren Verständnis darüberführt, wie sie auf das menschliche Ohr wirken. Da die menschliche Wahrnehmung sehr komplex ist und von vielen Faktoren abhängt, ist es wichtig, Messungen durchzuführen, die möglichst nah an der menschlichen Wahrnehmung sind, um eine realistische Beurteilung vornehmen zu können.

Ein Hinweis an Musikliebhaber: Manchmal sind es die kleinen Fehler, die das Interesse wecken. Viele elektronische Komponenten werden wegen ihrer hohen Musikalität geschätzt, die einen deutlichen Anteil (meist unter 1% THD) von geradzahligem Oberwellen hinzufügen. Dies wird oft als glatter, geschmeidiger oder die Plastizität fördernder Klangcharakter beschrieben. Bei ungeradzahligem harmonischen Verzerrungen hingegen wird eine Verstärkung von rauschähnlichen Klangeigenschaften beobachtet. Die Wichtigkeit von korrekt ausgewogenen Oberwellenanteilen in der Tonproduktion wird oft unterschätzt. Einige clevere Entwickler haben Schaltungen geschaffen, die in der Heimelektronik eingesetzt werden können, um eine zusätzliche Dimension zum Klang hinzuzufügen. Es ist jedoch wichtig, dass nur niedrige Ordnungszahlen (wie $2f$ und $3f$) in den Klang integriert werden, da höhere Anteile einen unangenehm scharfen Klangeffekt erzeugen können. Es ist bemerkenswert, wie kleine Veränderungen im Klangbereich einen großen Einfluss auf das Hörerlebnis haben können. Einige Musikliebhaber schätzen elektronische Geräte mit einem geringen Anteil an Oberwellen, da dies ihnen einen glatten, harmonischen Klang verleiht. Andere hingegen bevorzugen einen stärkeren Ortungsreiz und schätzen Geräte, die einen höheren Anteil an Oberwellen hinzufügen. Es kommt also immer darauf an, was für den jeweiligen Hörer wichtig ist und was er bevorzugt. In jedem Fall ist es faszinierend, wie ein kleiner Anteil an Oberwellen einen so großen Unterschied im Klangeindruck machen kann. Wie überall im Leben gilt auch hier: Die Dosierung macht das Gift.

THD+N

THD+N steht für "Total Harmonic Distortion plus Noise" (Gesamtharmonische Verzerrung plus Rauschen) und bezieht sich auf die Menge an unerwünschter Verzerrung und Rauschen, die in einem elektronischen Signal enthalten ist. THD+N wird oft in Zusammenhang mit Audio-Equipment wie Verstärkern, Lautsprechern, Mikrofonen und anderen Geräten diskutiert. Harmonische Verzerrung und Rauschen entstehen, wenn ein Gerät das Eingangssignal verändert und unerwünschte Frequenzen hinzufügt. Die Gesamtharmonische Verzerrung (THD) ist das Verhältnis der Summe aller harmonischen Frequenzen zur Grundfrequenz. Das Rauschen ist ein unerwünschtes Signal, das in das System gelangt und das Ausgangssignal beeinflussen kann. Ein niedriger THD+N-Wert bedeutet, dass das System eine geringere Menge an Verzerrung und Rauschen aufweist und somit ein sauberes und klares Signal liefert. Ein höherer THD+N-Wert deutet darauf hin, dass das System eine höhere Menge an Verzerrung und Rauschen enthält, was zu einer schlechteren Klangqualität führen kann.

THD+N wird oft gemessen, indem ein Testsignal in das Gerät eingespeist wird und dann die gesamte unerwünschte Verzerrung und das Rauschen im Ausgangssignal gemessen werden. Dies kann mit einem Spektrumanalysator oder anderen Messgeräten durchgeführt werden. Die häufigste Methode zur Messung von Verzerrungen ist die THD+N-Technik. Die Abbildung unten zeigt ein vereinfachtes Schaltbild eines THD+N-Analysators. Der wichtigste Funktionsblock ist ein anpassbarer Kerbfilter (Notch-Filter). Während des Betriebs wird dieser Filter manuell oder automatisch auf die Frequenz der Grundschwingung eingestellt, wodurch die Grundschwingung stark gedämpft wird. Der Filter ist so konstruiert, dass er bei der zweiten Harmonischen und höheren praktisch keine Einfügeverluste aufweist, wodurch die Harmonischen im Wesentlichen unbeeinträchtigt durchgelassen werden. Weitbandrauschen, Netzbrummen und alle anderen störenden Signale unterhalb und oberhalb der Frequenz des Kerbfilters werden ebenfalls unbeeinträchtigt durchgelassen; daher der Teil "+N" (plus Rauschen) im Namen.



Die THD+N-Technik hat viele Vorteile. Sie ist einfach umzusetzen und ermöglicht es, einen Kerbfilter zu bauen, der die Grundschwingung um 100 bis 120 dB abschwächt, ohne dass es zu großen Verlusten bei höheren harmonischen Verzerrungen kommt. Außerdem ist sie besonders nützlich, da sie alles im Ausgang des DUT erfasst, was nicht Teil des eigentlichen Testsignals ist. Ein niedriger gemessener THD+N-Wert bedeutet also nicht nur, dass die

Harmonischenverzerrung gering ist, sondern auch, dass Brummen, störende Signale und breitbandiges Weißrauschen ebenfalls auf einem niedrigen Niveau sind. Insgesamt ist die THD+N-Technik die Methode, die am besten dafür geeignet ist, Probleme im DUT zu erkennen.

Rauschbandbreite für THD+N-Messungen

Die THD+N-Messung kann einen unbedeutenden Rauschanteil haben. Wenn zum Beispiel das weiße Rauschen und das Brummen 90 dB unter dem Ausgangspegel des Geräts liegen und die zweite Harmonische Verzerrung 1% beträgt, hat das Rauschen keine Auswirkungen auf die Messung. In solchen Fällen wird die THD+N Messung genau mit der THD-Messung übereinstimmen, die auf individuelle harmonische Messungen basiert. Jedoch, wenn das Gerät sehr geringe Verzerrungen aufweist, kann das Rauschen das limitierende Element sein. In diesem Fall ist es wichtig, die Bandbreite für die THD+N Messung zu spezifizieren. Dies bedeutet, dass der THD+N Analyzer eine Auswahl von Bandbreitenbegrenzungsfiltern haben muss, um Messungen mit der angegebenen Rauschbandbreite durchzuführen. Es ist auch wichtig zu erwähnen, dass die meisten Audio Analysatoren die gleichen Schaltkreisblöcke für Pegel, Rausch und THD+N Messungen verwenden und daher werden die gleichen Bandbreitenbegrenzungsfilter verwendet. Gewichtungsfiler werden selten für THD+N Messungen verwendet. Bei einer THD+N-Messung wird sowohl die harmonische Verzerrung als auch das Rauschen eines Geräts gemessen. Wenn das Rauschen bei 90 dB unter dem Ausgangspegel liegt und die harmonische Verzerrung 1% beträgt, hat das Rauschen keinen Einfluss auf die Messungsergebnisse und die THD+N Messung wird genau mit der THD Messung übereinstimmen. Allerdings, wenn das Gerät sehr geringe Verzerrungen aufweist, kann das Rauschen das limitierende Element sein. In diesem Fall ist es notwendig, die Bandbreite für die THD+N Messung zu spezifizieren, indem ein THD+N Analyzer mit einer Auswahl an Bandbreitenbegrenzungsfiltern verwendet wird.

Es ist zu beachten, dass die meisten Audioanalysatoren die gleichen Schaltkreisblöcke für die Messungen von Pegel, Rausch und THD+N verwenden und somit die gleichen Bandbreitenbegrenzungsfilter eingesetzt werden. Gewichtungsfiler werden jedoch selten für THD+N Messungen verwendet. Es ist wichtig, die Bandbreite für THD+N Messungen korrekt zu spezifizieren, um präzise Messergebnisse zu erhalten.

Auswirkungen von Interferenzsignalen auf THD+N

Da THD+N eine breitbandige Messung ist, die auf alles zwischen den Bandgrenzen reagiert, nachdem das Testsignal entfernt wurde, ist es anfällig für störende Signale. Wenn ein störendes Signal im DUT vorhanden ist, wird es einen Boden festlegen, unter dem die Messungen nicht durchgeführt werden können. Der häufigste Typ von störendem Signal ist das Netzbrummen. Wenn ein Verstärker bei einer Ausgangsleistung von 1,00 V getestet wird und 10 mV Brummspannung bei 50 oder 60 Hz vorliegen, wird dies von einem THD+N-Analysator als 1,0% Verzerrung gemessen. Selbst wenn die tatsächliche Verzerrung des Verstärkers weniger als 0,01% beträgt, wird sie von der konstanten 10 mV (1%) Brummspannung überdeckt. Eine Ausnahme von dieser Aussage tritt auf, wenn der

Testoszillator und der THD+N-Analysator auf die Frequenz des störenden Signals abgestimmt sind. Der Kerbfilter dämpft dann das störende Signal zusätzlich zum Generatorsignal und die Messung kann sich der wahren Verzerrung des Verstärkers annähern. Es ist wichtig, nachdem man eine neue Testeinrichtung angeschlossen hat, eine Spektrumanalyse durchzuführen, um sicherzustellen, dass das Brummen oder andere störende Signale nicht zu Einschränkungen bei THD+N und Rauschmessungen führen.

Anforderungen für THD+ Messungen

Wenn es um hochwertige Messinstrumente für die harmonische Verzerrung geht, gibt es einige wichtige Kriterien zu berücksichtigen:

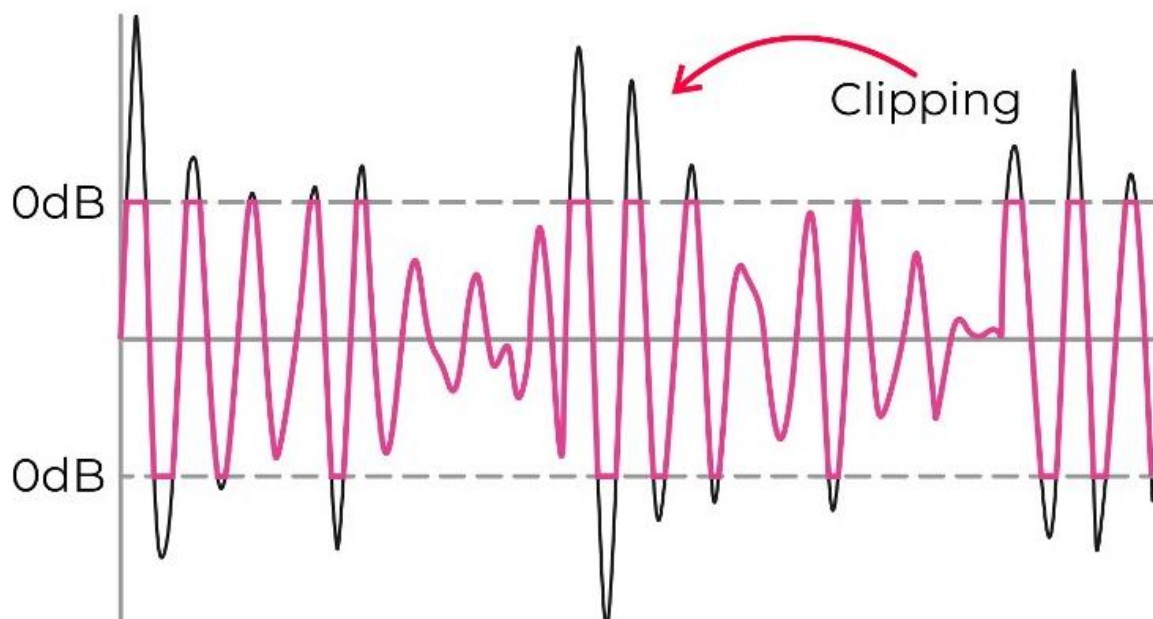
1. Der Analysator sollte über eine Auswahl an Bandbegrenzungsfiltren verfügen, um die Rauschbandbreite der Messung zu steuern. Dies ermöglicht es, die Messungen auf die spezifischen Anforderungen des zu testenden Geräts anzupassen und störende Signale auszuschließen.
2. Der Analysator sollte eine hohe CMRR (Common Mode Rejection Ratio) haben, um gemeinsamem Modusrauschen zu widerstehen. Dies ermöglicht es, störende Signale, die in beide Eingangsleitungen des Analysators eingekoppelt werden, effektiv zu eliminieren.
3. Der Generator und der Analysator sollten eine extrem geringe Restverzerrung aufweisen. Es gibt keine praktische Methode, die Verzerrung im Generator von der Verzerrung zu trennen, die im zu testenden Gerät eingeführt wurde, daher muss die Verzerrung des Generators und des Analysators deutlich unter dem niedrigsten Verzerrungswert liegen, der gemessen werden soll. Ein Abstand von 10 dB oder mehr ist erwünscht, damit die Verzerrung des Generators und des Analysators nicht zur Messung beitragen.
4. Für die Benutzerfreundlichkeit und Geschwindigkeit der Bedienung sollte das Instrument automatische Funktionen wie automatische Eingangsstufen, Pegel-Einstellung und Null-Kerbfilter verfügen.
5. Das Messinstrument sollte über einen wahren RMS-Responder verfügen, um genaue Ergebnisse zu liefern. Dies ist wichtig, da das gemessene Signal oft hauptsächlich aus Rauschen oder einer komplexen Kombination mehrerer Harmonischen besteht.
6. Es sollten auch Funktionen für die Automatisierung von Prozessen und die Fehlerbehebung vorhanden sein, um die Messungen schneller und einfacher durchzuführen und die Genauigkeit zu verbessern. Dazu können Funktionen wie automatische Fehlerdiagnose, Datenspeicherung und -analyse und Remote-Steuerung gehören.
7. Es sollten auch Funktionen für die Automatisierung von Prozessen und die Fehlerbehebung vorhanden sein, um die Messungen schneller und einfacher durchzuführen und die Genauigkeit zu verbessern. Dazu können Funktionen wie

automatische Fehlerdiagnose, Datenspeicherung und -analyse und Remote-Steuerung gehören.

Clipping

Von Clipping wird einfach ausgedrückt gesprochen, wenn der Ausgangspegel eines Verstärkers oder einer anderen Schaltung überschritten wird. Dies führt zu einer Verzerrung des ursprünglichen Signals, die sich in einer Verformung der Wellenform und einer Erhöhung des Rauschens bemerkbar macht.

Clipping entsteht, wenn der Ausgangspegel einer Schaltung höher ist als die maximale Spannung, die das nachfolgende Gerät oder die Lautsprecher verarbeiten können. Dies führt dazu, dass die Spitzen der Signalwellen abgeschnitten werden, was zu einer Verzerrung des Signals führt.



Hard Clipping | Soft Clipping

Es gibt zwei Arten von Clipping: hard clipping und soft clipping.

Hard Clipping ist die einfachste und am weitesten verbreitete Methode. Hierbei wird das Signal einfach auf einen bestimmten Pegel begrenzt, sobald es diesen überschreitet. Das bedeutet, dass die Aussteuerungspitzen einfach abgeschnitten werden. Dies führt zu einer Verzerrung des Signals und erzeugt unangenehme und unnatürliche Klänge.

Soft Clipping hingegen ist eine etwas aufwendigere Methode, die jedoch eine bessere Klangqualität liefert. Hierbei wird das Signal sanft anstatt abrupt begrenzt. Das bedeutet, dass die Aussteuerungspitzen nicht einfach abgeschnitten werden, sondern stattdessen in einer kontrollierten Art und Weise verzerrt werden. Dadurch entstehen harmonischere und natürlichere Klänge.

Ein weiterer Vorteil von Soft Clipping gegenüber Hard Clipping ist, dass es die Leistungsanforderungen an die Endstufe reduziert und somit die Lebensdauer der Lautsprecher schont.

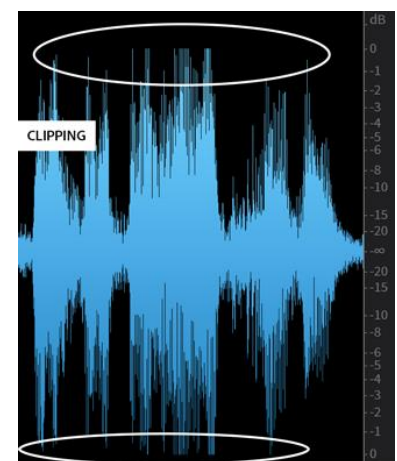
Allerdings hat Soft Clipping auch seine Nachteile. Zum einen ist es eine aufwendigere Methode und erfordert einen höheren Rechenaufwand, um die Verzerrungen zu berechnen. Zum anderen kann es in manchen Fällen zu einer unerwünschten Veränderung der Dynamik führen. In der Praxis kann es also sinnvoll sein, sowohl Hard Clipping als auch Soft Clipping zu verwenden und je nach Anwendungsfall die geeignetere Methode auszuwählen. Ein professionelles Audio-Engineering erfordert eine sorgfältige Auswahl und Abwägung der verschiedenen Clipping-Methoden um eine optimale Klangqualität zu erreichen. Clipping kann auf verschiedene Weise vermieden werden. Eine Möglichkeit ist, den Ausgangspegel der Schaltung zu reduzieren, um sicherzustellen, dass er nicht die maximale Spannung überschreitet. Eine andere Möglichkeit ist die Verwendung von Kompressoren oder Limiter, die das Signal automatisch an die maximale Spannung anpassen. Es erweist sich jedoch oft schwierig, Clipping vollständig zu vermeiden, insbesondere bei Live-Auftritten oder Aufnahmen mit hohen Schalldruckpegeln. In diesen Fällen kann die Verwendung von Soft-Clipping-Schaltungen oder speziellen Clipping-Plugins helfen, die Verzerrungen zu minimieren und das Signal so natürlich wie möglich klingen zu lassen.

Messen

Clipping kann auf verschiedene Weise gemessen werden. Eine Möglichkeit ist die Verwendung von Oszilloskopen oder speziellen Clipping-Detektoren, die das Signal visuell darstellen und es ermöglichen, die Verzerrungen sichtbar zu machen. Ein Oszilloskop zeigt die Wellenform des Signals an und ermöglicht es, Verzerrungen schnell und einfach zu erkennen. Clipping-Detektoren sind in der Regel einfache Schaltungen, die das Signal auf Clipping überwachen und ein Signal ausgeben, wenn Clipping auftritt.

Eine weitere Möglichkeit, Clipping zu messen, ist die Verwendung von Messsoftware auf dem Computer. Diese Software analysiert das Signal und erkennt automatisch Clipping-Ereignisse. Es gibt auch viele Plugins für digitale Audio-Workstations, die dazu verwendet werden können, Clipping im Signal zu erkennen und zu korrigieren.

Eine letzte Methode ist die Verwendung von Frequenzanalyse-Tools, wie z.B. Spectrogramm oder FFT-Analysen, die es ermöglichen, die Verzerrungen im Signal sichtbar zu machen, indem sie die Frequenzen und die Leistung des Signals darstellen. Wenn Clipping vorliegt, werden die höheren Frequenzen des Signals häufig verstärkt und das Spectrogramm zeigt diese Verzerrungen als eine Art von "Clipping-Spur".



Es ist wichtig zu beachten, dass die Messung von Clipping je nachdem welche Methode verwendet wird, unterschiedliche Ergebnisse liefern kann. Am wichtigsten ist es, das Signal zu hören und zu beurteilen, ob es verzerrt klingt oder nicht, um sicherzustellen, dass keine Clipping-Verzerrungen vorliegen.

Drift

Drift bezieht sich auf die Veränderung von bestimmten Eigenschaften eines Audiosignals im Laufe der Zeit. Es kann sich auf verschiedene Eigenschaften wie die Tonhöhe, die Lautstärke oder die Klangfarbe beziehen.

Es gibt verschiedene Gründe, warum Drift in der Audiotechnik auftreten kann:

- Alterung von Hardware: Mit der Zeit können elektronische Komponenten alterungsbedingte Veränderungen durchlaufen, die zu Drift führen können.
- Temperaturänderungen: Die Leistung von elektronischen Komponenten kann durch extreme Temperaturänderungen beeinflusst werden, was zu Drift führen kann.
- Störungen durch elektromagnetische Felder: Elektronische Geräte wie Handys, Laptops und Wi-Fi-Router können Interferenzen verursachen, die die Leistung von Audiogeräten beeinträchtigen und zu Drift führen können.

Die häufigste Ursache von Drift sind jedoch thermischen Effekten über mechanische Dehnungen bis hin zu elektrischen und magnetischen Fehlern reichen. Thermische Effekte treten auf, wenn sich die Temperatur der Bauteile ändert, was zu einer Änderung der Spannung und/oder Lage führt. Mechanische Dehnungen treten auf, wenn Bauteile unter Belastungen oder Lasten arbeiten, die zu Veränderungen in ihrer Form führen. Elektrische und magnetische Fehler können durch Wechselwirkungen mit elektrischen oder magnetischen Feldern verursacht werden. Eine weitere Ursache für Drift ist Alterung. Je älter Bauteile werden, desto wahrscheinlicher ist es, dass sie anfälliger für Veränderungen werden, die zu Drift führen. Dies kann durch den natürlichen Abbau von Materialien und Schäden durch Umwelteinflüsse wie Feuchtigkeit, Staub und Schmutz verursacht werden. Vorallem Geräte mit einem höheren mechanischen Zusammenhang wie Plattenspieler sind Drift anfällig. Drift tritt bei Plattenspielern aufgrund der Mechanik der Geräte auf. Jeder Teil des Geräts, einschließlich des Motors, der Antriebsscheibe und des Tonarms, muss perfekt funktionieren, um eine optimale Wiedergabequalität zu gewährleisten. Eine Veränderung eines dieser Teile kann zu einer Abweichung von der idealen Geschwindigkeit des Motors und somit zu Drift führen. Einer der häufigsten Gründe für Drift ist die Abnutzung der mechanischen Bauteile. Diese können über die Zeit hinweg verschleifen, und dadurch können Spiele entstehen, die zu einer Veränderung der Rotationsgeschwindigkeit des Motors führen. Es kann auch eine Veränderung der Form der Antriebsscheibe geben, die wiederum eine Veränderung der Geschwindigkeit bewirkt. Ein weiterer Faktor, der zu Drift beitragen kann, ist die unzureichende Spannung des Motors. Eine niedrige Spannung kann zu einer Abweichung von der optimalen Geschwindigkeit des Motors führen, während eine zu hohe Spannung zu Überhitzung und Beschädigung des Motors führen kann.

Ein weiteres Problem kann durch die Unwucht der Plattenspielerauflage entstehen. Wenn die Plattenspielerauflage nicht perfekt ausgewuchtet ist, kann dies zu einer Veränderung der Geschwindigkeit führen und somit zu Drift beitragen. Um Drift zu minimieren, ist es wichtig, dass die mechanischen Bauteile regelmäßig gewartet und überprüft werden. Dies kann durch den Einsatz von Kalibrierungsverfahren und Überwachungstechnologien erreicht werden. Es ist auch wichtig, dass die Bauteile in einer kontrollierten Umgebung aufbewahrt werden, die frei von starken elektrischen oder magnetischen Feldern und Änderungen in der Temperatur ist.

Drift kann die Qualität der Audiowiedergabe erheblich beeinträchtigen, indem sie den Klang verfälschen oder stören. Um Drift in der Audiotechnik zu minimieren, empfehle ich Ihnen, darauf zu achten, dass Ihre Audiogeräte in einem geeigneten Temperaturbereich betrieben werden und dass Sie elektronische Störquellen wie Handys oder Wi-Fi-Router fernzuhalten.

Es gibt keine effektive Möglichkeit, die durch Drift entstehende Störungen im nachhinein zu reparieren, da sie sich auf Veränderungen im Audiosignal bezieht, die bereits aufgetreten sind. Um Drift in der Audiotechnik zu minimieren, empfehle ich Ihnen, darauf zu achten, dass Ihre Audiogeräte in einem geeigneten Temperaturbereich betrieben werden und dass Sie elektronische Störquellen wie Handys oder Wi-Fi-Router fernhalten.

Wenn Sie bemerken, dass Ihr Audiosignal Drift aufweist, können Sie versuchen, das Problem durch die Verwendung von Softwaretools wie Equalizern oder Dynamikkompressoren zu beheben. Diese Tools können verwendet werden, um die Lautstärke oder Klangfarbe des Audiosignals anzupassen und somit Drift zu minimieren.

Es ist jedoch wichtig zu beachten, dass diese Tools nur begrenzt wirksam sind und dass sie möglicherweise nicht in der Lage sind, das Problem vollständig zu beheben. Wenn Sie Schwierigkeiten haben, das Problem zu beheben, könnte es hilfreich sein, sich an einen professionellen Audiotechniker oder den Hersteller des betreffenden Geräts zu wenden.

Frequenzdrift

Frequenzdrift ist ein Phänomen, das in der Audiotechnik auftritt, wenn die Frequenz eines Signals während der Übertragung oder Wiedergabe variiert. Dies kann auf verschiedene Weise passieren, zum Beispiel durch Änderungen der Umgebungstemperatur, Alterung von Komponenten oder durch Interferenzen von externen Quellen.

Eine häufige Art von Frequenzdrift ist die wandernde Nulldurchgangs-Frequenz (Wanderung der Nulldurchgangs-Frequenz), die durch Änderungen der Umgebungstemperatur verursacht wird. Diese Änderungen können die Länge von Leitungen und die Eigenschaften von Bauteilen beeinflussen, die in der Schaltung verwendet werden, und somit die Frequenz des Signals verändern. Dies kann besonders problematisch sein, wenn das Signal frequenzmoduliert ist, da eine Veränderung der Trägerfrequenz zu einer Verschiebung der modulierten Informationen führen kann. Eine andere Art von Frequenzdrift ist die Alterung von Komponenten. Elektronische Bauteile haben eine begrenzte Lebensdauer und ihre

Eigenschaften können sich im Laufe der Zeit verändern. Dies kann zu einer Veränderung der Frequenz des Signals führen, insbesondere bei hochpräzisen Anwendungen wie der Übertragung von Funkwellen oder der Wiedergabe von digitalem Audio. Externe Interferenzen können auch zu Frequenzdrift führen. Dies kann durch elektromagnetische Störungen von anderen Geräten oder durch natürliche Phänomene wie Sonnenaktivität verursacht werden. Dies kann zu Verzerrungen im Signal führen und es schwierig machen, die gewünschten Informationen zu empfangen oder wiederzugeben. Frequenzdrift kann erhebliche Auswirkungen auf die Qualität des Signals haben. Eine Veränderung der Trägerfrequenz kann zu Verzerrungen im Signal führen und die vermittelten Informationen unlesbar machen. In hochpräzisen Anwendungen wie der Übertragung von Funkwellen oder der Wiedergabe von digitalem Audio kann Frequenzdrift auch zu einer Verschiebung der Tonhöhe führen, was als Hörbarkeit empfunden werden kann.

Verhindern:

Um Frequenzdrift zu reduzieren oder zu vermeiden, gibt es verschiedene Techniken, die verwendet werden können. Hierzu ein kurzer Exkurs in die praktischen Möglichkeiten:

1. **Temperature Compensation:** Eine Möglichkeit, die wandernde Nulldurchgangsfrequenz aufgrund von Änderungen der Umgebungstemperatur zu kompensieren, besteht darin, thermische Sensoren in der Schaltung zu verwenden, um die aktuelle Umgebungstemperatur zu messen. Diese Informationen können dann verwendet werden, um die Frequenz des Signals automatisch anzupassen.
2. **Wartung und Überwachung:** Regelmäßige Wartung und Überwachung der elektronischen Bauteile in der Schaltung kann dazu beitragen, Alterungseffekte zu minimieren und die Lebensdauer der Komponenten zu verlängern. Dies kann auch dazu beitragen, potenzielle Probleme frühzeitig zu erkennen und zu beheben.
3. **Signalverarbeitung:** Eine weitere Möglichkeit, Frequenzdrift zu reduzieren, besteht darin, Signalverarbeitungstechniken wie die Frequenzsynchronisation oder die Phasenregelung zu verwenden. Diese Techniken können verwendet werden, um das empfangene Signal anzupassen, um die Auswirkungen von Frequenzdrift zu minimieren.
4. **Schutz vor externen Interferenzen:** Eine Möglichkeit, die Auswirkungen von externen Interferenzen zu reduzieren, besteht darin, Schutzmaßnahmen wie den Einsatz von Abschirmungen oder den Betrieb von Geräten in speziellen Frequenzbändern.
5. **Verwendung von hochwertigen Komponenten:** Verwendung von hochwertigen und spezifischen Bauteilen für eine bestimmte Anwendung kann dazu beitragen, die Frequenzdrift zu minimieren.

Es ist wichtig zu beachten, dass die Wahl der geeigneten Methode zur Vermeidung von Frequenzdrift von der spezifischen Anwendung und den Umgebungsbedingungen abhängt, in denen das Signal verarbeitet wird. In manchen Fällen kann es notwendig sein, mehrere Techniken zu kombinieren, um die gewünschte Qualität des Signals zu erreichen.

Phasendrift

Phasendrift ist ein Phänomen, bei dem die Phasenlage von Signalen im Verhältnis zueinander variiert. Dies kann sowohl bei analogen als auch bei digitalen Signalen auftreten und hat Auswirkungen auf die Klangqualität und die Interaktion von Signalen in Mehrkanalsystemen. Eine häufige Ursache für Phasendrift ist die Verwendung von unsynchronisierten Quellen oder A/D-Wandlern in einem Mehrkanalsystem. Wenn die Signale von verschiedenen Quellen oder Wandlern nicht exakt synchronisiert sind, kann dies dazu führen, dass die Phasenlage der Signale im Verhältnis zueinander variiert. Dies kann zu einer Verzerrung des Klangs führen, insbesondere bei höheren Frequenzen. Eine weitere Ursache für Phasendrift kann die Verwendung von unterschiedlichen Leitungslängen oder die Verwendung von unterschiedlichen Übertragungsmedien sein. Dies kann dazu führen, dass die Signale unterschiedliche Verzögerungen erfahren, was wiederum zu Phasenverschiebungen führen kann. Phasendrift hat auch Auswirkungen auf die Interaktion von Signalen in Mehrkanalsystemen. Wenn die Phasenlage der Signale in einem Mehrkanalsystem variiert, kann dies dazu führen, dass die Schallwellen sich gegenseitig beeinflussen und stören. Dies kann zu einer Verzerrung des Klangs führen, insbesondere bei höheren Frequenzen.

Es gibt mehrere Möglichkeiten, Phasendrift zu verhindern oder zu reduzieren. Eine Möglichkeit besteht darin, die Signale von verschiedenen Quellen oder Wandlern exakt zu synchronisieren. Dies kann durch die Verwendung von Word-Clock-Synchronisation oder durch die Verwendung von PLL-basierten (Phasenregelungsschleifen) Synchronisationsschaltungen erreicht werden. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, die Leitungslängen und Übertragungsmedien so zu wählen, dass die Signale möglichst gleichzeitig ankommen. Dies kann durch die Verwendung von kurzen Leitungen oder durch die Verwendung von Übertragungsmedien mit geringer Verzögerung erreicht werden. Phasenkorrektur-Filter und Phasenlineare Equalizer können auch verwendet werden, um Phasendrift zu reduzieren. Diese Filter und Equalizer können verwendet werden, um die Phasenlage der Signale anzupassen und somit die Interaktion von Signalen in Mehrkanalsystemen zu verbessern. Eine weitere Möglichkeit ist die Verwendung von Phasenkompensationstechniken wie All-Pass-Filtern. Diese Filter ermöglichen es, die Phasenlage von Signalen gezielt zu verändern, um die Interaktion von Signalen in Mehrkanalsystemen zu verbessern.

Allgemein ist es wichtig, Phasendrift sorgfältig zu beobachten und zu vermeiden, da es sowohl Auswirkungen auf die Klangqualität als auch auf die Interaktion von Signalen in Mehrkanalsystemen haben kann. Durch die Verwendung der oben genannten Techniken und Methoden kann Phasendrift jedoch erfolgreich reduziert werden.

Dynamikdrift

Dynamikdrift, auch als Dynamikveränderung bekannt, tritt oftmals auf wenn die Dynamik (das Verhältnis von lauten und leisen Signalen) eines Audiosignals verändert wird. Dies kann auf verschiedene Weise geschehen, wie zum Beispiel durch Änderungen in der Signalverarbeitung, im Aufnahme- oder Wiedergabeprozess oder durch technische Fehler. Eine häufige Ursache für Dynamikdrift ist die Verwendung von Kompressoren oder Limiter, die dazu verwendet werden, die Dynamik eines Audiosignals zu kontrollieren. Wenn diese Geräte falsch eingestellt sind oder fehlerhaft arbeiten, kann es zu einer Veränderung der Dynamik kommen, die das ursprüngliche Signal beeinträchtigt. Eine weitere Ursache kann die Verwendung von schlechter qualitativen Aufnahmeegeräten oder Lautsprechern sein, die nicht in der Lage sind, die Dynamik eines Signals korrekt wiederzugeben.

Dynamikdrift kann auch durch die Verwendung von unterschiedlichen Lautstärkepegeln bei der Aufnahme oder Wiedergabe von Audio verursacht werden. Wenn verschiedene Audiosignale unterschiedlichen Lautstärkepegeln entsprechen, kann dies zu einer Veränderung der Dynamik führen, die das Gesamthörerlebnis beeinträchtigt. Eine Möglichkeit, Dynamikdrift zu vermeiden, besteht darin, sicherzustellen, dass Kompressoren und Limiter richtig eingestellt und gewartet werden. Es ist auch wichtig, hochwertige Aufnahme- und Wiedergabegeräte zu verwenden, die in der Lage sind, die Dynamik eines Signals korrekt wiederzugeben. Eine weitere Möglichkeit ist die Verwendung von normalisierenden Techniken, um die Lautstärke verschiedener Audiosignale auf ein einheitliches Niveau anzupassen.

Insgesamt ist Dynamikdrift ein wichtiges Thema in der Audiotechnik, da es Auswirkungen auf die Klangqualität und das Hörerlebnis haben kann. Durch die Verwendung der oben genannten Techniken und Methoden kann jedoch erfolgreich verhindert werden. Es ist auch wichtig, das Signal in jeder Phase des Prozesses zu überwachen, um sicherzustellen, dass die Dynamik korrekt erhalten bleibt.

Eine weitere Möglichkeit, Dynamikdrift zu vermeiden, ist die Verwendung von automatischen Dynamikeinstellungen, die die Dynamik in Echtzeit anpassen und dadurch die Veränderungen des Signals minimieren. Diese Techniken werden oft in professionellen Aufnahme- und Übertragungssystemen verwendet, um sicherzustellen, dass die Dynamik des Signals optimal erhalten bleibt. Auch bei der Wiedergabe von Audiosignalen kann es zu Dynamikdrift kommen. Hierbei ist es wichtig, dass die Lautsprecher einwandfrei arbeiten und dass die Lautstärkepegel korrekt eingestellt sind. Auch die Verwendung von Lautstärkereglern, die die Dynamik des Signals automatisch anpassen können, kann helfen, Dynamikdrift zu vermeiden.

Es ist wichtig zu beachten, dass eine gewisse Dynamikveränderung in manchen Situationen gewünscht sein kann, z.B. beim Musikproduzieren. Hierbei sollte jedoch sichergestellt werden, dass die Dynamikveränderung beabsichtigt ist und das Gesamthörerlebnis nicht beeinträchtigt wird. Durch die Verwendung von richtig eingestellten Kompressoren und Limiter, hochwertigen Aufnahme- und Wiedergabegeräten sowie automatischen

Dynamikeinstellungen kann erfolgreich verhindert werden. Wir legen in unsere Firma hohen Wert darauf es solch artige Probleme gar nicht erst entstehen. Es ist jedoch auch wichtig, das Signal in jeder Phase des Prozesses zu überwachen, um sicherzustellen, dass die Dynamik korrekt erhalten bleibt.

Timing-Drift

Timing-Drift ist ein Begriff, der sich auf die Abweichungen des zeitlichen Verhaltens von Signalen bezieht. Dies kann sowohl in der Aufnahme als auch in der Wiedergabe von Audiosignalen auftreten und hat Auswirkungen auf die Klangqualität und das Hörerlebnis.

Eine häufige Ursache für Timing-Drift ist die Verwendung von unsynchronisierten Geräten während der Aufnahme oder Wiedergabe von Audiosignalen. Dies kann dazu führen, dass die Signale nicht korrekt synchronisiert sind und dadurch eine Verzerrung des Klangs entsteht. Beispielsweise kann es bei der Aufnahme von mehreren Spuren auf einem Mischpult zu Timing-Drift kommen, wenn die Signale von unterschiedlichen Quellen stammen und nicht korrekt synchronisiert werden. Eine weitere Ursache für Timing-Drift kann die Verwendung von niedriger qualitativen Aufnahme- oder Wiedergabegeräten sein. Diese Geräte können nicht genau genug arbeiten, um die Signale korrekt zu synchronisieren, was zu Abweichungen im Timing führen kann. In der Musikproduktion kann es auch dazu kommen das absichtliche Verschiebungen im Timing erfolgen um bestimmte Effekte zu erzielen. Hierbei ist es wichtig darauf zu achten, dass diese Verschiebungen beabsichtigt sind und das Gesamthörerlebnis nicht beeinträchtigt wird.

Messung und Verhinderung

Es gibt mehrere Möglichkeiten, um Timing-Drift praktisch zu messen und zu vermeiden. Einige dieser Methoden sind:

1. Verwendung von synchronisierten Geräten: Eine der besten Möglichkeiten, um Timing-Drift zu vermeiden, ist die Verwendung von synchronisierten Geräten wie Word Clock. Diese Geräte sorgen dafür, dass alle angeschlossenen Geräte die gleiche Taktung verwenden und dadurch die Signale korrekt synchronisiert werden.
2. Verwendung von Zeitstempeln: Eine weitere Möglichkeit, um Timing-Drift zu messen, ist die Verwendung von Zeitstempeln. Diese können in die Audiosignale eingebettet werden, um die Genauigkeit der Synchronisation zu überprüfen.
3. Verwendung von Phasenanzeigen: Phasenanzeigen sind ein weiteres nützliches Werkzeug zur Messung von Timing-Drift. Sie zeigen die relative Phasenlage zweier Signale an und ermöglichen es so, Abweichungen im Timing zu erkennen.
4. Verwendung von Zeitmessungen: Wenn man Zeitmessungen durchführt, kann man erkennen, ob die Signale in der richtigen Reihenfolge und zur richtigen Zeit aufgenommen wurden.

5. Verwendung von Audiosoftware: Es gibt auch spezielle Audiosoftware, die dazu verwendet werden kann, Timing-Drift zu messen und zu korrigieren. Diese Software kann die Signale automatisch synchronisieren und Abweichungen im Timing erkennen und korrigieren.

Es ist wichtig zu beachten, dass eine kontinuierliche Überwachung und Korrektur von Timing-Drift während des gesamten Prozesses der Aufnahme und Wiedergabe von Audiosignalen erforderlich ist, um eine optimale Klangqualität zu gewährleisten. Abschließend lässt sich sagen, dass Timing-Drift ein wichtiges Thema in der Audiotechnik ist, das sorgfältig beachtet werden sollte, um eine optimale Klangqualität und ein beeinträchtigungsfreies Hörerlebnis zu gewährleisten. Durch die Verwendung von hochwertigen und synchronisierten Aufnahme- und Wiedergabegeräten sowie durch das Beobachten der Signale in jeder Phase des Prozesses kann erfolgreich verhindert werden.

Intermodulation (IM)

Intermodulation ist eine Art von Verzerrung, die in der Audiotechnik auftreten kann. Sie entsteht, wenn sich zwei oder mehr Audiosignale gegenseitig stören und dadurch verzerrt werden.

Es gibt zwei Haupttypen von Intermodulation:

1. Zweiter-Ordnungs-Intermodulation: Dies tritt auf, wenn sich zwei Audiosignale gegenseitig stören und das Ergebnis ein Summen- und ein Differenzfrequenzsignal ist.
2. Dritter-Ordnungs-Intermodulation: Dies tritt auf, wenn sich zwei Audiosignale gegenseitig stören und das Ergebnis drei Summenfrequenzsignale und ein Differenzfrequenzsignal ist.

Intermodulation kann durch verschiedene Faktoren verursacht werden, wie zum Beispiel defekte Hardware, unzureichende Signalübertragung oder Störungen durch elektromagnetische Felder. Sie kann auch durch die Verwendung von ungeeigneten Codecs oder Kompressionsverfahren bei der Audiokomprimierung entstehen.

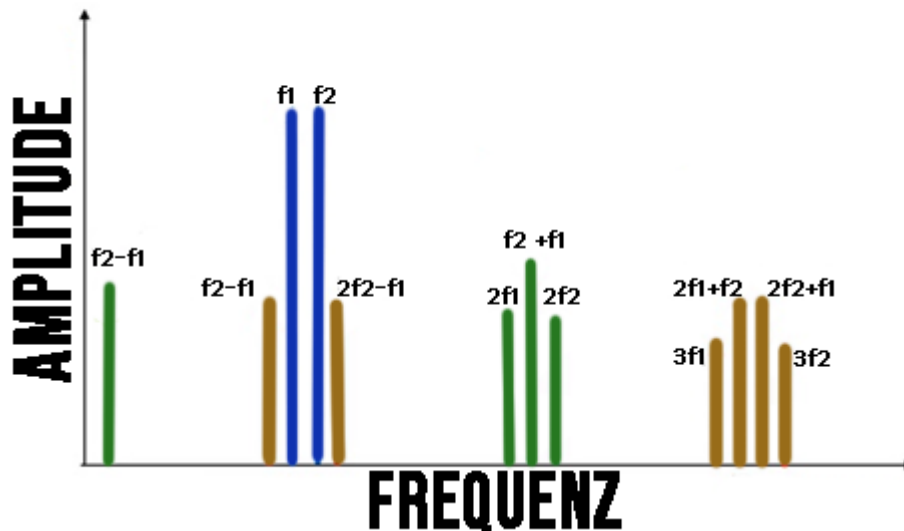
Intermodulation kann die Qualität der Audiowiedergabe erheblich beeinträchtigen, indem sie den Klang verfälscht oder stört. Daher ist es wichtig, Maßnahmen zu ergreifen, um Intermodulation in der Audiotechnik so weit wie möglich zu minimieren. Wenn Sie Schwierigkeiten haben, das Problem zu beheben, könnte es hilfreich sein, sich an einen professionellen Audiotechniker oder den Hersteller des betreffenden Geräts zu wenden.

IMD (Intermodulation Distortion)

Intermodulation Distortion (IMD) tritt auf, wenn zwei oder mehr Signale in einem nicht-linearen System verwendet werden. Das Spektrum am Ausgang des nicht-linearen Geräts besteht nicht nur aus den ursprünglichen Signalen wie man zuerst vermutet, sondern enthält auch die Summe und den Unterschied der Eingangssignale sowie deren Harmonische. Daher erzeugt die Nichtlinearität bei einem nichtlinearen System mit zwei Signalen am Eingang, zum Beispiel bei Frequenzen f_1 und f_2 , weitere Ausgangssignale bei verschiedenen Frequenzen, z.B. $f_1 + f_2$, $f_2 - f_1$, $2f_1$ und $2f_2$, die auch als 2. Ordnungs-Intermodulationsprodukte bezeichnet werden. Die Produkte $2f_1$ und $2f_2$ werden als "Harmonische" bezeichnet, die einfach Replikat eines Signals bei ganzzahligen Vielfachen des Grundsignals sind. Diese Seitenbandfrequenzen gelten als unerwünscht.

Im nächsten Schritt werden diese 2. Ordnungs-Intermodulationsprodukte mit den ursprünglichen Signalen gemischt, was zu 3. Ordnungs-Intermodulationsprodukten führt. Es sollte beachtet werden, dass jedes einzelne Signal, einschließlich der ursprünglichen Signale (f_1 und f_2) und der 2. Ordnungs-Intermodulationsprodukte ($f_1 + f_2$, $f_2 - f_1$, $2f_1$ und $2f_2$),

miteinander addiert und subtrahiert werden, um weitere Signale zu erzeugen. Die meisten dieser Intermodulationssignale sind nicht in der Nähe des ursprünglichen Signals, so dass sie leicht gefiltert werden können oder keine Probleme verursachen. Es gibt jedoch zwei Intermodulationsprodukte, nämlich $2f_1-f_2$ und $2f_2-f_1$, die problematisch sein können und Interferenzen verursachen, da sie in der Nähe des ursprünglichen Signals liegen. Diese Produkte sind bekanntlich die Ursache der Intermodulation Distortion.



Blau: Eingangsfrequenzen – 1. Ordnung

Grün: Ergebnis – 2. Ordnung

Braun: Ergebnis – 3. Ordnung

Der übliche Weg, um mit IMD-Produkten umzugehen, besteht darin, sie zu filtern. Dies wird jedoch schwierig, wenn die Produkte sehr nahe bei den gewünschten (grundlegenden) Frequenzen liegen. Diese 3. Ordnungs-Intermodulationsprodukte sind von großer Bedeutung, da sie schwierig zu filtern sind, im Gegensatz zu 2. Ordnungs-Verzerrungsprodukten, die sich in größerem Abstand zu den ursprünglichen Signalen (f_1 und f_2) befinden. Der zusätzliche Frequenzinhalt, der durch die 3. Ordnungs-Verzerrung erzeugt wird, wird oft als "Spektralwiederaufbau" bezeichnet. In einem Sender kann der spektralwiederaufbau aufgrund mangelnder Linearität mit anderen Funkkanälen interferieren. Im Empfänger kann er jedoch dazu führen, dass außerhalb des Bandes liegende Signale das Interessensignal verzerren. IMD und Harmonische erzeugen Leckagen in benachbarte Kanäle, Rauschen oder Verzerrungen, was die Leistung des Gesamtsystems beeinträchtigt.

Skalare Messung

Die Messung von Intermodulationssignalen (IM-Signalen) ist ein wichtiger Bestandteil in der Funktechnik sowie Audiotechnik, da diese Signale in vielen Anwendungen eine Rolle spielen. Eine häufig verwendete Methode ist die rein skalare Messung, bei der zwei

Signalgeneratoren als Sender und ein Spektrumanalysator als Empfänger verwendet werden. Das Messobjekt (DUT) befindet sich dabei zwischen den Signalgeneratoren und dem Empfänger. Ein wichtiger Aspekt bei diesen Messungen ist die Vermeidung von IM-Signalen, die durch die Sender oder den Empfänger selbst erzeugt werden. Um dies zu verhindern, müssen schmalbandige Bandpassfilter eingesetzt werden, die das leistungsstarke Sendesignal am empfindlichen Empfänger blockieren. Zusätzlich lässt sich durch die Erhöhung des Eingangsdämpfungsgliedes am Empfänger überprüfen, ob ein gemessenes IM-Signal vom DUT oder dem Empfänger erzeugt wurde. Denn wenn die Signalamplituden um den gleichen Faktor reduziert werden, handelt es sich um IM-Signale vom DUT und wenn die Veränderung der Signalamplituden von der Ordnung der Intermodulation abhängig ist, handelt es sich um IM-Signale erzeugt vom Empfänger.

Ein weiterer wichtiger Faktor bei der Messung von IM-Signalen ist die Tatsache, dass keine Phaseninformationen der IM-Signale zur Verfügung stehen. Daher müssen die Messungen in Abhängigkeit von der Frequenz durchgeführt werden, um die Amplituden der verschiedenen IM-Signale zu erfassen. Auch die Verwendung von hochpräzisen Signalgeneratoren und Spektrumanalysatoren ist von großer Bedeutung, um genaue Ergebnisse zu erhalten. Es ist vor allem darauf zu achten, dass bei der Messung von IM-Signalen eine gründliche Vorbereitung und Durchführung durchzuführen, um sicherzustellen, dass die Ergebnisse korrekt und aussagekräftig sind. Dies ermöglicht es, die Leistung von Funkgeräten und Netzwerken genau zu charakterisieren und eventuelle Probleme schnell zu erkennen und zu beheben.

Vektorielle Messung

Die vektorielle IM-Messung bietet auch die Möglichkeit, die Phaseninformationen der IM-Signale zu erfassen. Dies ermöglicht eine detailliertere Analyse und Identifizierung der Störquellen. Ein weiterer Vorteil ist, dass die Messungen in Echtzeit durchgeführt werden können, was die Möglichkeit gibt, dynamische Veränderungen in der elektronischen Umgebung zu verfolgen. Eine weitere Möglichkeit, die vektorielle IM-Messung durchzuführen, ist die Verwendung von hochmodernen Messgeräten, die über eine integrierte Kalibrierfunktion verfügen. Dies ermöglicht eine schnelle und präzise Messung, ohne dass zusätzliche Kalibrierstandards erforderlich sind. Insgesamt bietet die vektorielle IM-Messung eine viel präzisere und detailliertere Analyse der Intermodulationssignale im Vergleich zur skalaren Messung. Es ermöglicht die Identifizierung und Modellierung von Störquellen und bietet auch die Möglichkeit, Phaseninformationen zu erfassen. Es erfordert jedoch eine absolut kalibrierte Netzwerkanalyseumgebung und die Verwendung von zusätzlichen Kalibrierstandards. Eine weitere Möglichkeit, die Intermodulationssignale (IM-Signale) zu messen, ist die Verwendung von Empfängern mit hoher Dynamik. Diese Empfänger ermöglichen es, sehr schwache Signale zu empfangen, ohne dass dabei die eigenen Nichtlinearitäten des Empfängers zu einer Erzeugung von IM-Signalen führen. Ein Beispiel für solch einen Empfänger ist der Superheterodyn-Empfänger, der eine hohe Empfindlichkeit und eine geringe Verzerrung aufweist. Eine weitere Möglichkeit, IM-Signale

zu messen, besteht darin, spezielle Messmethoden wie die Frequenzbereichsmessung (FBM) oder die Zeitbereichsmessung (TBM) zu verwenden. Beide Methoden ermöglichen es, IM-Signale unabhängig von der Phasenlage der Signale zu messen. Um IM-Signale zu messen, empfiehlt sich auch die Verwendung von digitalen Signalverarbeitungstechniken. Mit Hilfe von digitalen Signalverarbeitungstechniken können die IM-Signale aus den gemessenen Daten herausgefiltert werden. Ein Beispiel für eine solche Technik ist die digitale Signalverarbeitung mittels FFT (Fast Fourier Transform). Es gibt viele verschiedene Möglichkeiten, IM-Signale zu messen. Welche Methode am besten geeignet ist, hängt von der Anwendung und den Anforderungen ab. Es ist daher wichtig, die verschiedenen Methoden zu verstehen und abzuwägen, welche Methode am besten geeignet ist.

SMPTE | IMD Standard

In der professionellen Audio- und Broadcast-Branche, sowie im Bereich Consumer Audio, sind die SMPTE und DIN die am häufigsten verwendeten IMD-Messstandards.

Der SMPTE (Society of Motion Picture and Television Engineers) Standard RP120-1983 und der DIN (Deutsches Institut für Normung e.V.) Standard 45403 sind ähnlich. Beide spezifizieren ein

Zwei-Sinuston-Testsignal, bestehend aus einem

niederfrequenten, hochamplitudigen Ton, der linear mit einem

hochfrequenten Ton kombiniert ist, dessen Amplitude ein Viertel der Amplitude des niederfrequenten Tons beträgt (-12,04 dB). Die SMPTE-Spezifikation verlangt 60 Hz und 7 kHz als die beiden Frequenzen. Die DIN-Spezifikation erlaubt mehrere Auswahlmöglichkeiten sowohl bei der Auswahl der niederfrequenten als auch der hochfrequenten Frequenzen; 250 Hz und 8 kHz sind ein häufig verwendetes Frequenzpaar, das den Anforderungen der DIN-Spezifikation entspricht. Andere, ähnliche Signale wie SMPTE oder DIN werden manchmal auch verwendet, wie z.B. 70 Hz und 7 kHz.

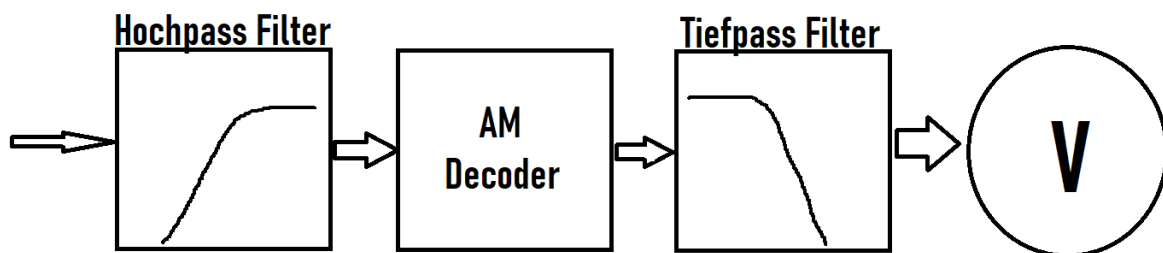
Wenn ein solches Zwei-Ton-Testsignal an ein nichtlineares Gerät gegeben wird, treten Intermodulationsprodukte als Familie von Seitenbändern um den hochfrequenten Ton auf. Der Abstand zwischen dem hochfrequenten Ton und dem ersten Paar von Seitenbändern (2.-Ordnungs-Seitenbänder, $F_2 \pm F_1$) ist gleich dem niederfrequenten Ton; das zweite Paar von Seitenbändern (3.-Ordnungs-Seitenbänder, $F_2 \pm 2F_1$) ist doppelt so weit vom hochfrequenten Ton entfernt wie der niederfrequente Ton usw. Der Prozentsatz der Intermodulationsverzerrung wird als Prozentsatz der Amplitudenmodulation definiert.

Es gibt auch andere Methoden zur Messung der Intermodulationsverzerrung, wie z.B. die CCIF-Methoden (Comité Consultatif International des Fréquences) und die ITU-Methoden (International Telecommunication Union) die auch häufig verwendet werden.



IMD Analysator

Ein typischer SMPTE oder DIN IMD-Analysator hat ein vereinfachtes Blockschaltbild. Ein Hochpassfilter eliminiert zunächst den niederfrequenten Ton. Das verbleibende Signal ist im Wesentlichen ein Amplitudenmoduliertes Signal und wird an einen AM-Demodulator weitergeleitet. Der Ausgang des Demodulators besteht aus den Seitenbändern, die auf die Basisband verschoben wurden; beispielsweise würde bei einem SMPTE-Test die 2.- und 3.-Ordnungs-IMD-Produkte die oberen und unteren Seitenbänder auf 60 Hz und 120 Hz Komponenten verschieben. Ein Tiefpassfilter folgt dem Demodulator, um jegliches verbleibende hochfrequente Träger zu entfernen, und das verbleibende Signal wird von einem True RMS-Detektor gemessen. Der Detektor-Ausgang ist in Prozent-Amplitudenmodulation des Trägers kalibriert.



Intermodulationstests von SMPTE und DIN sind eine effektive Methode zur Prüfung von Audio-Geräten. Sie nutzen ein komplexeres Testsignal, das ähnlich wie tatsächliches Programmmaterial ist. Diese Tests haben einige Vorteile, wie das spektrale Gleichgewicht zwischen hohen und niedrigen Frequenzen, sowie die Tatsache, dass sie sowohl gerade als auch ungerade Verzerrungsmechanismen erkennen können. Viele Analysatoren haben eine Bandbreite von 700Hz, was es ermöglicht, mindestens die 2. und 3. Ordnungs-IMD-Produkte zu messen. Diese Technik ist auch weniger empfindlich gegenüber Rauschen im Vergleich zu anderen Methoden. Es kann unter anderem verwendet werden, um die Linearität von Systemen in der Nähe ihrer bandbegrenzenden Frequenz zu untersuchen.

DIM (Dynamic Intermodulation Distortion)

Viele Audio-Arbeiter haben festgestellt, dass einige hörbare Verzerrungsmechanismen durch die Veränderung des Programmmaterials ausgelöst werden, jedoch nicht bei stabilen Reizen wie einer einzelnen Sinuswelle sichtbar sind. Insbesondere wurden Verstärker mit hohen negativen Rückkopplungen als mögliche Ursache für solche Probleme identifiziert, aufgrund der Zeitverzögerung, die in negativen Rückkopplungsschleifen angelegt ist. Die Theorie war, dass bei einem schnell wechselnden Signal, das an einen solchen Verstärker gesendet wird, eine begrenzte Zeit benötigt wird, damit das Korrektursignal zurück durch die Rückkopplungsschleife zur Eingangsstufe gelangt und dass der Verstärker während dieser Zeit schwer verzerrt sein kann. Genau hier kommen dynamische Intermodulationstesttechniken ins Spiel, um diese Phänomene zu isolieren. Die meisten

vorgeschlagenen DIM/TIM Testtechniken implementieren daher ein Signal mit einer schnell wechselnden Komponente. Das Signal besteht aus einer bandbegrenzten Rechteckwelle (typischerweise um 3 kHz) plus einer hochfrequenten Sinuswelle als "Probe-Ton" mit einem Viertel der Spitzen-zu-Spitzen Amplitude der Rechteckwelle. Der Anstieg und Abfall des Rechtecks stressen jegliche Teile des Systems, die anfällig für Verzerrungen sind.

Die DIM/TIM Testtechniken nutzen ein Signal mit einer schnell wechselnden Komponente. Eine beliebte Technik, vorgeschlagen von Schrock und Ojala, besteht aus einer bandbegrenzten Rechteckwelle und einer hochfrequenten Sinuswelle als "Probe-Ton". Der Anstieg und Abfall des Rechtecks stressen jegliche Teile des Schaltkreises, die anfällig für Verzerrungen sind. Intermodulationsprodukte der Sinuswelle mit der Grundfrequenz und verschiedenen Harmonischen der Rechteckwelle zeigen Probleme auf. Eine vollständige Untersuchung des Spektrums eines solchen Signals erfordert einen FFT-Analysator oder anderen selektiven Spektrum Analysator und ein gewisses Maß an Fähigkeiten. Skritek schlug eine Vereinfachung vor, bei der durch die richtige Auswahl der Sinusfrequenz sowohl ein gerades als auch ein ungerades IMD-Produkt in den mittleren Frequenzbereich unter der Grundfrequenz der Rechteckwelle fallen würden. Diese vereinfachte Technik kann einfach mit einem anspruchsvollen Bandpassfilter und einem RMS-Detektor implementiert werden und liefert eine "eine Zahl" Ausgabe, die keine Kenntnisse des Operators zur Interpretation erfordert.

Es gibt viele andere Techniken zur Messung von IMD von Arbeitern wie Cordell und Thiele vorgeschlagen. Einige nutzen drei Sinuswellen, andere eine Sinuswelle plus eine Rampe (Dreieck) Wellenform. Wenige wurden bisher in kommerziellen Geräten implementiert. Es gibt auch andere IMD-Messungen, die in audio-bezogenen Bereichen wie der Telekommunikation verwendet werden, aber nicht in der Verbraucher-Audio, Pro-Audio oder im Rundfunk.

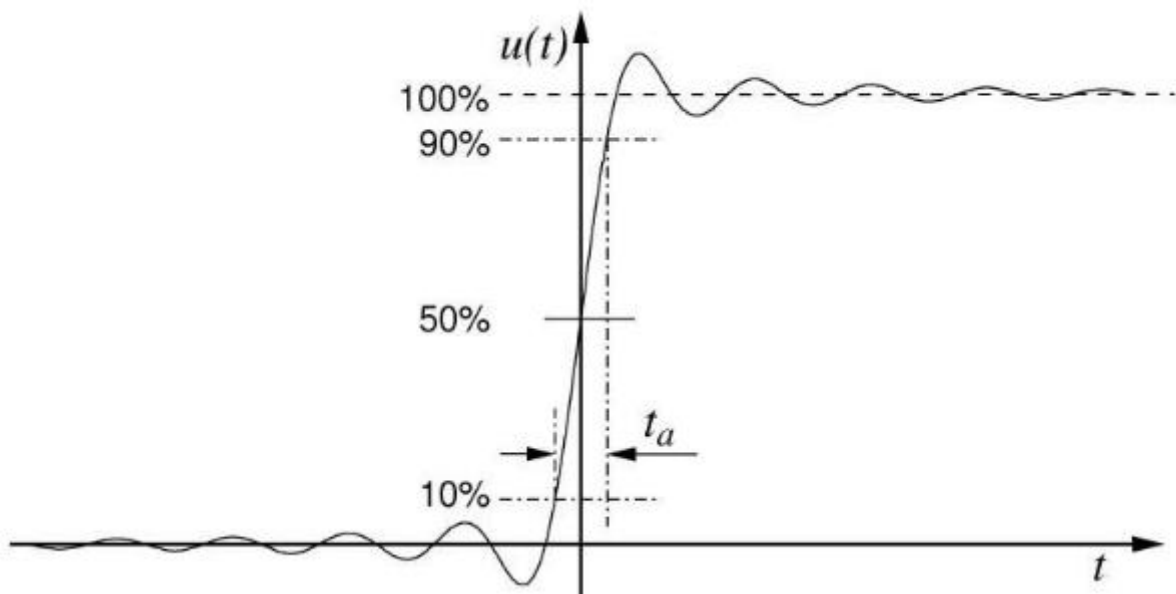
Transient intermodulation distortion (TIM)

In der Audio-Technologie gibt es verschiedene Phänomene, die die Klangqualität beeinflussen können. Eines davon ist das sogenannte TIM. Dieses Phänomen wurde erstmals 1972 von dem Audio-Ingenieur Matti Ojala beschrieben und besagt, dass bei der Wiedergabe von Musik durch einen Verstärker Verluste der Hochfrequenzanteile auftreten können. Obwohl das grundlegende Konzept von TIM richtig ist, tritt dieses Phänomen bei der Verwendung von realer Musik und normalen Verstärkern in der Praxis nicht auf. Das liegt daran, dass moderne Verstärker in der Regel schnell genug sind, um die Hochfrequenzanteile eines Musiksignals nicht zu verlieren. Es gibt jedoch Methoden, um das TIM-Phänomen zu demonstrieren, indem man ein Hochfrequenzsinus-Signal auf ein schnell ansteigendes Niederfrequenz-Rechtecksignal legt. Dies erfordert jedoch eine sehr schnelle Anstiegs- und Abfallzeit des Rechtecksignals, die weit jenseits dessen liegt, was ein realistischer Audio-Verstärker leisten kann, sofern kein Emitterfolger die Last treibt.

TIM ist ein spezifisches Problem von Verstärkern und wird häufig in Verbindung mit Röhrenverstärkern erwähnt, die für ihren warmen Klang bekannt sind, aber auch anfällig für TIM sind. In den frühen Jahren der Transistorverstärker gab es Probleme mit stumpfen Klängen. Im Gegensatz dazu hatten Röhrenverstärker einen guten Klang ohne TIM (Transientenintermodulation) und ungerade harmonische Verzerrungen. In den folgenden Jahrzehnten hat die verbesserte Halbleitertechnik und die deutlich verbesserten passiven Bauelemente jedoch neue Verstärkerkonzepte auf Halbleiterbasis hervorgebracht. Es gibt verschiedene Arten von Verzerrungen, die in Audioverstärkern auftreten können. Verzerrungen werden durch nichtlineare Elemente im Verstärker verursacht und die Art der Verzerrung hängt davon ab, welche Art von Test durchgeführt wird.

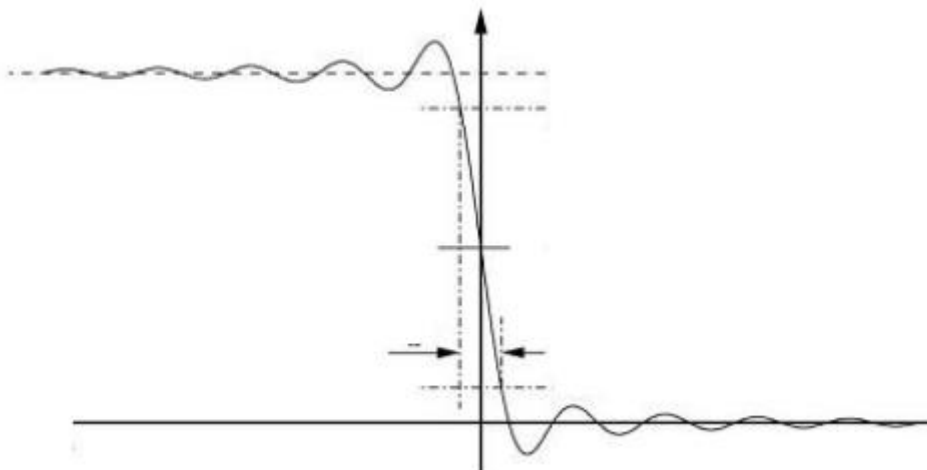
Ein moderner Verstärker sollte TIM-frei und in Bezug auf Verzerrungswerte deutlich geringer als übliche Röhrenverstärker sein, die auch heute noch von einigen Anbietern angeboten werden. Allerdings gibt es große Unterschiede zwischen verschiedenen Verstärkern, insbesondere in Bezug auf ihre Fähigkeit, TIM-frei zu sein und einen musikalischen Klang zu produzieren. Ein wichtiger Faktor ist auch die Art der Gegenkopplung, die entweder überall oder lokal sein kann. Frühe Halbleiterkonzepte mit Über-Alles-Gegenkopplung konnten zwar bei Sinusmessungen sehr niedrige Klirrfaktoren aufweisen, hatten jedoch oft einen stumpfen und unmusikalischen Klang, weshalb sie den Beinamen "Transistor-Klang" erhielten. Es ist wichtig, dass moderne Operationsverstärker und Endstufen, die als Leistungsverstärker aufgebaut sind, bestimmte Bedingungen erfüllen, um niedrige Impedanzen zu treiben oder Leistungen abzugeben. Dazu gehört unter anderem, dass die Endstufen-MOSFETs schneller schalten können als die Treiber- oder Vortreiberstufen und dass durch geeignete Treiberdimensionierung die schnellstmögliche Umladung der MOSFETs erreicht wird. Auch die Art der Vortreiberstufe, die Art der Gegenkopplung und die Art des Lastkreises spielen eine wichtige Rolle bei der Leistung und Qualität eines Verstärkers.

Wenn ein schneller Impuls als Eingangssignal verwendet wird, kann es passieren, dass die Halbleiter der Endstufe nicht schnell genug reagieren und der Regelkreis kurzzeitig nicht in Phase ist. Dies kann dazu führen, dass die Gegenkopplung für einen kurzen Moment unterbrochen wird und die Verstärkung plötzlich ansteigt, wodurch die Vorstufe übersteuert wird. Dieses transiente Ereignis verursacht TIM (Transientenintermodulation).



Abbild: Steigende Flanke

Es ist wichtig, dass die Zeit, die für das Signal benötigt wird, länger ist als die Zeit, die für den Wechsel in der langsameren Leistungsendstufe benötigt wird. Wenn dies nicht der Fall ist, könnte das Eingangssignal bereits bei 90% oder mehr angekommen sein, während die Endstufe noch bei 10% oder weniger hängenbleibt. In diesem Fall wäre die Signalbedingung für die Gegenkopplung für einen kurzen Zeitraum t völlig anders als die übliche Bedingung, bei der das Ausgangssignal als Gegenkopplungssignal zum Eingang der Schaltung zurückgeführt wird. Dies gilt insbesondere für den Bereich der fallenden Flanke.



Abbild: Fallende Flanke

Leistungshalbleiter haben oft langsamere Abschaltzeiten in ihren Sperrschichten, was den Abschaltvorgang kritischer macht, da er verzögert wird. In diesem Fall würde die Signalfanke am Eingang bereits auf Null gefallen sein, während die Ausgangsstufe noch mit 100% oder weniger leitet. Dies führt kurzzeitig zu falschen Bedingungen in einem Regelkreis, der auf stabile Phasenlage aufbaut, normalerweise bedeutet dies gleiche Phasenlage.

Die inverse Steuerung (-180), die für die Gegenkopplung erforderlich ist, wird in der Regel durch eine geeignete Schaltung wie den invertierenden Eingang eines Operationsverstärkers zur notwendigen Drehung auf 180 verwendet, während das Eingangssignal am nichtinvertierenden Eingang angelegt wird. Wenn jedoch kurzzeitig eine Phasendrehung durch falsche Schaltzeitpunkte in der Endstufe vorliegt, eine Phasendrehung für sehr kurze Momente, ist der invertierende Eingang für diesen kurzen Moment doppelt invertiert, das heißt er ist gleichphasig mit dem tatsächlichen Eingangssignal.

In diesem Fall tritt die ungewollte Nicht-Gegenkopplung für diesen Zeitraum auf, die Schaltung gerät völlig in die Leerlaufverstärkung und wird stark verzerrt, da das Eingangssignal für die nicht mehr gegengekoppelten Stufen dann viel zu hoch ist. Es sei darauf hingewiesen, dass die hier gezeigten Impulse nur Masse-Plus-Niveau haben, die Nulllinie könnte aber auch in den Bereich negativer Spannungen gehen, dann wäre es mit der Phase richtiger beschrieben. Es ist jedoch auch nicht falsch, den Amplitudenwert des Endstufensignals zum Zeitpunkt t_a zu betrachten, da im Zeitraum der Störung entweder viel zu klein oder viel zu groß im Verhältnis zum Eingang ist.

Der Einsatz von Operationsverstärkern in Audio-Anwendungen kann zu TIM-Verzerrungen (Transient Intermodulation Distortion) führen, die sich in einem kratzigen oder verschleierte Klang bemerkbar machen.

Dies ist vor allem bei weniger gut geeigneten Operationsverstärkern der Fall, die in den Ausgangsstufen von CD-Playern für Filterstufen verwendet werden. Frühere Operationsverstärker haben aufgrund ihres langsamen Schaltverhaltens häufig TIM-Verzerrungen verursacht, was dem Klang von diskreten Transistorschaltungen entspricht. Moderne Operationsverstärker, die für Audio-Anwendungen optimiert sind, integrieren bessere Halbleiterstrukturen oder FETs im Signalweg und können somit TIM-freien Klang mit seidenweicher, impulsiver Musikalität bieten. Allerdings gilt dies nur, wenn die zu treibende Last oder Verbindung keine komplexe Last darstellt.

Testen von TIM

Es gibt drei Tests, um die Leistung von TIM (Transient Intermodulation Distortion) in einem Verstärker zu messen. Diese Tests sind der sine-square DIM-Test von Otala, der hochfrequente THD-Test und der polarity-modulierte sawtooth-Test von Sansui. Es ist

wichtig zu beachten, dass keiner dieser Tests einen Unterschied zwischen TIM und anderen Formen der dynamischen Intermodulation feststellt.

Eine wichtige Eigenschaft aller dynamischen Intermodulationstests ist die Peak-Rate-of-Change des Testsignals, da dies die wirkliche Funktion ist, die die Nichtlinearität antreibt und nicht nur die Amplitude. Der Messbereich des Tests ist ebenso wichtig wie die Empfindlichkeit. Ein Test mit einem hohen Messbereich hat nicht unbedingt mehr Wert als ein Test mit einem niedrigeren Messbereich. Was wir wirklich besorgt sind, ist der dynamische Bereich des Tests. Es muss erkannt werden, dass die Ergebnisse der verschiedenen Verzerrungstests lediglich eine Metrik für die tatsächliche Leistung sind und dessen absolute Wert von begrenzter Bedeutung ist, wenn sie mit einer Zahl verglichen wird, die von einem anderen Verzerrungstest erzeugt wird.

Um eine zuverlässige Messung durchzuführen, müssen spezielle Messgeräte, wie Spektrumanalysatoren, verwendet werden. Der Test kombiniert eine 3-18 kHz Quadratwelle und eine 15-kHz Sinuswelle in einem 4:1-Spitzenamplitudenverhältnis und wird als DIM-30 (dynamische Intermodulationsverzerrung mit 30-kHz-Filterung) bezeichnet. Das Ergebnis wird in RMS-Weise aufsummiert und auf die 15-kHz-Amplitude bezogen, um einen Verzerrungsprozentsatz zu erhalten. Der Anstieg übersteigt die Hälfte seines Spitzenwerts nur 6 Prozent der Zeit, was eine geringe Empfindlichkeit des Tests bedeutet, und ein ziemlich hoher Verzerrungsboden von 0,035 Prozent. Dieser Test, genannt Sine-Square-Test, wurde speziell zum Testen von TIM (Transientenintermodulationsverzerrung) in Audio-Verstärkern entwickelt, jedoch ist die Messinstrumentation und die Messmethode sehr aufwändig. Obwohl es auf den ersten Blick nicht sehr dynamisch erscheint, ist eine Sinuswelle von ausreichend hoher Frequenz mehr als ausreichend dynamisch, um die TIM-Mechanismen eines Verstärkers zu trainieren. Daher wurde vorgeschlagen, hochfrequente THD-Messungen als guten Test für TIM zu verwenden. Für Einzelzahltests wird THD-20 bevorzugt, da es das größte Peak-Slope/Peak-Amplitude-Verhältnis ($0,125 \text{ (V/us)/V}$) für jede in-band Sinusoid entwickelt. Bei einer gegebenen Peak-to-Peak-Amplitude ist THD-20 nicht ganz so empfindlich wie DIM-30 aufgrund des kleineren Peak-Slopes; jedoch ist seine Messungsfloor mindestens eine Größenordnung niedriger als bei DIM-30. Es ist ein empfindlicherer Test für soft TIM und hat einen größeren Gesamtdynamikbereich. THD-Analysatoren mit ausreichender Empfindlichkeit sind moderat teuer, aber weitverbreitet im Einsatz.

Die **Polarity-modulierte Sägezahnmesstechnik** wurde kürzlich von Sansul vorgeschlagen und ist vor allem durch die kostengünstige Instrumentierung gekennzeichnet. In der Praxis wird eine ungefilterte 20-kHz-Sägezahn-Wellform in einer Rate von etwa 78 Hz umgepolt. Ohne Umkehrung würde die Anwendung des hochfrequenten, asymmetrischen Sägezahn-Signals auf einen Verstärker zu einem Gleichspannungsoffset führen, dessen Größe von der Schwere der Nichtlinearität abhängt. Der Gleichspannungsoffset, der durch even-order Nichtlinearitäten verursacht wird, wird hauptsächlich durch die übliche zweite harmonische Verzerrung der Sägezahngrundschwingung erzeugt. Der

Gleichspannungsoffset, der durch odd-order Nichtlinearitäten verursacht wird, wird hauptsächlich durch das 2A-8il-Intermodulationsverhältnis zwischen der Sägezahngrundschwingung und der zweiten Harmonischen verursacht. Wenn diese Offsets entgegengesetzter Polarität sind, könnte man eine optimistische Leseergebnis erhalten. Die periodische Polaritätsumkehr bringt diesen Gleichspannungsoffset einfach in ein leicht messbares Niederfrequenz-Wechselspannungssignal. Das viel höhere Frequenztestsignal wird im Analysator durch eine relativ kostengünstige Tiefpassfilterung eliminiert.

Dieser Test erhält seine Empfindlichkeit hauptsächlich von den extrem scharfen ungefilterten Sägezahnspitzen, die er auf den zu testenden Verstärker anwendet. Die normalisierte Änderungsrate ist extrem hoch (wahrscheinlich mindestens $10 (V/V) / V$) und im Vergleich zu dem Testsignal ändert sie sich sehr schnell. Verstärker ohne Eingangs-LPFs mit moderater, aber ausreichender Steilheit können sich auf diesem Test einschränken und eine ungerechtfertigt schlechte Leistung geben. Die subjektive Korrelation dieses Tests ist auch fraglich, da seine Anstiegszeit viel schneller als die von Musik ist. Schließlich hängt dieser Test so sehr von extremen Signalstopps (und von Out-of-Band-Sägezahnharmonischen) ab, dass er leicht durch Verstärker getäuscht werden kann, die Eingangsfiler enthalten.

Multitone intermodulation

Der Multitone Intermodulation (MIM) Test ist darauf abgezielt, ein fast idealer Test zur Messung von TIM (Transient Intermodulation) in Verstärkern zu sein. Der Test ist eine Variation des bekannten CCIF Zwei-Tone IM Tests, bei dem zwei hochfrequente Töne mit einem geringen Frequenzunterschied (z.B. 19 und 20 kHz) auf das zu testende Gerät angewendet werden und das Differenzfrequenz-IM-Produkt gemessen wird. Die Tonquellen müssen nicht sehr verzerrungsarm sein und es kann einfaches Tiefpass-Filtering verwendet werden, um das Verzerrungsprodukt von dem Stimulus abzusondern und dadurch eine hervorragende Empfindlichkeit zu erreichen. Der CCIF-Test wurde erfolgreich zur Messung von Hochfrequenz-Verzerrungen eingesetzt, ist aber nur auf geradzahlige Verzerrungsmechanismen empfindlich. Seine völlige Unempfindlichkeit gegenüber ungeradzahligen Verzerrungsmechanismen, die in vielen zeitgenössischen Entwürfen eine prominente Verzerrungsquelle darstellen, macht ihn zu einem unzuverlässigen allgemeinen TIM-Messwerkzeug. Der MIM-Test verwendet drei Töne, die ein Dreifachschlagprodukt (A-B-C) bei leicht unter 1 kHz erzeugen, während zwei der Töne ein CCIF-ähnliches Differenzfrequenzprodukt (B-C) bei leicht über 1 kHz erzeugen. Dies ermöglicht es dem Test, die Vorteile des CCIF-Tests beizubehalten und gleichzeitig die Empfindlichkeit gegenüber ungeradzahligen Verzerrungsmechanismen zu erhöhen. Auf diese Weise kann der MIM-Test eine bessere Korrelation mit subjektiven Hörtests erreichen, da er ein musikähnliches Testsignal verwendet und damit einen größeren Dynamikbereich hat. Der MIM-Test erfordert jedoch im Vergleich zu anderen Tests teurere Instrumente und ist daher nicht unbedingt kostengünstig. Trotzdem kann er eine gute Wahl sein, um TIM in Verstärkern zu messen, da er eine einfache Messprozedur und eine gute Sensitivität aufweist. Bei der Durchführung von Tests ist es wichtig, die richtige Wahl der Last zu treffen, um sicherzustellen, dass das Testergebnis aussagekräftig ist. Dies gilt für alle Arten von Testmethoden, einschließlich der

Testmethoden für thermisch induzierte Migrations (TIM). Wenn beispielsweise die Last nicht komplex genug ist, um TIM zu erzeugen, kann sogar ein rein reeller Lastwiderstand verwendet werden und alles wird ideal erscheinen - mit Ausnahme von Lautsprechern.

Wow und Flutter

Wow und Flutter ist der Name, der verwendet wird, um Signalverschlechterungen zu beschreiben, die durch kurzfristige Geschwindigkeitsschwankungen bei analogen Aufnahme- und Wiedergabegeräten wie Tonbandgeräten und Plattenspielern verursacht werden. Wenn die Geschwindigkeit während der Aufnahme oder Wiedergabe variiert, führt dies zu einer vorübergehenden Änderung der Tonhöhe des Signals. Solche Schwankungen werden in der Regel durch mechanische Unvollkommenheiten in rotierenden Teilen wie Rollen und Riemen oder kurzzeitige Schwankungen in der Geschwindigkeit der Motoren verursacht, die den Mechanismus betreiben.

Wow wird normalerweise verwendet, um Geschwindigkeitsschwankungen mit einer niedrigen Frequenz zu beschreiben, möglicherweise unter 6 Hz. Flutter beschreibt Geschwindigkeitsschwankungen über etwa 6 Hz. Niedrigfrequente Schwankungen werden durch Defekte in rotierenden Teilen großer Umfanggröße verursacht, und Flutter durch rotierende Teile kleiner Umfanggröße. Eine Rolle mit einer Flachstelle, die mit einer bestimmten Bandgeschwindigkeit zehnmal pro Sekunde rotiert, erzeugt eine Flutterschwingung bei 10 Hz. Die Frequenz der Wow- und Flutter-Komponenten skaliert normalerweise mit Änderungen der Bandgeschwindigkeit von Bandmaschinen auf und ab.

Wow und Flutter sind ein wichtiges Thema in der Audiotechnik, da sie die Klangqualität beeinträchtigen können. Es ist daher wichtig, Mechanismen und Geräte so genau wie möglich zu fertigen, um Schwankungen zu minimieren und eine bestmögliche Wiedergabequalität zu gewährleisten. Wenn ein reines Sinuswellensignal von einem System aufgenommen und wiedergegeben wird, dessen Tonhöhe von der Genauigkeit der Geschwindigkeit abhängt, ist eine Messung der Frequenzmodulation des wiedergegebenen Signals eine Messung von Wow und Flutter. Der maximale Wow und Flutter in Prozent wird als maximale Frequenzabweichung definiert und als Prozentsatz der aufgezeichneten Signal-Frequenz ("Trägerfrequenz") angegeben. Testtöne von entweder 3,00 kHz oder 3,15 kHz werden normalerweise für die IEC/DIN, NAB und JIS Standard-Techniken zur Messung von Wow und Flutter verwendet. Ein Wow- und Flutter-Wert von 0,1% bei Verwendung eines 3-kHz-Testtons würde also einer Spitzenabweichung des FM-Signals von 3 Hz entsprechen. Ein Wow- und Flutter-Meter besteht im Wesentlichen aus einem FM-Diskriminator, der Frequenzabweichungen der 3-kHz- oder 3,15-kHz-Trägerfrequenz in proportionale Amplitudenänderungen umwandelt, die mit einem Wechselspannungsmessgerät gemessen werden können.

Da Wow unter 0,5 Hz definiert ist, muss das Voltmeter im Vergleich zu den meisten Audio-Messungen eine erweiterte niedrige Frequenzantwort haben. Wow und Flutter sind wichtige Parameter für die Wiedergabequalität von Audio-Geräten, insbesondere für solche, die analoge Medien wie Tonband oder Schallplatten verwenden. Eine genaue Messung von Wow und Flutter kann dazu beitragen, Probleme mit dem Equipment zu identifizieren und zu beheben, um eine möglichst hohe Klangqualität sicherzustellen.

Messtechniken

Um Flutter zu messen, wird in der Regel ein Standardreferenzband oder eine Standardreferenzplatte verwendet, die auf einer Maschine mit sehr geringem Flutter aufgenommen wurde. Dieses Band oder diese Platte wird abgespielt, während die Messung durchgeführt wird. Bei Bandmaschinen sollten Messungen an verschiedenen Stellen auf der Rolle oder dem Kassettenband durchgeführt werden, einschließlich Anfang, Mitte und Ende des Bandes, da der Flutter unter diesen Bedingungen erheblich variieren kann. Die Geschwindigkeitsfehler des Bandes können zur gleichen Zeit wie der Flutter gemessen werden, da das Referenzband auf einer Maschine aufgenommen wurde, die genau eingestellt ist. Jede Abweichung der durchschnittlichen reproduzierten Frequenz von der Frequenz, die in der Referenzbanddokumentation angegeben ist, ist eine Messung der Abweichung der Bandmaschine von der nominalen Geschwindigkeit. Bei sehr hochwertigen professionellen Bandmaschinen ist es möglich, dass gekaufte Standardreferenzbänder mehr Flutter enthalten als die zu testende Maschine. Dies kann überprüft werden, indem ein Testton von 3 kHz oder 3,15 kHz auf ein leeres Band aufgenommen und dann zurückgespult und reproduziert wird. Wenn die Flutter-Messungen unter diesen Bedingungen geringer sind als bei der Verwendung eines kommerziellen Referenzbands, sollte das selbstaufgenommene Band verwendet werden. Der Flutter sollte jedoch niemals während des gleichzeitigen Aufnahme-Wiedergabe-Modus gemessen werden, der mit einem dreiköpfigen Bandrekorder möglich ist. Der Verzögerungswert zwischen Aufnahmekopf und Wiedergabekopf bei einer bestimmten Bandgeschwindigkeit verursacht eine Kammfilterwirkung bei der Messung. Die Messung wird bei Flutterfrequenzen, die genau auf den Kammfilterfrequenzen liegen, vollständig empfindlich sein, was zu ungenauen Messungen führen kann. Stattdessen sollten separat aufgenommene und reproduzierte Bänder verwendet werden.

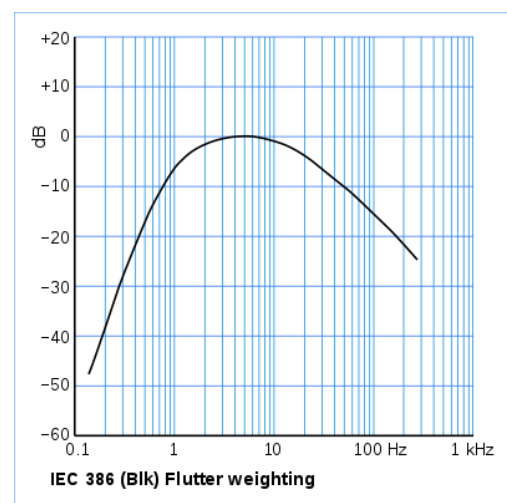
Sofortige vs. verarbeitete Messwerte

Flutter wird normalerweise mit einem Standard-Referenzband oder -disk gemessen, der auf einer Maschine mit sehr geringem Flutter aufgenommen wurde. Dieses Band oder diese Disk wird während der Messung abgespielt. Bei Tonbandspielern sollten Messungen an verschiedenen Stellen auf der Rolle oder Kassette durchgeführt werden, einschließlich Anfang, Mitte und Ende des Bandes, da sich der Flutter unter diesen Bedingungen erheblich ändern kann. Die Geschwindigkeitsfehler des Bandes können zur gleichen Zeit wie der Flutter gemessen werden, da das Referenzband auf einer präzisen eingestellten Geschwindigkeit aufgenommen wurde. Daher stellt jede Abweichung der durchschnittlich reproduzierten Frequenz von der Frequenz in der Referenzbanddokumentation eine Messung der Abweichung der Bandmaschine von der nominalen Geschwindigkeit dar. Auf sehr hochwertigen professionellen Tonbandspielern ist es möglich, dass gekaufte Standard-Referenzbänder mehr Flutter enthalten als die zu testende Maschine. Dies kann überprüft werden, indem man einen Testton auf ein leeres Band aufnimmt und dieses dann zurückspult und wieder abspielt. Wenn die Flutter-Messungen unter diesen Bedingungen

niedriger sind als bei Verwendung eines kommerziellen Referenzbands, sollte das selbst aufgenommene Band verwendet werden. Der Flutter sollte jedoch niemals während des gleichzeitigen Aufnahme-Wiedergabe-Modus gemessen werden, der mit einem Drei-Kopf-Tonbandspieler möglich ist. Der Wert der Verzögerung zwischen Aufnahme- und Wiedergabekopf bei einer bestimmten Bandgeschwindigkeit verursacht einen Kammfilter-Effekt in der Messung. Die Messung wird völlig unempfindlich gegenüber Flutter bei Flutterfrequenzen, die genau auf den Kammfilterfrequenzen fallen, was zu falsch niedrigen Messwerten führen kann. Stattdessen sollten Einzelmessungen gemacht werden.

Breitband-Flutter

Die IEC/DIN, NAB und JIS Techniken verwenden alle 3 kHz oder 3.15 kHz Testtöne und eine Post-Discriminator-Bandbreite von 200 Hz. Sie sind darauf ausgelegt, empfindlich auf durch Rotation verursachte Unvollkommenheiten der Geräte zu sein. Es gibt auch andere Modulationseffekte in Tape-Maschinen, die mit dem Biegen des Tapes beim Einwickeln um Kapstanen, Idler und die Tape-Köpfe sowie mit Dehnungseffekten des Tapes zusammenhängen. Diese Mechanismen erzeugen eine Frequenzmodulation des aufgezeichneten Signals über ein viel breiteres Spektrum, bis zu etwa 5 kHz. Das Testen solcher Probleme ohne Aliasing-Effekte erfordert die Verwendung eines höherfrequenten "Trägersignals".



Manquen entwickelte die Messmethoden "Schaben-Flutter" und "Hochfrequenz-Flutter" mit einem 12,5 kHz Testton. Das Messen von FM-Effekten mit einer Bandbreite von 5 kHz bei einem 12,5 kHz Testton erfordert eine Recorder-Bandbreite von mindestens 17,5 kHz, so dass diese Methode auf breitbandige Maschinen beschränkt ist. Einige professionelle Tape-Maschinen haben einstellbare Idler eingebaut, um den Schaben-Flutter-Effekt zu reduzieren und eine ordnungsgemäße Einstellung solcher Idler erfordert den Zugang zu einem Schaben-Flutter-Meter. Es gibt auch breitbandige Flutter-Messmethoden, die verwendet werden können, um Flutter-Probleme in einem breiteren Frequenzbereich zu erfassen. Eine solche Methode ist die Verwendung von breitbandigen Testtönen und Messungen bei höheren Frequenzen. Dies ermöglicht es, Flutter-Probleme in einem breiteren Frequenzbereich zu erfassen und kann hilfreich sein, wenn es um die Überwachung von professionellen Tape-Aufnahmegeräten geht.

Frequenzgang

Der Frequenzgang ist ein Maß dafür, wie gut ein Verstärker verschiedene Frequenzen übertragen kann. Er gibt an, in welchem Frequenzbereich ein Verstärker arbeiten kann und wie die Übertragung innerhalb dieses Bereichs aussieht. Für einen guten HiFi-Verstärker wird eine nutzbare Bandbreite von etwa 20 Hz bis über 20 kHz mit einer Abweichung von höchstens 0,5 dB erwartet. Die Leistung, bei der die Endstufe gemessen wird, beeinflusst den Frequenzgang. Der Unterschied zwischen dem Leistungs- und Spannungsfrequenzgang kann verwirrend sein, da im Verkaufsprospekt oft nicht klar angegeben wird, welcher der beiden Werte verwendet wird. Der Spannungsfrequenzgang gibt jedoch in der Regel den besseren Wert an. Aus diesem Grund bevorzugen Hersteller oft die Verwendung des Spannungsfrequenzgangs in ihren Verkaufsprospekten.

Spannungsfrequenzgang

In der Frühzeit der Rundfunktechnik wurde die Zimmerlautstärke auf einen Wert von 50 mW festgelegt. Dieser Wert entspricht einer Spannung von 0,5 V an einem Lautsprecher mit einer Nennimpedanz von 5 Ω . Dieser Spannungswert ist etwa 18 dB niedriger als der Pegel der Endstufen mit 4 W, die zu dieser Zeit üblich waren.

In der frühen Transistortechnik wurde der Spannungsfrequenzgang oft bei halber maximaler Ausgangsleistung ermittelt, was einem Spannungspegel von 3 dB unter Vollaussteuerung entspricht. Dies bedeutet, dass der Frequenzgang bei einem niedrigeren Ausgangspegel als der maximalen Ausgangsleistung gemessen wurde, was jedoch immer noch ausreichend war, um eine Aussage über die Leistungsfähigkeit des Geräts zu treffen. Diese Werte zeigen, wie sich die Standards und Messverfahren im Laufe der Zeit entwickelt haben und wie sie sich auf die Leistung und Qualität von Audio-Equipment auswirken. Es ist wichtig, diese Standards zu verstehen und anzuwenden, um sicherzustellen, dass die Leistung und Qualität von Audio-Geräten den Erwartungen entsprechen und ein optimales Hörerlebnis bieten.

Es gibt verschiedene Gründe, warum bei Audio-Verstärkern zwei Frequenzgänge angegeben werden. Der Spannungsfrequenzgang ist in der Regel genauer als der Leistungsfrequenzgang, da er die Verstärkung des Signals in Bezug auf die Spannung anzeigt. Der Leistungsfrequenzgang hingegen zeigt die Verstärkung des Signals in Bezug auf die Leistung an. Es ist auch wichtig zu beachten, dass der Spannungsfrequenzgang bei einer bestimmten Ausgangsleistung angegeben werden sollte. Dies liegt daran, dass bei höheren Ausgangsleistungen das Netzteil mehr Leistung liefern muss, was zu einem Pegelabfall führen kann, wenn die Netzteilkondensatoren nicht schnell genug aufgeladen werden. Bei Röhrenverstärkern kann es auch zu einem Pegelabfall kommen, wenn der Ausgangsübertrager tiefe Frequenzen nicht ausreichend überträgt, da der Kern in Sättigung geraten kann. Zu klein dimensionierte Koppelkondensatoren können ebenfalls einen Pegelabfall verursachen. Am oberen Ende des Frequenzspektrums spielt die Summe der Schaltkapazitäten eine Rolle, die konstant ist. Der Verstärker kann nur einen maximalen

Strom I liefern und sein maximaler Spannungshub ist U . Die Ladung Q eines Kondensators ist definiert mit

$$Q = C * U = I * t$$

Die Berechnung der Ladung Q eines Kondensators ist jedoch nur ein Faktor, der den Frequenzgang beeinflussen kann. Es gibt viele weitere Faktoren, wie die Dimensionierung von Bauteilen und die Güte der Schaltungen, die den Frequenzgang beeinflussen können. Daher ist es wichtig, den Frequenzgang bei verschiedenen Ausgangspegeln und Lastimpedanzen zu messen, um ein umfassendes Bild der Leistungsfähigkeit des Verstärkers zu erhalten. Wenn eine Kapazität in kurzer Zeit (t) aufgeladen werden soll, muss auch ein entsprechender Strom zur Verfügung stehen, um den notwendigen Spannungswert U zu erreichen. Wenn eine geringere Spannung gefordert wird, ist in derselben Zeiteinheit auch weniger Strom notwendig, um die entsprechende Ladungsmenge zu erreichen. Daher wird bei geringerer Aussteuerung die Bandbreite am oberen Ende größer.

Um praxiserhaltene Werte für den Spannungsfrequenzgang zu erhalten, muss berücksichtigt werden, welche Verhältnisse in einem durchschnittlichen Wohnraum herrschen. Wenn eine Lautsprecherbox einen Wirkungsgrad von 90 dB bei 1 W Verstärkerleistung in einem Abstand von 1 Meter hat, können ordentliche Lautstärken erzielt werden. Um das Frequenzverhalten eines Verstärkers bei normalem Betrieb in Wohnräumen zu beurteilen, ist es sinnvoll, den Frequenzgang bei 1 W und bei 10 W zu betrachten. Ebenso ist die Angabe bei etwa einem Zehntel der Maximalleistung aufschlussreich.

Da Musiksignale im unteren Frequenzbereich die volle Leistung benötigen, sollten die Werte für den Leistungs- und den Spannungsfrequenzgang hier möglichst nahe beieinander liegen. Es ist daher wichtig, den Frequenzgang bei verschiedenen Ausgangsleistungen und Lastimpedanzen zu messen, um ein genaues Bild der Leistungsfähigkeit des Verstärkers zu erhalten. Um einen aussagekräftigen und sinnvollen Frequenzgang einer Leistungsendstufe zu erhalten, ist es wichtig, eine Frequenzgangangabe bei 1 dB unter Vollaussteuerung zu machen. Eine weitere Frequenzgangangabe sollte bei etwa 10 % der Maximalleistung erfolgen und möglicherweise auch bei 1 W. In allen Angaben sollten die Frequenzen angegeben sein, an denen ein Abfall von 1 dB zu verzeichnen ist, und möglicherweise auch bei -3 dB.

Bei Vorstufen ist es wichtig, den Frequenzgang bei einer definierten Last zu messen, die relativ hoch ausgesteuert ist, und den Abfall von 1 dB zu berücksichtigen. Der Lastwiderstand sollte zehnmal größer sein als der Innenwiderstand des Vorverstärkers oder, falls angegeben, der Mindestlastwiderstand.

Um ein genaues Bild von der Leistungsfähigkeit von Audio-Equipment zu erhalten, sind bestimmte Angaben von großer Bedeutung. Der Frequenzgang beispielsweise gibt Aufschluss darüber, wie gut das Gerät in der Lage ist, eine bestimmte Bandbreite an Frequenzen wiederzugeben und wie stark das Signal in Bezug auf die Frequenz abfällt. Um ein umfassendes Bild der Leistungsfähigkeit des Geräts zu erhalten, ist es daher wichtig, den Frequenzgang bei verschiedenen Ausgangsleistungen und Lastimpedanzen zu messen.

Diese Anforderungen sollten insbesondere geprüft werden, da es zunehmend wichtig wird, Lautsprecher zu korrigieren, insbesondere bei Masse-Feder-Dämpfungssystemen. Digitale Einmesssysteme erzeugen Messimpulse, die einen guten Verstärker benötigen, um sinnvoll eingemessen werden zu können. Dadurch entsteht eine deutlich höhere Anforderung an die Leistungsfähigkeit des Geräts. Letztendlich sind die Signale in der Musik damit beaufschlagt, was zur Lautsprecherkorrektur nötig ist.

Leistungsfrequenzgang

Um reale und praxisnahe Messwerte bei der Messung eines Leistungsverstärkers zu erhalten, sollte die Messung unter bestimmten Bedingungen durchgeführt werden. Eine aussagekräftige Leistungsfrequenzgangmessung kann durchgeführt werden, wenn der Verstärker bei etwa 80% seiner maximalen Leistung betrieben wird, was etwa 1 dB unter Volllaussteuerung entspricht. Dadurch wird eine Übersteuerung des Verstärkers vermieden, aber dennoch im oberen Leistungsbereich gemessen. Es wird gemessen, um wie viel der Pegel bei den Enden des Frequenzbereichs im Vergleich zu 1 kHz um 1 dB und 3 dB abgefallen ist. Eine Abnahme des Pegels um 1 dB entspricht einer Reduzierung der Ausgangsleistung von 80% auf etwa 63%, während eine Abnahme des Pegels um 3 dB bedeutet, dass nur noch die Hälfte der Leistung zur Verfügung steht, was etwa 40% der maximalen Leistung entspricht. Um diese Aufgabe zu lösen, benötigt man Informationen über die Widerstandswerte, da Leistung = Spannung² / Widerstand ist. Wenn ein Verstärker 100 W an 4 Ω hat, kann man die Spannung wie folgt berechnen:

$$U = \sqrt{P * R} = \sqrt{100W * 4\Omega} = 20V_{eff}$$

Daher entspricht eine Ausgangsleistung von 100 W an 4 Ω einem Pegel von 20 V_{eff}. Wenn der Pegel um 1 dB abgefallen ist und 1 dB dem Faktor 1,12 entspricht, bedeutet das, dass die Leistung um den Faktor 1,12 gesunken ist. Wenn die ursprüngliche Spannung 20 V_{eff} betrug, muss diese Spannung nun durch den Faktor 1,12 geteilt werden, um die neue Spannung zu erhalten. Durch die Division von 20 V_{eff} durch 1,12 ergibt sich eine neue Spannung von 17,857 V_{eff}. Um die resultierende Leistung zu berechnen, muss diese neue Spannung quadriert und durch den Widerstand geteilt werden. Angenommen, der Widerstand beträgt R Ohm, dann kann die Leistung P wie folgt berechnet werden:

$$P = (17,857 V_{eff})^2 / R$$

$$P = \frac{U^2}{R} = \frac{17,857 V_{eff}^2}{4\Omega} = 79,92 W$$

Das Ergebnis gibt die Leistung in Watt (W) an. Wenn es einen Pegelabfall von 3 dB gibt, was einem Faktor von 1,414 entspricht, und die Leistung bei diesem Pegelabfall 50 W beträgt, kann die ursprüngliche Leistung wie folgt berechnet werden:

$$\text{Ursprüngliche Leistung} = 50 W / 1,414 = 35,4 W$$

Das bedeutet, dass die ursprüngliche Leistung 35,4 W betrug, bevor der Pegelabfall auftrat.

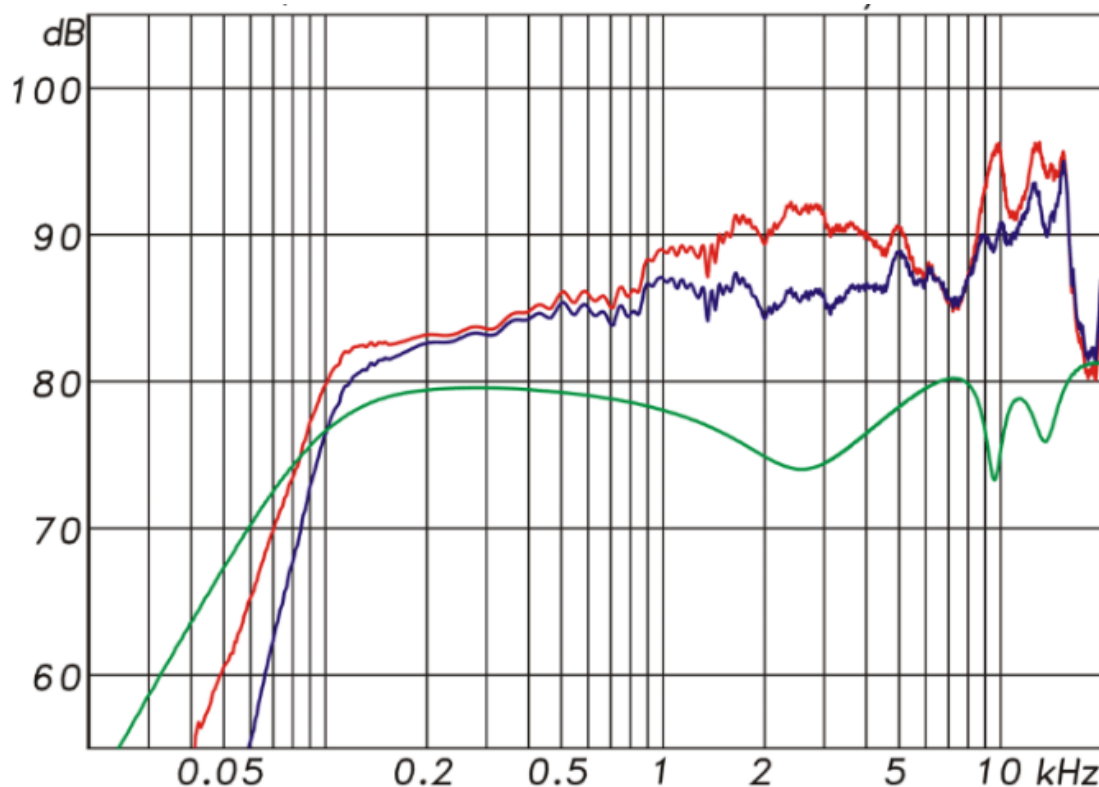
Wenn in einem Verkaufsprospekt oder Test ein Frequenzgang von 20 Hz bis 25 kHz mit einem Pegelabfall von -3 dB angegeben ist, bedeutet dies, dass die Leistung in diesem Bereich um den Faktor 1,414 abgefallen ist. Obwohl dies "gut aussieht", kann es bedeuten, dass im Bassbereich die unverzerrte Leistung fehlt, die für ein optimales Hörerlebnis unerlässlich ist. Die Gehörkurven und Leistungsverteilungskurve zeigen, dass das menschliche Ohr empfindlicher auf bestimmte Frequenzbereiche reagiert als auf andere. Insbesondere im Bassbereich können Verzerrungen zu einem schlechteren Hörerlebnis führen, selbst wenn der Frequenzgang insgesamt "gut aussieht". Es ist daher wichtig, sicherzustellen, dass die unverzerrte Leistung im gesamten Frequenzspektrum ausreichend vorhanden ist, um eine optimale Klangqualität zu gewährleisten.

Auswirkungen und Verbesserung

Der Frequenzgang beeinflusst, wie das Audiosignal wahrgenommen wird. Zum Beispiel kann ein flacher Frequenzgang zu einem ausgeglichenen Klang führen, während ein steiler Frequenzgang zu einem unausgeglichenen Klang führen kann. Der Frequenzgang kann auch durch verschiedene Faktoren wie die Akustik des Raums, die Qualität der Audiogeräte oder die Klangpräferenzen des Hörers beeinflusst werden. Um den Frequenzgang in der Audiotechnik zu verbessern, gibt es verschiedene Möglichkeiten:

- Verwenden von Equalizern: Equalizer sind spezielle Tools, die entweder als Software oder Hardware genutzt werden, um den Frequenzgang anzupassen und bestimmte Frequenzen lauter oder leiser zu machen. Allerdings birgt die Verwendung von Equalizern eine potenzielle Gefahr: Wenn ein normaler Klangsteller oder EQ verwendet wird, um einen bestimmten Frequenzbereich anzuheben, kann dies zu einer mehr oder weniger großen Phasenverschiebung führen. Dies kann den Gesamt-Phasenfehler einschließlich der Lautsprecher vergrößern - was eigentlich der Grund ist, warum EQs genutzt werden, um diesen Fehler zu eliminieren. Dies kann durch Nahfeld-Akustik-Rechtecksignalmessungen bewiesen werden. Wenn beispielsweise der Bass mit einem EQ lauter gestellt wird, kann dies dazu führen, dass der Bass "schwammiger" klingt. Wenn der Bass hingegen schwächer gestellt wird, sind die Bässe zwar leiser, aber sie klingen straffer und konturierter, da der Phasenfehler der Lautsprecher dadurch insgesamt vermindert wird.
- Verbessern der Akustik des Raums: Die Akustik des Raums kann den Frequenzgang beeinflussen, indem sie Schallreflexionen oder Echo verursacht. Um den Frequenzgang zu verbessern, können Sie Schallabsorber an den Wänden oder der Decke anbringen oder Möbelstücke verwenden, die Schallreflexionen minimieren.
- Verwenden von hochwertigen Audiogeräten: Die Qualität der Audiogeräte, wie Lautsprecher oder Kopfhörer, kann den Frequenzgang beeinflussen. Indem Sie hochwertige Audiogeräte verwenden, können Sie den Frequenzgang verbessern.

- Anpassen der Klangpräferenzen: Jeder Hörer hat unterschiedliche Klangpräferenzen und der Frequenzgang kann dementsprechend angepasst werden, indem man die Einstellungen des Equalizers ändert. Allerdings gibt es hierbei eine Schwäche: Wenn herkömmliche Equalizer verwendet werden, kann dies zu einer Verschlechterung der Lautsprecher-Impulsantwort führen, wie oben bereits erwähnt wurde. Insbesondere kann es dazu führen, dass der Bass in den tieferen Frequenzbereichen lauter wird, aber auch in den Resonanzbereichen und darüber hinaus, was eher kontraproduktiv ist. Aus diesem Grund versuchen viele Hörer, die Equalizer-Einstellungen zu manipulieren, um den Klang zu verbessern. Allerdings ist es schwierig, die Linearität und die echten Klänge der Instrumente zu erreichen, wenn man herkömmliche Equalizer verwendet, da sie dazu neigen, bestimmte Frequenzbereiche zu übertreiben oder zu unterdrücken und so die "echten" Klänge zu verfälschen. Um diesem Problem entgegenzuwirken, arbeitet die PFLEID-Membran-Vorauskorrektur mit einem speziellen System, bei dem das Masse-Feder-Dämpfungsschwingsystem (Breitbänder) mithilfe einer Differentialgleichung 3. Ordnung korrigiert wird. Hierbei werden die eigenen Fehler des Systems durch eine akustische Nahfeld-Einmessung und gegenläufige Korrektur erkannt und behoben. Dies ist besonders wichtig, da Phasenfehler in den frequenzentscheidenden Bereichen dazu führen können, dass die Impulse - das Herz der Musik - leiden. Dies ist auch der Grund, warum fast alle Lautsprecher(boxen) unterschiedlich klingen, obwohl sie oft einen ähnlichen Frequenzgang aufweisen - selbst, wenn sie an dem gleichen Verstärker angeschlossen sind.



Messungen

Die Messung des Frequenzgangs von einem System ist ein wichtiger Bestandteil der Charakterisierung von elektronischen Schaltungen und Geräten. Eine der häufigsten Methoden zur Bestimmung des Frequenzgangs ist die Analyse des Systems mit einem bekannten mathematischen Modell. Wenn ein System ein bekanntes Modell hat, kann der Frequenzgang durch die Lösung der Gleichungen, die das Modell beschreiben, berechnet werden. Diese Methode ist jedoch nur für Systeme anwendbar, die ein bekanntes Modell haben. Eine andere Methode zur Bestimmung des Frequenzgangs ist die Messung des Systems mit einem harmonischen Eingangssignal. Diese Methode ist für Systeme geeignet, die ein unbekanntes Modell haben und stabil sind. Bei dieser Methode wird das System mit einem sinusförmigen Eingangssignal der Frequenz ω_0 angeregt und die Ausgabe des Systems gemessen. Aus den Messwerten kann der zugehörige Frequenzgang durch die Bestimmung des Verhältnisses von Ausgangs- zu Eingangssignal approximativ bestimmt werden.

Eine vor allem in modernen Laboratorien eingesetzte Möglichkeit, den Frequenzgang eines Systems praktisch zu messen, ist die Verwendung des eines vorhin erwähnten Vektor-Netzwerk-Analyzers (VNA). Die Messung selbst wird durchgeführt, indem ein Signalgenerator an eine Eingangsanschluss des Systems angeschlossen wird, und das ausgegebene Signal durch das System geleitet wird. Das ausgegebene Signal wird dann von einem Empfänger aufgenommen und an den VNA angeschlossen. Der VNA analysiert dann sowohl die Amplituden- als auch die Phasenverhältnisse des Signals und speichert diese Messwerte. Es ist zu beachten, dass vor jeder Messung eine Kalibrierung des VNA durchgeführt werden muss, um sicherzustellen, dass die Messergebnisse genau und präzise sind. Die Kalibrierung des VNA kann durch Verwendung von speziellen Kalibrierstandards wie Leistungsmesskopf und Kammgenerator durchgeführt werden.

Nach der Kalibrierung und Messung, kann der VNA dann die Amplituden- und Phasenverhältnisse des Signals in einem bestimmten Frequenzbereich darstellen, und somit den Frequenzgang des Systems präzise darstellen. Es ist auch möglich, mit diesem Verfahren die Lage der Störstelle im System zu berechnen und somit eine effektive Fehlerbehebung durchführen.

Es ist wichtig zu beachten, dass die Messung des Frequenzgangs nicht immer einfach ist und oft von verschiedenen Faktoren beeinflusst wird, wie zum Beispiel der Genauigkeit der Messgeräte und der Kalibrierung des Systems. Es ist daher wichtig, eine gründliche Vorbereitung der Messungen und eine sorgfältige Auswertung der Messdaten durchzuführen, um genaue und zuverlässige Ergebnisse zu erhalten.

Auswirkungen schlechter Messwerte

Die Messung von technischen Systemen und Prozessen ist von entscheidender Bedeutung, um deren Leistung und Zustand zu überwachen und zu optimieren. Fehlerhafte oder ungenaue Messwerte können jedoch zu erheblichen Problemen führen, die sowohl die Effizienz als auch die Sicherheit beeinträchtigen können. In diesem Kapitel werden wir uns mit den Auswirkungen von schlechten Messwerten auf die technische Leistung und die Entscheidungsfindung befassen. Eines der Hauptprobleme, das durch schlechte Messwerte verursacht wird, ist die Fehleinschätzung des tatsächlichen Zustands des Systems oder Prozesses. Wenn Messwerte nicht korrekt sind, kann es vorkommen, dass das System als in Ordnung angesehen wird, obwohl es tatsächlich Schäden aufweist oder unter optimalen Bedingungen arbeitet. Dies kann zu Ausfällen führen, die sowohl Zeit als auch Geld kosten. Ein weiteres Problem, das durch schlechte Messwerte verursacht wird, ist die Ineffizienz. Wenn die Messwerte nicht korrekt sind, kann es vorkommen, dass die Regelung des Systems oder Prozesses nicht korrekt ist und dadurch Energie und Ressourcen verschwendet werden.

Schlechte Messwerte können auch zu Fehlentscheidungen führen, insbesondere in Fällen, in denen die Entscheidung auf den Messwerten basiert. Wenn die Messwerte nicht zuverlässig sind, kann es vorkommen, dass die Entscheidung falsch ist und dadurch erhebliche Kosten und Probleme verursacht. Um diese Probleme zu vermeiden, ist es wichtig, die Messgenauigkeit sicherzustellen und regelmäßig die Messgeräte zu warten und zu kalibrieren. Es ist auch wichtig, die Messwerte sorgfältig zu interpretieren und sie mit anderen Datenquellen zu vergleichen, um sicherzustellen, dass sie korrekt sind. Eine genaue Messung ist von großer Bedeutung, um zuverlässige Ergebnisse zu erhalten und Entscheidungen auf der Grundlage von gültigen Daten zu treffen. Fehlerhafte Messwerte können jedoch zu falschen Schlussfolgerungen führen und somit zu unerwünschten Konsequenzen führen. Es gibt verschiedene Arten von Fehlern, die in Messungen auftreten können, wie zum Beispiel systematische Fehler und zufällige Fehler. Systematische Fehler sind durch die Messmethode oder das Messgerät verursachte Fehler, die in jeder Messung reproduziert werden. Zufällige Fehler hingegen sind durch Unsicherheiten in der Umgebung verursachte Fehler, die von Messung zu Messung variieren. Ein wichtiger Schritt bei der Vermeidung von Fehlern in Messungen ist die Durchführung einer sorgfältigen Kalibrierung des Messgeräts. Eine regelmäßige Kalibrierung kann systematische Fehler erkennen und korrigieren. Es ist auch wichtig, die Unsicherheiten der Messung zu kennen und zu berücksichtigen. Fehlerhafte Messwerte können auch durch menschliche Fehler verursacht werden, wie zum Beispiel falsche Bedienung des Messgeräts oder mangelhafte Aufzeichnung der Messergebnisse. Um diese Art von Fehlern zu vermeiden, ist es wichtig, dass die Person, die die Messung durchführt, gut ausgebildet ist und sorgfältig arbeitet. Es ist auch wichtig, die Auswirkungen von Fehlern auf die endgültigen Ergebnisse zu berücksichtigen. Ein kleiner Fehler in einer Messung kann in bestimmten Anwendungen unbedeutend sein, während derselbe Fehler in anderen Anwendungen zu signifikanten

Fehlern in den Ergebnissen führen kann. Insgesamt kann gesagt werden, dass die Vermeidung von Fehlern in Messungen von großer Bedeutung ist, um zuverlässige Ergebnisse zu erhalten und Entscheidungen auf der Grundlage von gültigen Daten zu treffen. Eine sorgfältige Kalibrierung, die Berücksichtigung der Unsicherheiten der Messung und die Vermeidung von menschlichen Fehlern sind wichtige Schritte, um Fehler in Messungen zu minimieren. Anschließend möchten wir kurz auf die häufigsten negativen Auswirkungen eingehen, die auftreten wenn man die Messungen nicht ordnungsgemäß durchführt.

Echo, Nachhall, schlechte Sprachverständlichkeit

Echo entsteht, wenn ein Schallpuls von einer reflektierenden Oberfläche zurückgeworfen wird und von dem Empfänger als separater Schallpuls wahrgenommen wird. Nachhall hingegen bezieht sich auf das Schallecho, das nach dem Abklingen des ursprünglichen Schalls weiterhin wahrnehmbar bleibt. Echo kann in bestimmten Situationen nützlich sein, zum Beispiel in einem Theater, um die Klangverstärkung zu verbessern. In anderen Situationen, wie z.B. in einem Konferenzraum, kann es jedoch störend sein und die Verständlichkeit von gesprochenem Wort beeinträchtigen. Nachhall kann ebenfalls sowohl positiv als auch negativ wirken. In einem Konzertsaal kann er eine Atmosphäre von Raumfülle und Akustik schaffen, während er in einem Konferenzraum die Verständlichkeit beeinträchtigen kann. Eine der häufigsten Ursachen für schlechte Sprachverständlichkeit ist auch dem Echo zuzurechnen. Eine andere Ursache für schlechte Sprachverständlichkeit ist der Nachhall. Nachhall entsteht, wenn ein Signal von einer Oberfläche reflektiert wird und dann über einen längeren Zeitraum im Raum verbleibt. Dies kann dazu führen, dass das ursprüngliche Signal verwaschen wird und die Sprachverständlichkeit beeinträchtigt wird.

Um diese Auswirkungen zu minimieren, gibt es verschiedene Techniken, die verwendet werden können. Eine Methode ist die Verwendung von Echo-Unterdrückungstechnologien, die das Echo erkennen und eliminieren, bevor es das Empfangssystem erreicht. Eine andere Methode ist die Verwendung von akustischen Behandlungen, wie Schaumstoff- oder Teppichbekleidung, um die Reflektion von Schallwellen zu minimieren. Echo und Nachhall können durch die Verwendung von Schallabsorptionsmaterialien und Schallabsorptionsformen in einem Raum reduziert werden. Auch die Positionierung von Lautsprechern und Mikrofonen kann helfen, die Auswirkungen von Echo und Nachhall zu minimieren. In manchen Fällen kann es auch erforderlich sein, den Raum selbst zu verändern, indem man die Reflektionsflächen verändert oder die Raumgröße verändert. Es ist wichtig, die Auswirkungen von Echo und Nachhall bei der Planung und Konstruktion von Räumen und Gebäuden zu berücksichtigen, um die Akustik und die Verständlichkeit von Sprache und Musik zu optimieren. Auch bei der Wahl der richtigen Ausrüstung, wie z.B. Lautsprecher und Mikrofone, sollte man darauf achten, dass dieses mögliche Echo und Nachhall effektiv reduzieren können.

Unausgewogene Klangverteilung

Eine unausgewogene Klangverteilung ist ein häufiges Problem, das sich aus schlechten Messwerten ergibt. Es bezieht sich auf die ungleiche Verteilung von Schallenergie in verschiedenen Frequenzbereichen und kann sowohl im Studio- als auch im Live-Kontext zu Problemen führen. Eine unausgewogene Klangverteilung kann durch eine Vielzahl von Faktoren verursacht werden, darunter ungenaue Mikrofonplatzierung, ungenaue Raumakustikmessungen und ungenaue Frequenzgangmessungen. Ein entscheidender Faktor ist auch die ungenaue Kalibrierung von Lautsprechern und Monitoren.

Eine unausgewogene Klangverteilung kann sich in einer Vielzahl von Problemen manifestieren, darunter ein ungleichmäßiger Schallpegel in verschiedenen Frequenzbereichen, eine ungleichmäßige Schallabdeckung im Raum und eine ungleichmäßige Wiedergabe von Instrumenten und Stimmen. Dies kann dazu führen, dass bestimmte Frequenzbereiche überbetont oder unterbetont werden, was zu einem unnatürlichen und unangenehmen Klang führen kann. Eine Möglichkeit, die Auswirkungen einer unausgewogenen Klangverteilung zu minimieren, besteht darin, sorgfältig geplante und durchgeführte Messungen durchzuführen. Dies kann die Verwendung von professionellen Messgeräten und -techniken umfassen, wie z.B. einen Frequenzgang-Analyzer oder ein Impuls-Echo-System. Es ist auch notwendig, die Ergebnisse dieser Messungen sorgfältig zu interpretieren und anzuwenden, um sicherzustellen, dass die Klangverteilung so ausgeglichen wie möglich ist.

Bei der Behebung von Problemen mit unausgewogener Klangverteilung kann auch die Anwendung von Equalization (EQ) und Lautstärkeregelung hilfreich sein. EQ kann verwendet werden, um bestimmte Frequenzbereiche anzuheben oder zu senken, um die Klangverteilung auszugleichen. Ebenso kann die Gesamtlautstärke des Systems durch die Anwendung von Lautstärkeregelung angepasst werden, um sicherzustellen, dass die Klangverteilung angemessen ist. Allerdings sollte beachtet werden, dass die Anwendung von EQ und Lautstärkeregelung oft falsch oder schädlich sein kann. Stattdessen ist es oft besser, eine richtige Mikrofonaufstellung zu verwenden - ohne Stützmikrofone und mit Hauptmikrofonen, die an einem festen Ort platziert sind. Auf diese Weise können Probleme mit der Klangverteilung vermieden werden, ohne dass dabei der Klang verfälscht wird.

Die Auswirkungen einer unausgewogenen Klangverteilung können wieder einmal durch eine optimierte Raumakustik minimiert werden. Dies kann durch die Verwendung von Schallabsorptions- und Schallreflexionsmaterialien erreicht werden, um unerwünschte Schallreflexionen zu reduzieren und die Schallenergie in bestimmten Bereichen des Raumes zu konzentrieren. Es ist auch wichtig, die Position von Lautsprechern und Mikrofonen sorgfältig zu planen, um die Schallenergieverteilung im Raum zu optimieren.

Ein weiteres wichtiges Konzept bei der Behebung von Problemen mit unausgewogener Klangverteilung ist die Verwendung von Signalverarbeitungstechniken wie Kompression und Limiting. Diese Techniken können dazu beitragen, die Dynamik des Klangs zu kontrollieren und zu glätten, um unerwünschte Spitzen im Schallpegel zu vermeiden. Es ist auch von

entscheidender Bedeutung, regelmäßige Wartungsarbeiten an Lautsprechern, Monitoren und anderen Ausrüstungen durchzuführen, um sicherzustellen, dass sie richtig funktionieren und kalibriert sind. Dies kann die Durchführung von Dämpfungsmessungen, die Überprüfung der Verkabelung und die Überprüfung der Lautsprecher- und Monitorlautstärke umfassen.

Ungleichgewichtige Klangverteilung ein komplexes und im Detail sehr mathematisches Problem, das auf eine Vielzahl von Faktoren zurückzuführen sein kann. Um sicherzustellen, dass die Klangverteilung so ausgeglichen wie möglich ist, ist es wichtig, sorgfältig geplante und durchgeführte Messungen durchzuführen, die Ergebnisse sorgfältig zu interpretieren und anzuwenden und die Raumakustik, Signalverarbeitungstechniken und die Wartung der Ausrüstung zu optimieren. Auf diese Weise kann sichergestellt werden, dass der Klang so natürlich und angenehm wie möglich ist und die Klangverteilung so ausgeglichen wie möglich ist.

Unerwünschte Frequenzbereiche

Unerwünschte Frequenzbereiche, auch als Störfrequenzen bekannt, können ein ernstes Problem darstellen, wenn es um die Messgenauigkeit geht. Diese Frequenzen können von externen Quellen, wie zum Beispiel elektrischen Geräten oder sogar von anderen Signalen im gleichen Frequenzbereich, stammen und beeinträchtigen somit die Genauigkeit der Messungen. Ein Beispiel für unerwünschte Frequenzbereiche ist der Bereich der 60-Hz-Brummschleife, der oft durch elektrische Leitungen verursacht wird. Dieser Frequenzbereich kann in Mikrofonaufnahmen und anderen Audiosignalen auftauchen und zu einem unangenehmen Brummen oder Rauschen führen. Ein weiteres Beispiel ist der Bereich der hochfrequenten Störungen, die oft von elektronischen Geräten wie Mobiltelefonen oder WLAN-Routern verursacht werden. Diese Frequenzen können in Audiosignalen zu Verzerrungen oder unerwünschtem Rauschen führen. Eine Möglichkeit, um unerwünschte Frequenzbereiche zu reduzieren, besteht darin, die Signale vor der Aufzeichnung oder Übertragung zu filtern. Dies kann durch die Verwendung von speziellen Filter- oder Entstörungstechniken erreicht werden, die darauf abzielen, unerwünschte Frequenzen aus dem Signal herauszufiltern. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, die Signalquellen selbst zu isolieren oder abzuschirmen, um die Einführung von Störfrequenzen zu verhindern.

Durch eine sorgfältige und kontrollierte Überwachung der Messumgebung, kann man sicherstellen, dass keine unerwünschten Frequenzen vorhanden sind, die die Messgenauigkeit beeinträchtigen könnten. Dies kann durch die Verwendung von speziellen Messgeräten wie Frequenzgang-Analysatoren oder spektralen Analyse-Tools erfolgen. Es ist wichtig zu beachten, dass das Auftreten von unerwünschten Frequenzbereichen eine kontinuierliche Anstrengung erfordert. Es ist wichtig, regelmäßig Messungen durchzuführen und die Signalumgebung zu überwachen, um sicherzustellen, dass die Messgenauigkeit nicht beeinträchtigt wird.

Wichtige Messmethoden

Benchmarks sind wichtig, um sicherzustellen, dass das Entwicklungsteam ein attraktives neues Produkt oder eine Dienstleistung entwickelt und sind auf der Fertigungslinie einer Fertigungseinrichtung unerlässlich. Bei Audiotests gibt es eine kleine Anzahl von Leistungsbenchmarks, die bei der Evaluierung eines zu testenden Geräts (DUT) im Burosch NF Lab am wichtigsten sind, dazu gehören:

- Pegel
- Frequenzgang
- Phase
- Nebensprechen
- Signal-Rausch-Verhältnis (SNR)

Natürlich erfordern verschiedene Audiogeräte unterschiedliche Herangehensweisen an Test- und Messverfahren. Dennoch sind diese sechs Messungen in einer Vielzahl von Anwendungen von entscheidender Bedeutung. Die ersten drei dieser Messungen werden unten definiert.

Pegel

Der Begriff Pegel, Level oder auch Amplitude beschreibt die Größe eines Signals. Je größer die Amplitude eines Signals ist, desto höher ist auch das Level. Level ist eine der grundlegendsten Audio-Messungen und ist entscheidend für die Bestimmung der Energiemenge, die ein Gerät abgeben kann. "Gain" hingegen ist eine Messung, die häufig für Verstärker verwendet wird und beschreibt das Verhältnis von Ausgangspegel des Geräts zu dessen Eingangspegel. Es gibt verschiedene Level-Messungen, die für ein zu testendes Gerät (DUT) von Interesse sein können. Audioingenieure müssen Ziel-Levels bestimmen, wie beispielsweise:

- Einen Eingangspegel, der einen bestimmten Ausgangspegel produziert, wie zum Beispiel 1 Volt oder 1 Watt oder "unity gain" (Gleichgewinn);
- Einen Eingangspegel, der eine bestimmte Ausgangsdistanzierung erzeugt, wie zum Beispiel 1% THD+N;

- Einen Level, der eine gute Rauschleistung bei angenehmem Headroom bietet, der oft als "Betriebslevel" bezeichnet wird;
- Einen Eingangs- oder Ausgangspegel, der in einem Testanforderungsdokument spezifiziert ist.

Eines dieser Levels kann als Referenzlevel verwendet werden, auf dem weitere Messungen basieren. Beispielsweise werden Frequenzanalyse-Messungen relativ zum Level einer Mittelbandfrequenz angegeben und THD+N-Messungen werden bei spezifischen Levels gemacht, die in den Ergebnissen angegeben werden sollten.

"Gain" in Bezug auf Level-Messungen

Das Verhältnis des Ausgangsspannungspegels eines zu testenden Geräts zu seinem Eingangsspannungspegel wird als Spannungsverstärkung des Geräts bezeichnet. Wenn ein zu testendes Gerät zum Beispiel eine Verstärkung von 2 hat, wird eine Eingangsspannung von 2 Volt eine Ausgangsspannung von 4 Volt produzieren. Eine Verstärkung von 1, bei der die Ausgangsspannung der Eingangsspannung entspricht, wird "Gleichgewinn" genannt. Einige zu testende Geräte bieten keine Verstärkungseinstellungen und werden als Geräte mit festem Gain bezeichnet. Die Verstärkung kann bei Gleichgewinn festgelegt sein oder auf einem anderen Wert. Ein zu testendes Gerät mit einem Lautstärkereglern oder einer anderen Einstellung, die den Gain beeinflusst, ist ein Gerät mit variabler Gain. Wenn Level eingestellt und gemessen wird, ist es wichtig zu berücksichtigen, ob das zu testende Gerät einen variablen Gain hat und, falls ja, wie die Steuerelemente des Geräts für die gewünschten Testresultate eingestellt werden sollten.

In der Audiotechnik ist die Amplitudenmessung die stark mit der Lautstärke zusammenhängt die grundlegendste Messung. Es gibt viele Techniken dafür, aber der mathematisch reinste Weg ist der Effektivwert (root mean square value). Dieser ist repräsentativ für die Energie im Signal und wird berechnet, indem das Signal quadriert, über einen bestimmten Zeitraum gemittelt und dann die Wurzel gezogen wird. Der verwendete Zeitraum ist ein Parameter der Messung, ebenso wie die Art der Mittelung. Es gibt zwei gängige Methoden der Mittelung: die exponentielle und die uniforme Mittelung. Die exponentielle Mittelung nutzt einen ersten Ordnungs-Laufzeit-Mittelwert (einen "Single-Pole" in Analogfilter-Begriffen), wobei die jüngsten Teile des Waveforms stärker gewichtet werden als die früheren Teile. Dies ist die am häufigsten verwendete Technik für analoge Implementierungen und hat den Vorteil, dass keine Annahmen über die Periodizität des Waveforms gemacht werden müssen. Es ist nur notwendig, dass das zu messende Signal eine Periode hat, die kürzer ist als ein Bruchteil der Mittelungszeit.

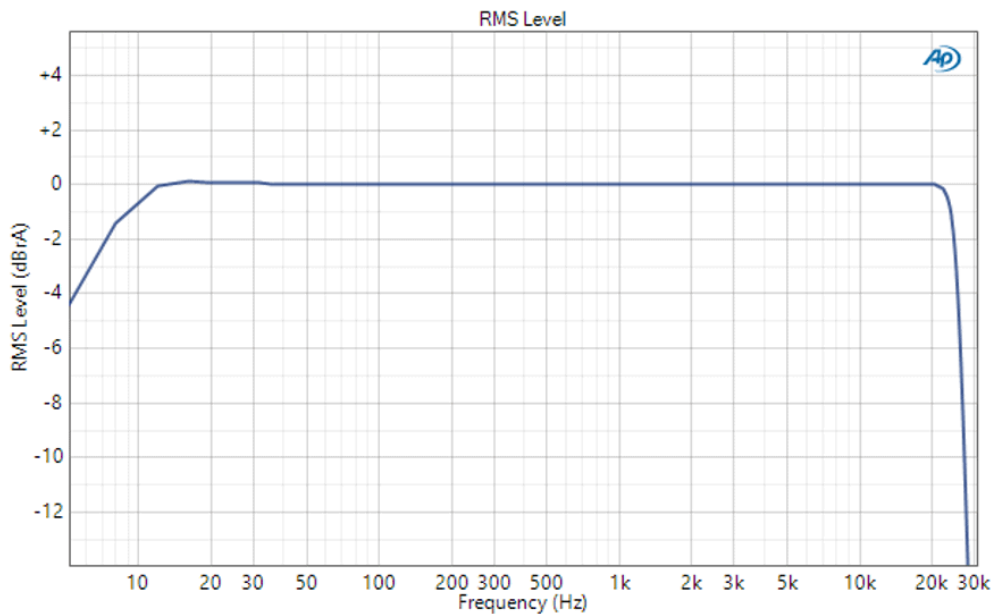
Die uniforme Mittelung berechnet den RMS-Mittelwert des Signals über einen festen Zeitraum, bei dem alle Teile des Signals gleich gewichtet werden. Theoretische Analysen des RMS-Amplitude machen die Mittelzeit normalerweise zu einem festen Intervall, das dann direkt den Fehler in der Messung beeinflusst. Längere Zeitintervalle führen zu genaueren

und wiederholbaren Messungen, aber auf Kosten der Messzeit. Exponentielle RMS-Konverter gelten als genauer als Messwiederholbarkeiten oder Fluktuationen aufgrund von Ripple im berechneten Wert. Diese Fluktuationen können ohne eine Verlängerung der Mittelungszeit durch ein Postfiltern des RMS-Werts reduziert werden. Die optimale Kombination aus Mittelungszeit und Postfiltering-Eigenschaften ist bekannt (Analog Devices 1992). Bei einer gleichmäßigen Mittelung wird das RMS-Signal über einen festen Zeitraum berechnet, bei dem alle Teile des Signals gleiches Gewicht haben. Theoretische Analysen von RMS-Amplituden machen normalerweise die Mittelungszeit zu einem festen Intervall, was dann direkt den Fehler in der Messung beeinflusst. Längere Zeitintervalle führen zu genaueren und wiederholbareren Messungen, wodurch allerdings die Messzeit länger wird. Der Fehler bei der Messung von periodischen Signalen kann durch die Verwendung der Technik der "synchronen RMS-Konversion" reduziert werden, bei der das Mittelungsintervall ein ganzzahliges Vielfaches des Signalperiodus ist. Diese Methode wird seit vielen Jahren in DSP-basierten Messsystemen verwendet und kann für einfache periodische Signale mit geringem Rauschen genaue und wiederholbare Messungen liefern. Bei lärmreichen oder inharmonischen Signalen funktioniert diese Methode jedoch möglicherweise nicht gut, da die ganzzahlige Mittelungsbedingung verletzt wird.

Frequenzgang | Frequenzanalyse

Die Frequenzanalyse-Messung gibt die Ausgangspegel eines zu testenden Geräts an, wenn es mit unterschiedlichen, bekanntermaßen eingestellten Frequenzen stimuliert wird. Die einfachste aller Frequenzanalyse-Messungen besteht nur aus zwei oder drei Tönen, wobei der erste Ton in der Nähe der Mitte des verwendbaren Frequenzbereichs eines Geräts liegt und von einem Ton in der Nähe des höchsten Frequenzbereichs und manchmal auch einem Ton in der Nähe des niedrigsten Bereichs gefolgt wird. Wenn angenommen wird, dass alle Töne auf gleichem Level erzeugt werden, beschreiben die Ausgangspegel des Geräts dessen Reaktion auf diese unterschiedlichen Frequenzen.

Vollständige Frequenzanalyse-Messungen können auf verschiedene Arten durchgeführt werden, wobei der Klassiker ein Durchlauf einer Sinuswelle von der niedrigsten Frequenz im Bereich bis zur höchsten ist, wobei die Ergebnisse auf einem Diagramm dargestellt werden. Eine "flache" Reaktion beschreibt die Form eines Diagramms, bei dem das zu testende Gerät auf alle Frequenzen gleich reagiert und somit eine Kurve mit einer Steigung von 0 und mit minimalen Abweichungen produziert. Nachfolgend ist ein Beispiel für eine typische flache Frequenzanalyse-Kurve eines zu testenden Geräts dargestellt.



Phase

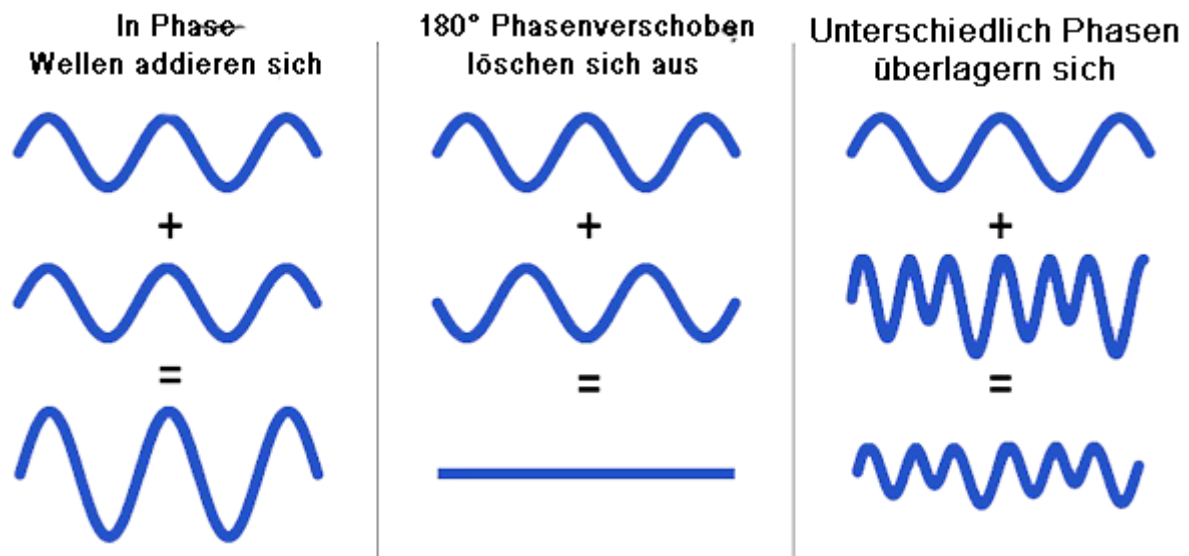
In der Audiotechnik wird die Phase als der Zeitversatz zwischen zwei Wellenformen betrachtet. Sie wird in der Regel als positiv oder negativ ausgedrückt und bezieht sich auf den Zeitpunkt, an dem eine bestimmte Stelle auf der ersten Wellenform mit einer bestimmten Stelle auf der zweiten Wellenform übereinstimmt.

Wenn beispielsweise zwei Sinuswellen die gleiche Frequenz haben, aber eine von ihnen einen positiven Zeitversatz von 90 Grad (einem Viertel einer Periode) gegenüber der anderen hat, bedeutet dies, dass sich die erste Welle eine Viertelperiode früher im Vergleich zur zweiten befindet. Dies kann wichtig sein, wenn man verschiedene Audio-Signale miteinander kombiniert, da es die Klangqualität beeinflussen kann.

Es gibt einige Bereiche in der Audiotechnik, in denen man beabsichtigt, dass sich zwei Phasen überlagern. Ein Beispiel dafür ist die Nutzung von Phasenverschiebungen bei der Klangverarbeitung, insbesondere bei Equalizern und Kompressoren. Durch die Änderung der Phasenbeziehung zwischen verschiedenen Frequenzbändern können Klangfarbe und Dynamik beeinflusst werden und somit zu Verfälschungen führen.

Schließlich kann bei der Herstellung von Schallwandlern und Lautsprechern Phasenverschiebungen eingesetzt werden, um die Übertragung von Schallenergie zu verbessern und die Klangqualität zu optimieren. Allerdings müssen die Phasenverschiebungen in einem bestimmten Verhältnis eingesetzt werden, da sonst unbrauchbare Ergebnisse entstehen können. Zudem müssen Einschwingvorgänge berücksichtigt werden, da diese entscheidend für die Erkennbarkeit von Instrumenten sind. Wenn die Einschwingvorgänge verfälscht werden, leidet die Klangqualität. Dabei ist der

Frequenzgang des Instruments nicht so wichtig wie das Einschwingen. Aus diesem Grund müssen Phasenfehler vermieden werden, um eine optimale Klangqualität zu gewährleisten.



In Phase Wellen: Eine Überlagerung von Phasen kann in der Audiotechnik beabsichtigt sein, um die Leistung oder Empfindlichkeit von Schallwandlern oder Lautsprechern zu verbessern. Dies wird häufig durch die gezielte Ausrichtung von Schallwandlern in Bezug aufeinander erreicht, um eine konstruktive Interferenz zu erzeugen.

Eine konstruktive Interferenz tritt auf, wenn sich zwei Schallwellen in der gleichen Phase überlagern, was zu einer verstärkten Schallwelle führt. Dies kann beispielsweise bei der Verwendung von Mehrweg-Lautsprechersystemen erreicht werden, bei denen mehrere Schallwandler in der gleichen Frequenzbandbreite arbeiten und so die Schallenergie verstärken. Diese Technik führt jedoch öfters zu einer unzureichender Klangentfaltung.

Auf ähnliche Weise kann die Überlagerung von Phasen auch bei der Verwendung von Mehrfachmikrofonen oder in der Nachverarbeitung von Audiomaterial beabsichtigt sein, um den Klang eines Musikinstruments oder einer Stimme zu verstärken oder zu verändern.

180° Phasenverschoben: In der Audiotechnik gibt es einige Bereiche, in denen man beabsichtigt, dass sich zwei Phasen um 180 Grad zueinander verkehren und somit auslöschen. Ein Beispiel dafür ist die Verwendung von Mehrfachmikrofonen, bei der es wichtig sein kann, die Phasenbeziehung der einzelnen Mikrofone zueinander zu optimieren, um eine optimale Schallaufnahme zu erreichen. In diesem Fall könnte es beabsichtigt sein, dass sich die Phasen der Mikrofone um 180 Grad zueinander verkehren, um eine konstruktive Interferenz zu vermeiden und somit eine Auslöschung von Schallenergie zu erreichen. Beispielsweise ist die die Noise-Cancelling-Funktion ist ein Verfahren, das in

vielen aktuellen Kopfhörern verwendet wird, um störende Hintergrundgeräusche zu reduzieren oder auszuschalten. Dies wird in der Regel durch die Überlagerung und Auslöschung von zwei Phasenverschobenen Frequenzen erreicht.

Das Verfahren basiert auf der Tatsache, dass Schallwellen in der Luft wellenförmig sind und sich daher überlagern und auslöschen können. Wenn ein Mikrofon im Kopfhörer die Hintergrundgeräusche aufnimmt, wird ein Signal erzeugt, das der Phase des Hintergrundgeräuschs entspricht. Dieses Signal wird dann invertiert und über die Kopfhörerlautsprecher wiedergegeben. Da sich das invertierte Signal um 180 Grad zum ursprünglichen Hintergrundgeräusch verkehrt, werden sich die beiden Schallwellen auslöschen und das Hintergrundgeräusch wird reduziert oder ausgeschaltet.

Die Noise-Cancelling-Funktion kann in verschiedenen Situationen sehr nützlich sein, z.B. beim Fliegen, um Fluglärm zu reduzieren, oder beim Arbeiten in lauten Umgebungen, um störende Geräusche zu minimieren. Die Genauigkeit und Wirksamkeit der Noise-Cancelling-Funktion hängen jedoch von verschiedenen Faktoren ab, wie der Qualität des Mikrofons und der Lautsprecher sowie der Art und dem Niveau der Hintergrundgeräusche.

Unterschiedliche Phasen: Es gibt einige Bereiche, in denen man beabsichtigt, dass sich zwei phasenverschobene Frequenzen überlagern und somit eine neue Frequenz erzeugen. Ein Beispiel dafür ist die Nutzung von Frequenzmodulation (FM) in der Radiotechnik, bei der eine Trägerfrequenz mit einem Modulationssignal moduliert wird, um eine neue, modulierte Frequenz zu erzeugen. Die Änderung der Phase des Modulationssignals führt zu einer Änderung der Amplitude der modulierten Frequenz und somit zu einer Veränderung der Klangfarbe. Ein weiteres Beispiel ist die Nutzung von Phasenmodulation (PM) in der Klangverarbeitung, bei der die Phase einer Trägerfrequenz mit einem Modulationssignal moduliert wird, um eine neue, modulierte Frequenz zu erzeugen. Durch die Änderung der Phase des Trägersignals können Klangfarbe und Dynamik beeinflusst werden.

Schließlich können Phasenverschiebungen auch bei der Erstellung von Schallwandlern und Lautsprechern verwendet werden, um die Übertragung von Schallenergie zu verbessern und die Klangleistung zu optimieren. In diesem Fall könnte es beabsichtigt sein, dass sich zwei phasenverschobene Frequenzen überlagern und somit eine neue Frequenz erzeugen, um die Klangleistung zu verstärken.

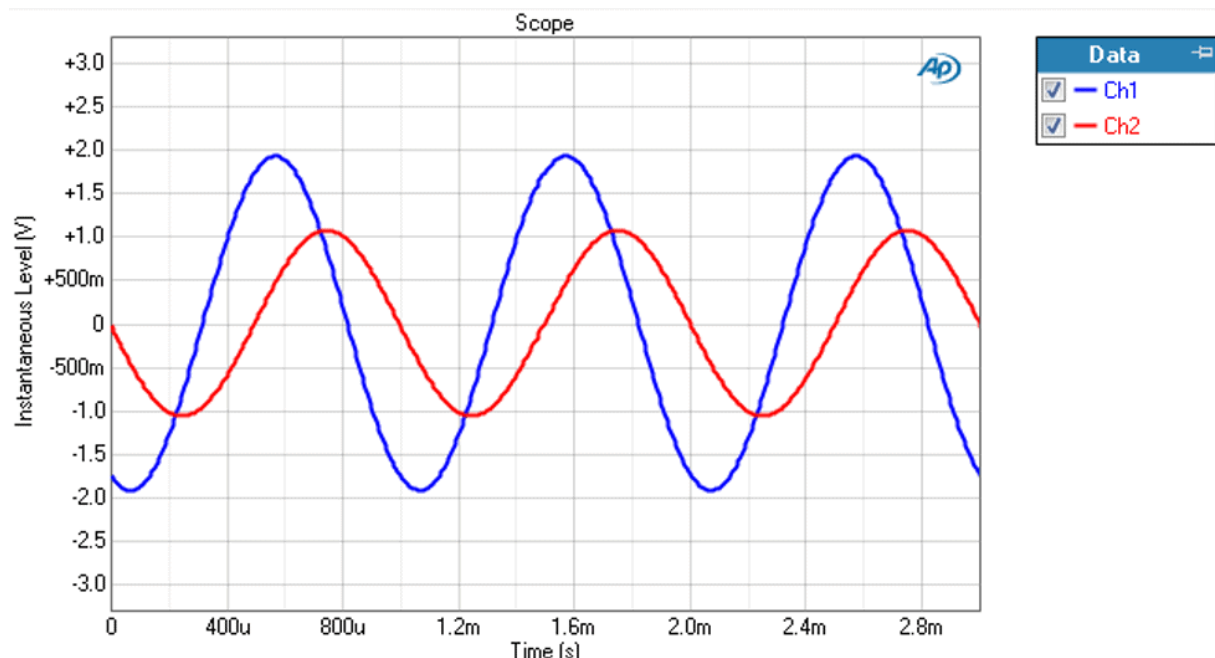
Um die Phase zu messen, werden in der Regel spezielle Messgeräte verwendet, die die Zeitverzögerung zwischen zwei Wellenformen in Echtzeit messen können. Die Ergebnisse dieser Messungen werden in Grad ausgedrückt und können dazu verwendet werden, um die Audio-Signale entsprechend anzupassen und zu optimieren. Es ist wichtig zu beachten, dass die Phase auch von der Frequenz der Wellenformen abhängen kann. Wenn beispielsweise zwei Sinuswellen unterschiedliche Frequenzen haben, wird sich die Phase zwischen ihnen ändern, je nachdem, wie schnell sich die Wellenformen bewegen. Dies kann dazu führen,

dass die Phase zwischen zwei Signalen im Laufe der Zeit schwankt, was wiederum die Klangqualität beeinflussen kann.

Um die Phase von Audio-Signalen zu optimieren, müssen Audio-Ingenieure in der Regel spezielle Software-Tools und -Techniken verwenden, um die Zeitverzögerungen zwischen den Signalen zu analysieren und anzupassen. Dies kann beispielsweise durch die Verwendung von Equalizern oder Phasenverschiebungsfiltren erreicht werden, die die Phase von einzelnen Frequenzen innerhalb eines Signals anpassen können.

Insgesamt spielt die Phase in der Audiotechnik eine wichtige Rolle bei der Qualität und dem Klang von Audio-Signalen und ist daher ein wichtiges Konzept, das von Audio-Ingenieuren verstanden werden muss. Wenn die Phasen- und Amplitudenverhältnisse optimiert werden, kann dies durch verschiedene Methoden wie zum Beispiel durch das Testen von Rechtecksignalen oder das Analysieren der Impulsantworten nachgewiesen werden. Eine korrekte Anwendung der Phasenverschiebung und -beziehung ist notwendig, um sicherzustellen, dass das Audio-Signal in einer perfekten Synchronisation abgespielt wird und ein klarer und natürlicher Klang erreicht wird.

Im folgenden Bild können Sie zwei gemessene Sinussignale erkennen, die in einer Phasenverschiebung zueinanderstehen. Hierbei unterscheiden sich die Signale nicht nur in der Phase, sondern auch in der Amplitude. Das rote Signal, welches durch den Channel 2 (kurz Ch2) gemessen wurde weist eine niedrigere Amplitude auf als das blaue Signal auf Channel 1 (kurz Ch1).



Diese Wahl von Referenzen definiert die zwei gängigsten Phasenmessungen: die Phasenverzögerung zwischen dem Eingang und Ausgang eines Geräts und die Phasenverzögerung zwischen verschiedenen Kanälen. Die Phasenverschiebung variiert mit der Frequenz und es ist nicht ungewöhnlich, Phasenmessungen an mehreren Frequenzen

durchzuführen oder die Phasenantwort bei einem Frequenzsweep zu plotten. Die Phase wird in Grad ausgedrückt.

Crosstalk | Nebensprechen

Crosstalk bezieht sich auf die gegenseitige Beeinflussung von Signalen, die über parallele Leitungen übertragen werden. Dies kann dazu führen, dass sich die verschiedenen Übertragungsverfahren gegenseitig auf überlappenden Frequenzbereichen stören. Um eine möglichst hohe Übertragungsrage zu erreichen, ist es wichtig, Crosstalk zu vermeiden oder zumindest zu reduzieren.

Wenn ein Signal über einen elektrischen Leiter übertragen wird, wird es von einem elektromagnetischen Feld umgeben. Dieses Feld kann in anderen Leitern in der Nähe Spannungen und Ströme verursachen, was man als Überkopplung bezeichnet. In der Kommunikationstechnik wird auch der Begriff Crosstalk verwendet, da bei der Übertragung von Sprache auf langen Leitungen andere Gespräche manchmal miteingestreut werden und fremde Stimmen hörbar sind. Grundsätzlich gibt es zwei Arten von Überkopplung: kapazitive Überkopplung und induktive Überkopplung.

Man unterscheidet dabei zwischen mehreren Möglichkeiten, die zu so einem Nebensprechen führen können.

Kapazitive Überkopplung bezieht sich auf die Art von Überkopplung, die entsteht, wenn die einzelnen Drähte mehrerer Leitungen wie parasitäre Kapazitäten aufeinander wirken. Wenn eine Spannung an den Leitungen anliegt, fließen unerwünschte Ströme über diese Kapazitäten, was zu Spannungen in parallelen Leitungen führt. Die Größe dieser übergekoppelten Spannung hängt von verschiedenen Faktoren ab, wie dem Kabeltyp, dem Abstand der Kabel, der Länge der parallelen Verlegung, den Leitungs-Abschlussimpedanzen, dem Frequenzbereich und der Höhe der ursprünglichen Signalspannung. Kapazitive Überkopplung tritt besonders bei der Übertragung von Signalen mit hohen Spannungspegeln, in hohen Frequenzbereichen und bei hohen Leitungsimpedanzen auf.

Induktive Überkopplung bezieht sich auf die Art von Überkopplung, die entsteht, wenn die einzelnen Drähte von parallel verlaufenden Leitungen wie ein Transformator wirken. Der Strom auf einer Leitung bewirkt wegen dem Elektromagnetismus einen Strom auf den anderen Leitungen. Diese magnetische Verkopplung wird als parasitäre Gegeninduktivität bezeichnet. Die Höhe des übergekoppelten Stroms hängt von verschiedenen Faktoren ab, wie dem Kabeltyp, dem Abstand der Kabel, der Länge der parallelen Verlegung, dem Frequenzbereich und der Höhe des Stroms des ursprünglichen Signals. Induktive

Überkopplung tritt besonders bei der Übertragung von Signalen mit hohen Strompegeln, in hohen Frequenzbereichen und bei kleinen Leitungsimpedanzen auf.

Um Überkopplung bei der Übertragung von Signalen zu reduzieren oder zu vermeiden, gibt es verschiedene Methoden, wie die Verwendung von Kabeltypen mit hochwertiger Schirmung, die Reduktion der Anzahl parallel verlaufender Leitungen und die Verringerung des Oberwellenanteils von Signalen durch Filter. Auch der Einsatz von Lichtwellenleitern kann helfen, da bei ihnen kein elektromagnetisches Feld auftritt, das andere Leitungen stören könnte. Es kann jedoch notwendig sein, mehrere dieser Maßnahmen zu kombinieren, um optimale Übertragungseigenschaften zu erreichen.

Signal-Rausch-Verhältnis (SNR)

Der Störabstand (auch Signal-Rausch-Verhältnis, SNR) bei Niederfrequenzverstärkern ist ein wichtiger Parameter, der das Verhältnis zwischen der Leistung des gewünschten Nutzsignals und der Leistung des unerwünschten Rauschens angibt. Er wird in Dezibel (dB) ausgedrückt und ist ein Maß für die Qualität des Verstärkers. Ein höherer Störabstand bedeutet, dass das Nutzsignal besser vom Rauschen getrennt ist, was zu einer besseren Signalqualität führt.

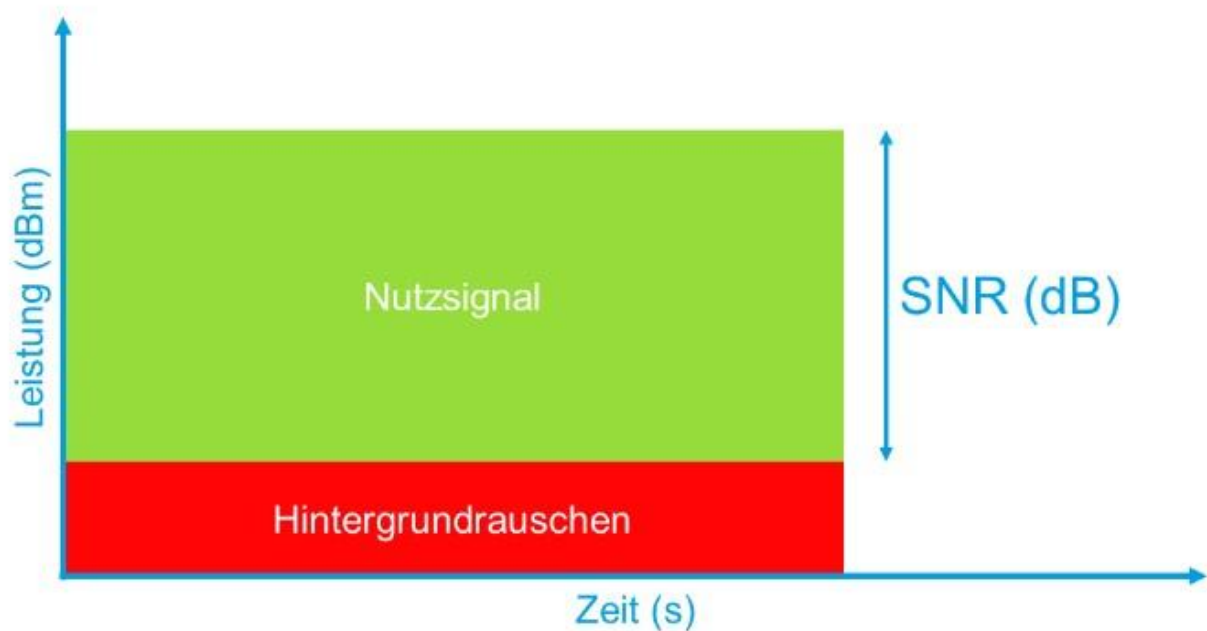
Es gibt mehrere Quellen für Rauschen in einem Niederfrequenzverstärker, darunter:

1. Thermisches Rauschen: Durch die Brown'sche Bewegung von Elektronen in den Widerständen und Leitern des Verstärkers entsteht thermisches Rauschen, auch bekannt als Johnson-Nyquist-Rauschen. Es ist frequenzunabhängig und hängt von der Temperatur sowie dem Widerstandswert ab.
2. Schrottrauschen: In Halbleiterbauelementen wie Transistoren und Dioden entsteht Schrottrauschen aufgrund von zufälligen Fluktuationen im elektrischen Strom. Es ist frequenzabhängig und wird bei Niederfrequenzen stärker.
3. Rauschen durch $1/f$ -Fluktuationen: In elektronischen Bauteilen, insbesondere in Transistoren und Feldeffekttransistoren (FETs), tritt $1/f$ -Rauschen (auch als flicker noise oder pink noise bezeichnet) auf. Es nimmt mit abnehmender Frequenz zu und kann bei Niederfrequenzen signifikant sein.
4. Externes Rauschen: Elektromagnetische Störungen von externen Quellen, wie z.B. anderen elektronischen Geräten oder Leitungen, können ebenfalls Rauschen im Verstärker erzeugen.

Um den Störabstand bei Niederfrequenzverstärkern zu verbessern, können folgende Ansätze verfolgt werden:

1. Auswahl hochwertiger Komponenten: Die Verwendung von Bauteilen mit niedrigem Rauschen, wie z.B. rauscharmen Widerständen und Transistoren, kann den Störabstand erhöhen.
2. Schaltungsoptimierung: Die Schaltung kann so optimiert werden, dass sie das Rauschen minimiert, z.B. durch Verwendung von Differenzverstärkern, die Störungen und Rauschen gemeinsamer Modus effektiv unterdrücken.
3. Abschirmung und Entkopplung: Die Abschirmung der Schaltung gegen externe Störungen und die Entkopplung der Versorgungsspannung können dazu beitragen, den Störabstand zu verbessern.
4. Rauschfilterung: Durch den Einsatz von Filtern, z.B. Tiefpassfiltern, können hochfrequente Störungen und Rauschen reduziert werden.

Zusammenfassend ist der Störabstand ein entscheidender Parameter für die Leistung von Niederfrequenzverstärkern, der die Qualität des verstärkten Signals bestimmt. Durch die Verwendung hochwertiger Bauteile und die Optimierung der Schaltung kann der Störabstand



Signalverarbeitungsspezifikation

In diesem Kapitel geht es um die Messgrößen für die technische Bewertung von Audiogeräten. Es soll eine schnelle Übersicht über die vorigen Kapitel geben. Hierbei werden verschiedene Parameter untersucht, um die Leistungsqualität zu bestimmen. Um die Messergebnisse zu standardisieren und zu vereinheitlichen, werden in der Tabelle die Abkürzungen, die vollständigen Namen, die Einheiten, die notwendigen Bedingungen und die bevorzugten Werte für jeden Parameter aufgeführt.

Zu den wichtigsten Messgrößen gehören die Total Harmonic Distortion (THD), die Total Harmonic Distortion plus Noise (THD+N), die Intermodulation Distortion (IMD) und die Signal-to-Noise Ratio (S/N oder SNR). Die THD misst die Harmonischen Störungen im Verhältnis zum Signal, während die THD+N auch die Rauschkomponenten berücksichtigt. Die IMD untersucht das Verhältnis zwischen zwei Frequenzen und wird nach der SMPTE-Methode oder der ITU-R-Methode berechnet. Die S/N oder SNR gibt das Verhältnis zwischen Signal- und Rauschleistung an.

Weitere Messgrößen sind die Equivalent Input Noise (EIN), die Common Mode Rejection Ratio (CMR oder CMRR), die Frequency Response und die Crosstalk bzw. Channel Separation. Die EIN misst das Eingangssignal-referierte Rauschen, die CMRR die gemeinsame Modus-Abschwächung, die Frequency Response die Änderungen der Übertragungseigenschaft mit der Frequenz und die Crosstalk bzw. Channel Separation den Übertrag von Signalen von einem Kanal zum anderen oder von links nach rechts.

Zusätzlich werden auch die Eingangs- und Ausgangsimpedanzen, die maximale Eingangsleistung, die maximale Ausgangsleistung, die maximale Verstärkung und die Bandbreite aufgeführt. Diese Messgrößen geben wichtige Informationen über die Funktionalität und die technischen Eigenschaften des Audiogeräts. In der Tabelle sind die bevorzugten Werte für jeden Parameter angegeben, die bei der Messung zu berücksichtigen sind. Die Messbedingungen wie Frequenz, Pegel, Gain-Einstellungen und Filter werden ebenfalls aufgeführt, um eine standardisierte Messmethode zu gewährleisten. Die Informationen in dieser Tabelle sollten bei der Wahl und Bewertung von Audio-Geräten berücksichtigt werden, um sicherzustellen, dass sie den Anforderungen entsprechen.

Tabelle Zusammenfassung Signalverarbeitung

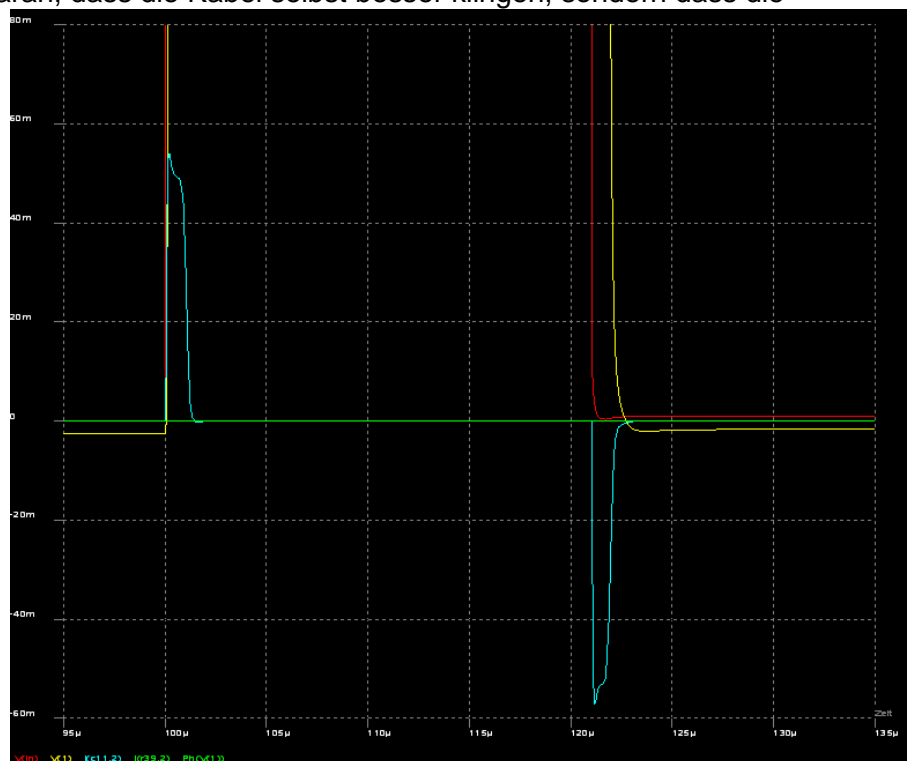
Kürzel	Name	Einheit	Anforderungen	Referenzwert
THD	Total Harmonic Distortion	%	Frequenz Amplitude Verstärkung Harmonische Ordnung	20 Hz – 20 kHz +4 dBu Maximale Verstärkung Mindestens 5. Ordnung
THD+N	Total Harmonic Distortion plus Noise	%	Frequenz Amplitude Verstärkung Rauschbandbreite	20 Hz – 20 kHz +4 dBu Maximale Verstärkung 22 kHz Bandbreite ITU-R 468 Kurve

IM oder IMD	Intermodulation Distortion (SMPTE)	%	Typ 2 Frequenzen Verhältnis Amplitude	SMPTE 60 Hz/7 kHz 4:1 +4 dBu (60 Hz)
IM oder IMD	Intermodulation Distortion (ITU-R)	%	Typ 2 Frequenzen Verhältnis Amplitude	ITU-R 13 kHz/14 kHz oder 19 kHz/20 kHz 1:1 +4 dBu
S/N oder SNR	Signal-to-Noise Ratio	dB	Referenzwert Rauschbandbreite Verstärkung	re +4 dBu 22 kHz BW (oder ITU-R 468 Kurve)
EIN	Äquivalentes Eingangsrauschen bzw. Eingangsbezogenes Rauschen	-dBu	Eingangsimpedanz Verstärkung Rauschbandbreite	150 Ω Maximum 22 kHz BW (ohne Gewichtungsfiler)
BW	Frequenzantwort/Frequenzgang	Hz	Pegeländerung um 1 kHz	+0/-0.5 dB oder +0/-3 dB
CMR oder CMRR	Gleichtaktunterdrückung bzw. Gleichtaktunterdrückung Verhältnis	dB	Frequenz (Angenommen unabhängig Niveau, sofern nicht anders angegeben)	1 kHz
-	Dynamischer Bereich	dB	Maximaler Ausgangswert der Rauschbandbreite oder Gewichtungsfiler	+26 dBu 22 kHz BW (Ohne Gewichtungsfiler)
-	Crosstalk (as -dB) oder Channel Separation (as +dB)	-dB oder +dB	Frequenz Amplitude What-to-What	20 Hz – 20 kHz +4 dBu Chan.-to-Chan. & Links- zu-Rechts
-	Eingangs & Ausgangsimpedanz	Ω	Ausgeglichen oder unausgeglichen Masse bezug ((Angenommen frequenzunabhängig mit vernachlässigbarer Reaktanz, es sei denn angegeben)	Ausgewogen Keine Präferenz
-	Maximaler Eingangswert	dBu	Ausgeglichen oder unausgeglichen	Ausgeglichen Max. 1%

			THD bei maximalem Eingangspiegel	
-	Maximaler Ausgangswert	dBu	Ausgeglichen oder unausgeglichen Minimale Lastimpedanz THD bei maximalem Eingangspiegel Bandbreite Optional: Maximale Kabellänge	Ausgeglichen 2kΩ Max. 1% 20Hz-20kHz Kabellänge und Typ bzw pF/Meter)
-	Maximale Verstärkung	dB	Ausgeglichen oder unausgeglichen Ausgang	ausgeglichen

TIM-Vermeidung

Es wird anschließen ein neu entwickelter Line-Treiber vorgestellt, der DC-Transkonduktanz nutzt. Dieser Treiber wurde entwickelt, um das Phänomen des TIM (Transient Intermodulation Distortion) zu vermeiden. TIM tritt häufig in Schaltungen auf, die als Emitterfolger oder Sourcefolger ausgeführt sind, wenn sie einer komplexen Last ausgesetzt sind. Der Autor hat festgestellt, dass die Verwendung hochwertiger Kabel und Stecker in Verbindung mit Geräten, die TIM verursachen, zu einer deutlichen Verbesserung der Klarheit führt. Dies liegt jedoch nicht daran, dass die Kabel selbst besser klingen, sondern dass die Ausgangsstufen der Geräte damit besser korrespondieren können. Der neue Line-Treiber ist daher besonders gut geeignet, um Kabel jeglicher Art und Qualität als klanglich nicht relevant zu treiben, da er eine stromsteuernde Ausgangsschaltung ohne Rückwirkung durch komplexe Last nutzt. Auch bei hoher Induktivität, wie sie bei Kopfhörern vorkommt, oder bei erhöhter kapazitiver Belastung bei



parallel betriebenen Leitungen würde der Line-Treiber kein TIM verursachen.

Darstellung

Die blaue Kurve zeigt den Blindimpulsstrom, der durch die Kapazität fließt. Bei einer Last von nur 470 pF an 10000 Ohm beträgt der Strom 200 nS lang etwa 1,2, 1,0, 0,8 und 0,6 mA. Die vertikal gedehnte Darstellung zeigt, dass die Ladestromspitze (blau) knapp +-4 mA beträgt. Die grüne Kurve stellt den realen Anteil durch den Lastwiderstand 10000 Ohm dar und unterstreicht, dass die Betrachtung von Blindströmen durch Parallellasten wie Kapazitäten erhebliche Mengen erreichen können. Diese Blindströme dürfen nicht zu zusätzlichen Verzerrungen führen, da sonst die Endstufen (ICs oder konventionelle Ausgangsstufen von Vorverstärkern oder Geräten wie CD-Playern) überlastet werden. Diese Beispiele sollen die Sensibilität von Opamps gegenüber solchen Lasten verdeutlichen. Der Line-Treiber ist ein Baustein, der aus Transistoren und Mosfets besteht und überragende Klangqualität bietet. Der Transkonduktanzverstärker, der an den Drainanschlüssen des Line-Treibers angeschlossen ist, ist in Verbindung mit der Gesamtschaltung ein Baustein im HighEnd-Bereich.

Messung nichtlinearer Signale

Wenn ein Gerät, das überprüft wird, eine vollständig lineare Übertragungsfunktion (Eingangs-Ausgangsbeziehung) hat, wird es ein Ausgangssignal erzeugen, dessen Wellenform identisch mit der Eingangswellenform ist, möglicherweise jedoch in Amplitude nach der Verstärkung oder Abschwächung des Geräts skaliert. Wenn die Übertragungsfunktion jedoch nicht linear ist, wird sich die Ausgangswellenform von der Eingangswellenform unterscheiden. Im Frequenzbereich bei einem einzigen Sinuswellen-Stimulus wird diese Nichtlinearität als Energie an Harmonischer Frequenzen sichtbar sein. Dies bedeutet, dass die Ausgabe nicht nur die ursprüngliche Sinuswelle enthält, sondern auch Energie an Frequenzen, die ganzzahlige Vielfache der fundamentalen Frequenz sind.

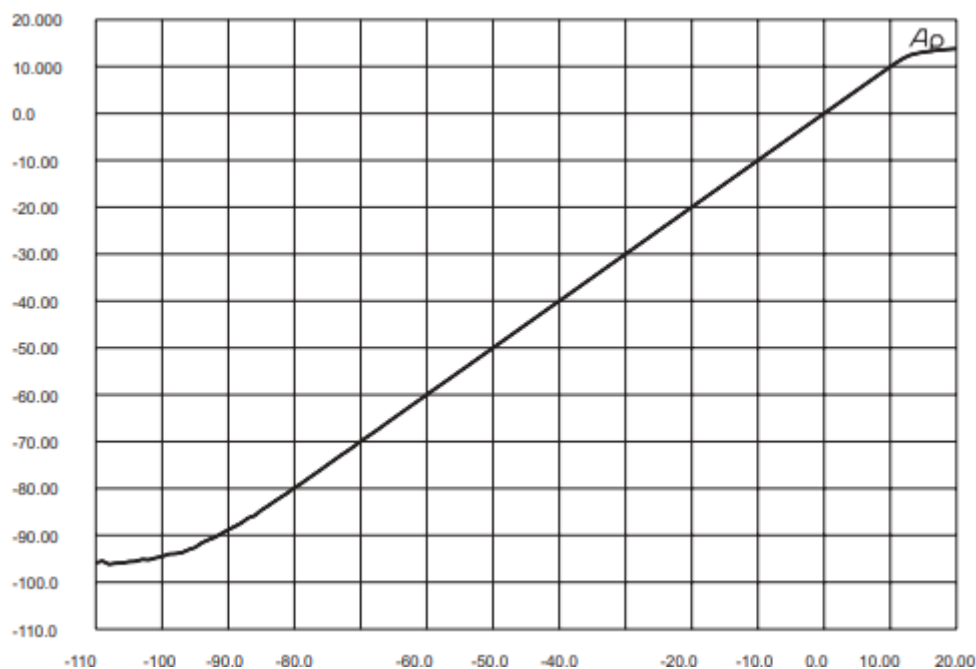
Wenn das Testsignal aus zwei Sinuswellen besteht, wird eine Frequenzbereichsanalyse des Ausgangs sowohl die Sinuswellen-Fundamentale als auch Intermodulations-Verzerrungsprodukte anzeigen. Intermodulations-Verzerrungsprodukte entstehen, wenn die beiden ursprünglichen Sinuswellen und ihre harmonischen Frequenzen aufeinandertreffen und neue Frequenzen erzeugen, die nicht Teil des ursprünglichen Testsignals waren. Es ist wichtig, dass Geräte, insbesondere in kritischen Anwendungen, eine lineare Übertragungsfunktion aufweisen, um ein zuverlässiges und genaues Ausgangssignal zu gewährleisten. Daher ist es wichtig, die Übertragungsfunktion eines Geräts gründlich zu überprüfen, um sicherzustellen, dass es für seine geplante Verwendung geeignet ist.

Non-linearität kann auf verschiedene Arten gemessen werden, darunter Graphen der Ausgangsleistung im Vergleich zur Eingangsleistung, Messungen der Gesamtharmonischen Verzerrung plus Rauschen (THD+N), Gesamtharmonischen Verzerrung ohne Rauschen (THD), Einzelne harmonische Amplituden und eine Vielzahl unterschiedlicher Methoden zur Messung der Intermodulationsverzerrung (IMD). Die THD+N-Technik ist weit verbreitet und die Mehrheit der kommerziellen Verzerrungsanalytoren arbeitet nach dieser Technik. Die Messung von Non-Linearität ist wichtig, um die Leistung von Geräten, Systemen und Bauteilen zu bewerten und zu optimieren. Ein Gerät mit hoher Non-Linearität kann zu einer Verzerrung des Ausgangssignals und somit zu einer schlechten Signalqualität führen. Dies ist besonders wichtig in Anwendungen, in denen die Signalqualität von entscheidender Bedeutung ist, wie beispielsweise in der Übertragung von Sprache und Daten, in der Tonaufnahme und Wiedergabe und in medizinischen Anwendungen. Es ist zu beachten, dass die Messung von Non-Linearität auch von verschiedenen Faktoren abhängt, wie dem Messgerät selbst und der verwendeten Messmethode. Um ein genaues Ergebnis zu erhalten, ist es daher wichtig, dass das Messgerät kalibriert und regelmäßig überprüft wird. Außerdem sollte die gewählte Messmethode für die spezifische Anwendung und das zu testende Gerät geeignet sein. Um die Non-Linearität von Audio-Geräten zu minimieren, gibt es verschiedene Maßnahmen, die ergriffen werden können. Dazu zählen die Verwendung von hochwertigen Bauteilen, die Optimierung des Schaltungsdesigns und die Nutzung von Signal- und Störungs-Suppressionstechnologien. Diese Maßnahmen können dazu beitragen, eine hohe Signalqualität und Zuverlässigkeit zu erreichen. Bei der Herstellung von neuen

Geräten können diese Maßnahmen von Anfang an berücksichtigt werden. Für vorhandene Geräte können jedoch nicht alle Maßnahmen umgesetzt werden. Es kann jedoch versucht werden, durch die Verwendung von hochwertigeren, aktiven Bauteilen die Audio-Qualität zu verbessern. Es ist jedoch wichtig zu beachten, dass es Grenzen gibt, was bei bestehenden Geräten möglich ist, da diese nicht komplett neu konstruiert werden können. Es ist daher eine sorgfältige Abwägung zwischen den vorhandenen Möglichkeiten und Einschränkungen notwendig.

Ausgangs | Eingangs Amplitude

Eine einfache Methode zur Messung der Linearität einer Geräteuntersuchungseinheit (DUT) besteht darin, ein Sinuswellen-Stimulus-Signal über einen breiten Amplitudenbereich zu variieren und gleichzeitig die Ausgangsamplitude der DUT zu messen. Idealerweise wird das Eingangssignal von einem Maximum, das oder über dem Überlastpunkt der DUT liegt, bis zu einem Minimum variiert, das eine Ausgabe der DUT ungefähr gleich dem Rauschpegel der DUT produziert. Ein Graph zeigt die Ausgangsamplitude vertikal gegenüber der Eingangsamplitude horizontal aufgezeichnet. Auf einem nominal linearen Gerät wird der Graph über den meisten Teil des Bereichs eine gerade Diagonalenlinie mit einem dB Ausgabezuwachs pro dB Eingangszuwachs sein. Am oberen Ende des Graphen wird es asymptotisch zu einer horizontalen Geraden Linie, wenn die endgültige Ausgabekapazität der DUT erreicht wird ("Clipping-Punkt") und die Ausgabe nicht mehr den steigenden Eingangspegeln folgen kann. Am unteren Ende des Graphen wird der Ausgangspegel des DUT zu einer Begrenzung und der Graph wird wieder einer geraden horizontalen Linie am Rauschpegel nahekommen.



Die Messung der Linearität von Eingabe-Ausgabe bei Niederfrequenzen kann in der Audiotechnik vorteilhaft sein, wenn die Verteilung und das verfügbare Bandpassfilter einstellbar und vom Typ "konstanter Prozentwert-Bandbreite" (constantQ) sind. Eine kleinere

Bandbreite in Hertz bei niedrigeren Zentralfrequenzen führt zu weniger Rauschen, da das constantQ-Filter eine konstante Prozentbandbreite hat. Ein 1/3 Oktaven-Filter beispielsweise, das auf 1 kHz abgestimmt ist, ist etwa 200 Hz breit, bei 200 Hz ist es etwa 40 Hz breit. Diese 5:1 Reduzierung der Bandbreite wird bei weißem Rauschen eine Reduzierung um etwa 7 dB verursachen. Es ist jedoch nicht immer wünschenswert, die Testfrequenz niedrig zu halten, aufgrund von längeren Stabilisierungszeiten bei schärferen Filtern und längeren Integrationszeiten bei tieferen Frequenzen, was die Geschwindigkeit der Messung verlangsamt. Außerdem haben viele Geräte ein gewisses Maß an Wechselstrom-bezogenem Brummen bei der Wechselstromfrequenz und ihren Harmonischen Obertönen, das als kohärentes Signal bei geringen Messungen nicht abgelehnt wird, wenn es innerhalb des Bandpasses des Analysefilters liegt. Daher ist es in der Regel wünschenswert, bei Messungen mit geringen Pegeln weit entfernt von 50 Hz, 100 Hz und 150 Hz (in den meisten Teilen der Welt) oder 60 Hz, 120 Hz und 180 Hz (in Nordamerika) zu bleiben.

Unser Labor



In diesem Kapitel wird ein Einblick in unser bestens ausgestattetes Labor gegeben, in dem seit Jahrzehnten in verschiedenen Bereichen gearbeitet wird und Erfahrungen gesammelt werden. Für die Durchführung von Messungen werden die modernsten Messgeräte genutzt, die kalibriert sind und sich in einem optimalen Zustand befinden, um die genauesten Messungen zu ermöglichen. Eine sorgfältige Handhabung der Messgeräte ist wichtig, um deren Lebensdauer zu verlängern und deren Leistung zu optimieren. Zudem wird kontinuierlich in die Schulung und Weiterbildung des Personals investiert, um sicherzustellen, dass stets auf dem neuesten Stand der Technik gearbeitet wird. Eine Vielzahl von Messgeräten wird für verschiedene Anwendungsbereiche genutzt, die in folgenden Kapiteln einzeln beschrieben werden. Jedes dieser Geräte wird detailliert vorgestellt und gezeigt, wie es eingesetzt werden kann und welche Vorteile es bietet. Um eine möglichst hohe Messgenauigkeit und Qualitätsprobe zu gewährleisten, führen wir Messungen immer mehrmals durch. Dies gibt uns die Möglichkeit, alle möglichen Variablen zu berücksichtigen und sicherzustellen, dass unsere Ergebnisse präzise und zuverlässig sind. Darüber hinaus haben wir strenge Protokolle für die Durchführung von Messungen, um sicherzustellen, dass alle Messungen nach den gleichen Standards durchgeführt werden. Unser Labor verwendet auch eine Reihe von Kontrollproben, um die Genauigkeit unserer Messungen zu überprüfen und sicherzustellen, dass unsere Ergebnisse korrekt sind. Wir haben strenge Qualitätskontrollprozesse, um sicherzustellen, dass unsere Messungen von

BUROSCH-Audio-Technik

höchster Qualität sind und den Anforderungen unserer Kunden entsprechen. Bevor wir Messungen durchführen, ist es auch wichtig sicherzustellen, dass das Messobjekt aktiv ist und sich in einem stabilen Zustand befindet. Dies bedeutet, dass es oft notwendig ist, das Messobjekt vor der Messung für eine bestimmte Zeit warmlaufen zu lassen. Dies stellt sicher, dass alle Komponenten des Messobjekts in einem stabilen Zustand sind und dass die Messungen präzise und zuverlässig sind. Darüber hinaus ist es auch essentiell sicherzustellen, dass die Umgebungsbedingungen der Messungen stabil sind. Wir kontrollieren sorgfältig die Temperatur, Luftfeuchtigkeit und andere Umgebungsbedingungen, um sicherzustellen, dass sie während der Messungen konstant bleiben. Dies ist wichtig, um sicherzustellen, dass die Messungen präzise und reproduzierbar sind.

Wir sind stolz darauf, dass unser Labor eine führende Rolle bei der Durchführung von Messungen und der Erzielung erstklassiger Ergebnisse in verschiedenen Anwendungsbereichen spielt. Unsere Arbeit wird von einem engagierten und erfahrenen Team durchgeführt, das bestrebt ist, die höchsten Standards in Bezug auf Messungen, Qualität und Kundenservice zu erfüllen.

Messungen am Transformator

In unserem Labor verwenden wir bei der Durchführung von Messungen immer eine galvanisch getrennte Messmethode, indem wir die zu überprüfenden Projekte immer an einem Trafo (Transformator) messen. Ein Transformator ist ein Gerät, das die Eingangsspannung auf eine niedrigere oder höhere Spannung umwandeln kann. Bei einer solchen Messung wird das Messobjekt über einen Transformator angeschlossen, so dass die Messschaltung und das Messobjekt galvanisch voneinander getrennt sind. Dies bedeutet, dass es keine direkte elektrische Verbindung zwischen der Messschaltung und dem Messobjekt gibt. Die Verwendung einer galvanisch getrennten Messung hat mehrere Vorteile. Einer der wichtigsten Vorteile ist, dass sie das Risiko von Brummschleifen (Masseschleifen) und anderen Störsignalen, die das Messergebnis beeinflussen können, verringert. Durch die galvanische Trennung wird verhindert, dass sich unerwünschte elektrische Signale durch die Verbindung zwischen der Messschaltung und dem Messobjekt ausbreiten. Dies führt zu genauen und zuverlässigen Messungen, ohne dass Störungen oder Interferenzen das Ergebnis beeinflussen oder sogar zu Fehlfunktionen und Schäden am Messobjekt verursachen. Ein weiterer Vorteil der galvanisch getrennten Messung ist, dass sie das Risiko von elektrischen Fehlern und Schäden verringert. Zudem ermöglicht es die Durchführung von Messungen an nicht isolierten Leitern oder Leitungen, ohne dass ein zusätzliches Isolierungsgerät erforderlich ist. Dies kann Zeit und Kosten sparen und die Effizienz der Messungen verbessern.

Masseschleife

Eine Masseschleife, auch bekannt als Erdungsschleife, ist ein häufiges Problem in elektrischen Systemen und Schaltungen. Es entsteht, wenn es mehrere Wege für den Stromfluss zwischen verschiedenen Punkten gibt, die unterschiedliche Erdungspotentiale aufweisen. Dies kann dazu führen, dass unerwünschte elektrische Signale, wie Brummschleifen und elektromagnetische Interferenzen (EMI), in den Stromkreis eingeführt werden. Sie führt zu einer Beeinträchtigung der Signalqualität und einer unerwünschten Rauschentwicklung, die die Leistung des Systems beeinträchtigt. In einigen Fällen können Masseschleifen auch zu Schäden an elektrischen Geräten führen. Um das Problem der Masseschleifen zu beheben, gibt es verschiedene Methoden, die angewendet werden können. Eine Möglichkeit besteht darin, eine Erdung oder Masseverbindung zwischen verschiedenen Punkten zu entfernen oder zu reduzieren. Eine andere Möglichkeit besteht darin, geschirmte Kabel und Steckverbinder zu verwenden, um elektromagnetische Interferenzen zu reduzieren. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, einen Isolationswandler oder einen galvanischen Trenntransformator zu verwenden, um eine galvanische Trennung zwischen den betroffenen Stromkreisen zu erreichen. Aus diesem Grund wird im Labor auf diese Punkte bei jeder Messung geachtet.

Durch das separate Betreiben von Messgeräten können verschiedene Geräte an separaten Stromversorgungen angeschlossen werden, um das Risiko von Masseschleifen zu

reduzieren. Jedes Messgerät wird an eine separate Stromquelle angeschlossen, die nur für dieses Gerät verwendet wird. Dies bedeutet, dass jedes Messgerät über eine separate Erdungsverbindung verfügt und keine Verbindung zu anderen Geräten oder Erdungspunkten im Stromkreis hat.

Insgesamt ist die Vermeidung von Masseschleifen ein wichtiger Faktor bei der Gestaltung und Installation von elektrischen Systemen und Geräten. Durch die Verwendung von geeigneten Entstörfiltern und die Einhaltung bewährter Verfahren zur Vermeidung von Masseschleifen können elektromagnetische Interferenzen und andere unerwünschte elektrische Störungen vermieden werden, um eine optimale Leistung und Signalqualität zu gewährleisten.

Messmethoden

Charakterisierung von Audio-Geräten, egal ob für den professionellen oder Consumer-Bereich, erfordert oft andere Messmethoden als bei anderen Geräten. Dies kann durch höhere Leistungsanforderungen oder durch die Eigenheiten der Audio-Industrie bedingt sein. In der High-Performance Audio-Branche gibt es eine große Vielfalt an Messanforderungen, wie beispielsweise die Bestimmung von Pegel, THD, Jitter und Modulation des Rauschs. Die Durchführung dieser Messungen erfordert ein tiefes Verständnis der verfügbaren Technologien und deren Einschränkungen sowie der notwendigen Abstriche, die bei der Auswahl der Messmethode zu berücksichtigen sind.

In den letzten 15 Jahren hat sich die Audio-Branche immer mehr in Richtung Digitalisierung bewegt. Digitale Aufnahmegeräte, Effektgeräte, CDs, digitale Mischpulte und verlustbehaftete Datenkomprimierungssysteme werden immer häufiger eingesetzt. Jede dieser Entwicklungen stellt neue Herausforderungen dar, die neue Messverfahren erfordern, um die Leistung der Systeme zu bewerten und zu optimieren. Es ist daher wichtig, ein grundlegendes Verständnis der Messungen im Audio-Bereich zu haben, um das Potential digitaler Audio-Systeme voll auszuschöpfen.

Dual Domain Messmethoden

Die Charakterisierung moderner Audio-Ausrüstung erfordert eine Arbeit in beiden analogen und digitalen Bereichen. Die Signalerzeugung wurde in der Regel mit analogen Hardware-Signalgeneratoren durchgeführt. Die Signalmessung wurde normalerweise mit analogen Filtern und AC-zu-DC-Konversionsschaltungen durchgeführt. In jüngster Zeit wurden diese mit Mikroprozessoren oder externen Computern für Steuerung und Anzeige verbunden. 1989 stellte Audio Precision mit dem Anstieg der Verbreitung digitaler Audio-Ausrüstung das erste Dual-Domain-Audiomesstechnik-System vor. Es bewahrte den traditionellen Einsatz analoger Hardware für die analoge Signalerzeugung und -messung und fügte die Fähigkeit hinzu, digitale Audio-Signale direkt im digitalen Bereich zu erzeugen und zu messen. Es ist wichtig zu verstehen, wie man Messungen in beiden Bereichen durchführt, um ein besseres Verständnis moderner Audio-Systeme zu erlangen und deren Leistung zu optimieren. Die Einführung des ersten Dual Domain Audiosystems im Jahr 1989 durch Audio Precision ermöglichte eine neue Art der Charakterisierung von Audio-Ausrüstung, die sowohl analog als auch digital funktioniert. Diese Methode kombinierte die traditionelle Verwendung von analogen Hardware-Signalgeneratoren und Messgeräten mit der Möglichkeit, digitale Audio-Signale direkt im digitalen Bereich zu generieren und zu messen. Die Einführung des Systems ermöglichte nicht nur die Messung von A/D- und D/A-Wandlern, digitalen Verarbeitungsgeräten usw., sondern auch die Durchführung vieler analogen Messungen, die bisher nicht möglich waren, wie beispielsweise FFT-basierte Spektrumanalysen und schnelle Mehrtonmessungen. Auch Messungen, die früher unmöglich waren, wie beispielsweise Bitfehlermessungen auf digitalen Verarbeitungsgeräten mit nur analogen Anschlüssen,

waren jetzt durchführbar. 1995 wurde das nächste Generation Dual Domain System Two eingeführt, das noch mehr Funktionen und Möglichkeiten bot, um die Audio-Performance zu optimieren. Hersteller von Audiotechnik haben neue Messgeräte eingeführt, um die Leistung von Kombinationen aus analogen und digitalen Geräten zu überprüfen. Eine Methode nutzt einen AES-3 Digital Interface Receiver Circuit und einen D/A-Konverter, um digitale Signale messen zu können. Allerdings ist es wichtig zu beachten, dass alle Messungen durch den Prozess der Umwandlung von digitalen Signalen in analoge Signale gehen müssen. Dies kann dazu führen, dass die Messgenauigkeit beeinträchtigt wird, abhängig von der Qualität des Konverters und des Rekonstruktionsfilters. Diese Technik ist eine kosteneffiziente Lösung, um Messungen an digitalen Signalen durchzuführen, jedoch sind einige rein digitale Messungen wie die Messung aktiver Bits und Bitfehlerraten nicht möglich. Um eine höhere Messgenauigkeit zu erreichen, ist es jedoch erforderlich, spezielle Geräte und Techniken einzusetzen, die die Einschränkungen des Konverters und des Rekonstruktionsfilters minimieren. Diese Geräte sind in der Regel teurer, bieten jedoch eine höhere Präzision und Zuverlässigkeit bei der Messung digitaler Signale. Es ist wichtig, die richtigen Messgeräte auszuwählen, um die gewünschte Genauigkeit und Zuverlässigkeit bei der Überprüfung der Leistung von Audio-Systemen zu erreichen.

Eine weitere Methode, die in einigen kommerziellen Geräten verwendet wird, besteht darin, alle Signale digital durch DSP-Algorithmen zu generieren. Digital Signal Processing (DSP) ist ein interdisziplinäres Fachgebiet, das sich mit der Verarbeitung digitaler Signale beschäftigt. Es ist ein wichtiger Teilbereich der elektronischen Signalverarbeitung und hat in vielen Bereichen, einschließlich der Kommunikationstechnik, der Nachrichtentechnik, der Regelungstechnik, der Medizintechnik und der Unterhaltungselektronik, weitreichende Anwendungen gefunden.

DSP-Algorithmen können in zwei Kategorien unterteilt werden: diskrete Signalverarbeitung und kontinuierliche Signalverarbeitung. Diskrete Signalverarbeitung beschäftigt sich mit Signalen, die in einer endlichen Anzahl von Mustern repräsentiert werden können. Kontinuierliche Signalverarbeitung beschäftigt sich mit Signalen, die in einer kontinuierlichen Form vorliegen. Ein wichtiger Teilbereich der DSP-Algorithmen ist die Signalanalyse. Hierbei geht es darum, ein Signal in seine Komponenten zu zerlegen und zu untersuchen. Dazu gehören unter anderem die Fourier-Analyse, die Laplace-Transformations-Analyse und die Wavelet-Analyse. Diese Techniken werden oft verwendet, um Frequenzkomponenten von Signalen zu extrahieren und zu untersuchen. Ein weiterer Teilbereich ist die Signalmodifikation. Hier geht es darum, das Ausgangssignal auf bestimmte Weise zu verändern, um ein gewünschtes Ergebnis zu erzielen. Dazu gehören unter anderem Filterung, Verstärkung, Überlagerung, Übertragung und Übertragung. Schließlich gibt es auch einen Teilbereich der DSP-Algorithmen, der sich mit der Signalgenerierung befasst. Hier geht es darum, digitale Signale zu erzeugen, die ein bestimmtes Muster oder eine bestimmte Form haben. Dies kann erreicht werden, indem einfache Signale miteinander kombiniert werden, oder durch die Verwendung von Signalgeneratoren, die speziell für bestimmte Signaltypen entwickelt wurden.

Wenn analoge Signale benötigt werden, werden sie durch einen D/A-Konverter erzeugt. Umgekehrt werden alle Signale digital analysiert und analoge Signale, die gemessen werden sollen, werden durch einen internen A/D-Konverter umgewandelt. Dieser Ansatz hat den Vorteil der Einfachheit, da viel der Mess- und Generatorentechnik für alle Operationen wiederverwendet wird. Die Einfachheit des Hardware hat jedoch ihren Preis. Die Leistung der Signalgenerierung bei der aktuellen Technologie der D/A-Konverter ist nicht mit dem vergleichbar, was mit hochwertiger analoger Elektronik erreicht werden kann. Die Messgenauigkeit der A/D-Konverter ist ebenfalls durch verfügbare Geräte begrenzt. Es ist schwierig, die aktuellsten Konverter zu beschreiben, wenn das Messgerät mit kommerziell erhältlicher Konverter-Technologie arbeitet. Diese Einschränkungen umfassen unregelmäßige Frequenzantworten, die 0,01 dB überschreiten, und Verzerrungen, die selten 100 dB THD + N erreichen. Daher fügen einige der verfügbaren Instrumente für hochleistungsorientierte Anwendungen einen echten Analogsignalgenerator hinzu. Sie fügen auch einen Analog-Notch-Filter vor dem A / D-Konverter zur hochleistungsorientierten Analyse hinzu. Wie wir später sehen werden, negiert dies viele der Vorteile in Bezug auf Kosten und Komplexität des rein digitalen Ansatzes, behält aber die meisten Probleme bei.

Um die Genauigkeit der Messungen zu verbessern, sind manche Konverter mit zusätzlichen Funktionen ausgestattet, wie einem echten Analogsignalgenerator und einem Analog-Notch-Filter. Diese Funktionen tragen dazu bei, dass die Messungen präziser werden, obwohl sie den Vorteil eines rein digitalen Ansatzes aufheben. Trotzdem gibt es immer noch Einschränkungen bei den Messungen, die durch unregelmäßige Frequenzantworten und Verzerrungen verursacht werden.

Messen mit Rechtecksignalen

Um die Leistung eines Verstärkers zu überprüfen, werden normalerweise Sinuswellen verwendet, die bevorzugt werden, wenn es darum geht, einzelne Messungen und andere statische Tests durchzuführen. Um jedoch einen schnellen Überblick über die Arbeitsweise des Verstärkers zu erhalten, ist es besser, Rechteckwellen zu verwenden. Diese Wellenformen sind auch nach Abschluss der Reparaturarbeiten als Endkontrolle wichtig. Indem man mit Rechteckwellen prüft, kann man viel Zeit sparen, da die Rechtecksignale, die in den Verstärkereingang gespeist werden, beim Durchlaufen des Verstärkers verformt werden und die Rechteckkurve am Verstärkerausgang einen direkten Indikator für die Qualität des Verstärkers darstellt. Es reicht, nur einige Prüffrequenzen an den Bandgrenzen und in der Mitte des Übertragungsbereichs zu verwenden, um einen aussagekräftigen Überblick über die Qualität des Verstärkers zu erhalten. Die Rechteckwellen sind eine einfache und subjektive Methode, um HiFi-Verstärker zu überprüfen. Dabei wird ein Rechtecksignal an den Eingang des Geräts gesendet und mit einem Oszillografen am Ausgang überwacht. Die resultierende Kurve am Ausgang des Verstärkers gibt dem Fachmann einen schnellen Überblick über die Übertragungseigenschaften und die richtige Einstellung des Geräts. Rechteckwellen sind ein wichtiger Teil der Serien-Qualitätskontrolle von HiFi-Verstärkern. Die Rechteckwelle ist wichtig für die Überprüfung von Verstärkern, weil sie einfach zu messen ist und aus den Kurvenformen am Verstärkerausgang wertvolle

Informationen über seine Übertragungseigenschaften und die Einstellung des Gerätes liefern kann. Es ist jedoch wichtig, die Rechteckwelle zu verstehen, um Fehlerursachen identifizieren zu können. Ein Klang, ob es sich nun um Sprache oder Musik handelt, wird durch eine Vielzahl von sinusförmigen Schwingungen erzeugt, die eine komplexe Summenspannung bilden. Ein guter Verstärker muss in der Lage sein, diese schnellen und unregelmäßigen Spannungsänderungen zu verarbeiten, ohne dass Verzerrungen der ursprünglichen Rechteckfrequenz entstehen. Daher sollte die eingespeiste Rechteckwelle in gleicher Form am Verstärkerausgang erscheinen. Rechteckwellen sind ein wichtiges Prüfsignal in der HiFi-Verstärkerbranche. Das Rechtecksignal setzt sich aus der Grundwelle und mehreren sinusförmigen Oberwellen zusammen, die ordnungsgemäß und phasenkorrekt einander zugeordnet sind. Da die Amplitude des Rechtecksignals sehr schnell wechselt, ist es ein geeignetes Mittel, um die Übertragungsqualität eines Verstärkers zu testen. Der Verstärker muss in der Lage sein, alle Frequenzen und Phasen korrekt zu übertragen, um eine unverzerrte Rechteckwelle am Verstärkerausgang zu gewährleisten. Die ideale Rechteckübertragung entsteht, wenn alle Wellen, einschließlich der Grundwelle, die Summenspannung bilden, jedoch bis zu unendlich hohen Frequenzen. In der elektroakustischen Musikübertragung sind jedoch solche hohen Wellen überflüssig, weil sie außerhalb des Hörbereichs mit sehr geringer Amplitude liegen. Wenn ein Verstärker nicht alle Oberwellen eines Grundtones überträgt oder durch Filter oder Klangregler begrenzt wird, wird die Rechteckkurve verformt. Dies kann genutzt werden, um die Leistung des Verstärkers zu bewerten. Durch die Abweichung von der idealen Rechteckkurve lassen sich Informationen über die Übertragungseigenschaften und damit über die Qualität des Verstärkers ableiten. Um den Verstärker zu prüfen, werden Rechteckschwingungen verwendet, die dem Übertragungsbereich des Verstärkers angepasst sind. Je höher die Frequenz, desto größer die Abweichung. Ein Verstärker mit hoher oberen Grenzfrequenz wird eine gut geformte Kurve haben, wenn eine hochfrequente Rechteckschwingung am Ausgang gemessen wird.

Signal Generation

Audio-Tests verwenden üblicherweise Sinuswellen, Rechteckwellen, Zufallsgeräusche und Kombinationen dieser Signale. Der bereits beschriebene duale Ansatz nutzt mehrere Oszillatoren oder Wellenformgeneratoren im analogen Bereich, um die Leistung zu optimieren. Wenn eine bestimmte Wellenerzeugung nicht einfach mit analogen Mitteln durchgeführt werden kann, wird eine basierend auf einem Digital-Analog-Konverter (D/A-Konverter) verwendet. Die D/A-Konverter werden für Multiton-Wellenformen, gestaltete Impulsformen und Sinuswellen mit Interkanaalphasenverschiebung (nützlich zum Testen von Surround-Sound-Decodern) verwendet. Mit Ausnahme von Multiton-Signalen tendieren diese Wellenformen dazu, geringere Nichtlinearitätsanforderungen als die anderen Wellenformen zu haben. Um den Leistungslimit modernster A/D-Konverter zu prüfen, ist ein dedizierter analoger Oszillator erforderlich, um eine ausreichende THD+N zu erreichen. Einige Hersteller haben einstellbare oder umschaltbare Tiefpassfilter zu D/A-basierten Generatoren

hinzugefügt, um die harmonische Verzerrung eines analogen Oszillators nachzubilden. Diese haben mit unterschiedlichem Erfolg funktioniert. Die Abwägung zwischen Schärfe des Filters (und der entsprechenden Verzerrungsreduktion) und Flachheit ist schwer zu finden. Schärfere Filter benötigen eine feinere Tuningfähigkeit und haben mehr Antworttrippel, was die Signalamplitude mit der Frequenz schwanken lässt.

In der Audio-Messung ist es wichtig, dass die Verzerrungen so gering wie möglich sind. Daher verwenden viele hochwertige Geräte zur Messung einen dedizierten analogen Oszillator, um eine hohe THD+N-Leistung zu erreichen. Die digitale Sinuswelle kann auf verschiedene Arten erzeugt werden, wie zum Beispiel durch Tabelle oder Polynom-Näherung/Taylor-Formel. Die Tabelle ist schnell, aber hat Einschränkungen bei der zeitlichen Auflösung aufgrund der begrenzten Tabellenlänge. Kommerzielle Chips für direkte digitale Synthese arbeiten auf diese Weise. Theoretische Analysen zeigen, dass die Länge des Sinus-ROMs mindestens viermal so groß sein sollte wie die Datenbreite, die aus dem ROM ausgegeben wird. Das bedeutet, dass die Verzerrung, die durch Quantisierung im Zeitpunkt der Probenahme gleich der Verzerrung ist, die durch Quantisierung im Datenwort eingeführt wird. Beide Fehler können durch richtige Verwendung von Dithering oder Fehlerrückkopplungstechniken in Weißes Rauschen umgewandelt werden. Die Polynom-Approximationstechnik liefert Sinusgenauigkeiten, die abhängig von der Anzahl der Terme im Potenzreihenansatz sind. Beliebige genaue Signale können zu Lasten der Rechenzeit erhalten werden. Es erfordert eine ordnungsgemäße Signalerzeugung in digitalen Systemen erfordert, dass die erzeugten Frequenzen primär zur Abtastrate sind. Wenn Frequenzen verwendet werden, die Teiler der Abtastrate sind, wird die Wellenform nur wenige Codes des digitalen Worts ausüben. Beispielsweise erfordert das Generieren von 1 kHz in einem 48 kHz-Abtastratensystem nur 48 verschiedene Datenwerte.

Der Begriff Dither ist hierbei einer der missverstandenen Aspekte bei der digitalen Signalerzeugung. Wenn ein Signal in einem endlichen Zahlenbereichssystem erstellt wird, wird eine Quantisierungsverzerrung eingeführt. Durch das Hinzufügen von Dither zum Signal vor dem Abschneiden auf die endgültige Zahlenbreite kann die Verzerrung zufällig in Rauschen umgewandelt werden. Dies führt zu einer 3 dB höheren Hintergrundgeräuschstärke, ermöglicht jedoch die Erzeugung von Signalen unter dem Systemgeräuschboden und befreit große Amplitudensignale von jeglichen Verzerrungsprodukten weit unter dem Systemgeräuschboden. Es ist wichtig zu beachten, dass die verwendeten Frequenzen relativ zur Abtastrate primär sein sollten, um eine korrekte Signalerzeugung in digitalen Systemen sicherzustellen. Es geht hier um das Konzept des Dithers bei der digitalen Signalgenerierung. Wenn man ein Signal in einem begrenzten Wortlängensystem erzeugt, wird Quantisierungsverzerrung eingeführt. Durch das Hinzufügen von Dither zum Signal vor der Kürzung auf die endgültige Wortbreite kann man die Verzerrung in Rauschen umwandeln. Dies kommt mit einem Anstieg des Hintergrundgeräuschpegels um 3 dB einher, ermöglicht aber die Erzeugung von Signalen unterhalb des Systemgeräuschbodens. Dies wird in einer Abbildung veranschaulicht, die zwei FFTs eines 750-Hz-Tons zeigt, die über den gleichen Achsen übereinanderliegen. Die erste ist mit einer Auflösung von 16 Bit, aber ohne Dither, die zweite mit korrektem

amplitudenmäßigem Dreiecksdither. Das Dither randomisiert die Verzerrungsprodukte in einen gleichmäßigen Geräuschboden unter dem Peak-Level der Verzerrung.

Komplexe Signal Generation

Um mehrere Sinuswellen gleichzeitig zu generieren, werden bei kleineren Tonanzahlen reale Zeitberechnungen für jede Sinuswelle in einem Digital Signal Processor (DSP) und anschließende Summierung eingesetzt. Für größere Tonzahlen wird normalerweise eine ROM- oder RAM-basierte Wellengenerierung verwendet. In analogen Anwendungen wird dies durch einen Digital-Analog-Konverter übertragen. Die ROM-Größe legt die Wellenformlänge vor einer Wiederholung fest und bestimmt somit den Mindestabstand der Töne. Wellenformen, wie die für die Monotonieprüfung von Analog-Digital-Konvertern, können mit Tabellen-Look-up-Techniken erstellt werden oder in Echtzeit berechnet werden. Für Signale, bei denen keine Kontrolle über ihre Parameter wie Wiederholungsrate oder Frequenz erforderlich ist, bietet die Tabellen-Look-up-Methode einen Geschwindigkeitsvorteil. Meistens müssen bei den Wellengenerierungstechniken mehr Speicher verbraucht werden oder es müssen Daten von der Festplatte heruntergeladen werden. Der algorithmische Ansatz bietet vollständige Kontrolle über die Wellenformparameter und ermöglicht es, Signale wie gestaltete Impulsbursts oder laufende Bitmuster den Bedürfnissen des Benutzers anzupassen. Die verfügbare Speichergröße und die Architektur des Instruments beeinflussen dies erheblich. Mindestens ein kommerzielles Audiotestgerät generiert alle Wellenformen aus Festplatten-Dateien, während die meisten den algorithmischen Ansatz verwenden. Die meisten Audio-Geräte sind multikanalig. Der übliche Ansatz für den multikanaligen Test ist die Verwendung eines einzigen Generators mit einem einzigen variablen Verstärkungsstufe, die zwischen zwei oder mehr Ausgabekanälen geschaltet wird. Dies kann einfachen Übertragungsstörungen oder Trennungsmessungen bewältigen, kann aber komplexere Versionen dieser nicht bewältigen. Zum Beispiel erfordern Übertragungsstörungsmessungen mit Mehrton-Signalen unterschiedliche Frequenzöne in den beiden Kanälen. Messungen der Intermodulation zwischen den Kanälen erfordern unterschiedliche Frequenz-Sinuswellen in den beiden Kanälen. Aufzeichnungs- Wiedergabemessungen zur Sättigungskennzeichnung von Bandaufnahmegeräten erfordern die Fähigkeit, mit einem Kanal die Frequenz zu durchlaufen, während der andere die Leistung durchläuft, so dass die Frequenzdurchlauf-Methode verwendet werden kann, um die Amplitude des ursprünglichen Kanals an jedem Schritt zu identifizieren. Eine häufige Ausgangsleistungsverstärkung, die auf mehrere Ausgangskonnektoren aufgeteilt wird, bedeutet auch, dass es eine gemeinsame Verbindung zwischen den Kanälen geben wird, die die gemessene Trennung beeinflussen kann. Es verhindert auch, dass die beiden Kanäle eines Stereogeräts auf maximale Ausgabe eingestellt werden, wenn die Verstärkungen leicht unterschiedlich sind.

Frequenz Messungen

Es gibt zwei grundlegende Methoden zur Messung der Frequenz: Verfahren auf der Basis von Nulldurchgängen und Verfahren zur Lokalisierung von Spektrumpegeln. Die Nulldurchgangszählung wurde seit Jahrzehnten bei analogen Signalen in eigenständigen

Frequenzzählern eingesetzt. Die Bestimmung der Frequenz eines Signals kann durch die Messung der Zeitdauer zwischen zwei Nulldurchgängen erfolgen. Da ein vollständiger Zyklus eines Signals immer einen Nulldurchgang beinhaltet, kann die Frequenz berechnet werden, indem die Anzahl der Nulldurchgänge innerhalb einer bestimmten Zeitdauer gezählt wird. Ein einfaches Beispiel für eine Frequenzmessung durch Nulldurchgänge ist das Messen der Frequenz einer Sinuswelle. Eine Sinuswelle hat immer genau einen Nulldurchgang pro Zyklus, so dass die Frequenz berechnet werden kann, indem die Zeitdauer zwischen zwei Nulldurchgängen gemessen wird. Es ist wichtig zu beachten, dass die Nulldurchgänge nicht unbedingt exakt bei Null liegen müssen. Es kann Abweichungen geben, die je nach Messgerät und Messmethode variieren können. Daher ist es wichtig, eine geeignete Messmethode zu wählen, um eine präzise Messung zu gewährleisten.

Eine weitere Methode ist die Lokalisierung des Spektrumpegels, bei der das höchste Signal im Frequenzbereich identifiziert und als Frequenz gemessen wird. Dieses Verfahren ist bei der Verarbeitung digitaler Signale weitverbreitet und bietet eine höhere Auflösung als die Nulldurchgangszählung. Es nutzt FFT (Fast Fourier Transform), um das Spektrum eines Signals zu berechnen, das dann nach den höchsten Pegeln durchsucht wird. Die resultierende Frequenz wird als Schätzung der tatsächlichen Signal Frequenz verwendet. Dies geschieht in einer gegenseitigen Weise, um die Frequenz zu erhalten. Wenn die Zeit zwischen aufeinanderfolgenden Nulldurchgängen gemessen wird, wird die Messrate direkt proportional zur Signal Frequenz sein. Dies führt zu übermäßig schnellen Messungen bei hohen Frequenzen, die empfindlich auf störenden Lärm reagieren. Indem man die Zeit zwischen Nulldurchgängen mehrere Zyklen entfernt misst, kann der Lärm durch den Mittelwert reduziert werden. Daher misst die praktische Ausrüstung die Anzahl der Nulldurchgänge, die in einem Zeitintervall auftreten, das ungefähr unabhängig von der Signal Frequenz konstant ist. Die gewünschte Messung. Dies erfolgt in einer wechselseitigen Art und Weise, um die Frequenz zu erhalten. Wenn die Zeit zwischen aufeinanderfolgenden Nulldurchgängen gemessen wird, ist die Messrate direkt proportional zur Signal Frequenz. Dies führt zu übermäßig schnellen Messungen bei hohen Frequenzen, die empfindlich auf störenden Lärm reagieren. Indem man die Zeit zwischen Nulldurchgängen mehrere Zyklen entfernt misst, kann der Lärm durch den Mittelwert reduziert werden. Daher misst die praktische Ausrüstung die Anzahl der Nulldurchgänge, die in einem Zeitintervall auftreten, das ungefähr unabhängig von der Signal Frequenz konstant ist. Die gewünschte Messrate und die entsprechende Datenmitteilung werden verwendet, um dieses Zeitintervall zu bestimmen.

Bei niedrigen Frequenzen wird die Messung in der Regel über einen Signalzyklus hinweg durchgeführt, während bei hohen Frequenzen viele Zyklen verwendet werden. Techniken auf Basis von Spektrumprämien gibt es seit der Erfindung von Spektralanalysatoren. Das Konzept ist einfach genug: Wenn Sie die Form des Filters kennen, der zur Spektralmessung verwendet wird, können Sie die exakte Position des Spektrumpegels interpolieren und somit die Frequenz bestimmen. Dies setzt zwei Dinge voraus: dass es nur eine Frequenzkomponente innerhalb der Filterbandbreite gibt und dass die Form des Filters nicht als Funktion von Frequenz oder Signalphase ändert. Diese Einschränkungen sind nicht

schwerwiegend und diese Technik bietet einen signifikanten Lärm-Bandbreiten-Vorteil gegenüber den Nulldurchgangs-basierten Ansätzen. Wenn ein Sinus-Signal in Anwesenheit von breitbandigem störendem Lärm gemessen wird, beeinflusst nur der Lärm, der innerhalb der Filterbandbreite liegt, die Messung.

SMPTE Intermodulation

Seit den 1930er Jahren gibt es Messungen der Intermodulation mithilfe der SMPTE-Methode (ursprünglich von der Society of Motion Picture and Television Engineers standardisiert, daher ihr Name). Der Testsignal besteht aus einem tiefen Ton (normalerweise 60Hz) und einem hohen Ton (normalerweise 7kHz), die zusammen in einem Verhältnis von 4 zu 1 summiert werden. Gelegentlich werden auch andere Amplitudenverhältnisse und Frequenzen verwendet. Dieses Signal wird auf das zu testende Gerät angewendet und das Ausgangssignal wird auf Modulation des oberen Frequenztons durch den niedrigeren Frequenzton untersucht. Wie bei der Messung der harmonischen Verzerrung kann dies mit einem Spektrumanalysator oder einem dedizierten Verzerrungsanalysator durchgeführt werden. Die Modulationskomponenten des oberen Signals tauchen als Sidebands auf, die bei Vielfachen des niedrigeren Frequenztons beabstandet sind. Die Amplituden der Sidebands werden paarweise addiert, quadratisch summiert und als Prozentsatz des oberen Frequenzlevels ausgedrückt.

Es ist wichtig zu beachten, dass Intermodulationsverzerrungen in vielen Anwendungen problematisch sein können, insbesondere in Funkanwendungen, da sie die Übertragungsqualität beeinträchtigen und Signalverzerrungen verursachen können. Daher ist es wichtig, dass Geräte regelmäßig auf Intermodulationsverzerrungen getestet werden, um sicherzustellen, dass sie ordnungsgemäß funktionieren und den Anforderungen entsprechen. Um Fehler bei den Messungen durch Intermodulation zu vermeiden, muss man darauf achten, dass Seitenbänder, die durch die Frequenzmodulation des oberen Tons eingeführt werden, die Messung nicht beeinflussen. Zum Beispiel können Lautsprecher Doppler-Verzerrungen einführen, wenn beide Töne von demselben Treiber wiedergegeben werden. Dies würde mit Intermodulation verwechselbar sein, wenn nur die Leistung der Seitenbänder betrachtet würde. Wenn die Messungen mit einem phasensensitiven Spektrumanalysator durchgeführt werden, können die AM- und FM-Komponenten durch Kombination symmetrisch angeordneter Komponenten um den hohen Frequenzton getrennt werden. Ein dedizierter Verzerrungsanalysator für SMPTE-Tests ist sehr einfach. Das zu analysierende Signal wird durch einen Hochpassfilter bereinigt, um den niederfrequenten Ton zu entfernen. Die Seitenbänder werden durch einen Amplitudenmodulationsdetektor demoduliert. Das Ergebnis wird durch einen Tiefpassfilter bereinigt, um die restlichen Trägerkomponenten zu entfernen. Da dieser Tiefpassfilter die Messbandbreite einschränkt, hat das Rauschen wenig Auswirkungen auf SMPTE-Messungen. Bei Messungen mittels dem SMPTE-Verfahren ist es wichtig, dass keine Harmonischen Obertöne des Niederfrequenz-Oszillators in der Nähe der oberen Frequenz liegen, da sie sonst als Verzerrung angesehen werden. Nach dem ersten Hochpass-Filterungsschritt im Analyzer ist

nur noch wenig Information auf niedriger Frequenz vorhanden, die Intermodulation im Analyzer selbst verursachen könnte. Dies vereinfacht die Konstruktion der verbleibenden Schaltungen. Ein wesentlicher Vorteil des Demodulator-Ansatzes bei SMPTE-Verzerrungsmessungen ist die Möglichkeit, die Verzerrungsprodukte zu hören. Wie beim Hören von Harmonischen Verzerrungen kann dies oft Einblicke in die Ursache der Verzerrung oder ihre relative Hörbarkeit geben. Wenn man sich das SMPTE-Testverfahren im Zeitbereich ansieht, kann man seine Funktionsweise besser verstehen. Der kleine Amplituden-Hochfrequenz-Komponente wird durch den Niederfrequenzton durch den Eingangsbereich des Geräts unter Test bewegt. Die Amplitude des Hochfrequenztons wird durch die inkrementelle Verstärkung des Geräts an jedem Punkt verändert, was bei einer Verstärkungsänderung eine Amplitudenmodulation erzeugt. Der SMPTE Test ist ein Verfahren, das besonders geeignet ist, Probleme wie Überlagerungsverzerrung und Clipping aufzudecken. Hochgradige Nichtlinearitäten erzeugen Störungen in der Übertragungskennlinie, die zu großen Mengen an SMPTE-IM führen. Dieser Test eignet sich auch hervorragend zur Anregung von niederfrequenten thermischen Verzerrungen. Die niederfrequenten Signalablenkungen regen thermische Effekte an, die die Verstärkung des Geräts verändern und Modulationsverzerrungen einführen. Ein weiterer exzellenter Einsatzbereich ist die Prüfung von LC-Stabilisierungsnetzwerken in Leistungsverstärkern. Niederfrequente Signale können den Ausgangsinduktor saturieren und somit nichtlinear machen. Da die Frequenz niedrig ist, fällt nur wenig Spannung über den Induktor, wodurch nur wenig niederfrequente Harmonische Verzerrung entsteht. Insgesamt ist der SMPTE Test ein nützliches Instrument zur Überwachung der Leistung und Qualität von Geräten. Der SMPTE-Test ist besonders empfindlich für Dinge wie Überlagerungsverzerrung und Clipping. Hochstufige Nichtlinearitäten erzeugen Bumps in der Übertragungskennlinie, die große Mengen an SMPTE-IM produzieren. Der SMPTE-Test ist auch gut dafür geeignet, tiefe Frequenzthermoverzerrungen auszulösen. Das tiefe Frequenzsignal löst thermische Effekte aus, die den Verstärkungsfaktor des Geräts verändern und Modulationsverzerrungen einführen. Ein weiterer ausgezeichneter Anwendungsbereich ist die Überprüfung von Ausgangs-LC-Stabilisierungsnetzwerken in Leistungsverstärkern. Tiefe Frequenzsignale können den Ausgangsmagneten übersättigen, was ihn nichtlinear macht. Da die Frequenz niedrig ist, fällt sehr wenig Spannung über den Induktor ab, und es gibt sehr wenig Harmonische Verzerrung bei niedrigen Frequenzen. Der SMPTE-Test ist besonders empfindlich für Dinge wie Überlagerungsverzerrung und Clipping. Hochstufige Nichtlinearitäten erzeugen Bumps in der Übertragungskennlinie, die große Mengen an SMPTE-IM produzieren. Der SMPTE-Test ist auch gut dafür geeignet, tiefe Frequenzthermoverzerrungen auszulösen. Das tiefe Frequenzsignal löst thermische Effekte aus, die den Verstärkungsfaktor des Geräts verändern und Modulationsverzerrungen einführen. Ein weiterer ausgezeichneter Anwendungsbereich ist die Überprüfung von Ausgangs-LC-Stabilisierungsnetzwerken in Leistungsverstärkern. Tiefe Frequenzsignale können den Ausgangsmagneten übersättigen, was ihn nichtlinear macht. Da die Frequenz niedrig ist, fällt sehr wenig Spannung über den Induktor ab, und es gibt sehr wenig Harmonische Verzerrung bei niedrigen Frequenzen.

Der hochfrequente Tonstrom erzeugt einen größeren Spannungsabfall über den Induktor (aufgrund des steigenden Impedanzverhältnisses bei Frequenz). Wenn das niedrige Frequenzton eine nichtlineare Induktivität erzeugt, wird der hochfrequente Ton verzerrt. Ein drittes gängiges Verfahren ist die Überprüfung auf kalte Lötstellen oder schlechte Schaltkontakte. Ein Vorteil der Sensibilität des SMPTE-Tests bei der Erkennung von Verzerrungsmechanismen bei niedrigen Frequenzen besteht darin, dass die Verzerrungskomponenten bei hohen Frequenzen auftreten. In den meisten Audiokreisen gibt es bei hohen Frequenzen weniger Schleifengewinn und die Verzerrung wird nicht so effektiv durch Rückkopplung reduziert. Ein weiterer Vorteil des SMPTE-Tests ist seine relativ geringe Rauschbandbreite, was zu niedrigen Residualmessungen führt. Das SMPTE Testverfahren ist besonders geeignet für Anwendungen, die mit der Aufzeichnung von Signalen zu tun haben. Durch seine Unempfindlichkeit gegenüber Wobbel- und Flattereffekten hat es sich im Bereich der Schallplatten- und Filmindustrie bewährt. Hier werden üblicherweise die Frequenzen 400Hz und 4kHz verwendet. Diese Form des IM-Tests ist sehr empfindlich gegenüber übermäßigem Polieren der Schallplattenoberfläche, obwohl Harmonische Verzerrungen nicht sichtbar waren. Es hat auch im Telekommunikations- und Mobilfunkbereich weite Anwendung gefunden, da es die Extrembereiche des Audiosignals testen kann, während die Verzerrungsprodukte innerhalb des Bands bleiben.

CCIF-Intermodulation

Der CCIF oder DFD (Differenz-Frequenz-Verzerrung) Intermodulationsverzerrungstest unterscheidet sich vom SMPTE-Test dadurch, dass ein Paar von Signalen, die in der Frequenz nahe beieinander liegen, an das zu testende Gerät angelegt werden. Die Nichtlinearität im Gerät verursacht Intermodulationsprodukte zwischen den beiden Signalen, die anschließend gemessen werden, wie in Abb. 10c gezeigt. Im typischen Fall von Eingangssignalen bei 14kHz und 15kHz werden die Intermodulationskomponenten bei 1kHz, 2kHz, 3kHz usw. und 13kHz, 16kHz, 12kHz, 17kHz, 11kHz, 18kHz usw. sein. Geradzahlige oder asymmetrische Verzerrungen erzeugen die niedrigen "Differenzfrequenz"-Komponenten, während die ungeradzahligen oder symmetrischen Nichtlinearitäten die Komponenten in der Nähe der Eingangssignale erzeugen. Die häufigste Anwendung dieses Tests misst nur die geradzahligen Differenzfrequenzkomponenten, da dies mit nur einem Mehrpoligen Tiefpassfilter erreicht werden kann. Diese Technik hat den Vorteil, dass sowohl das Signal als auch die Verzerrungskomponenten fast immer so angeordnet werden können, dass sie im Übertragungsbereich eines nichtlinearen Systems liegen. Bei niedrigen Frequenzen wird ein kleinerer Abstand benötigt, wodurch eine höhere Auflösung in der Spektralanalyse erforderlich wird. Bei solchen Frequenzen kann eine THD-Messung bequemer sein. Neuere Versionen der IEC-Standards für DFD geben die Ergebnisse in spektralen Begriffen an. Frühere Versionen des IEC-Standards legten die Referenzpegelberechnung anders fest. Dies führt zu einem 6 dB-Unterschied zwischen den beiden Versionen des Standards für DFD-Messungen. Diese Neudefinition steht auch im Widerspruch zu den angenommenen Praktiken für Differenztonverzerrungsmessungen und zur Verwendung der Technik in anderen IEC-Standards.

Messgeräte im Vergleich zu Simulationen

LTspice und Matlab

In der Welt der Elektronik und der Ingenieurwissenschaften gibt es zahlreiche Softwareanwendungen, die für die Durchführung von Entwurfs- und Simulationsaufgaben genutzt werden können. Zwei solche Softwareanwendungen sind "LTspice" und "Matlab". LTspice ist eine Schaltungssimulationssoftware von Analog Devices, die es den Benutzern ermöglicht, Schaltungen zu entwerfen und zu simulieren, bevor sie tatsächlich aufgebaut werden. Die Software bietet eine Vielzahl von Funktionen, darunter eine umfangreiche Bibliothek von Bauteilen, eine leistungsfähige Simulations-Engine und die Möglichkeit, den Frequenzbereich einer Schaltung zu analysieren.



Matlab hingegen ist eine Softwareanwendung, die für numerische Berechnungen, Datenanalyse und -visualisierung sowie für die Erstellung von Algorithmen und Modellen verwendet wird.



Matlab bietet eine leistungsfähige Skriptsprache und eine breite Palette von Funktionen und Toolboxes, die für zahlreiche Anwendungen geeignet sind, einschließlich Signalverarbeitung, Regelungstechnik, Bildverarbeitung, maschinelles Lernen und mehr.

Obwohl LTspice und Matlab verschiedene Anwendungen haben, können sie zusammen genutzt werden, um Elektronik-Designs zu simulieren und zu analysieren. Zum Beispiel kann Matlab zur Optimierung von Schaltungskomponenten verwendet werden, während LTspice zur Simulation der Schaltungsergebnisse verwendet wird. Insgesamt bieten diese beiden Anwendungen ein leistungsstarkes Werkzeugset für Elektronik-Ingenieure und -Designer, um effektiv zu entwerfen, zu simulieren und zu analysieren. Um Messergebnisse mit Hilfe von LTspice und Matlab zu analysieren, können Sie beispielsweise die Simulationsergebnisse von LTspice mit den erwarteten Ergebnissen vergleichen und die Abweichungen identifizieren. Anschließend können Sie Matlab verwenden, um die Daten weiter zu verarbeiten und zu analysieren, indem Sie beispielsweise statistische Methoden, Regressionsanalysen und maschinelles Lernen anwenden. Eine weitere Möglichkeit, Messergebnisse mit LTspice und Matlab zu analysieren, besteht darin, den transienten und Frequenzbereich der Schaltung mit Hilfe von LTspice zu simulieren und die Ergebnisse in Matlab zu importieren. Dort können Sie die Daten weiter analysieren, indem Sie beispielsweise Fourier-Transformationen durchführen, um die Frequenzkomponenten der Schaltung zu identifizieren, oder komplexe Impedanzdiagramme erstellen, um das Verhalten der Schaltung bei verschiedenen Frequenzen zu verstehen.

Verblüffende Ergebnisse

Die Ergebnisse, die mit LTspice und Matlab erzielt werden, können ähnliche Messwerte wie teure Labormessgeräte aufweisen, was sie zu einer idealen Methode zur Kontrolle von Messergebnissen macht. Die Fähigkeit, Schaltungssimulationen durchzuführen, ermöglicht es, Messungen vorab durchzuführen, um ein Verständnis für das Verhalten der Schaltung zu erlangen, bevor sie tatsächlich mit der Hardware-Implementierung beginnen. Darüber hinaus können diese Softwareanwendungen für die Validierung von Messungen eingesetzt werden, indem die Ergebnisse der Simulation mit den tatsächlich gemessenen Werten verglichen werden. Durch diesen Vergleich können Abweichungen und Fehlerursachen identifiziert und behoben werden, um die Genauigkeit der Schaltung zu verbessern. Zusätzlich zur Validierung von Messungen können LTspice und Matlab auch für die Vorhersage von Schaltungseigenschaften verwendet werden. Durch die Durchführung von Simulationen und die Analyse der Ergebnisse können Ingenieure potenzielle Probleme oder Engpässe in der Schaltung identifizieren und optimieren, bevor sie mit der Hardware-Implementierung beginnen.

Worauf es bei Messgeräten ankommt

In der Audiotechnik gibt es viele verschiedene Messgeräte, die verwendet werden, um die Qualität und Leistung von Audiogeräten und -systemen zu überwachen und zu verbessern. Unsere Unternehmensphilosophie ist es den Kunden das bestmögliche Ergebnis zu liefern. Aus diesem Grund haben wir uns auf die Messung und Verbesserung von Schaltungen spezialisiert und nutzen nur hochwertigste Messgeräte die hochfrequentiert überprüft werden, um genaue Daten zur Verbesserung der Anwendung zu ermöglichen. Es werden eine Reihe von Meßinstrumenten genutzt, das Nonplusultra der Messgeräte werden in Folge erklärt.

Qualitative Messgeräte

In der Messtechnik ist die Verwendung hochwertiger Messgeräte von entscheidender Bedeutung, insbesondere für die Überwachung und Analyse von Niederfrequenzverstärkern. Die Genauigkeit von Messwerten beeinflusst direkt die Qualität des Verstärkers und die Effektivität seiner Funktionsweise. Daher ist es wichtig, Messgeräte von höchster Qualität zu nutzen, um sicherzustellen, dass die Messungen korrekt und verlässlich sind. Ein Niederfrequenzverstärker kann in vielen Anwendungsbereichen eingesetzt werden, wie beispielsweise in der Übertragungstechnik, in der Nachrichtentechnik oder im Bereich der Ton- und Klangverstärkung. Daher ist es wichtig, dass die Messgeräte, die zur Überwachung dieser Verstärker verwendet werden, den hohen Anforderungen gerecht werden, die an sie gestellt werden. Ein gutes Messgerät muss in der Lage sein, Messwerte mit hoher Genauigkeit und Verlässlichkeit zu liefern. Dies kann nur erreicht werden, wenn das Gerät mit hochwertigen Komponenten ausgestattet ist und über eine präzise Kalibrierung verfügt. Außerdem müssen die Messgeräte einfach zu bedienen sein und eine gute Übersicht über die Messergebnisse liefern. Durch die Verwendung hochwertiger Messgeräte können die Niederfrequenzverstärker überwacht werden, um sicherzustellen, dass sie korrekt funktionieren und eine optimale Leistung liefern. Dies ist besonders wichtig, wenn es darum geht, Störungen oder Fehler im System zu identifizieren und zu beheben. Eine präzise Messung kann auch dazu beitragen, dass die Effizienz des Verstärkers verbessert wird und eine höhere Qualität der Übertragung gewährleistet wird. Als Faustregel gilt, dass das Messgerät mindestens 10-mal genauer ist als das Messergebnis, das man erzielen möchte. Dies ist aufgrund verschiedener Faktoren wichtig, die im Folgenden näher erläutert werden.

Erstens müssen in vielen Anwendungen, insbesondere in der Elektronik, sehr genaue Messergebnisse erzielt werden, um einwandfreie und zuverlässige Funktionen zu gewährleisten. Ein Beispiel hierfür kann die Überwachung der Spannungs- und Stromstärken in einem elektrischen Netzwerk sein. Hier müssen sehr genaue Messwerte erhoben werden, um mögliche Überschreitungen der zulässigen Werte frühzeitig erkennen und verhindern zu können. Zweitens beeinflussen die Messgeräte selbst den Messprozess. Dies kann durch unerwünschte elektromagnetische Störungen oder durch eine ungenaue Kalibrierung des Messgeräts verursacht werden. Daher müssen die Messgeräte sehr genau kalibriert sein

und eine hohe Impedanz haben, um den Messprozess möglichst wenig zu beeinflussen. Drittens müssen Messergebnisse oft über längere Zeiträume hinweg aufgezeichnet und ausgewertet werden, um Trends und Veränderungen erkennen zu können. Hier ist es wichtig, dass die Messgeräte eine hohe Genauigkeit über einen längeren Zeitraum aufrechterhalten können, um verlässliche Ergebnisse zu erzielen. Viertens kann eine nicht ausreichende Messgenauigkeit zu Fehlinterpretationen und falschen Entscheidungen führen, die wiederum zu Fehlfunktionen und Kosten führen können. Daher ist es wichtig, dass die Messgeräte eine hohe Genauigkeit aufweisen, um verlässliche und korrekte Messergebnisse zu erzielen.

Billige Messgeräte können nicht die gleiche Genauigkeit und Präzision wie hochwertige Messgeräte bieten, was es unmöglich macht, hochwertige Geräte genau zu messen. Einer der wichtigsten Gründe, warum billige Messtechnik unzureichend ist, ist ihre mangelnde Empfindlichkeit. Hochwertige Messgeräte sind so konzipiert, dass sie kleine Messabweichungen erfassen und korrigieren können, während billige Geräte oft nicht in der Lage sind, solche Abweichungen zu erkennen. Dies bedeutet, dass bei der Verwendung von billiger Messtechnik ungenaue Messergebnisse erzeugt werden, was zu falschen Schlussfolgerungen und Entscheidungen führen kann. Ein weiterer wichtiger Faktor ist die Störfestigkeit. Hochwertige Messgeräte sind oft gegen elektromagnetische Störungen geschützt, was bedeutet, dass sie nicht von externen Einflüssen wie elektromagnetischen Störungen beeinflusst werden. Billige Messgeräte hingegen sind oft anfälliger für solche Störungen und können daher ungenaue Messergebnisse liefern. Ein weiterer wichtiger Faktor ist die Kalibrierung. Hochwertige Messgeräte werden regelmäßig kalibriert, um sicherzustellen, dass sie genaue Messergebnisse liefern. Billige Messgeräte hingegen werden oft nicht kalibriert oder werden nur selten kalibriert, was zu ungenauen Messergebnissen führen kann.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Verwendung von billiger Messtechnik bei der Messung von hochwertigen Geräten ein großes Risiko darstellt, da sie ungenaue Messergebnisse liefern kann, die zu falschen Entscheidungen und Schlussfolgerungen führen können. Daher ist es wichtig, bei der Messung von Geräten hochwertige Messgeräte zu nutzen, um genaue und zuverlässige Messergebnisse zu erhalten.

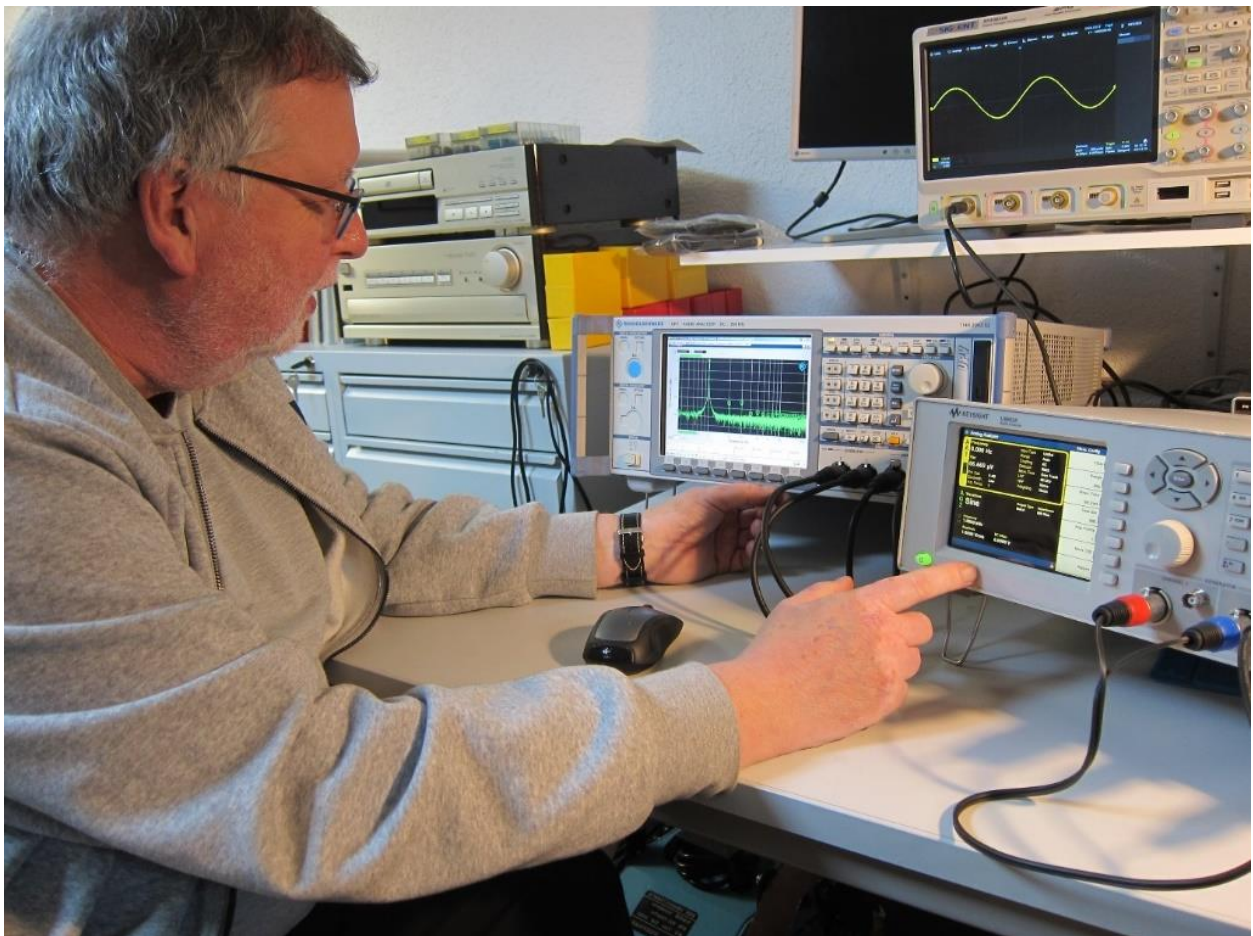
Kalibrierung von Messgeräten

Die Kalibrierung von Messgeräten ist ein wichtiger Bestandteil jeder Messtechnik und insbesondere für die Messung von Niederfrequenzverstärkern von großer Bedeutung. Es handelt sich dabei um einen Prozess, bei dem ein Messgerät gegen eine bekannte Referenz überprüft und, falls erforderlich, angepasst wird, um seine Genauigkeit sicherzustellen. Dies ist wichtig, da Messfehler, die auf ungenaue Messgeräte zurückzuführen sind, zu falschen Ergebnissen führen können, was zu Fehleinschätzungen und Entscheidungen auf Basis fehlerhafter Informationen führen kann. Eine regelmäßige Kalibrierung ist also von entscheidender Bedeutung für die Zuverlässigkeit der Messergebnisse und für die Überprüfung der Leistung und Genauigkeit von Messgeräten. Es ist auch eine Anforderung, die in vielen Branchen und Anwendungen gesetzlich vorgeschrieben ist.

Die Kalibrierung von Messgeräten für Niederfrequenzverstärker ist eine anspruchsvolle Aufgabe, die hohe Präzision und Sorgfalt erfordert. Daher sollte sie nur von qualifizierten Experten durchgeführt werden, die über die notwendigen Fähigkeiten und Geräte verfügen, um genaue Messergebnisse zu gewährleisten. Während der Kalibrierung werden verschiedene Verfahren und Techniken angewendet, um die Leistung und Genauigkeit eines Messgeräts zu überprüfen. Dies kann die Verwendung von Standardreferenzen, Vergleichsmessungen, Stichproben und anderen Verfahren einschließen.

Es ist wichtig zu beachten, dass Messgeräte sich im Laufe der Zeit verändern können, insbesondere durch den Einsatz und das Alter. Daher ist es ratsam, Messgeräte regelmäßig zu kalibrieren, um sicherzustellen, dass sie immer die erforderliche Genauigkeit aufweisen. Insgesamt ist die Kalibrierung von Messgeräten für Niederfrequenzverstärker ein wichtiger Aspekt jeder Messtechnik und ein integraler Bestandteil jedes technischen Handbuchs zu diesem Thema. Es ist unerlässlich, um sicherzustellen, dass Messergebnisse genau und zuverlässig sind.

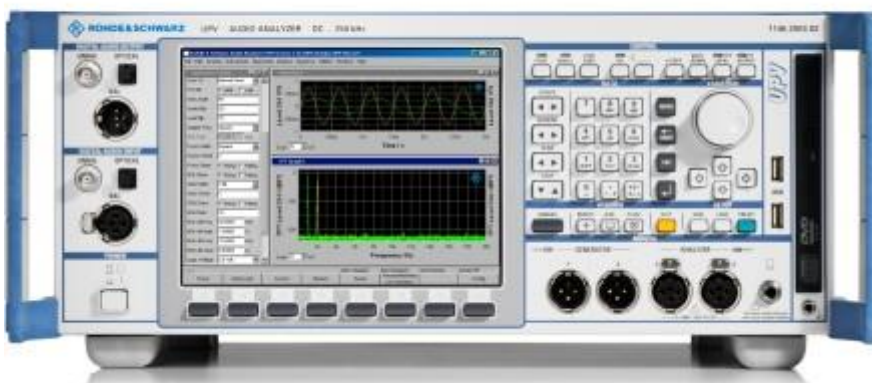
Ausstattung



Das BUROSCH NF Labor ist mit hochwertigen Messgeräten ausgestattet, die es uns ermöglichen, sehr rauscharme und klirrarmer Messungen durchzuführen. Unsere professionelle Ausrüstung und unser Engagement, diese Normen einzuhalten, gewährleisten die Qualität und Genauigkeit unserer Messungen.



Audio Precision ist der weltweit leistungsstärkste Audio-Analysator. Der Audio Precision 2722 wurde für Audio-Ingenieure entwickelt, die die höchste Leistung, geringste Verzerrung und größte Genauigkeit benötigen. Im BUROSCH NF Labor haben wir den Audio Analyser AP2722 mit verschiedenen Optionen wie THD, IM, W&F und Burst zur Verfügung. Mit diesem hochmodernen Gerät sind wir in der Lage, Audiosignale mit außerordentlicher Präzision zu analysieren und die Qualität von Audiokomponenten zu evaluieren. Zusätzlich haben wir eine breite Palette an Messequipment anderer renommierter Hersteller, die uns dabei helfen, noch detailliertere und präzisere Analysen durchzuführen.



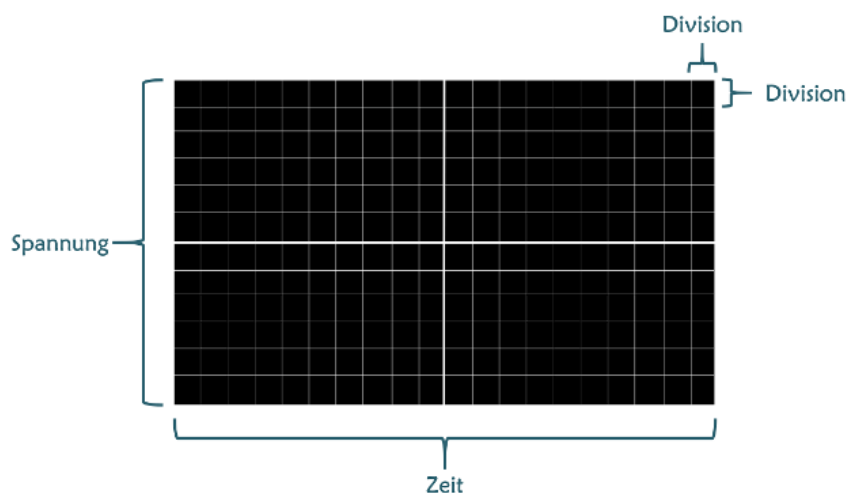
Rohde & Schwarz ist ein deutsches Unternehmen, das hochwertige Elektronik-Messgeräte und -Systeme herstellt. Der Audio Analyser UPV ist eines ihrer Produkte und wird im Buroschesch NF Labor eingesetzt, um verschiedene Audio-Parameter zu messen und zu analysieren. Mit verschiedenen Optionen, wie THD (Total Harmonic Distortion), IM (Intermodulation) und DIM (Distortion Intermodulation), kann das Gerät sehr genaue

Messungen von Störungen und Verzerrungen im Audiosignal durchführen. Die Twin Tone Analog-Option ermöglicht es, zwei separate analoge Tonfrequenzen zu analysieren und deren Interaktionen zu untersuchen. Der Audio Analyzer UPV ist ein leistungsstarkes und präzises Messgerät, das in vielen Bereichen der Audio-Entwicklung und -Prüfung verwendet wird.

Es werden eine Reihe von Messungen durchgeführt, um verschiedene Aspekte der Audioqualität zu prüfen. Diese Messungen werden gemäß den Empfehlungen von führenden Herstellern von Messgeräten, wie Audio Precision, Rohde & Schwarz und Keysight, durchgeführt. Zu den Messungen, die ich durchführe, gehören die Burst-Messung zur Leistungsmessung, der Dämpfungsfaktor, das FFT-Spektrum zur Klirranalyse, die Kanaltrennung, die Verstärkung über der Frequenz, das Klirrspektrum, der Klirrfaktor über der Frequenz, der Klirrfaktor über dem Pegel, der Rauschpegel über der Frequenz, THD+N über Frequenz / Pegel, das Eigenrauschen am Ausgang, Intermodulationsverzerrungen (IMD/DIM) und Twin Tone Messungen. Ich führe auch Wow und Flutter Messungen für Plattenspieler und analoge Aufzeichnungsgeräte durch.

Oszilloskop

Das Oszilloskop ist wie die Angel für den Fischer oder der Hammer für den Tischler. Er ist für gesamten Elektronikbereich inklusive der Audiotechnik nicht weg zu denken und von ständigen gebrauch. Es gibt dem Benutzer die Möglichkeit, die Eigenschaften von Signalen wie Amplitude, Frequenz und Phasenlage zu verstehen und zu messen. Es besteht aus einem Bildschirm, auf dem elektrische Signale in Form von Wellenformen dargestellt werden, sowie einem Steuersystem, das die Darstellung der Signale auf dem Bildschirm steuert. Im Gegensatz zu anderen Messinstrumenten wie Multimetern, die Digitalwerte anzeigen, sind Oszilloskope in der Lage, Spannungsverläufe über die Zeit aufzunehmen und auf einem Bildschirm darzustellen. Diese Instrumente werden hauptsächlich in der Elektronik genutzt und sind besonders nützlich, um Probleme in elektrischen Schaltungen zu diagnostizieren. Moderne Oszilloskope sind digitale Speicheroszilloskope, auch DSO genannt. Analoge Oszilloskope mit Röhrenanzeigen werden nicht mehr verwendet. Der Bildschirm eines DSO ist in Divisionen unterteilt, die eine Skala für die Zeit (x-Achse) und die Spannung (y-Achse) enthalten. Diese Divisionen können für feinere oder grobere Messungen eingestellt werden. Der Tastkopf ist ein Teil des Oszilloskops, der an einem Messkanal befestigt wird und verwendet wird, um das Oszilloskop mit dem zu testenden Objekt oder der zu messenden Schaltung zu verbinden. Sie besitzen in der Regel zwei bis vier Messkanäle über die man aktuelle Geschehnisse der Schaltung messen und somit visuell auf dem Bildschirm sehen kann.



Verwendung

Es gibt viele verschiedene Möglichkeiten, das Oszilloskop zu verwenden. Diese reichen von der Messung von periodischen Spannungssignalen über Einzelmessungen bis hin zur Messung von Bussignalen oder Strömstärkeverläufen mithilfe einer Strommesszange. Es wird nur kurz darauf eingegangen und wir speziiellern uns im folgenden Text auf eine einfache Messung eines periodischen Signals, bei der keine externe Schaltung erforderlichlich

ist. Auf diese Weise können Sie sicher Ihre erste Messung durchführen und gleichzeitig viele der oben beschriebenen Bedienelemente des Oszilloskops kennenlernen.

Bevor wir mit der tatsächlichen Messung fortfahren, werden wir kurz die wichtigsten Eigenschaften eines passiven Tastkopfs erläutern. Dieser Typ von Tastkopf wird "passiv" genannt, da er keine eigene Energiequelle hat und nur einen passiven Spannungsteiler mit dem Eingangswiderstand des Oszilloskops bildet. Der Tastkopf hat zwei Anschlüsse:



einen Messhaken, der an den Punkt mit der zu messenden Spannung angebracht wird, und eine Masseklemme, die an die Masse der zu messenden Schaltung angeschlossen wird. Viele Tastköpfe haben abnehmbare Messklemmen, unter denen sich eine Messspitze befindet, die verwendet werden kann, wenn der zu messende Punkt schwer zugänglich ist oder keine Möglichkeit zum Anschluss bietet. Der Tastkopf wird über einen sogenannten BNC-Stecker mit dem Oszilloskop verbunden. Viele passive Tastköpfe haben auch einen Schalter, mit dem man das Teilverhältnis (genauer gesagt die Signaldämpfung) einstellen kann, zum Beispiel x1 oder x10. Für die meisten Messungen wird eine Dämpfung des Signals um den Faktor 10 empfohlen, was der x10-Einstellung am Tastkopf entspricht.

Praktischer Messdurchgang

Bevor wir mit der Messung beginnen, gibt es einige Vorbereitungen zu treffen:

- Schließen Sie den Tastkopf an das Oszilloskop (BNC-Buchse Kanal 1) an.
- Schließen Sie die Masseklemme und die Messklemme an die beiden Anschlüsse rechts unten am Oszilloskop an, wie im Bild dargestellt. Normalerweise dienen diese Anschlüsse der Kalibrierung des Tastkopfs, aber sie eignen sich auch hervorragend zur Durchführung der ersten Messung und zum Kennenlernen des Oszilloskops.
- Aktivieren Sie den Kanal, an den der Tastkopf angeschlossen ist (drücken Sie die entsprechende Taste, z. B. CH1 für Kanal 1).
- Stellen Sie das richtige Teilverhältnis am Oszilloskop ein (x10, kann in der Regel über die Menüknöpfe direkt neben dem Bildschirm vorgenommen werden).

- Stellen Sie die horizontale Achse ein: Sie sollten einen Wert für die Zeit / Division einstellen, der es ermöglicht, einen sinnvollen Ausschnitt des Signals darzustellen. Beim Rechtecksignal, das wir messen wollen, macht es Sinn, zwei bis drei Perioden auf dem Bildschirm darzustellen.
- Stellen Sie die vertikale Achse ein: Sie sollten einen Wert für Volt / Division einstellen, der es ermöglicht, den höchsten und den niedrigsten Wert auf dem Bildschirm zu sehen.
- Trigger: Stellen Sie den Trigger-Knopf so ein, dass die horizontale Linie der Triggerschwelle innerhalb des Signals liegt. Auf diese Weise erhalten Sie ein stilles Bild und der angezeigte Zeitverlauf kann sorgfältig analysiert werden. Wenn nötig, stellen Sie im Trigger-Menü den Triggermodus "normal" ein und setzen Sie das Trigger-Kriterium auf "steigende Flanke".

Sie sollten nun ein stilles Rechtecksignal auf dem Bildschirm sehen. Herzlichen Glückwunsch, Sie haben gerade Ihre erste erfolgreiche Oszilloskop-Messung durchgeführt!

Nakamichi Audiomessgerät T-100



Für den professionellen Audioservice seiner Produkte lieferte ursprünglich die Firma Nakamichi im Jahr 1985 an seine Werksniederlassungen zuerst den Audio Analyzer T-100. Nach der großen positiven Resonanz, lieferte Nakamichi auch ergänzend ein Computerinterface zum T-100, um die gemessenen Daten auch auf einem Computer zu dokumentieren.

Optimal z.B. zur Qualitätskontrolle bzw. zum Einmessen von Tonbandgeräten und Casseettenrecordern, Klirrfaktormessung von Verstärkern sowie - selbstverständlich auch zur Geschwindigkeitskontrolle von Plattenspielern.

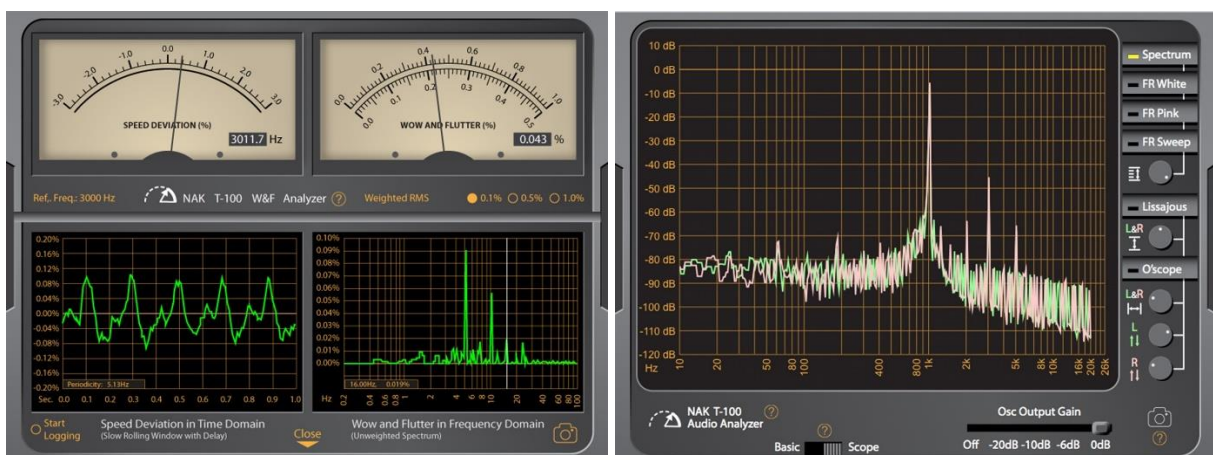
Zusätzlich wurde eine separate Skala geliefert, um die Ausgangsleistung von Verstärkern zu messen. Leider wurde diese Ausgangsleistung nicht unter Belastung der zu prüfenden Verstärkern gemessen. Diese wichtige Messfunktion der massefreie Leistungsmessung erfüllen nur die Burosch Audiomessgeräte NF-50, NF-100, NF-200

NAKT100 Audiosoftware

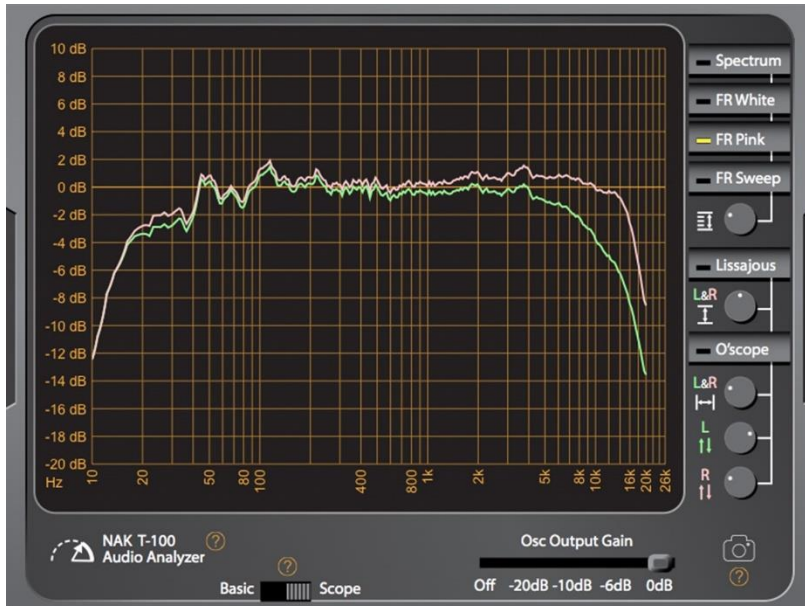
Die Software NAKT100 ist eine moderne und umfassende Anwendung zur Überprüfung analoger Audiogeräte mit Hilfe eines Computers, die auf dem Nakamichi Audiomessgerät T-100 basiert. Die Software ist in der Lage mehrere herkömmliche Audio-Messungen in einem einzigen Setup durchzuführen, ohne dass ein Stapel physischer Instrumente ausgetauscht werden muss. Dies macht sie zu einem agilen Werkzeug, um schnell zu überprüfen, ob ein bestimmtes Audio-Gerät seinen Spezifikationen entspricht. Die Anwendung ist auch eine kosteneffektive Lösung für die Durchführung allgemeiner Audio-Messungen auf dem Desktop während eines Service-/Reparatur-/Modifikationsprojekts.



Die Software verfügt über einen modernen DSP-Kern mit traditionellem Analog-Design. Sie folgt der Design-Philosophie des "Skeuomorphismus", um eine zeitgemäße Bedienerfahrung bei der Arbeit mit analogen Audio-Geräten zu bieten.



Obwohl die Software rein aus dem digitalen Bereich arbeitet und nicht den analogen Messprinzipien folgen muss, bietet sie dennoch Messungen mit typischen Toleranzen über verschiedene Typen von Testinstrumenten. Die Anwendung ist optimiert für die Qualitätskontrolle, das Einmessen von Tonbandgeräten und Cassettendecks sowie für die Klirrfaktormessung von Verstärkern. Selbstverständlich kann sie auch für die Geschwindigkeitskontrolle von Plattenspielern verwendet werden.



Obwohl das UI-Panel neuen Benutzern zunächst unbekannt sein kann, wurde die gleiche Ergonomie des alten realen Nakamichi T-100 im direkten Vergleich zur Software immer wieder gelobt.

Klirrfaktor-Messgerät | U8903A

Klirrfaktor Messgeräte sind ein wichtiger Teil der Messtechnik von Niederfrequenzverstärkern. Der Klirrfaktor (engl. Total Harmonic Distortion, THD) ist ein Maß für die Qualität einer elektrischen Übertragung und gibt an, wie viel Störung im Vergleich zum ursprünglichen Signal vorliegt. Ein niedriger Klirrfaktor ist wünschenswert, da ein hoher Klirrfaktor die Klangqualität beeinträchtigen und Verzerrungen verursachen kann.

Klirrfaktor Messgeräte arbeiten meistens mit einem Frequenzgenerator und einem Messverstärker, um ein Testsignal zu erzeugen und das Ausgangssignal des Verstärkers zu messen. Die Messung erfolgt in der Regel in Verhältnis zur Ausgangsleistung des Verstärkers oder in dB. Einige Klirrfaktor Messgeräte sind auch in der Lage, nicht-lineare Verzerrungen zu messen und zu analysieren.

Es gibt verschiedene Methoden zur Messung des Klirrfaktors, die jeweils ihre Vor- und Nachteile haben. Die häufigsten Methoden sind die "Fast Fourier Transformation" (FFT) und die "Swept Sine" Methode. Die FFT Methode ist schnell und einfach, erfordert jedoch eine gewisse Stromstärke, um eine akkurate Messung zu garantieren. Die Swept Sine Methode ist präziser, aber aufwändiger und langsamer.

Klirrfaktor Messgeräte sind für verschiedene Anwendungen verfügbar, wie z.B. für den Einsatz in Laboren, bei der Entwicklung von Verstärkern und Lautsprechern oder bei der Inbetriebnahme von Klanganlagen. Es ist wichtig, dass das gewählte Messgerät den Anforderungen des jeweiligen Anwendungsbereichs entspricht. Ein gutes Klirrfaktor Messgerät sollte genau, zuverlässig und einfach zu bedienen sein. Ein hochwertiger Messverstärker und ein stabiler Frequenzgenerator sind wichtige Komponenten eines guten Klirrfaktor Messgeräts. Eine benutzerfreundliche Bedienung und eine einfache Datenanalyse können bei der Bewertung der Messergebnisse hilfreich sein. Hierbei greift unser Labor gerne auf den Audio Analyzer U8903A zurück. Eine Audioanalyse ist ein Verfahren, bei dem ein Audiosignal in seine Bestandteile zerlegt wird, um Informationen über das Signal zu gewinnen. Dies kann zum Beispiel dazu genutzt werden, die Frequenzkomponenten eines Audiosignals zu bestimmen, um die Klangfarbe eines Instruments oder einer Stimme zu analysieren. Es kann auch dazu genutzt werden, die Dynamik eines Audiosignals zu analysieren, um zum Beispiel die Lautstärkeverteilung in einem Musikstück zu bestimmen.

Audioanalyse-Tools gibt es in vielen Formen, von einfachen Freeware-Anwendungen bis hin zu professionellen Tools, die in Studios und bei der Musikproduktion eingesetzt werden. Einige dieser Tools bieten visuelle Darstellungen des Audiosignals, wie Spektrogramme oder Oszilloskope, die es ermöglichen, das Signal in Echtzeit zu analysieren und zu verstehen. Ein weiterer Einsatzbereich von Audioanalyse ist die Sprachverarbeitung. Hier werden Audiosignale analysiert, um zum Beispiel die Sprache einer Person zu bestimmen oder ihre Aussprache zu verbessern. Auch bei der Erstellung von Übersetzungssystemen werden Audioanalyse-Techniken eingesetzt, um das gesprochene Wort in Text umzuwandeln.

Gehäuse:



Frontale Ansicht:



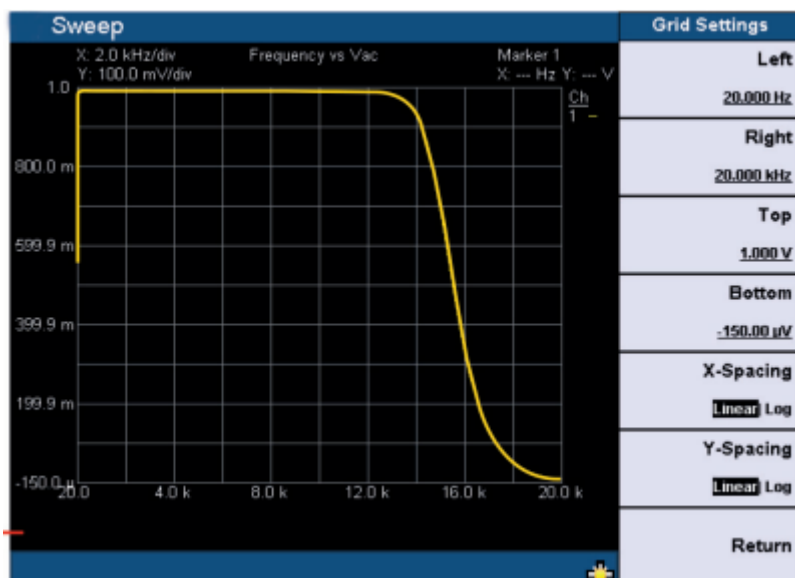
Hintere Ansicht:



Es ist bekannt, dass das menschliche Ohr in der Lage ist, den Klangqualität von Mono-, Stereo- und Surround-Audio zu beurteilen. Allerdings kann es eine Herausforderung sein, die Klangqualität zu quantifizieren. Das U8903A bietet die Flexibilität, sowohl analoge als auch digitale Audioleistung zu messen und zu quantifizieren. Dies kann für die Entwicklung von analog- und digitalen IC-Komponenten und -Modulen, für drahtloses Audio und für die Entwicklung von Consumer-Audioprodukten nützlich sein. Eine genaue Messung der Klangqualität ist wichtig, um sicherzustellen, dass Audiosysteme ihre bestmögliche Leistung erbringen und ein hervorragendes Hörerlebnis bieten. Das U8903A ist ein All-in-One-Gerät, das sowohl analoge als auch digitale Audio-Messfunktionen enthält. Dadurch können komplexe Messungen schnell und bequem durchgeführt werden. Es vereint die Funktionalität eines Klirrfaktormessgeräts sowie Verzerrungsmessgeräts, SINAD-Messgeräts, Frequenz-Zählers, Wechselspannungsmessgeräts, Gleichspannungsmessgeräts und FFT-Analysators mit einer Low-Distortion-Audioquelle. Das U8903A audio analyzer bietet flexible Möglichkeiten. Mit der Option für AES3/SPDIF oder DSI-Standard-Audioformate oder beides in einer bequemen Zwei-in-Einer-Karte können Sie Ihr Gerät anpassen. Es ermöglicht es Ihnen, eine Vielzahl aktueller Komponenten und Anwendungen zu testen, da es einen Logikspannungsbereich von 1,2 V bis 3,3 V (DSI) hat. Mit mehreren DSI-Formaten können Sie eine breite Palette an Anwendungen analysieren, darunter I2S, Left Justified, Right Justified und DSP. Mit einem einfachen Knopfdruck können Sie Generator-, Analysator-, Graphen- und Sweep-Modi auswählen. Außerdem können Sie Messungen im DC-Bereich sowie im Bereich von 10 Hz bis 100 kHz durchführen. Das U8903A Audio-Analysator bietet flexible digitale Audioschnittstellenoptionen, einschließlich AES3/SPDIF und DSI-Standard-Audiostandards oder beides in einer praktischen Karte mit zwei Funktionen. Es verfügt über einen Logikspannungsbereich von 1,2 V bis 3,3 V (DSI), was das Testen verschiedener Komponenten und Anwendungen ermöglicht. Es kann auch eine breite Palette an Anwendungen mit mehreren DSI-Formaten analysieren, darunter I2S, Left Justified, Right Justified und DSP. Die Funktionen von Generator, Analysator, Graph und Sweep-Modus können mit einem einfachen Knopfdruck ausgewählt werden. Messungen können sowohl im DC-Bereich als auch im Bereich von 10 Hz bis 100 kHz durchgeführt

werden. Der U8903A Audio-Analyzer bietet außerdem die Möglichkeit, Signal-zu-Rausch-Verhältnisse, SINAD, IMD, DFD, THD+N-Verhältnis, THD+N-Level, Kreuzklang und mehr zu charakterisieren. Zusätzlich können Gewichtungsfunktionen, Standardfilter und benutzerdefinierte Filter angewendet werden. Mit dem Gerät können hochwertige Signale und beliebige Wellenformen stimuliert werden, und die Messergebnisse können sowohl numerisch als auch grafisch dargestellt werden. Die Verbindung zu einem PC kann über GPIB, LAN/LXI C und USB-Schnittstellen hergestellt werden. Außerdem ist es nicht erforderlich, Programme in SCPI-Befehle umzuschreiben, da ein integrierter Kompatibilitätsmodus für HP 8903B-Code verfügbar ist.

Das U8903A ist ein Messgerät, das wichtige Funktionalitäten für die Analyse von Audioverstärkern und anderen Geräten in der Audiokette bereitstellt. Es verfügt über ausgewogene und unausgewogene Ausgänge und Eingänge, sowie eine breite Auswahl an Filtern, die eine flexible Nutzung ermöglichen. Darüber hinaus bietet das Gerät eine Vielzahl von Sweep-Funktionen und flexible Datenformaten, die es befähigen, eine Vielzahl von Anforderungen in der Audioanalyse zu bewältigen. Die Datenanzeige kann individuell angepasst werden und unterstützt Messungen von Strompegel, Verzerrung und Signal-Rausch-Verhältnis. Durch seine interne Audioquelle und präzise digitale Steuerung kann es automatische geführte Messungen durchführen.



THD+N & Filter

Das U8903A ist ein fortschrittliches Messgerät, das für eine effiziente Analyse von Audio-Verstärkern und anderen Geräten in der Audiokette ausgelegt ist. Es bietet eine Vielzahl von Funktionen, wie ausgewogene und unausgewogene Eingänge und Ausgänge, eine breite Auswahl an Filtern und die Möglichkeit, benutzerdefinierte Filter hochzuladen. Der U8903A bietet eine Vielzahl von essentiellen Filtern für Transmitter- und Empfängertests. Seine CCITT-, CCIR- und C-MessgewichtungsfILTER entsprechen internationalen Standards für den Empfängertest. Für den Transmittertest bietet der siebenpolige 400 Hz Hochpassfilter eine

bessere als 40 dB Unterdrückung von Signalen bis zu 250 Hz. Dadurch können Sie den Transmitteraudioverzerrungstest auf 1% durchführen, ohne Squelchsignale zu deaktivieren.

Für noch größere Flexibilität können Benutzer benutzerdefinierte Filter anwenden, die mit Anwendungen wie MATLAB und Keysight VEE erstellt wurden. Nach dem Hochladen eines Filters über den USB-Port des U8903A kann es über eine Softkey-Auswahl auf Ihre Messungen angewendet werden. Insgesamt können bis zu drei Filter gleichzeitig verwendet werden. Dieser Analyzer ist ein wichtiges Werkzeug für jeden, der in der Audiobranche tätig ist, da er Ihnen die Möglichkeit gibt, Ihre Tests genau und zuverlässig durchzuführen.

Mit einer Reihe von Sweep-Funktionen und flexiblen Datenformaten für jede Messung ist es bereit, eine Vielzahl von anspruchsvollen Audioanwendungen anzugehen. Zusätzlich gibt Ihnen das U8903A die Flexibilität, Datendarstellungen anzupassen. Sie können beispielsweise Volt, Millivolt, dBm in 600 Ω (oder andere Widerstandswerte) oder Watt für AC-Spannungsmessungen auswählen und Prozent oder dB für Verzerrungsmessungen. Mit seiner internen Audioquelle und präziser digitaler Steuerung kann das U8903A automatische Sweep-Messungen der Frequenzantwort, Verzerrung und Signal-zu-Rauschverhältnis durchführen.

Ein besonderes Merkmal des U8903A ist die Möglichkeit, die Generatoreinfrequenz zu verriegeln. Diese Funktion ermöglicht es Anwendern, die Fundamentalfrequenz des Quellsignals festzulegen, was zu noch genaueren Messungen führt. Es ist von Vorteil, da in einigen Fällen das Signal anderer Ordnungen und Störgeräusche stärker sein kann als das tatsächliche Fundamental-Signal, was die Messgenauigkeit beeinträchtigen würde. Das U8903A ist also ein leistungsstarkes Messgerät, das Ihnen die Flexibilität bietet, Ihre Messungen an Ihre spezifischen Bedürfnisse anzupassen, um eine genaue Analyse Ihrer Audioausrüstung zu gewährleisten.

Ohrkurvenfilter

Ohrkurvenfilter dienen dazu, elektrische Signale in Übereinstimmung mit dem menschlichen Hörvermögen zu formen. Dies ermöglicht eine realistische Wiedergabe von Klang und Ton, die dem menschlichen Ohr angemessen ist. Das Funktionsprinzip eines Ohrkurvenfilters basiert auf der Modellierung des menschlichen Hörvermögens. Hierbei wird davon ausgegangen, dass das menschliche Ohr bestimmte Frequenzen unterschiedlich stark wahrnimmt. Um eine realistische Wiedergabe von Klang und Ton zu ermöglichen, müssen elektrische Signale daher in Übereinstimmung mit diesen Frequenzen moduliert werden. Ohrkurvenfilter können auf unterschiedliche Weise implementiert werden. Eine Möglichkeit ist die Verwendung eines digitalen Signalprozessors (DSP), der das elektrische Signal in Echtzeit verarbeitet und moduliert. Eine andere Möglichkeit ist die Verwendung analoger Filter, die das elektrische Signal vor der Verarbeitung durch den Verstärker formen. Sie ermöglichen es Klang und Ton realistischer und angemessen für das menschliche Ohr wiederzugeben. Hierdurch kann eine höhere Qualität der Tonwiedergabe erreicht werden, die dem menschlichen Ohr entspricht. Darüber hinaus bieten Ohrkurvenfilter die Möglichkeit, das elektrische Signal zu optimieren und zu verfeinern, um eine höhere Klangqualität zu erreichen.

Elektroakustische Übertragungsanlagen können unerwünschte Geräusche erzeugen, die als lästig empfunden werden können. Da jede Störspannung eine andere Frequenz und Amplitude haben kann, ist es wichtig, nicht nur den Effektivwert zu messen, sondern auch eine Bewertung vorzunehmen. Die unbeurteilte Störspannung wird als Fremdspannung bezeichnet und resultiert aus Stör- und Rauschspannungen, die ein nicht gesteuerter Verstärker produzieren kann. Diese setzen sich aus unterschiedlichen Quellen wie Netzbrummen und Rauschen zusammen. Bei der Messung der Fremdspannung werden auch Anteile außerhalb des Hörbereichs erfasst, was zu Ergebnissen führen kann, die nicht mit dem subjektiven Höreindruck übereinstimmen, da wir nicht alle Frequenzen und Störungen gleich stark wahrnehmen. Wenn die Fremdspannungen so gemessen werden, dass sie dem Höreindruck entsprechen, nennen wir sie Geräuschspannungen. Diese Messungen erfolgen mithilfe eines Ohrkurvenfilters und berücksichtigen den subjektiven Eindruck und die Störwirkung von Geräuschen. Diese Bewertungen werden in Kurven festgehalten und sind für die Lautstärkemessungen nach DIN 5045 und für die Messung von Geräuschspannungen nach DIN 45 405 empfohlen. Die Messung beschränkt sich auf Frequenzen im Hörbereich von 31,5 Hz bis 20 kHz und die Bewertung der Geräuschspannung sollte dem Frequenz- und Amplitudenverlauf der Ohrkurve gemäß DIN 45 405 entsprechen. Um Geräuschspannungen genauer messen zu können, werden spezielle Ohrkurvenfilter verwendet. Diese Filter befinden sich zwischen dem Ausgang des Verstärkers und dem Eingang des Messgeräts, dem Nf-Millivoltmeter. Dieses Gerät kann dann den Effektivwert oder Spitzenwert der Fremdspannung oder Geräuschspannungen angeschlossener Tonquellen anzeigen. Die Filterkurven können über Tasten auf dem Ohrkurvenfilter ausgewählt werden.

Es ist wichtig zu beachten, dass nur Frequenzen im Hörbereich von 31,5 Hz bis 20 kHz interessant sind, da nur diese Frequenzen vom menschlichen Ohr wahrgenommen werden können. Daher müssen die Messungen der Geräuschspannungen dem Frequenz- und Amplitudenverlauf der Ohrkurve entsprechen, wie sie in den DIN-Normen 45 405 beschrieben werden. Ein wichtiger Faktor bei der Messung von Geräuschspannungen ist die Kalibrierung des Ohrkurvenfilters und des Nf-Millivoltmeters. Die Kalibrierung muss regelmäßig durchgeführt werden, um genaue Ergebnisse zu garantieren. Außerdem müssen die Messbedingungen kontrolliert werden, um sicherzustellen, dass sie den Anforderungen entsprechen, die in den DIN-Normen definiert sind.

Um die Geräuschspannungen in einem komplexen System zu reduzieren, gibt es verschiedene Methoden, die eingesetzt werden können. Eine Möglichkeit ist die Verwendung von Filterkreisen, die Störspannungen aus dem Signal herausfiltern, bevor sie den Verstärker erreichen. Eine weitere Möglichkeit ist die Verwendung von symmetrischen Übertragungssystemen, die Störspannungen reduzieren, die durch unsymmetrische Übertragung verursacht werden. Außerdem kann die Verwendung von Shielding-Techniken helfen, das Eindringen von Störspannungen in das System zu reduzieren.

Insgesamt ist es wichtig, dass die Messung von Geräuschspannungen in einer sorgfältigen und präzisen Weise durchgeführt wird, um genaue Ergebnisse zu erzielen und um sicherzustellen, dass Störspannungen im System auf ein akzeptables Niveau reduziert werden.

Nf-Millivoltmeter | Sennheiser UPM550-1



Ein Niederfrequenz-Millivoltmeter wie das Sennheiser UPM550-1 (NF-Millivoltmeter) ist ein Gerät, das entwickelt wurde, um Messungen bei Niederfrequenzsignalen durchzuführen. Es ist ein wichtiger Bestandteil der Messtechnik und wird in vielen verschiedenen Anwendungen eingesetzt, beispielsweise bei der Überwachung und Überprüfung elektrischer Schaltkreise und Anlagen. Ein NF-Millivoltmeter ist in der Lage, kleine elektrische Spannungen präzise zu messen und anzuzeigen. Die Genauigkeit der Messergebnisse hängt direkt von der Genauigkeit des verwendeten Nf-Millivoltmeters und die darauf basierende Behandlung ab. Ein Nf-Millivoltmeter ist ein spezielles Messgerät, das die kleinen Millivolt-Signale, die bei der Verstärkung von Niederfrequenzsignalen erzeugt werden, genau messen kann. Es verfügt über eine hohe Empfindlichkeit und eine geringe Messunsicherheit, um die Genauigkeit der Messergebnisse zu gewährleisten. Dieses Handbuch bietet eine ausführliche Einführung in die Funktionsweise von Nf-Millivoltmetern und beschreibt die wichtigsten Funktionen und Merkmale, die bei der Wahl eines geeigneten Nf-Millivoltmeters berücksichtigt werden sollten. Zudem werden die wichtigsten Anforderungen an die Kalibrierung und Wartung dieser Messgeräte besprochen. Es ist wichtig zu beachten, dass die Wahl des richtigen Nf-Millivoltmeters von verschiedenen Faktoren abhängt, einschließlich des zu messenden Signaltyps, des Messbereichs und der gewünschten Genauigkeit. Daher sollten Anwender

sorgfältig prüfen, welche Anforderungen an ihr Messgerät gestellt werden, um eine optimale Leistung und Zuverlässigkeit zu gewährleisten.

Verstärker sollen in der Lage sein, genug Leistung bereitzustellen, um Verzerrungen zu minimieren, wenn sie voll ausgesteuert sind. Es ist schwierig, die Leistung des Verstärkers mit normalen Messgeräten zu erfassen. Daher ist es wichtig, die richtigen Messinstrumente zu verwenden, um den Service wirtschaftlicher zu gestalten. Eine Möglichkeit, die Leistung eines Verstärkers zu messen, ist das Nf-Wattmeter, das gemäß DIN 45 500 schnell und einfach eingesetzt werden kann. Ein Unternehmen namens Klein + Hummel verkauft das WM 10 Nf-Wattmeter, das Verstärkerausgangsleistungen bei Impedanzen von 4, 8 und 16 Ohm in den Meßbereichen 5 W, 50 W und 150 W misst. Die Verstärkerleistung wird bei ausgeschalteten Lautsprechern gemessen, um Lärmbelästigung zu vermeiden. Das Nf-Wattmeter enthält Ersatzwiderstände, um den richtigen Verstärkerabschluss sicherzustellen. Da diese Widerstände im Eingang des Nf-Wattmeters liegen, werden sie automatisch beim Anschließen des Messkabels am Verstärker verwendet.

Merkmale

Eines der wichtigsten Merkmale eines NF-Millivoltmeters ist seine Genauigkeit. Diese Messgeräte müssen in der Lage sein, sehr kleine Spannungen zu erfassen und anzuzeigen, wodurch eine hohe Genauigkeit erforderlich ist. Ein weiteres wichtiges Merkmal ist die Bandbreite, das heißt, die maximale Frequenz, bei der das Gerät noch in der Lage ist, Messungen vorzunehmen. Hierbei sollte man darauf achten, dass die Bandbreite für die Anwendung ausreichend ist. Ein weiteres wichtiges Merkmal ist die Impedanz des NF-Millivoltmeters. Diese beschreibt, wie sehr sich das Messgerät gegen eine Last widersetzt. Eine niedrige Impedanz ist wichtig, um genaue Messungen durchführen zu können, ohne dass das Signal beeinflusst wird. Ein NF-Millivoltmeter sollte auch über eine gute Noise-Performance verfügen, um Interferenzen zu vermeiden und eine klare Messung zu gewährleisten. Ein weiteres wichtiges Merkmal ist die Anzeige des NF-Millivoltmeters. Ein gut lesbares Display ist wichtig, um die Messergebnisse einfach ablesen zu können. Ein großes Display oder eine Hintergrundbeleuchtung kann hier hilfreich sein. Viele NF-Millivoltmeter verfügen auch über eine Datenaufzeichnungsfunktion, mit der Messergebnisse gespeichert werden können, um sie später auswerten zu können. Zudem sollte auf die Bandbreite geachtet werden, das heißt, die maximale Frequenz, bei der das Gerät in der Lage ist, Messungen vorzunehmen. Hier sollte man sicherstellen, dass die Bandbreite für die geplanten Messungen ausreichend ist. Eine niedrige Impedanz ist ebenfalls wichtig, um genaue Messungen durchführen zu können, ohne dass das Signal beeinflusst wird. Ein NF-Millivoltmeter sollte auch über eine gute Noise-Performance verfügen, um Interferenzen zu vermeiden und eine klare Messung zu gewährleisten. Ein weiteres wichtiges Merkmal ist die Anzeige des NF-Millivoltmeters. Ein gut lesbares Display ist hier von großer Bedeutung, um die Messergebnisse einfach ablesen zu können. Ein großes Display oder eine Hintergrundbeleuchtung kann hierbei hilfreich sein. Viele NF-Millivoltmeter verfügen auch über eine Datenaufzeichnungsfunktion, die es ermöglicht, Messergebnisse zu speichern und später auszuwerten. In Summe ist es wichtig, beim Kauf eines NF-Millivoltmeters auf die

genauen Anforderungen und die Art der Messungen zu achten, um ein Gerät zu finden, das die notwendigen Funktionen und Merkmale bereitstellt. Eine gründliche Recherche und Vergleich verschiedener Modelle können hierbei hilfreich sein.

Kalibrierung

Die Kalibrierung von NF-Millivoltmetern ist ein wichtiger Prozess, um sicherzustellen, dass das Gerät genaue Messungen liefert. Diese Messgeräte werden häufig in Anwendungen eingesetzt, die eine hohe Genauigkeit erfordern, wie beispielsweise in der Wissenschaft, Technik, Elektronik und in industriellen Prozessen. Wie es der Name schon verrät, werden Millivolt als sehr kleine Spannungen gemessen, bei der es bei einem schlecht kalibrierten Gerät schnell zu hohen Abweichungen kommt. Um eine hohe Genauigkeit zu gewährleisten, ist es notwendig, das NF-Millivoltmeter regelmäßig zu kalibrieren, um sicherzustellen, dass es den anspruchsvollen Anforderungen entspricht. Die Kalibrierung des NF-Millivoltmeters beinhaltet das Vergleichen des Messgeräts mit einem bekannten Standard, um eventuelle Abweichungen zu erkennen und zu korrigieren. Durch die regelmäßige Durchführung einer Kalibrierung kann sichergestellt werden, dass das NF-Millivoltmeter kontinuierlich genaue Messergebnisse liefert. Eine genaue Kalibrierung ist besonders wichtig, wenn das NF-Millivoltmeter in kritischen Anwendungen eingesetzt wird, in denen Fehler in den Messergebnissen unangenehme oder sogar gefährliche Folgen haben können. Beispielsweise kann ein ungenaues Messergebnis in der Elektronik-Industrie zu Problemen bei der Herstellung von elektronischen Komponenten führen, während es in der Wissenschaft zu falschen Daten und damit zu ungenauen Forschungsergebnissen kommen kann. Um sicherzustellen, dass das NF-Millivoltmeter jederzeit zuverlässige und genaue Messergebnisse liefert, ist es wichtig, dass es regelmäßig kalibriert wird.

Eine Kalibrierung kann entweder durch den Hersteller oder ein spezialisiertes Kalibrierungslabor durchgeführt werden. Bei einer Kalibrierung eines NF-Millivoltmeters muss man einen bekannten Standard verwenden, mit dem das Messgerät verglichen wird, um eventuelle Abweichungen zu erkennen und zu korrigieren. Dieser Standard kann beispielsweise ein Referenzspannungsquelle sein. Diese Spannungsquelle wird an das NF-Millivoltmeter angeschlossen und das Messgerät wird so eingestellt, dass es die bekannte Spannung misst. Anschließend wird das Messergebnis mit dem bekannten Wert des Standards verglichen. Sollte es zu einer Abweichung kommen, muss das NF-Millivoltmeter entsprechend angepasst werden, um die korrekte Messgenauigkeit zu gewährleisten. Es ist wichtig, dass die Kalibrierung von einer qualifizierten Person durchgeführt wird, um sicherzustellen, dass das Messgerät korrekt kalibriert wird und die gewünschte Genauigkeit erreicht wird. Nach der Kalibrierung sollte das Messgerät einer Überprüfung unterzogen werden, um sicherzustellen, dass die Kalibrierung erfolgreich war und das Gerät weiterhin genaue Messungen liefert. Es ist ratsam, ein regelmäßiges Kalibrierungsprogramm zu implementieren, um sicherzustellen, dass das NF-Millivoltmeter immer genaue Messungen liefert. Nach der Kalibrierung wird ein Kalibrierzertifikat ausgestellt, das die Genauigkeit des Geräts bescheinigt und als Nachweis für zukünftige Überprüfungen dient. Es ist wichtig zu beachten, dass auch ein kalibriertes NF-Millivoltmeter im Laufe der Zeit ungenau werden

kann, insbesondere wenn es häufig verwendet wird oder wenn es den äußeren Bedingungen ausgesetzt ist, die die Genauigkeit beeinträchtigen können, wie zum Beispiel Feuchtigkeit, extreme Temperaturen oder elektromagnetische Störungen. Aus diesem Grund ist es wichtig, dass das NF-Millivoltmeter regelmäßig überprüft und gegebenenfalls kalibriert wird, um sicherzustellen, dass es weiterhin genaue Messergebnisse liefert.

Scheinwiderstandprüfer

Ein Scheinwiderstandprüfer ist ein wichtiger Bestandteil der Messtechnik von Niederfrequenzverstärkern. Es handelt sich um ein Gerät, das zur Messung der Impedanz eines elektrischen Netzwerks verwendet wird. Diese Messung ist besonders bei der Überprüfung von Verstärkern und anderen elektrischen Schaltungen wichtig, da sie Informationen über den Widerstand und die Kapazität bereitstellt. Der Scheinwiderstandprüfer arbeitet dabei mit einer komplexen elektrischen Schaltung, die eine bekannte Spannung an die zu testende Schaltung anlegt und dann deren Reaktion misst. Mit dieser Messung kann der elektrische Widerstand berechnet und bewertet werden. Eine sorgfältige und präzise Messung ist entscheidend für die Funktionsfähigkeit und Leistung von Niederfrequenzverstärkern. In diesem Handbuch werden die Grundlagen des Scheinwiderstandprüfers und seine Anwendung in der Messtechnik von Niederfrequenzverstärkern beschrieben. Es gibt verschiedene Arten von Scheinwiderstandprüfern, die je nach Anwendungsfall unterschiedliche Eigenschaften aufweisen. So gibt es beispielsweise einfache, manuelle Geräte, die mittels Messwiderständen die Impedanz messen, aber auch computergestützte Geräte, die eine höhere Messgenauigkeit und eine größere Anzahl von Funktionen bieten. Ein weiterer wichtiger Faktor bei der Auswahl eines Scheinwiderstandprüfers ist die Frequenzbereich, für den das Gerät ausgelegt ist. Es ist wichtig, einen Scheinwiderstandprüfer zu verwenden, der für die Messung von Niederfrequenzverstärkern geeignet ist, da diese einen besonderen Anforderungen unterliegen. Ein wichtiger Bestandteil der Messung mit einem Scheinwiderstandprüfer ist die richtige Vorbereitung der Schaltung. Hierbei ist es wichtig, alle nicht relevanten Teile der Schaltung zu entfernen und eine möglichst kurze und direkte Verbindung zwischen dem Prüfer und der zu testenden Schaltung herzustellen. So kann eine genaue Messung garantiert werden.

Mit einem Scheinwiderstandprüfer lassen sich wichtige Informationen über die Impedanz einer Schaltung gewinnen, die für die Überprüfung und Optimierung von Niederfrequenzverstärkern unverzichtbar sind. Es ist daher wichtig, dass dieses Gerät sorgfältig verwendet wird und dass seine Ergebnisse korrekt interpretiert und bewertet werden. In diesem Handbuch werden die verschiedenen Schritte der Messung mit einem Scheinwiderstandprüfer detailliert beschrieben und Tipps für eine optimale Messung gegeben. Ein weiterer wichtiger Aspekt bei der Verwendung von Scheinwiderstandprüfern ist die Wahl des geeigneten Messsignals. Hierbei kann man zwischen Wechselspannung (AC) und Gleichspannung (DC) wählen. Während DC-Signale einfacher zu messen sind, bieten AC-Signale den Vorteil, dass sie die Kapazität einer Schaltung mit einbeziehen und so ein umfassenderes Bild der Impedanz liefern. Es ist auch wichtig, sicherzustellen, dass der Scheinwiderstandprüfer und die zu testende Schaltung sicher miteinander verbunden sind. Hierbei sollten die Sicherheitsvorschriften beachtet werden, um elektrische Stöße oder andere Gefahren zu vermeiden.

Der Scheinwiderstandsprüfer ZP 2 von Sennheiser ist ein praktisches Gerät für technisches Personal, das dabei hilft, Reparatur- und Prüfarbeiten zu erleichtern. Es handelt sich hierbei

um ein transistorisiertes Messgerät, das Scheinwiderstände in verschiedenen Tonfrequenzbereichen bestimmen kann. Dabei wird eine Wechselspannung verwendet, um die Messungen durchzuführen. Durch die Verfügbarkeit von verschiedenen Messfrequenzen wie 250 Hz, 1 kHz und 4 kHz kann man den Verlauf eines Scheinwiderstandes, beispielsweise den einer Lautsprecherbox, verfolgen. Normalerweise wird der Scheinwiderstand von Lautsprechern und Lautsprecherboxen für 1 kHz angegeben. Es ist allerdings zu beachten, dass der Scheinwiderstand je nach Frequenz unterschiedlich sein kann und bei einigen Lautsprechertypen abweichen kann. In manchen Fällen kann dies dazu führen, dass die Lautsprecher nicht mit Transistor-Leistungsverstärkern verwendet werden sollten. Mit dem Scheinwiderstandsprüfer ZP 2 von Sennheiser kann man Verstärker im Tonfrequenzbereich prüfen und reparieren. Das Meßgerät kann Scheinwiderstände aller Art bestimmen, indem es mit einer Wechselspannung misst. Durch verschiedene Meßfrequenzen (250 Hz, 1 kHz und 4 kHz) kann man den Verlauf eines Scheinwiderstandes erfassen, z.B. von einer Lautsprecherbox. Üblicherweise wird der Scheinwiderstand eines Lautsprechers für 1 kHz angegeben. Bei manchen Lautsprechertypen kann der Scheinwiderstand bei unterschiedlichen Frequenzen stark abweichen und bei eisenlosen Transistorleistungsverstärkern zu Schäden führen. Mit dem ZP 2 kann man auch Windungsschlüsse von Netztransformatoren oder Tonfrequenzübertragern feststellen, was mit üblichen Ohmmetern schwierig ist. Außerdem kann man einfach die Eingangs- und Ausgangsimpedanzen von Verstärkern prüfen, was besonders für Transistorverstärker wichtig ist, bei denen die Impedanzen gut aneinander angepaßt sein müssen.

Zusammenfassend kann man sagen, dass der Scheinwiderstandsprüfer ein unverzichtbares Werkzeug in der Messtechnik von Niederfrequenzverstärkern ist. Durch seine Verwendung kann man wichtige Informationen über die Impedanz einer Schaltung gewinnen und so die Funktionsfähigkeit und Leistung von Niederfrequenzverstärkern sicherstellen. In diesem Handbuch werden alle Aspekte des Einsatzes von Scheinwiderstandsprüfern detailliert beschrieben, um eine erfolgreiche Anwendung zu gewährleisten.

Schallpegelmesser

Ein Schallpegelmesser, auch bekannt als Phonometer oder Sonometer, ist ein Instrument, das verwendet wird, um die Lautstärke von Schall zu messen und anzuzeigen. Die angezeigten Pegelwerte werden in Dezibel (dB) angegeben und beinhalten auch die Frequenz- und Zeitbewertung. Schallpegelmesser werden in vielen Bereichen eingesetzt, in denen es wichtig ist, Geräusche zu quantifizieren, wie bei der Bewertung von Fluglärm, Maschinenlärm, Umweltlärm und Lärm am Arbeitsplatz. Sie werden gemäß der Norm IEC 61672:2013 (DIN EN 61672-1:2014-07) gebaut, die vorschreibt, dass sie mindestens einen A-Frequenzfilter haben müssen.

Schallpegelmesser bestehen im Allgemeinen aus einem Messmikrofon, einem Vorverstärker, einer Auswerteeinheit und einer Anzeige. Das Messmikrofon wandelt den Schalldruck in eine elektrische Spannung um, die vom Vorverstärker verstärkt und von der Anzeige dargestellt wird. Moderne Schallpegelmesser haben digitale Anzeigen, während ältere Modelle analoge Anzeigen haben. Schallpegelmesser können auch mit weiteren Frequenzbandfiltern und Datenspeichern ausgestattet sein, die es ermöglichen, die Schalldruckpegel in bestimmten Frequenzbereichen oder im Zeitverlauf zu messen und aufzuzeichnen. Es gibt hierzu verschiedene Verfahren, um zu einem erfolgreichen Messergebnis zu gelangen

Zeitbewertung ist ein Verfahren, das bei schwankenden Schalldruckpegeln angewendet wird, um den mittleren Messwert zu bestimmen. Es gibt drei genormte Zeitbewertungen: "schnell" (F), "langsam" (S) und "Impuls" (I). Die I-Zeitbewertung wird in internationalen Normen nicht mehr berücksichtigt, da sie wenig mit dem tatsächlichen Impulscharakter von Schallereignissen zu tun hat. Das Taktmaximalverfahren ist eine weitere Zeitbewertungsmethode.

Die **Frequenzbewertung** wird hauptsächlich bei der Messung von Geräuschen am Arbeitsplatz angewendet, um die Frequenzkomponenten von Schallsignalen zu berücksichtigen. Die A-Frequenzbewertung ist in den meisten Ländern üblich und basiert auf der historischen gehörrichtigen Lautstärke. Es gibt auch die optionalen Frequenzbewertungen B, C und Z. Die A-Bewertung wurde ursprünglich nur für leise Geräusche vorgesehen, aber sie wird jetzt in allen Pegelbereichen verwendet. Die C-Frequenzbewertung wird bei der Beurteilung von tieffrequenten Geräuschen verwendet. Die B- und D-Frequenzbewertungen werden nicht allgemein vorgeschrieben. Die D-Frequenzbewertung wurde für das Messen von Fluglärm entwickelt, aber sie wird heute nur noch für das Messen von Militärflugzeugen verwendet.

Bei den Messungen werden viele Daten aufgenommen und intern verarbeitet, für Sie als Nutzer werden diese auf grundlegende Messgrößen umgewandelt und dargestellt. Zu den wichtigsten gehören folgende:

Leq | Mittelungspegel

Der Leq (von englisch "equivalent continuous sound level") ist der mittlere Schalldruckpegel, der im Zeitverlauf über eine bestimmte Periode gemessen wurde. Er wird oft als äquivalenter Dauerschallpegel bezeichnet und dient dazu, Schallereignisse mit unterschiedlicher Dauer und Intensität vergleichbar zu machen. Der Leq wird in Dezibel (dB) angegeben und wird aus dem logarithmischen Mittelwert des Schalldruckpegels über eine bestimmte Zeitperiode berechnet.

Der Leq ist ein wichtiger Parameter bei der Bewertung von Lärm am Arbeitsplatz, bei der Beurteilung von Umweltlärm und bei der Planung von Schallschutzmaßnahmen. Er wird häufig mit Schallpegelmessgeräten gemessen, die entsprechende Zeitbewertungen anwenden, um den mittleren Schalldruckpegel zu ermitteln. Der Leq kann auch dazu verwendet werden, Lärmbelastungen über längere Zeiträume zu beurteilen, indem er beispielsweise über eine Schichtdauer oder einen längeren Zeitraum gemessen wird.

Kurz Leq

Der Kurz-Leq ist eine Maßeinheit, die durchschnittliche Schallpegelwerte über einen kurzen Zeitraum misst. Diese Werte werden über kurze Intervalle (z.B. 0,125 Sekunden) berechnet und digital gespeichert. Diese Daten können später aus dem Gerätespeicher abgerufen und in andere Metrik umgewandelt werden. Kurz-Leq kann auch neu berechnet werden, falls sich die Gesetzgebung ändert. Es wird von den meisten integrierenden Schallpegelmessern verwendet und kann über Telefon oder Internet an eine zentrale Anzeige-/Prozessoranlage übertragen werden. Es ist wichtig, dass jeder Kurz-Leq den Normen der IEC 61672 entspricht.

$L_{C,peak}$ | Spitzenschalldruckpegel

Der "Spitzenschalldruckpegel" oder " $L_{C,peak}$ " ist eine Maßeinheit, die verwendet wird, um den höchsten Schalldruckpegel (SPL) während eines Schallimpulses oder einer Schallwelle zu messen. Der Schalldruckpegel ist eine logarithmische Maßeinheit, die verwendet wird, um die Lautstärke von Schall zu beschreiben. Der $L_{C,peak}$ wird häufig in der Schallpegelmessung verwendet, um den höchsten Schalldruckpegel während eines kurzen Zeitraums zu erfassen und zu speichern. Diese Maßeinheit wird häufig in der Industrie, in der Musikproduktion und in der Schallpegelüberwachung verwendet, um sicherzustellen, dass der Schallpegel nicht über einen bestimmten Grenzwert hinausgeht. Der $L_{C,peak}$ kann auch

verwendet werden, um die Leistung von Lautsprechern und anderen Schallquellen zu bewerten.

Darüber hinaus sollten sie über häufig genutzte Messungen wissen wie der **Breitband-Pegel**. Er bezieht sich auf den Gesamtschallpegel, der sich aus allen Schallpegeln im Frequenzbereich von 20 Hz bis 20 kHz zusammensetzt. Der Breitband-Pegel wird in der logarithmischen Einheit Decibel (dB) angegeben und gibt damit an, wie laut der Schallpegel insgesamt ist. Eine Verdoppelung des Schallpegels führt zu einer Steigerung des Breitband-Pegels um 10 dB. Der Breitband-Pegel wird in der Regel mit einem Schallpegelmessgerät gemessen kann jedoch auch durch eine Messgeräte erkannt werden. Es gibt verschiedene Arten von Schallpegelmessern, die für unterschiedliche Anwendungen und Messbedingungen entwickelt wurden.

Spektralmessung

Die Spektralmessung ist eine Technik, die verwendet wird, um den Schallpegel in verschiedenen Frequenzbereichen zu analysieren und zu messen. Im Gegensatz zur Breitband-Pegelmessung, bei der der Gesamtschallpegel gemessen wird, gibt die Spektralmessung Aufschluss darüber, wie der Schallpegel in verschiedenen Frequenzbereichen verteilt ist.

Die Spektralmessung wird häufig verwendet, um den Schallpegel in der Nähe von Maschinen oder Geräten zu untersuchen, um festzustellen, ob bestimmte Frequenzen den Schallpegel dominieren. Sie kann auch verwendet werden, um den Schallpegel in unterschiedlichen Räumen oder Umgebungen zu vergleichen, um festzustellen, ob bestimmte Frequenzen in einem Raum stärker oder schwächer ausgeprägt sind als in einem anderen. Um die Spektralmessung durchzuführen, wird in der Regel ein Schallpegelmessgerät verwendet, das speziell für diese Art der Messung ausgelegt ist. Solche Schallpegelmessgeräte sind in der Lage, den Schallpegel in verschiedenen Frequenzbereichen zu erfassen und zu analysieren, um so ein detailliertes Bild der Schallpegelverteilung zu liefern.

Burosch NF200

Der Burosch Audioanalyzer NF-200 ist mein meistgenutztes Gerät zur Messung von Niederfrequenzen. Es wurde im Jahr 2000 von Klaus Burosch entwickelt und basiert auf seiner Erfahrung in der täglichen Reparaturpraxis von NF-Geräten. Das Ziel bei der Entwicklung war es, alle wichtigen Funktionen für die NF-Messung und -Reparatur in einem kompakten, übersichtlichen Gerät zu vereinen. Das Messgerät ist außerdem preiswert und zuverlässig und erfreut sich großer Beliebtheit in vielen Sony Werks-Servicestellen. Insgesamt wurden nach aktuellen Stand 253 Stück gebaut.



Klaus Burosch hat auch eine Reihe anderer Audio-Testgeräte entwickelt. Dazu gehört der Burosch UT-200B Universal NF Tester, der mit allen Arten von Anschlussbuchsen ausgestattet ist. Der Burosch NF-50 Audiotester ermöglicht die massefreie Leistungsmessung von bis zu 50 Watt pro Kanal, während der Burosch NF-100 Audiotester Leistungsmessungen von bis zu 100 Watt pro Kanal ermöglicht. Der Burosch AR-300 Audiotester ist speziell für den Test von Autoradios konstruiert und verfügt über einen integrierten 95MHz-Messsender und ein Netzteil. Schließlich gibt es auch den Burosch LCR Interface Load Box, ein weiteres Testgerät von Klaus Burosch.



Burosch Audioanalyzer NF-200, das Universal Audio Messgerät für die Analyse der wichtigsten Audioparameter

Folgende Funktionen sind eingebaut bzw. diese Messungen können durchgeführt werden:

- Eingebauter Tongenerator, Sinus- und Rechteck-Signalgenerator, 27 Stufen
- Einstellbarer Pegel, zusätzlich stufenlos einstellbare Frequenz
- Massefreie Messung der NF-Ausgangsleistung
- Messung des AC-Pegels
- Eingebaute Lastwiderstände für die massefreie Leistungsmessung bis 2 x 200 Watt
- Eingebauter Verstärker 2 x 15 Watt
- Drop Out Funktion pro Kanal
- Messung des Klirrfaktors mit visueller Darstellung, Messbereiche: 0,1%, 0,3%, 1%, 3%
- Spectrum Analyzer für die Darstellung des gemessenen Klirrfaktors
- Messung des Drifts und Flutter an 3000 Hz
- Zwei eingebaute Monitorlautsprecher
- Kopfhörerbuchse - regelbarer Ausgang
- Rückseitige Lautsprecherklemmen für zwei größere Monitorlautsprecher
- BNC-Ausgänge zur visuellen Kontrolle des NF-Signals an Oszilloskop
- Stromversorgung: 230 Volt AC
- Abmessungen: 43 x 16 x 35cm
- Gewicht: 19Kg

- Design und Konstruktion: Klaus Burosch



- Ausgangsleistungsmessung eines NF-Verstärkers - Massefreie Eingangsports für die Lautsprecherklemmen
- Eingebauter NF-Verstärker mit zwei Kontrolllautsprecher und Kopfhörerbuchse



- Zwei Anzeigen für die Leistungsmessung mit Dropout Funktion (Test für Aussetzer im Dauertest)
- Manuelle oder vollautomatische Meßbereichs Umschaltung



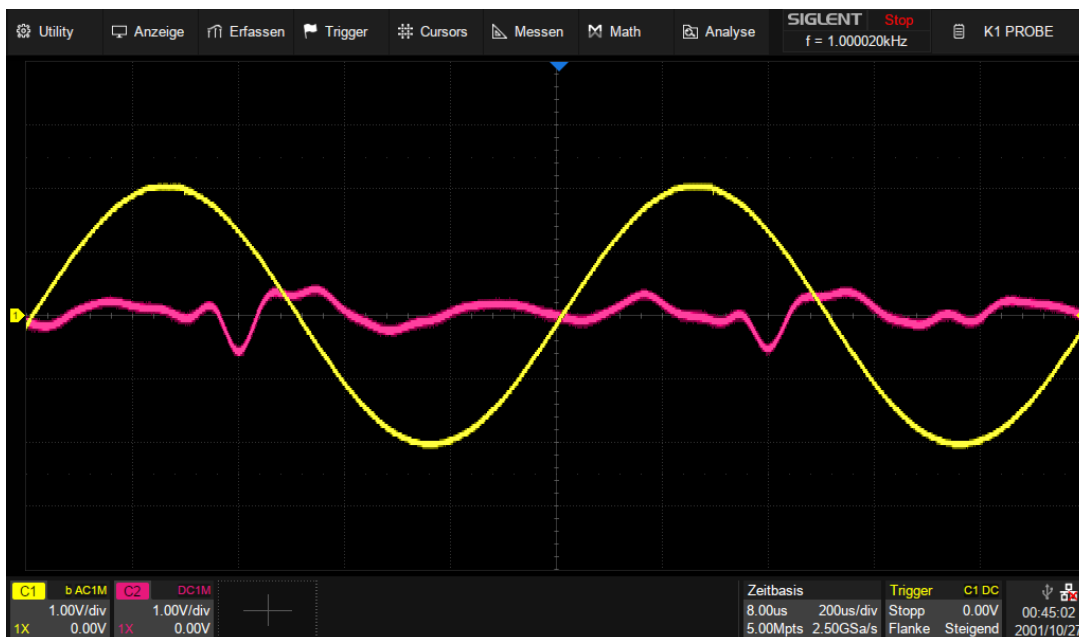
- Messfunktion für Gleichlaufschwankungen: Drift und Flutter
- Hier in dieser Darstellung läuft der zu überprüfte Cassettenrecorder 2% zu langsam



- Der eingebaute NF-Tongenerator erzeugt klirrarmer Sinus und Rechtecksignale

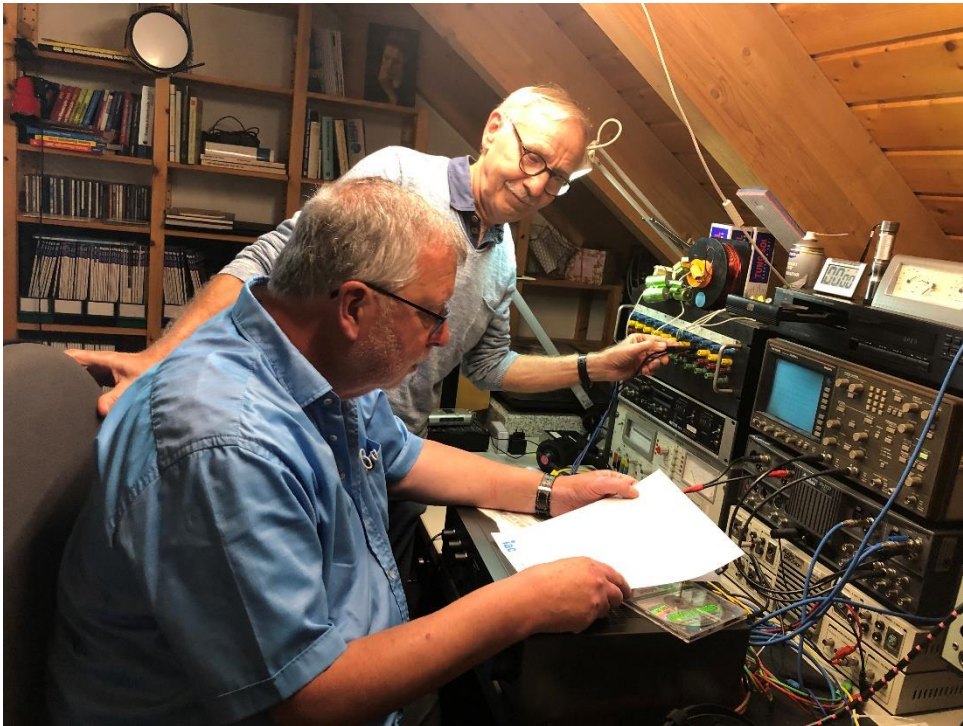
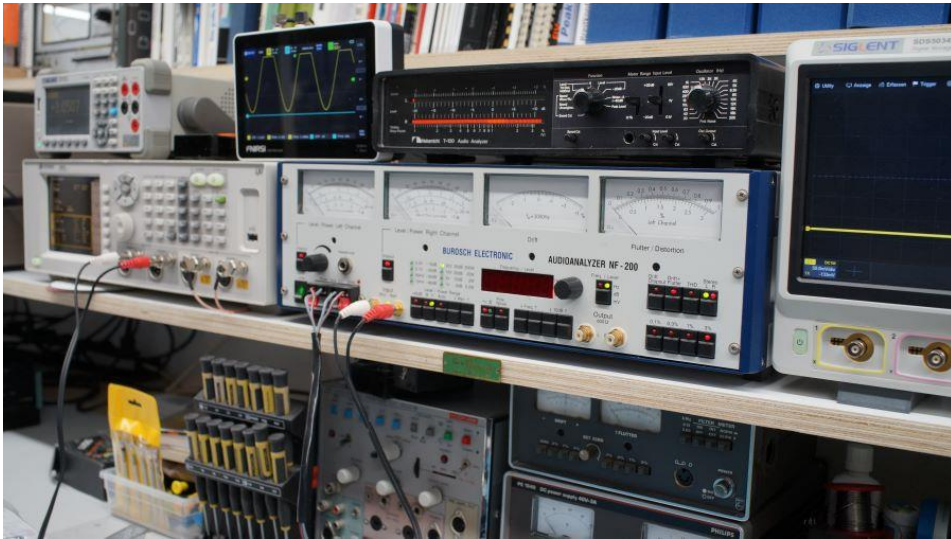


An der Rückseite des NF-200 befinden sich zwei BNC-Buchsen für den Signalausgang zu einem parallel angeschlossenen Oszilloskop



- Vollautomatische Klirrfaktormessungen
- Hier dargestellt im linken Kanal: Die eigentliche verstärkte Signalwelle (gelb) und der ausgefilterte Klirrfaktor (lila)
- Relativ weiche Spektralwiedergabe des Klirrfaktors K2 eines hochwertigen Röhrenverstärkers in Triodenschaltung
- Bei einem preiswerten Transistorverstärker in AB-Schaltung würde die ausgefilterte Klirrfaktorlinie (lila) wesentlich spitziger und zackiger dargestellt werden.

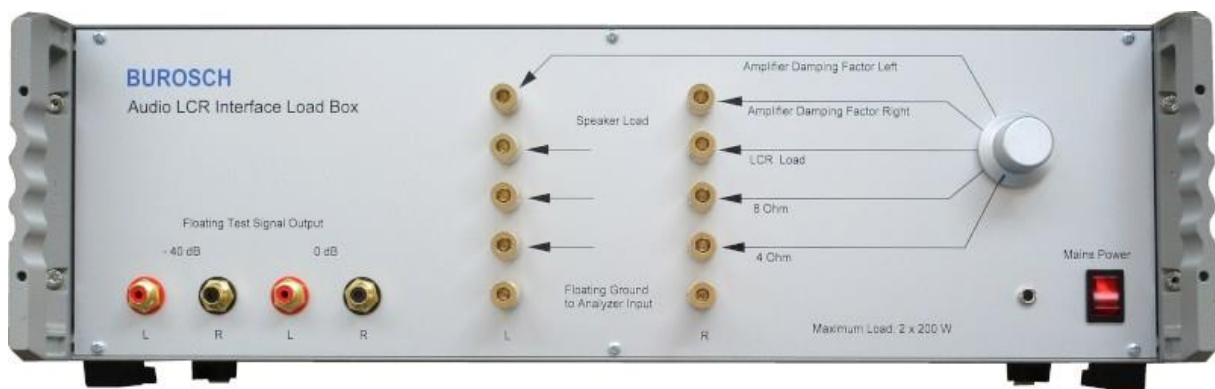
- Durch diese Anzeige bzw. der Interpretation der ausgefilterten Klirrfaktorlinie (lila) kann eindeutig auf die eigentliche akustische Klangqualität geschlossen werden.



Klaus Burosch und Peter Schüller im NF-Labor

Burosch LCR Load Box

Wir haben uns mit sämtlichen Rodhe & Schwarz Audioanalyser sowie Keysight Geräte auseinandergesetzt. Jedoch wollen wir dem Kunden ein präziseres Messergebnissen liefern, wodurch wir unsere eigene Messwerke erstellt habe. Eines davon ist die Burosch LCR Load Box. Die meisten Messgeräte sind ungenau, da sie keine Last haben, was vergleichbar ist, als würde man die Leistung eines Autos im Leerlauf messen. Eine präzise Messung ist jedoch nur dann möglich, wenn eine Last vorhanden ist. Hier kommt die Burosch LCR Interface Load Box ins Spiel. Sie besitzt 200 Watt Widerstände als Last, was für eine korrekte Messung unabdingbar ist. So kann die Ausgangsleistung von Audioverstärkern präzise gemessen werden, ohne dass Messfehler aufgrund fehlender Last entstehen. Die Burosch LCR Interface Load Box kann auch die Frequenzen selbst simuliert werden, um ein noch genaueres Messergebnis zu erzielen. Dies ist besonders wichtig, wenn es darum geht, den Klirrfaktor und den Frequenzgang von Audio-Verstärkern zu messen. Eine exakte Messung dieser Parameter ist für eine optimale Klangqualität von entscheidender Bedeutung.



Abbild: Vorderseite der Burosch Interface Load Box



Abbild: Vorderseite der Burosch Interface Load Box

Anschlüsse:

Generator-Signal: XLR-Stecker 3-polig und BNC, beide massefrei

Analysator-Signal: XLR-Buchse 3-polig und BNC, beide massefrei

Empfohlene Interface-Einstellungen: Generator: bipolar, Analyzer: single ended.

Interface zum Device-under-test (DUT)

2 x 2 Cinch-Buchsen (vergoldet) mit 0 dB und -40 dB Pegel

2 x 5 Bananenbuchsen (vergoldet) mit den folgenden Eigenschaften:

2 x 4 Ohm, 2 x 200 W Belastbarkeit

2 x 8 Ohm, 2 x 200 W Belastbarkeit

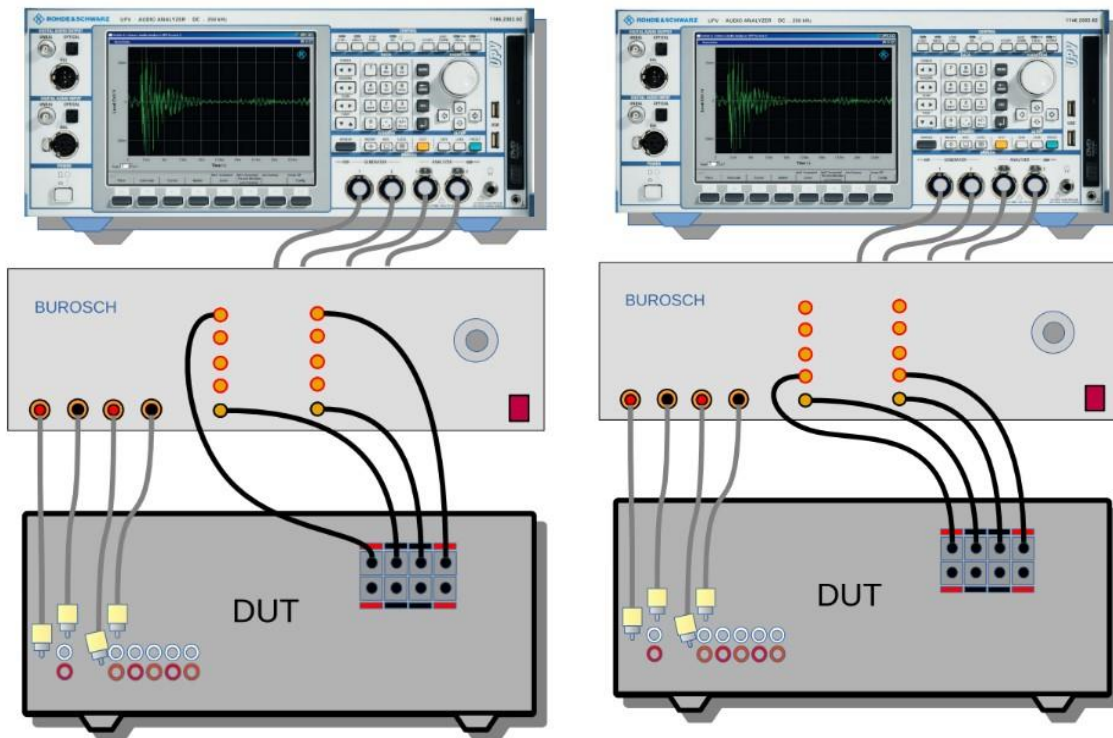
2 x repräsentative Lautsprecher-Last (Standard-Regal-3-Wege-Box, 2 x 50 W Belastbarkeit)

2 x Buchsen zur Verstärker-Innenwiderstandsmessung

Keine Masseschleifen: Alle Signale sind komplett massefrei und werden als solche direkt an die Audio-Analyzer-Ausgänge weitergeleitet.

Nutzen der Burosch LCR Interface LoadBox

Die Burosch LCR Interface Load Box ist ein Werkzeug, das dazu dient, die Ausgangsleistung von Audio-Verstärkern präzise zu messen. Sie hat nicht nur Lastwiderstände, sondern auch Kondensatoren und Spulen, die die Frequenzweichen von Lautsprechern genauer nachbilden. Die Werte der eingebauten Kondensatoren und Spulen entsprechen denen einer gängigen Standard 3-Wege Regalbox. Wenn man nur mit einem reinen Ohm-Widerstand misst, ist das Ergebnis nicht korrekt und entspricht nicht der Realität, da jede Box eine Impedanzkurve hat, die wie eine "Badewanne" aussieht, mit zwei deutlichen Maxima zwischen etwa 2 und 64 Ohm, je nach Frequenz. Deshalb ist die Leistungsmessung eines Audio-Verstärkers an einem reinen Ohm-Widerstand ungenau. Mit der Burosch LCR Interface Load Box kann man das für Tests benötigte Generatorsignal über ein Cinch-Buchsenpaar direkt durchschleifen und ein um 40 dB abgeschwächtes Audio-Signal über ein weiteres Cinch-Buchsenpaar für Phono-Eingänge liefern. Damit ist die korrekte, echte und massefreie Audio-Leistungsmessung möglich.



Die Burosch LCR Interface Load Box verfügt über separate Pfade für Leistung und Signal, um hochgenaue Messungen zu ermöglichen. Die Leistungspfade von den Bananenbuchsen zu den Leistungswiderständen sind mit dicken Vieldraht-Leitungen ausgeführt und die Anschlüsse sind geschraubt und gecrimpt. Die Signalfade werden von den Bananenbuchsen abgegriffen und über hermetisch gekapselte Signalrelais mit goldplattierten Kontakten weitergeleitet. Mit einem Drehschalter können die Signale von den unterschiedlichen Belastungswiderständen an die Analysator-Ausgänge geschaltet werden. Bei der Verstärker-Innenwiderstandsmessung werden die Generator-Signale deaktiviert und die Buchsen sind entweder massefrei mit 47 kOhm (0 dB Ausgang) oder mit 500 Ohm (-40 dB Ausgang) abgeschlossen.

Falsche Praktische NF-Leistungsmessung

Viele Verstärker auf dem ELA- und Hifi-Markt haben eine integrierte "Leistungsanzeige", die auf dem Prinzip der Spannungsmessung an einem idealen Ohm-Widerstand basiert. Diese Anzeigen sind nur dann zuverlässig, wenn die Last ideal ohmsch ist und der Verstärker mit sauberen Sinus-Frequenzen arbeitet.

Hierbei darf das verstärkte Signal nur rein Sinusförmig und die angeschlossene Last ist „ideal ohmisch“

Dann gilt:

Momentanleistung (Peak):

$$p = u * i = \frac{u^2}{R}$$

Wobei u und i = Momentanwerte sind und R einer idealen Last entspricht

Mittelwertleistung (Vu):

$$P = U * I = \frac{U^2}{R}$$

Wobei U; I = Effektivwerte sind und R eine ideal Ohmsche Last

Nachdem die oberen Bedingungen nicht in echt zu erfüllen sind haben wir ein System entwickelt, um die Leistung richtig zu messen.

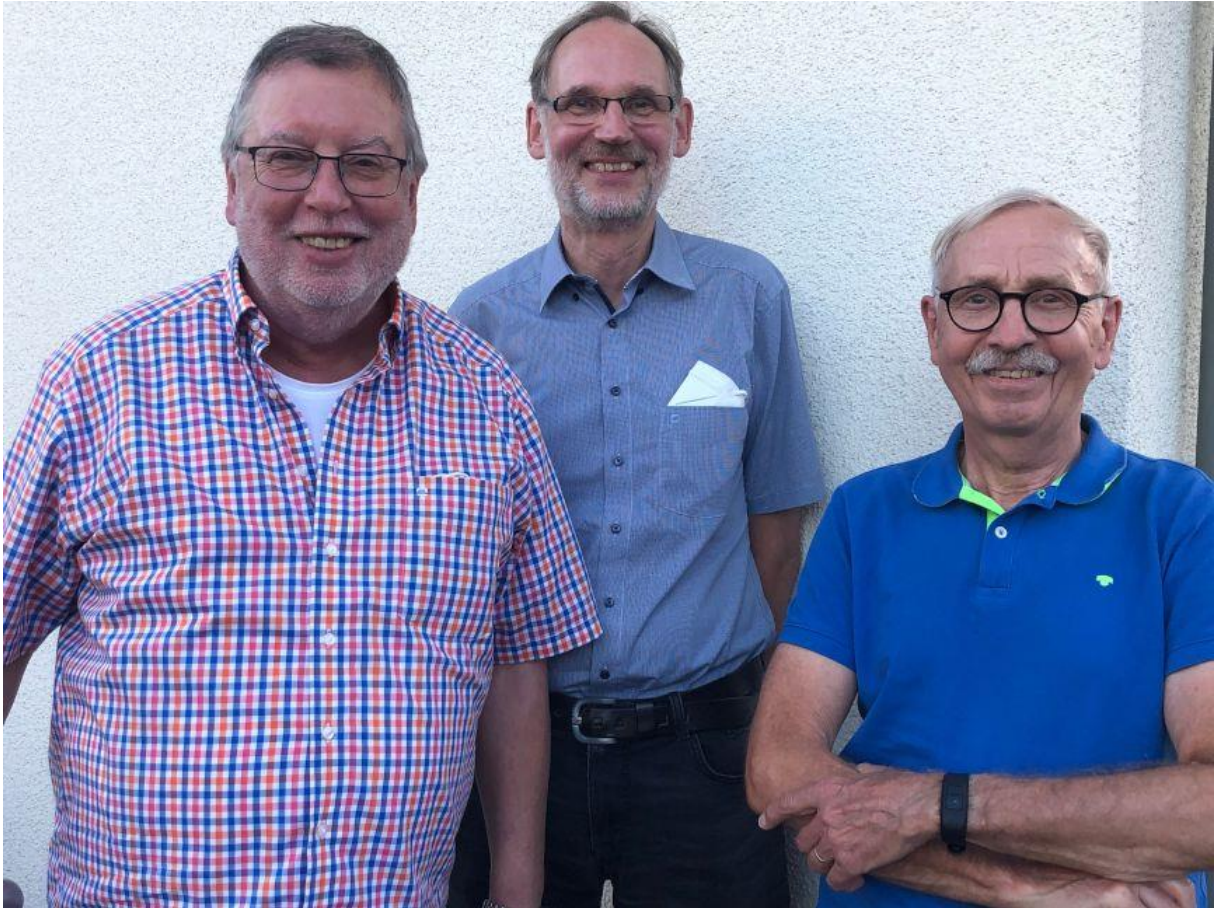
Die Berechnung der Momentan- und Mittelwertsleistung durch Quadrierung und Effektivwertbildung auf elektronischem Weg wäre für diese Anwendung zu aufwendig, daher werden die Skalen entsprechend angepasst. Diese Skala ist jedoch nur für saubere Sinus-Frequenzen gültig.

Richtige Messung

Die mittlere Leistung P berechnet sich unabhängig von Signalverlauf und Art der Last nach:

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T u \cdot i \, dt$$

Um die Momentanleistung zu bestimmen, müssen die Momentanwerte von Lastspannung und Laststrom gemessen und miteinander multipliziert werden. Das Ergebnis wird dann periodisch "integriert" (das heißt, pro Zeiteinheit aufsummiert), um dem Anzeigeinstrument einen Meß-Strom zu liefern, der der tatsächlichen Wirkleistung proportional ist und somit eine korrekte Anzeige liefert. Diese Skala ist linear. Es ist wichtig zu beachten, dass Strom und Spannung unterschiedliche Polaritäten haben können.



Abbild: Konstrukteure der Burosch Interface Load Box: Klaus Burosch, Jürgen Heidbreder, Peter Schüller

Rohde&Schwarz Audioanalyzer UPV



Der Rohde & Schwarz Audio Analyzer UPV ist ein professionelles Gerät zur Analyse von Audio-Signalen. Er wird hauptsächlich in Laboren und in der Industrie eingesetzt, um die Qualität von Audio-Systemen und -Komponenten zu testen und zu verbessern. Der UPV bietet umfangreiche Funktionen, die es ermöglichen, verschiedene Aspekte von Audio-Signalen zu analysieren und zu optimieren. Dazu gehören die Messung von Frequenzgang, Verzerrungen, Dynamik, Rauschen und vielen weiteren Parametern. Eine besondere Stärke des UPV ist die Möglichkeit, auch komplexere Audio-Systeme zu testen, indem er zum Beispiel die Übertragung von Audio-Signalen über Netzwerke oder die Interaktion von Mikrofonen und Lautsprechern untersucht. Der UPV ist ein sehr präzises und zuverlässiges Analyse-Werkzeug, das von vielen Herstellern und Anwendern in der Audio-Branche geschätzt wird. Es bietet eine breite Palette an Funktionen und Einstellmöglichkeiten, die es ermöglichen, auch anspruchsvolle Anwendungen zu meistern.

Der Rohde & Schwarz Audio Analyzer UPV ist ein ziemlich kompaktes Gerät, das mit einem integrierten PC ausgestattet ist und für die Analyse von Audio-Schnittstellen aller Art geeignet ist, einschließlich analoger, digitaler und kombinierter Schnittstellen. Es verfügt über mehrere Messfunktionen, die gleichzeitig dargestellt werden können, und ermöglicht eine Abtastrate von bis zu 400 kHz. Darüber hinaus verfügt das Gerät über frei programmierbare Filter sowohl für den Analysator als auch für den Generator und bietet Platz für zukünftige Optionen.

Audio Precision Audioanalyzer 2722



Der Audio Precision Audioanalyzer 2722 ist ein leistungsfähiges Werkzeug für Profis in der Audio- und Elektronikindustrie. Mit seiner breiten Palette an Funktionen und Messkapazitäten ist er ideal für die Überprüfung und Analyse von Audioelektronik, von Vorverstärkern und Verstärkern bis hin zu Lautsprechern und Kopfhörern.

Eines der hervorstechenden Merkmale des 2722 ist seine Fähigkeit, gleichzeitig mehrere Frequenzen zu analysieren. Dies ermöglicht es, die Leistung von Geräten bei verschiedenen Frequenzen genau zu vergleichen und somit eventuelle Schwächen oder Verzerrungen schnell zu identifizieren. Der 2722 ist auch in der Lage, die Verzerrung von Geräten zu messen. Dies ist besonders wichtig, um sicherzustellen, dass die Wiedergabe von Audio möglichst authentisch und verzerrungsfrei ist.

Darüber hinaus bietet der 2722 eine Vielzahl von Funktionen zur Analyse von Lautsprechern, wie zum Beispiel die Messung der Frequenzgangcharakteristik und der Impedanz. Dies hilft bei der Überprüfung der Leistung von Lautsprechern und der Bestimmung der idealen Verstärkung.

Der 2722 ist auch mit einem Wow & Flutter-Meter ausgestattet, mit dem die Bandbreitenabweichung bei der Wiedergabe von Audioaufzeichnungen gemessen werden kann. Dies ist wichtig, um sicherzustellen, dass Aufzeichnungen wiedergegeben werden, ohne dass Unregelmäßigkeiten oder Verzerrungen auftreten.

Insgesamt bietet der Audio Precision Audioanalyzer 2722 eine breite Palette von Funktionen und Messkapazitäten, die es Profis in der Audio- und Elektronikindustrie ermöglichen, die Leistung von Audioelektronik schnell und genau zu überprüfen und zu analysieren.

Allgemein gilt die Serie 2700 von Rohde & Schwarz als eine Reihe von Audioanalysatoren, die speziell für Audioentwickler entwickelt wurden, die hohe Leistung, geringe Verzerrungen und Flexibilität von ihrem Audioanalysator erwarten. Mit dem Programmierbaren Seriellen Interfaceadapter (PSIA) bietet die Serie 2700 eine leistungsstarke Lösung für hochwertige Wandler und andere Chipentwicklungen.

Die parallele Architektur des 2722 ermöglicht eine außerordentliche Leistungsfähigkeit bei der gleichzeitigen Messung von Analog- und Digital-Signalen. Die Eigenschaften des analogen Generators und Analysators sind besser als bei reinen digitalen, wandlerbasierten Konzepten, während digitale Analyseverfahren eine große Auswahl genauer und sehr schneller Messverfahren für analoge und digitale Signale bieten. Die Nutzung des Besten aus beiden Welten ermöglicht die Arbeit mit analoger und digitaler Technik.

Das typische THD+N der Serie 2700 beträgt ≤ -115 dB bei 2,0 Veff. Mit einem THD+N von -112 dB wird die Serie 2700 in den Analogeigenschaften nur vom APx555 übertroffen.

Merkmale:

- Sehr sorgfältig entwickelte Analogschaltungen für extrem geringes Eigenrauschen und THD+N
- Digitale Ein- und Ausgänge mit Abtastraten bis zu 192 kHz
- Erzeugung und Analyse einer breiten Palette von Stimulussignalen wie z.B. MLS, weißes und rosa Rauschen und anderen spezialisierten Signalen
- Umfassende API-Automation mit AP Basic - Scripting und "Lernmodus", LabVIEW-Treiber und IEEE.488 GPIB-Schnittstelle
- Benutzerdefinierte Sweeps und Steuerung von Signalumschaltern für bis zu 192 Kanäle

Keysight U8903A



Der Keysight U8903A ist ein hochmodernes, leistungsfähiges Audioanalysewerkzeug, das von professionellen Technikern und Ingenieuren in der Audioindustrie weltweit verwendet wird. Der Analyzer ermöglicht die präzise Messung und Analyse von Audiofrequenzen in einer Vielzahl von Anwendungen, von der Entwicklung von Verstärkern und Lautsprechern bis hin zur Qualitätskontrolle von Audiosystemen.

Eines der wichtigsten Merkmale des Keysight U8903A ist seine außergewöhnliche Genauigkeit und Zuverlässigkeit. Der Analyzer verfügt über eine extreme Bandbreite von 9 kHz bis 300 kHz und eine hohe Auflösung von 0,1 Hz, was ihm ermöglicht, selbst kleine Veränderungen in den Audiofrequenzen zu erkennen und zu analysieren. Der Analyzer ist auch in der Lage, die Verzerrungen von Audiosignalen auf einem niedrigen Niveau zu messen, was besonders wichtig für die Qualitätskontrolle von Audiosystemen ist.

Ein weiteres wichtiges Merkmal des Keysight U8903A ist seine umfangreiche Funktionalität. Der Analyzer bietet eine Vielzahl von Messfunktionen, die es dem Benutzer ermöglichen, alle Aspekte der Audioleistung zu analysieren und zu bewerten. Dazu gehört die Messung von Amplitude, Frequenz, Verzerrungen, Dynamik und Klirrfaktor. Der Analyzer ist auch in der Lage, die Wiedergabequalität von Audiosignalen zu analysieren und die Leistung von Lautsprechersystemen zu bewerten.

Insgesamt bietet der Keysight U8903A Audioanalyzer eine hervorragende Leistung und Funktionalität für professionelle Techniker und Ingenieure in der Audioindustrie. Mit seiner

hohen Genauigkeit, breiten Bandbreite und umfangreichen Funktionalität ist der Analyzer ein wertvolles Werkzeug für die Entwicklung und Qualitätskontrolle von Projekten.

Die Kernfunktionen und Spezifikationen des Keysight U8903-(200) umfassen:

- Analyse von analogen und digitalen Audiosignalen
- Auswahl von Generatormodi, Analysemodi, Graphen und Sweep-Modi mit einem Knopfdruck
- Charakterisierung von Signal-Rausch-Verhältnis, SINAD, IMD, DFD, THD N Verhältnis, THD N Level, Crosstalk und mehr
- Anwendung von Gewichtungsfunktionen, Standardfiltern und benutzerdefinierten Filtern
- Anzeige von numerischen und grafischen Darstellungen von Messergebnissen
- 2 in 1 Bildschirm (Generator und Analysegerät auf dem gleichen Bildschirm anzeigen)
- Eine Frequenzgenauigkeit von 5 ppm für Generator und Analysegerät
- Eine Amplitudengenauigkeit von $\pm 1\%$ für Generator und Analysegerät
- Ein Analysegerät-Restverzerrungsrauschen von -101 dB in einem Bereich von 20 Hz bis 20 kHz
- Eine Signal-Ebenheit von ± 0.01 dB

Das Gerät verfügt außerdem über Schnittstellen zur Automatisierung und Kommunikation:

- Kompatibilität mit der LXI-Klasse C
- USB 2.0, LAN und GPIB-Konnektivität
- SCPI und IVI-COM
- Kompatibilität mit dem HP8903B-Code

Anschließen von Messgeräten

Wenn man Meßgeräte verwenden möchte, ist es wichtig, dass sie richtig angeschlossen werden. Denn falsche Anschlüsse können zu Störgeräuschen wie Brummen oder Schwingen führen. Außerdem kann es zu Kurzschlüssen kommen, wenn beispielsweise zwei Meßgeräte gleichzeitig angeschlossen werden und ihre Minusleitungen nicht beide an Masse anliegen. Kurzschlüsse entstehen, weil die gemeinsame Schutzkontakterdung die Metallgehäuse beider Geräte und deren Minusleitungen verbindet, die ebenfalls mit dem Gehäuse verbunden sind. Wenn beide Minusleitungen jedoch an Masse anliegen - der Oszillograf an den Ausgang und der Tongenerator an den Eingang des Verstärkers - kann es zu einer Brummschleife kommen, da die Schutzerde beider Geräte über die Netzsteckdose den Aus- und Eingang des Verstärkers verbindet. Um solche Probleme zu vermeiden, ist es wichtig, die Bedienungsanleitungen der Meßgeräte sorgfältig zu lesen und zu verstehen. Dies gilt insbesondere für den Anschluss an einen HiFi-Verstärker, der oft sehr empfindlich auf Störungen reagieren kann. Auch das Verwenden hochwertiger Kabel und Steckdosen kann dazu beitragen, Störungen zu vermeiden. Es ist auch ratsam, die Messgeräte vor dem Anschließen zu überprüfen, um sicherzustellen, dass sie in gutem Zustand sind und keine Beschädigungen aufweisen. Sollte trotz aller Vorsichtsmaßnahmen ein Problem auftreten, ist es besser, einen Fachmann zu Rate zu ziehen, statt selbst an den Geräten herumzubasteln und das Problem zu verschlimmern. Einwandfreie Messungen erfordern somit sowohl ein sorgfältiges Vorgehen bei der Bedienung und dem Anschluss der Meßgeräte als auch die Verwendung hochwertiger Komponenten. Mit diesen Maßnahmen kann man sicherstellen, dass die Messungen zuverlässig und präzise sind und dass Störgeräusche und Kurzschlüsse vermieden werden. Wenn man Meßgeräte anschließt, kann es zu Störungen oder Fehlern kommen, wie zum Beispiel Brummen oder Kurzschlüsse. Um diese Probleme zu vermeiden, gibt es einige Maßnahmen, die man ergreifen kann. Zum einen kann man die Schutzkontakte im Netzstecker trennen, oder eines der Meßgeräte über einen Trenntransformator anschließen. Die Schutzkontakterdung von Meßgeräten kann jedoch manchmal problematisch sein, da sie die galvanische Trennung des Prüfobjektes vom Netz aufhebt. Um diese Probleme zu umgehen, gibt es immer mehr Meßgeräte, die eine erdfreie Minusleitung haben, die nicht mit dem Gehäuse oder der Schutzerde verbunden ist. Man kann diese erdfreie Minusleitung an der Ausgangsbuchse an dem eingeklammerten Minuszeichen (-) erkennen. Mit erdfreien Meßgeräten kann man sicherstellen, dass keine Störungen oder Fehler mehr auftreten und man genaue Messungen erhält. Es ist jedoch wichtig, bei der Verwendung von Meßgeräten immer sicherzustellen, dass sie richtig angeschlossen werden. Eine falsche Anschlussmethode kann immer noch zu Störungen oder Fehlern führen. Es ist daher ratsam, sich mit dem richtigen Anschluss von Messgeräten auseinanderzusetzen und sicherzustellen, dass man die entsprechenden Schutzmaßnahmen ergreift, um präzise und zuverlässige Messungen zu erhalten. Eine weitere Möglichkeit, Fehler bei der Messung zu vermeiden, ist die Verwendung eines Netzfilters. Dieser Filter kann Störungen aus dem Stromnetz herausfiltern und sicherstellen, dass nur sauberer Strom zu den Messgeräten gelangt. Auch die Verwendung eines

Schirmkabels kann dazu beitragen, Störungen zu vermeiden und eine präzisere Messung zu ermöglichen. Es ist auch wichtig, dass Messgeräte regelmäßig gewartet und überprüft werden, um sicherzustellen, dass sie in einwandfreiem Zustand sind. Auch die Verwendung hochwertiger und zuverlässiger Meßgeräte kann dazu beitragen, dass Fehler und Störungen vermieden werden.

Zusammenfassend ist es wichtig, bei der Verwendung von Meßgeräten einige Schritte zu unternehmen, um Fehler und Störungen zu vermeiden und genaue Messungen zu erhalten. Dies beinhaltet das richtige Anschließen der Geräte, die Verwendung von Netzfiltern und Schirmkabeln, regelmäßige Wartung und Überprüfung sowie die Verwendung hochwertiger und zuverlässiger Geräte. Es ist wichtig, auf die maximal zulässige Eingangsspannung zu achten, da diese bei einer Überschreitung den Eingang der Soundkarte zerstören kann.

Messprogramme

Ein PC oder Laptop kann als Messgerät für NF-Geräte genutzt werden, indem man Messprogramme verwendet. Es ist wichtig zu beachten, dass die Soundkarte bestimmte Qualitäten aufweisen muss, um brauchbare Messergebnisse zu liefern. Nicht jedes Messprogramm läuft optimal mit jeder Soundkarte und die maximal zulässige Eingangsspannung ist begrenzt. Wenn größere Signalpegel gemessen werden sollen, benötigt man eine Vorschaltbox. Die Bandbreite ist in der Regel auf etwa 40 kHz begrenzt, was bei Frequenzgangmessungen zu einer vorgetäuschten Abweichung führen kann. Die Qualität der Klirrmessung hängt davon ab, wie gut das generierte Sinussignal ist und das Nutzsignal muss sich ausreichend vom Grundrauschen abheben, um Verfälschungen zu vermeiden. Es ist wichtig, die Grenzen des Messsystems zu kennen und diese Punkte zu beachten, um genaue Messergebnisse zu erzielen. Es ist von großer Bedeutung zu beachten, dass ein üblicher PC mit dem Schutzleiter verbunden ist, was zu Erdschleifen und Messfehlern führen kann. Laptops, die aus einem erdfreien Netzteil oder dem Akku betrieben werden, haben dieses Problem nicht. Vor der Verwendung eines Messprogramms sollten die Hardware-Anforderungen sowie das erforderliche Betriebssystem geprüft werden. Es ist wichtig zu überprüfen, ob das Programm auch die notwendigen Filter und Funktionen hat, wie z.B. Fremd- und Geräuschspannungsfiler. Die Qualität des Sinussignals ist ebenfalls ein wichtiges Kriterium und hängt auch von der Qualität der Soundkarte ab. Möglicherweise ist eine Aufrüstung auf eine leistungsstärkere und teurere Soundkarte erforderlich. Es sollte auch eine Vorschaltbox verwendet werden, um die Soundkarte vor Schäden durch leistungsstarke und gut ausgesteuerte Endstufen zu schützen.

Abschließende Worte

Unser Labor ist spezialisiert auf die detaillierte Analyse von Audio sowie Bild komponenten hinsichtlich ihrer Qualität. Wir verfügen über modernste, hochpräzise Messgeräte von internationalen Herstellern, um rauscharme und klirrarne Messungen durchführen zu können. Wir halten uns bei allen Messungen an Normen wie SMPTE, DIN, AES17 und IEC60268-3. Um jedoch sicherzustellen, dass unsere Messergebnisse korrekt sind, braucht es mehr als nur state-of-the-art Ausrüstung und Technik. Langjährige Erfahrung und umfassendes Fachwissen sind ebenfalls wichtig. Ganz nach unserem Motto "Even when you can not hear it, you can measure it. And when you can measure it, you can improve it!".