

Verstehen, Finden und Eliminieren von Erdschleifen in Audiosystemen

Projektarbeit

durchgeführt von

Konrad Jürgen

Hostniker Klaus

Institut für Breitbandkommunikation
der Technischen Universität Graz

Leiter: *Univ.Prof. Dipl.Ing. Dr.techn.* Gernot Kubin

Betreuer/in: *Dipl.Ing.* Thorsten Rohde

Graz, im April 2010

Inhalt

1. Das PIN1-Problem	3
2. Der HUMMER Test.....	4
3. Das Probleminterface finden.....	5
4. Design und Konstruktion einer aktiven Tiefpassschaltung in einem Gehäuse mit zu- und wegschaltbarem Pin1-Problem.....	7
5. Messungen am aktiven Tiefpass	12
6. Abbildungsverzeichnis.....	21

1. Das PIN1-Problem

Das Pin1-Problem ist ein häufig auftretender Schaltungsfehler der in vielen Geräten „unbeabsichtigt“ designed wurde. Am Pin1 eines symmetrischen XLR-Steckers oder einer XLR-Buchse wird der Schirm des symmetrischen Kabels angeschlossen. Ist der Pin1 nun an den Ein-/Ausgängen des Gerätes mit der Audiosignalmasse anstatt mit der Gerätemasse verbunden, kann der Ausgleichsstrom über den Schirm auch wieder in den Signalweg gelangen und wir können mit einer resultierenden Brummschleife rechnen. Diesem Problem lässt sich aber leicht entgegenwirken, indem man den Pin1 der Ein-/Ausgänge direkt an die Gerätemasse (Gehäuse) legt bzw. über eine Sternerdung direkt zu einem Erdungspunkt führt und nicht über die Audiomasse ableitet.

Die folgenden Abbildungen zeigen den Fall mit dem Pin1-Problem, wo der Pin1 über die Audiomasse geleitet wird (links) und die richtige Ausführung wo der Pin1 direkt an die Gerätemasse geführt ist (rechts).

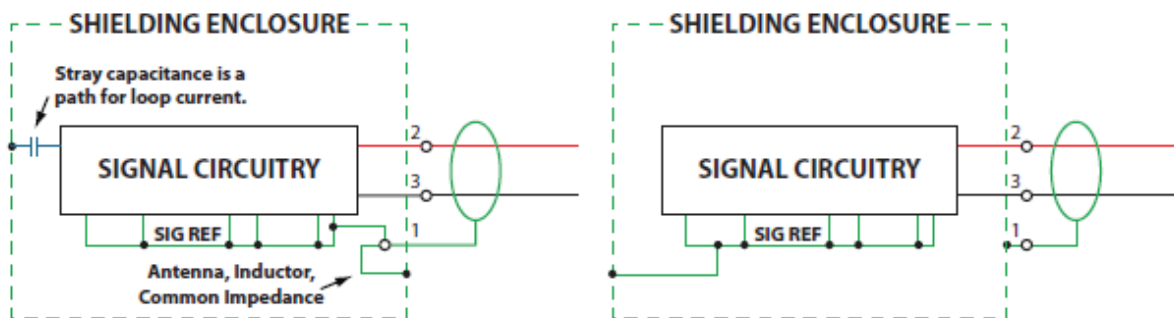


Abbildung 1 - Pin 1 Problem (links) und korrekte Ausführung (rechts)

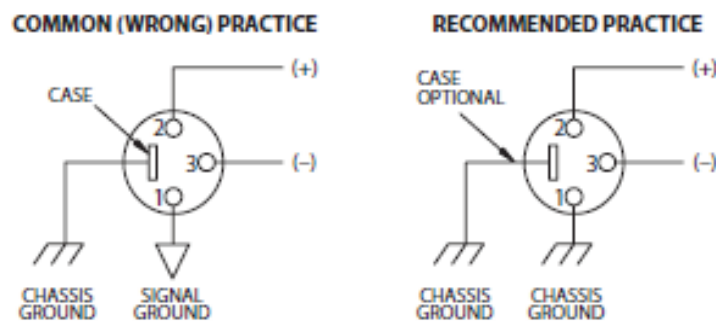


Abbildung 2 - Belegung eines XLR-Steckers und Masseführung

2. Der HUMMER Test

Will man ein mögliches Pin1-Problem aufspüren, dann gibt es einen einfachen Test um ein solches Fehldesign aufzudecken: den Hummer Test.

Der Hummer, deren Schaltbild hier gezeigt wird, ist nichts anderes als ein handelsübliches 12-Volt-Wechselspannungsnetzteil mit zwei angebrachten Steckern. Ein Stecker wird an dem zu untersuchenden Interface angelegt (Pin 1), der zweite wird mit der Gerätemasse verbunden. Hierdurch wird an dem Masseanschluss des Eingangs der Schaltung (Pin 1) ein Störsignal angelegt.

In richtig entworfenen Geräten verursacht dies kein Zusatzrauschen am Geräteausgang. Der 12-Volt-Transformator muss mindestens 50 mA liefern können, wenn die Stecker kurzgeschlossen werden. Die wahlweise freigestellte LED Diode zeigt einfach an, dass die Verbindung in Ordnung ist und Strom tatsächlich fließt.

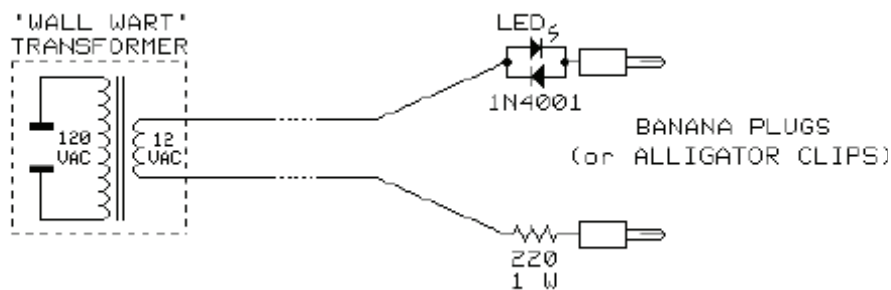


Abbildung 3 - Der Hummer

Überprüfung mit dem "Hummer":

1. Alle Eingangs- und Ausgangskabel trennen, ausgenommen der Ausgang den man überprüfen will, sowie alle möglichen Chassisanschlüsse (z.B.: Rackeinschübe,...) von dem zu messenden Gerät.
2. Das Gerät einschalten.
3. Das Ausgangssignal messen und wenn möglich auch hören. Die einzigen Geräusche sollten weißes Rauschen oder Zischen sein. Verschiedene Einstellungen am Gerät durchschalten, um sich mit den Rauscheigenschaften des Gerätes ohne den angeschlossenen *Hummer* vertraut zu machen.
4. Ein Anschluss des *Hummers* wird an das Gehäuse gehalten und der andere Anschluss an dem Erdungskontakt (Pin 1) des Ein- oder Ausganges. Ist das Gerät korrekt entworfen, darf kein Brummen oder eine andere Veränderung des Rauschens auftreten.
5. Andere möglicherweise „unangenehme“ Wege überprüfen, wie zum Beispiel von einem Eingangs- zu einem Ausgangsschirmungskontakt oder vom Erdungspin des Netzanschlusskabels zum Chassis.

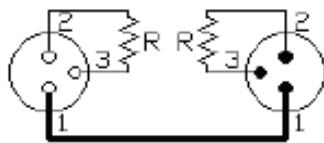
3. Das Probleminterface finden

In der Praxis treten Brummschleifen oft dort auf wo man sie am wenigsten erwartet und in einer langen Signalkette mit mehreren Geräten und Kabelverbindungen. Oft lässt sich nur schwer das fehlerhafte Gerät oder die fehlerhafte Verbindung erahnen.

Durch einfach konstruierte Testadapter (*Dummies*) lässt sich das System leicht prüfen und der genaue Eintrittspunkt des Rauschens/Brummens in das System bestimmen.

Für die Testadapter werden Standard XLR-Stecker verwendet, die wie in der Abbildung unten gezeigt verdrahtet werden.

Balanced Interfaces



For Balanced Audio XLR

P1/J1 = Switchcraft S3FM Adapter
with QG3F and QG3M Inserts

R = 604 Ω , 1%, 1/4 W Resistor

For Balanced Audio 3C Phone

Use Switchcraft 383A and 387A
Adapters with XLR version

Abbildung 4 – Der Testadapter

Durch diesen Testadapter wird die Signalleitung unterbrochen und nur die Masseleitung ist verbunden. Kein Signal wird durch den Dummy geführt! Er wird an strategischen Positionen in der Signalkette an den Schnittstellen angeschlossen um den Punkt der Signalkette zu finden an dem das Störsignal der Masseleitung auf die Signalleitung überspricht.

Dabei wird das System vom Ende der Signalkette nach vorne aufgearbeitet. Jede Schnittstelle wird mit dem folgenden 4-Schritt Verfahren geprüft:

Schritt 1:

Das Kabel von der Box B abstecken und den Adapter anstecken.

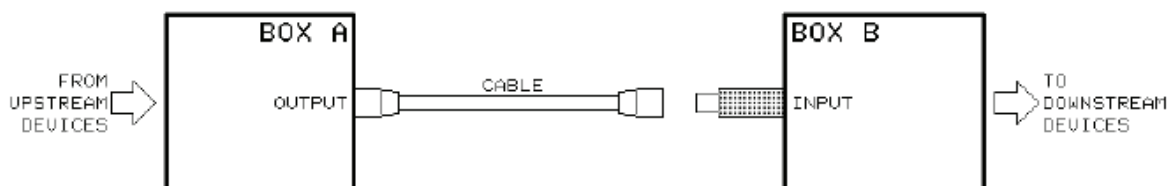


Abbildung 5 - Überprüfung der Signalkette Schritt 1

Ist das Störsignal noch immer vorhanden liegt das Problem in der Box B oder noch später im Signalfluss.

Ist der Ausgang leise dann weiter mit dem nächsten Schritt.

Schritt 2:

Das Kabel auf den Adapter stecken.

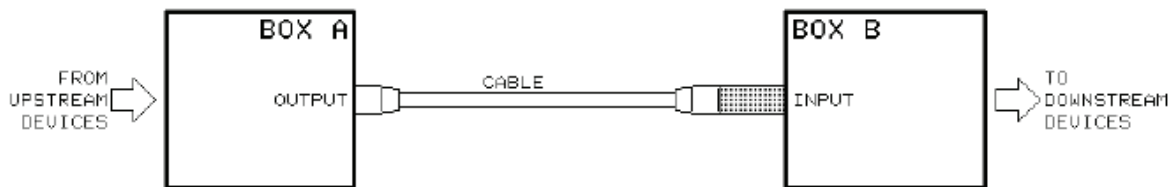


Abbildung 6 - Überprüfung der Signalkette Schritt 2

Ist das Störsignal noch immer vorhanden, dann hat Box B ein internes PIN1-Problem.

Mit dem Hummer Test überprüfen.

Ist der Ausgang leise dann weiter mit dem nächsten Schritt.

Schritt 3:

Das Kabel wird nun wieder an die Box B gesteckt und der Adapter an das andere Ende des Kabels.

Darauf achten dass der Testadapter nichts Leitendes berührt.

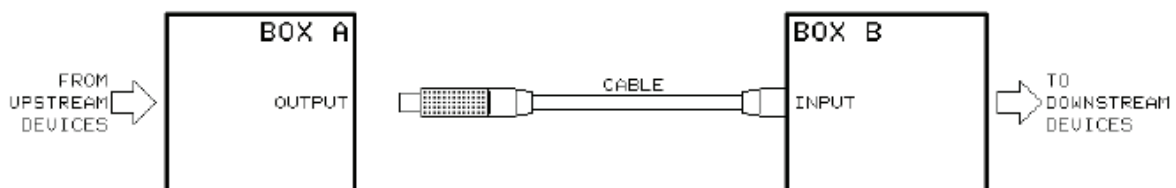


Abbildung 7 - Überprüfung der Signalkette Schritt 3

Ist das Störsignal noch immer vorhanden, dann entsteht das Rauschen im Kabel.

Ist der Ausgang leise dann weiter mit dem nächsten Schritt.

Schritt 4:

Der Adapter wird an Box A angesteckt.

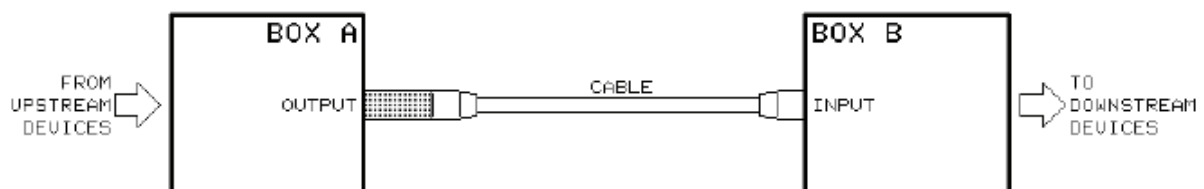


Abbildung 8 - Überprüfung der Signalkette Schritt 4

Ist der Ausgang nun wieder leise, dann kommt das Störsignal vom Ausgang der Box A und das Problem liegt noch weiter vorne in der Signalkette.

Das Verfahren für die vorangegangenen Schnittstellen in der Signalkette wiederholen, bis die Ursache gefunden ist.

4. Design und Konstruktion einer aktiven Tiefpassschaltung in einem Gehäuse mit zu- und wegschaltbarem Pin1-Problem

Um das Pin 1 Problem in der Praxis zu demonstrieren wurde im Rahmen dieses TI-Projektes ein aktives Gerät – in diesem Fall fiel die Wahl auf einen aktiven Tiefpass – designed und konstruiert. Das Gerät besitzt die Möglichkeit das PIN 1 Problem an Ein- und Ausgang der Schaltung zu simulieren.

Dual Voltage Power Supply

Die folgende Dual Voltage Power Supply Schaltung wurde gewählt und für die Versorgung der aktiven Bauteile der Schaltung konstruiert.

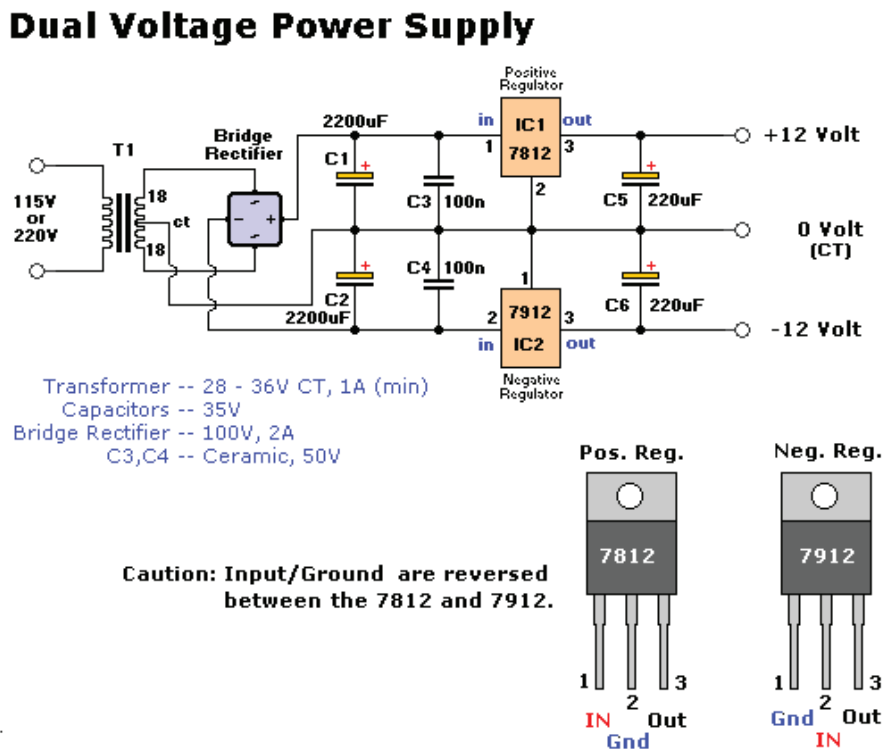


Abbildung 9 - Dual Voltage Power Supply

Am Eingangsschalter wurde noch zusätzlich eine 1Ampere-Sicherung eingefügt, um die Sicherheit der Schaltung zu gewährleisten. Die Mittelanzapfung des Transformators geht zum Sternendungspunkt des Gerätes. An diesem Punkt ist des Weiteren das Gehäuse und auch die zuschaltbare Verbindung zu Pin 1 verbunden. Der Schaltungsausgang liefert uns die beiden Versorgungsspannungen, sowie die 0 Volt Signalmasse für die nachfolgenden aktiven Bauteile. Der Brückengleichrichter wurde einfach mit 4 Dioden ausgeführt und in diesem Fall auf eine integrierte Schaltung verzichtet.

Tiefpass

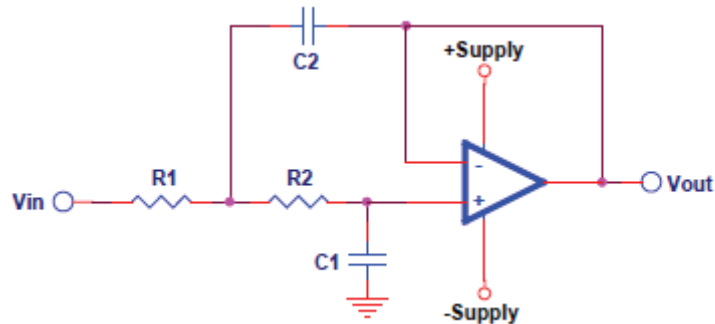


Abbildung 10 - aktive Tiefpassschaltung

Bei der Planung unseres Gerätes wurde als aktive Schaltung ein Tiefpass mit einer Grenzfrequenz von 2 Kilohertz gewählt. Die positive und negative Versorgung (+/- 12V), sowie den Signalmasseanschluss bei C1 liefert uns unsere Versorgungsschaltung. V_{in} und V_{out} bezeichnen die Anschlüsse für unser zu filterndes Signal.

Bauteilberechnung für den TP ($f_g = 2\text{kHz}$):

C1 wurde gewählt mit $C1 = 0,1 \mu\text{F}$

$C2 = 2 * C1 = 0,2 \mu\text{F}$

$$R1 = R2 = \frac{1}{2 * \sqrt{2} * \pi * C1 * f_g}$$

$$R1 = R2 = 562,698 \Omega$$

Es wurden für die Schaltung Widerstände R1 und R2 mit 560Ω gewählt.

Line Receiver

Am Eingang unserer Schaltung ist eine Empfangsstufe erforderlich, die das gegenphasige Signal des XLR-Signals in **ein** Ausgangssignal umwandelt. Dieses Ausgangssignal stellt in weiterer Folge das Eingangssignal für den Tiefpass dar.

Folgender Line Receiver wurde für die Schaltung gewählt:

INA134PA DIFFERENTIALVERSTAERKER

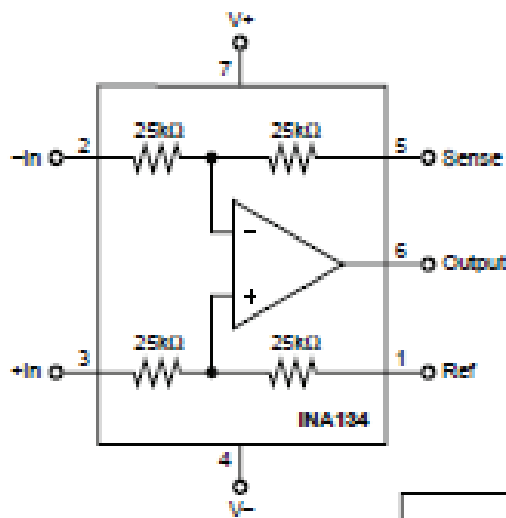


Abbildung 11 - Line Receiver

Der Sense-Pin des ICs wurde mit dem Output zur Stabilisierung der Schaltung verbunden. *Ref* bezeichnet die Referenz (also das Bezugspotential) und wurde mit der Signalmasse verbunden.

Line Driver

Am Ausgang des Gerätes muss das Signal wieder für einen XLR-Anschluss aufbereitet werden. Das Bezugspotential stellt wieder die Signalmasse dar.

Folgender Line Driver wurde für die Schaltung gewählt:

DRV134PA OP-VERSTAERKER

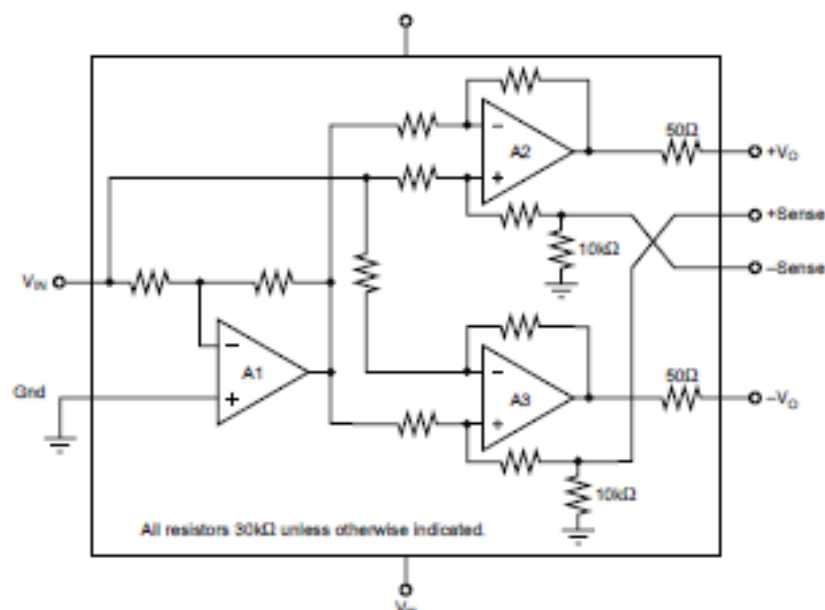


Abbildung 12 - Line Driver

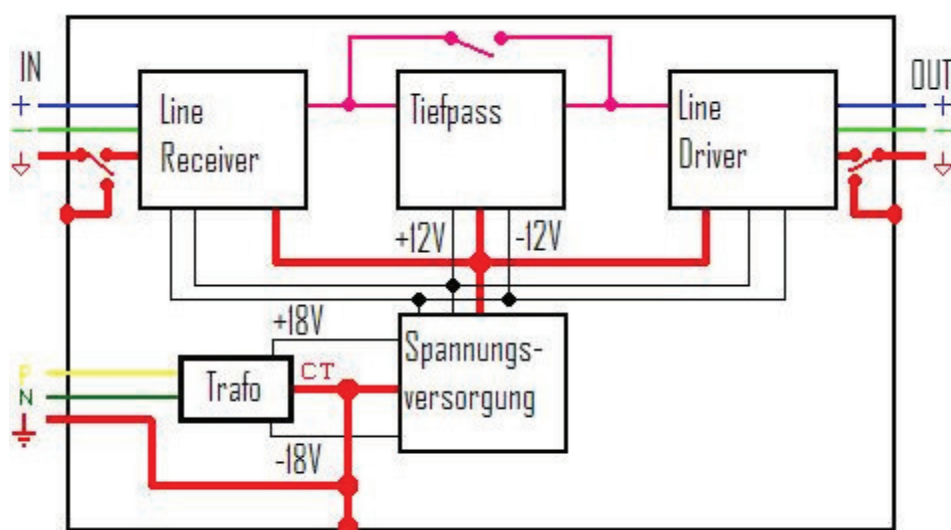


Abbildung 13 - Schematische Darstellung der Gesamtschaltung

Am Ein- sowie Ausgang ist es möglich die Signalmasse durch Betätigung von Schaltern direkt auf das Gehäuse und dementsprechend auf den Sternpunkt der Erdung zu führen. Somit können keine Störströme in die Signalmasse fließen, sondern werden über die Betriebserdung des Netzversorgungssteckers abgeleitet.

Die Deaktivierung des Tiefpasses ist durch Kurzschließen der Schaltung gelöst worden.

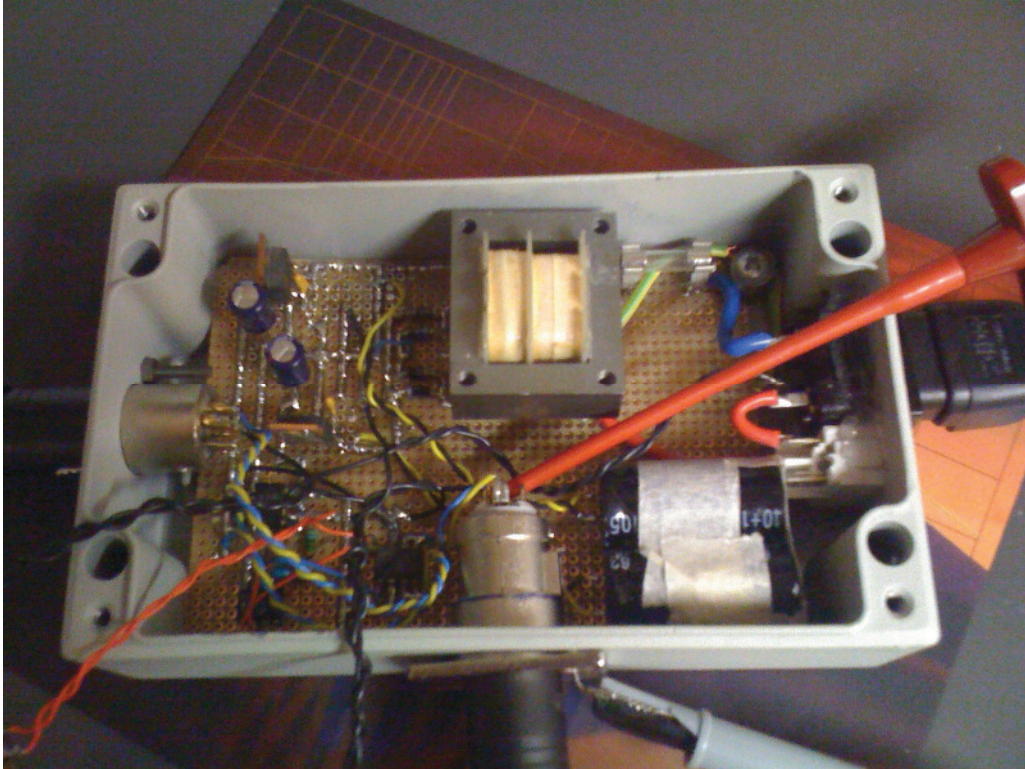


Abbildung 14 - Foto der fertigen Schaltung mit angeschlossenem Hummer an Pin 1

5. Messungen am aktiven Tiefpass

Der Hummertest wurde mit angeschlossenem Lautsprecher (Genelec Nahfeldmonitor) aufgebaut und dabei eine Hörprobe durchgeführt. Dabei war das Netzbrummen deutlich hörbar, durch die Betätigung des Schalters wurde das PIN 1 Problem am Schaltungseingang überbrückt und das Brummen war nicht mehr zu hören.

Anschließend wurde die Schaltung mittels des Audio Precision Messplatzes charakterisiert. Der Ausgang der Schaltung wurde mit dem Eingang des Messplatzes verbunden, das Testsignal des Audio Precision wurde am Eingang der Schaltung angelegt.

Messaufbau

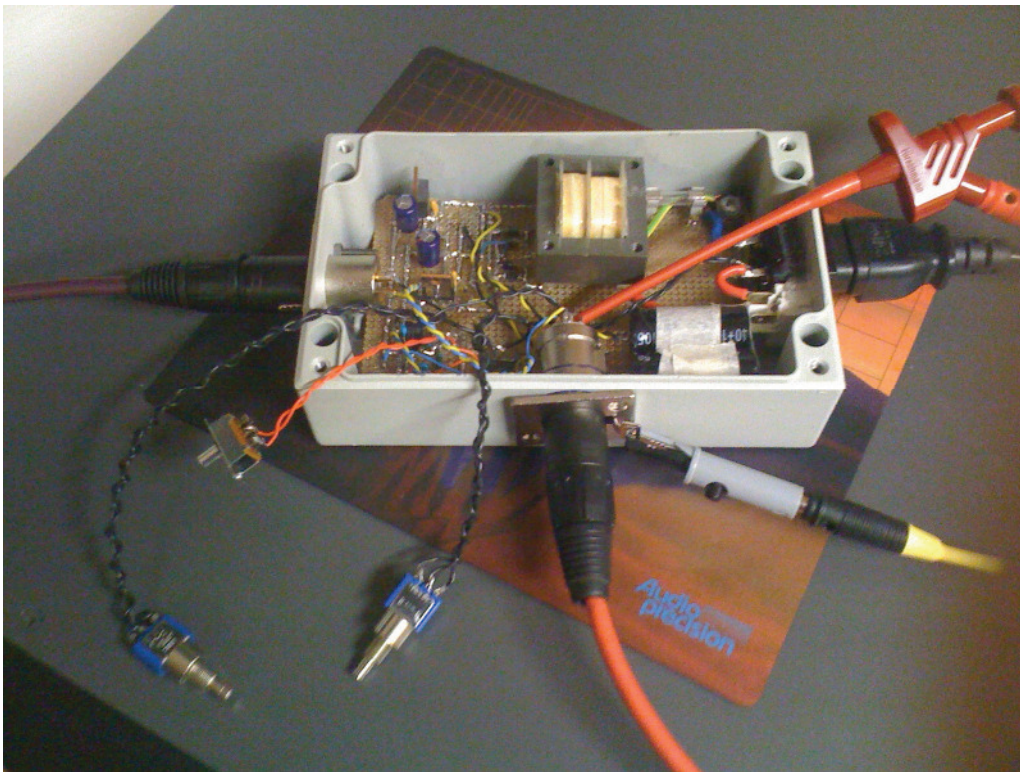


Abbildung 15 - Der Hummertest

Der Hummer wurde am Pin1 des Einganges (rotes XLR Kabel) und an der Gerätemasse angeschlossen. Mit den zwei blauen Schaltern kann man das Pin1 Problem (siehe Abbildung 13) jeweils am Ein- und Ausgang der Schaltung simulieren bzw. wegschalten. Der mittlere Schalter (rote Bedrahtung) dient zur Aktivierung des Tiefpasses.



Abbildung 16 - Messung am Audio Precision Messplatz

Frequenzgangmessung

- Frequenzgangmessung mit angelegtem Hummer ohne aktivierten Tiefpass (gerader Frequenzgang) und mit aktivem Tiefpass mit einer Grenzfrequenz $f_g = 2$ kHz.

Audio Precision

04/09/10 18:05:10

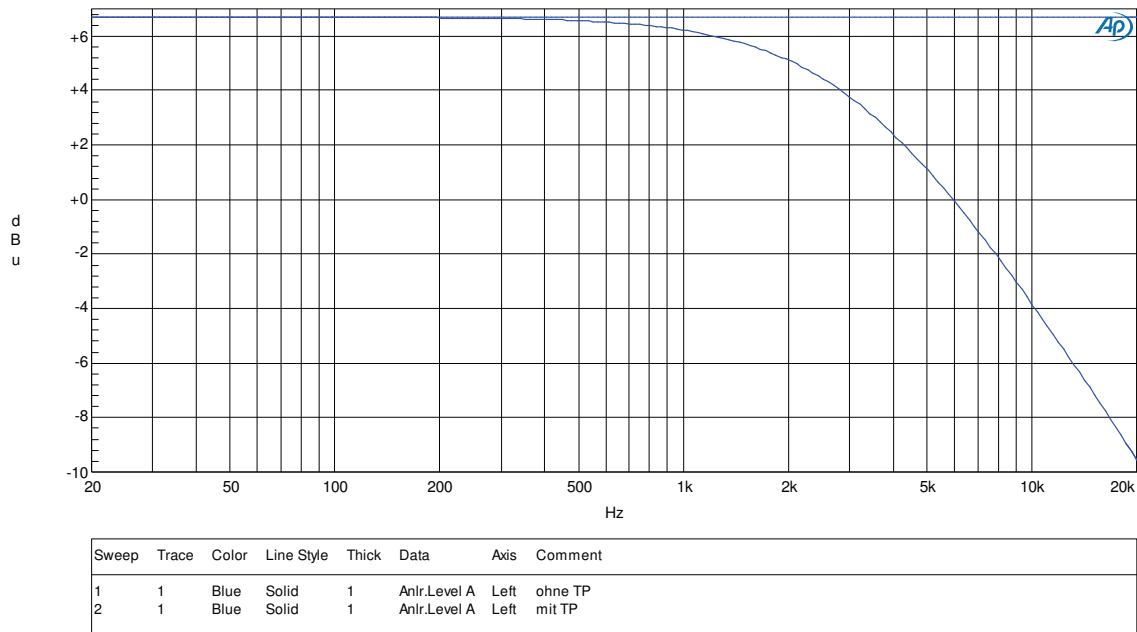


Abbildung 17 - Frequenzgangmessung

- Frequenzgangmessung zusätzlich ohne angelegten Hummer (Cyan).

Audio Precision

04/09/10 18:07:18

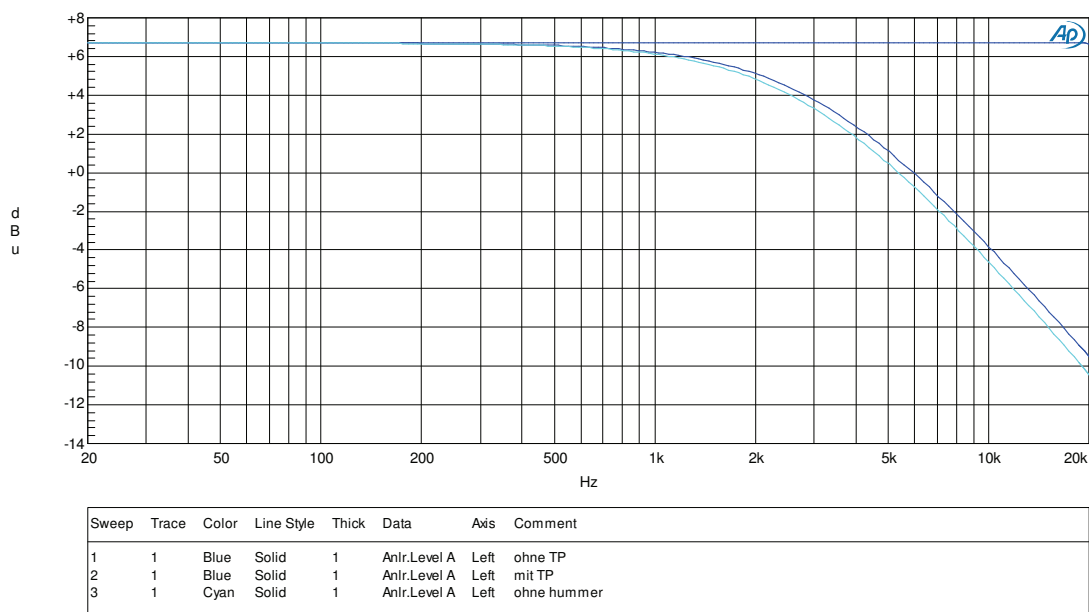


Abbildung 18 - Frequenzgangmessung mit Hummer

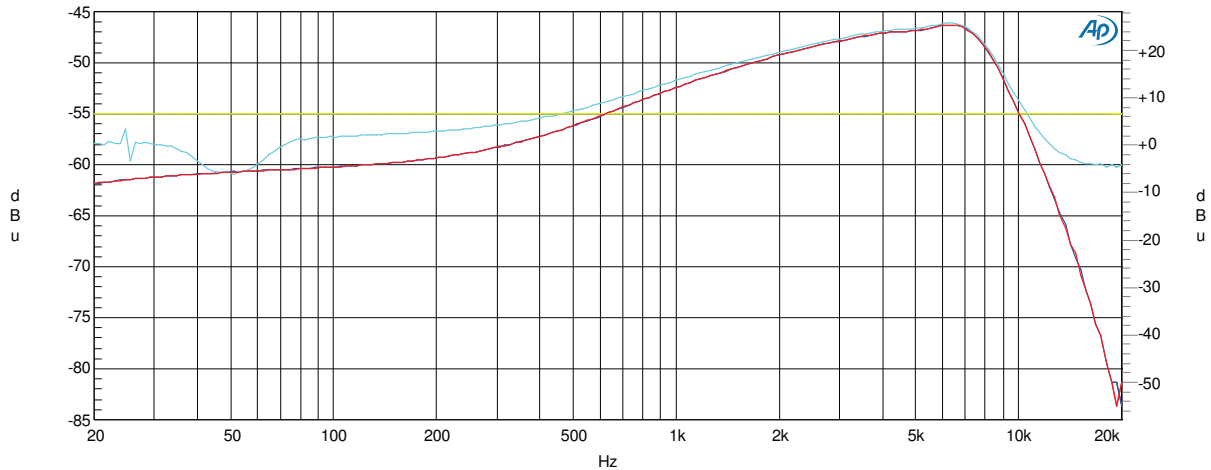
Die Schaltung liefert ohne Tiefpass einen linearen Frequenzgang über den Hörbereich, die hörbaren Auswirkungen des Hummers sind hier jedoch noch nicht ersichtlich.

Frequenzgangsmessung und THD plus Noise Messung

- Messung ohne Tiefpass

Audio Precision

04/09/10 18:54:21



Sweep	Trace	Color	Line Style	Thick	Data	Axis	Comment
1	1	Blue	Solid	1	Anlr.THd+N Ampl	Left	ohne Hummer
1	2	Blue	Solid	1	Anlr.Level A	Right	
2	1	Cyan	Solid	1	Anlr.THd+N Ampl	Left	mit Hummer, PIN1 Problem
2	2	Green	Solid	1	Anlr.Level A	Right	
3	1	Red	Solid	1	Anlr.THd+N Ampl	Left	mit Hummer PIN1 gelöst (Schalter)
3	2	Yellow	Solid	1	Anlr.Level A	Right	

Abbildung 19 - Messung des Signalrauschabstandes

Gelb:

Frequenzgang ohne Tiefpass für alle Messungen identisch. (nur hier gilt die Skalierung auf der rechten y-Achse)

Blau:

THD plus Noise für die Messung ohne Hummer.

Cyan:

THD plus Noise für die Messung mit angelegtem Hummer. PIN1 Problem besteht, da der PIN1 des Ein-/Ausganges nicht sofort auf das Gehäuse geleitet wird sondern in die Audiomasse einfließt.

Rot:

THD plus Noise für die Messung mit angelegtem Hummer und Überbrückung des PIN1 Problems des Gerätes durch drücken des PIN1-Schalters. PIN1 des Ein-/Ausganges wird sofort wieder auf das Gehäuse geleitet und geht nicht in die Audiomasse ein.

Fast ident mit der blauen Kurve.

Der Signalrauschabstand kann einfach als die Differenz zwischen dem Frequenzgang und dem THD+Noise Verlauf angesehen werden. Bei bestehendem PIN1 Problem zeigt sich deutlich ein schlechterer Signalrauschabstand um die Netzfrequenz von 50 Hertz.

- Messung mit aktiviertem Tiefpass

Audio Precision

04/09/10 19:01:59

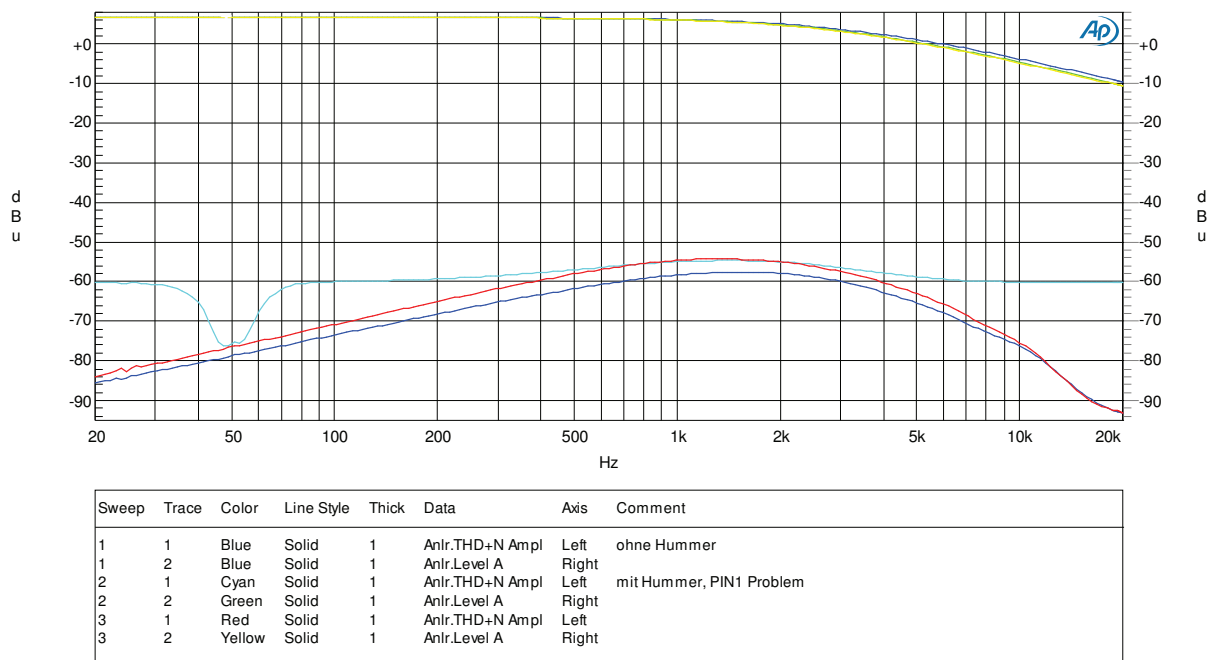


Abbildung 20 - Signalrauschabstandsmessung mit Tiefpass

Gelb:

Frequenzgang ohne Tiefpass für alle Messungen identisch.

Blau:

THD plus Noise für die Messung ohne Hummer.

Cyan:

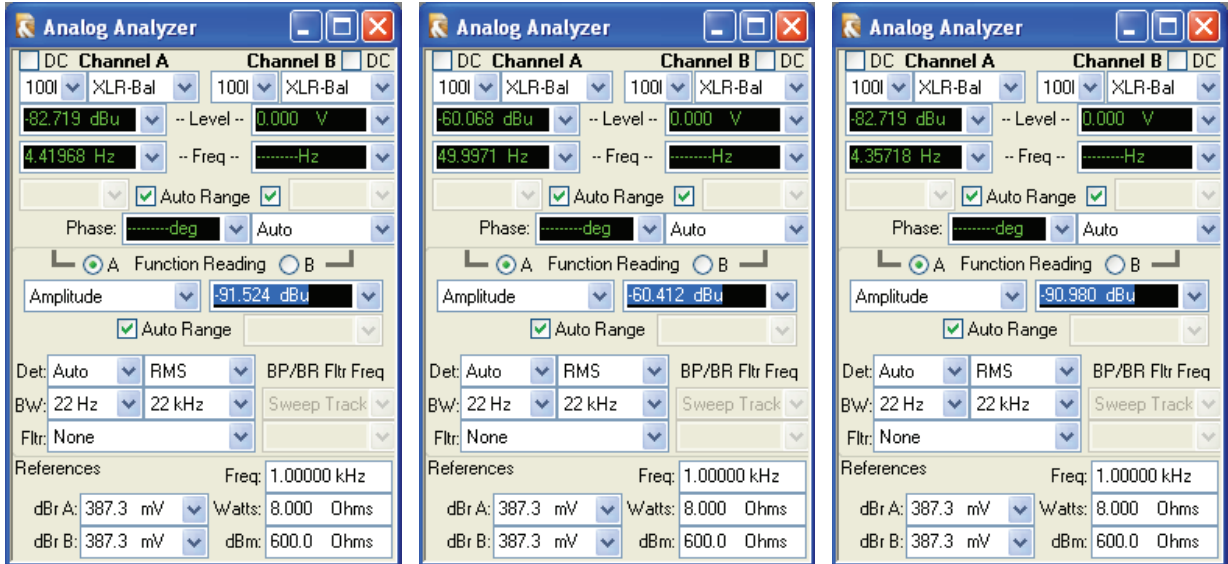
THD plus Noise für die Messung mit angelegtem Hummer. PIN1 Problem besteht.

Rot:

THD plus Noise für die Messung mit angelegtem Hummer und Überbrückung des PIN1 Problems des Gerätes durch drücken des PIN1-Schalters.

FFT Analyse

- ohne Tiefpass:



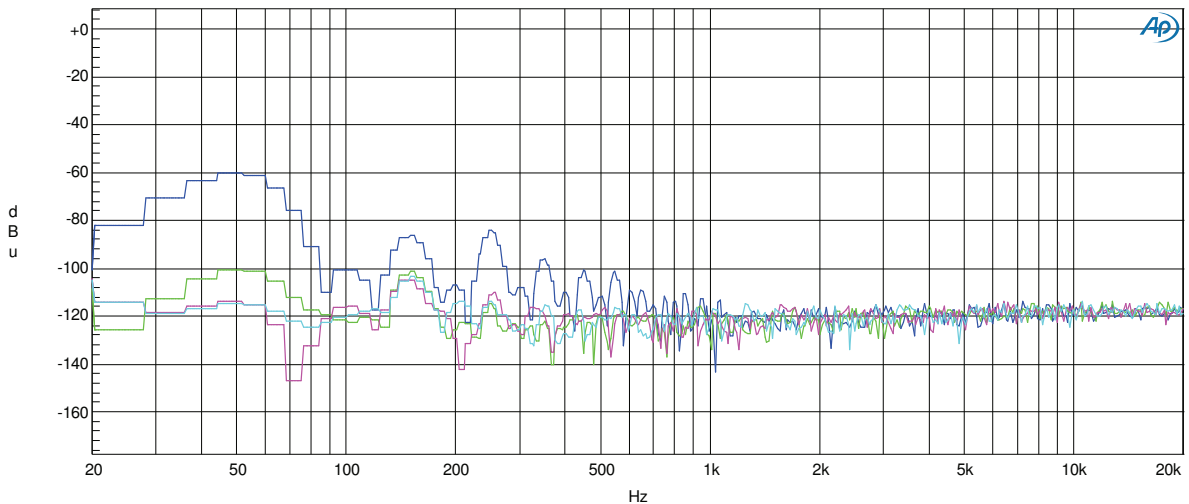
Messung 1 – ohne Hummer
(Cyan/Magenta)

Messung 2 – mit Hummer
(Blau)

Messung 3 – mit Hummer
und Überbrückung des PIN1
Problems mit Schalter (Grün)

Audio Precision

04/09/10 17:40:30



Sweep	Trace	Color	Line Style	Thick	Data	Axis	Comment
1	1	Blue	Solid	1	Fft.Ch.1 Ampl	Left	mit PIN1 Problem
2	1	Green	Solid	1	Fft.Ch.1 Ampl	Left	ohne PIN1 Problem
3	1	Magenta	Solid	1	Fft.Ch.1 Ampl	Left	
5	1	Cyan	Solid	1	Fft.Ch.1 Ampl	Left	ohne Hummer

Abbildung 21 - FFT Messung ohne Tiefpass

Bei der Überbrückung des PIN 1 Problems wird der 50Hz-Hub deutlich verringert (um 40dBu), verschwindet jedoch nicht ganz. Dieser Resthub ist durch die Spannungsversorgung der Gerätes (Netzanschluss) zu erklären, da dieser Resthub auch ohne angelegten Hummer zu

messen ist. Des Weiteren sind auch die Harmonischen der Netzfrequenz zu erkennen. Bei Messung 3 mit dem Analog Analyzer beträgt der Unterschied zwischen gelöstem Pin 1 Problem und Messung ohne Hummer weniger als 1dBu Unterschied.

- FFT Analyse mit 1 kHz Impuls und angelegtem Hummer – ohne Tiefpass

Audio Precision

04/09/10 17:51:42

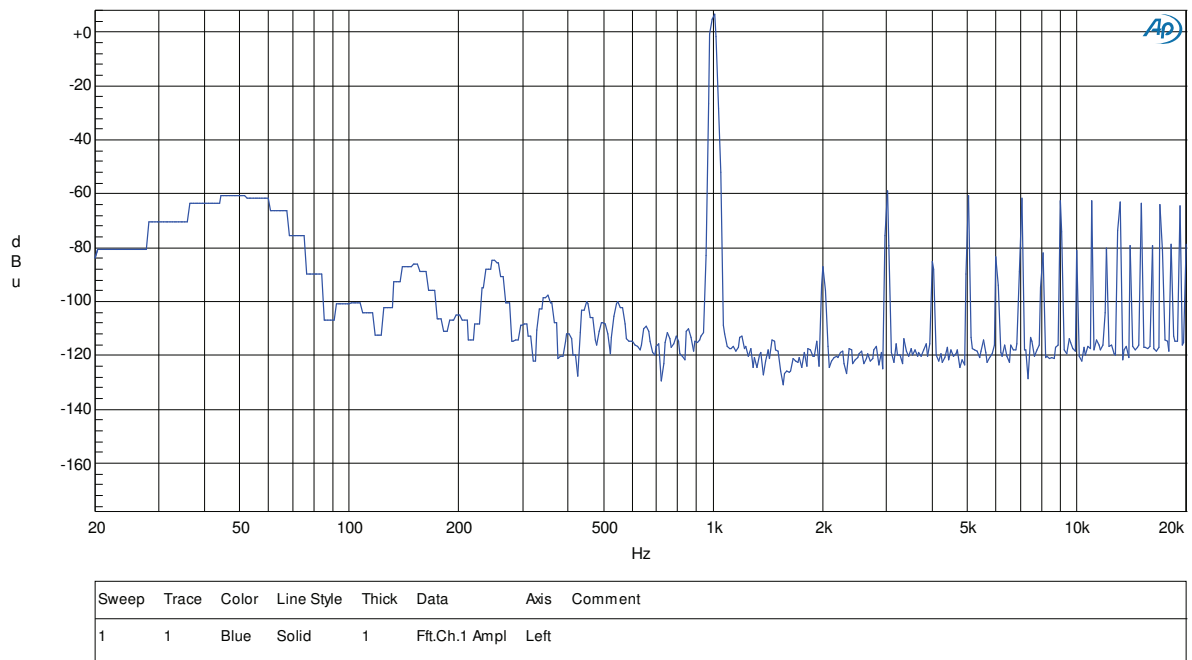
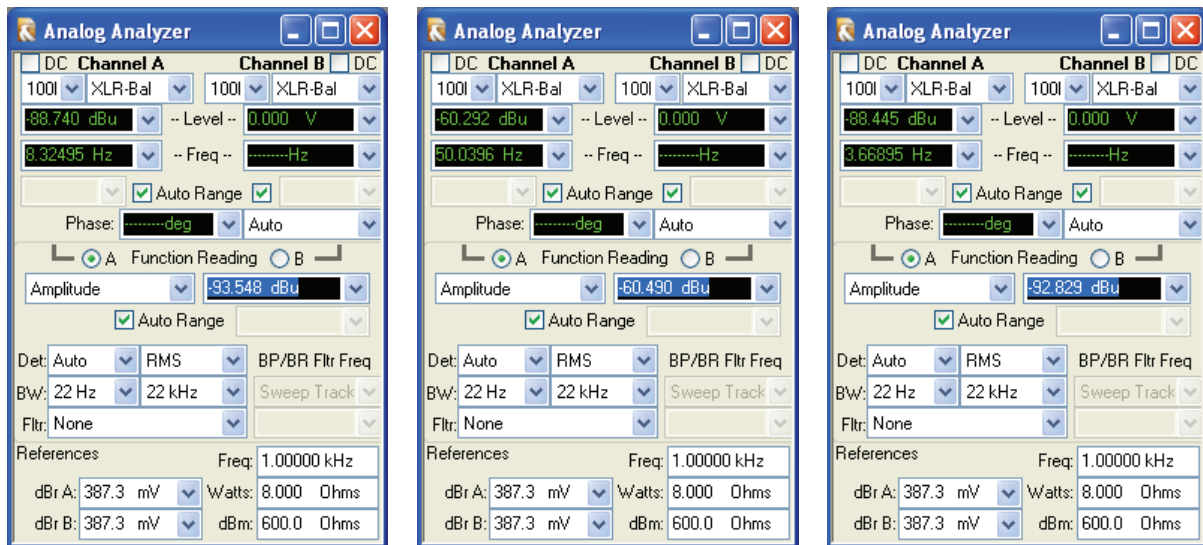


Abbildung 22 - FFT Messung ohne Tiefpass mit 1kHz Impuls

- mit Tiefpass:



Messung 1 – ohne Hummer
(Magenta)

Messung 2 – mit Hummer
(Blau)

Messung 3 – mit Hummer
und Überbrückung des PIN1
Problems mit Schalter (Grün)

Audio Precision

04/09/10 17:36:33

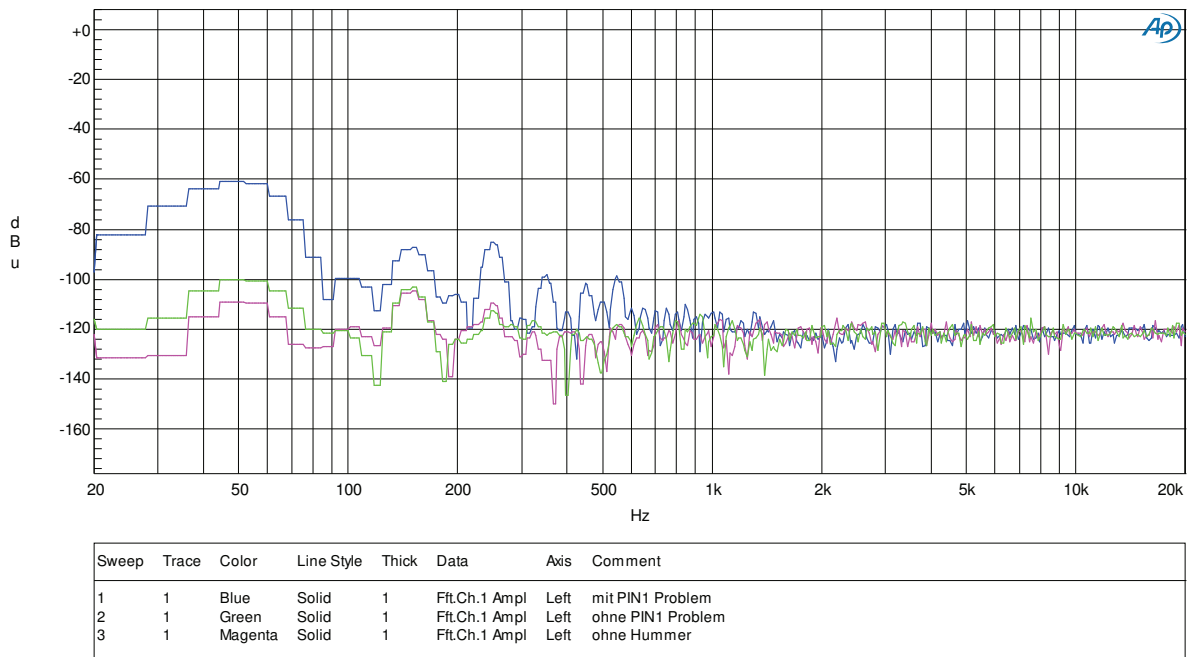


Abbildung 23 - FFT Messung mit Tiefpass

Der Tiefpass zeigt bei den Harmonischen der Netzfrequenz keine Auswirkungen, da es keine sichtbaren Oberwellen oberhalb 2kHz auch ohne Tiefpass gegeben hat.

- FFT Analyse mit 1 kHz Impuls und angelegtem Hummer – mit Tiefpass

Audio Precision

04/09/10 17:50:55

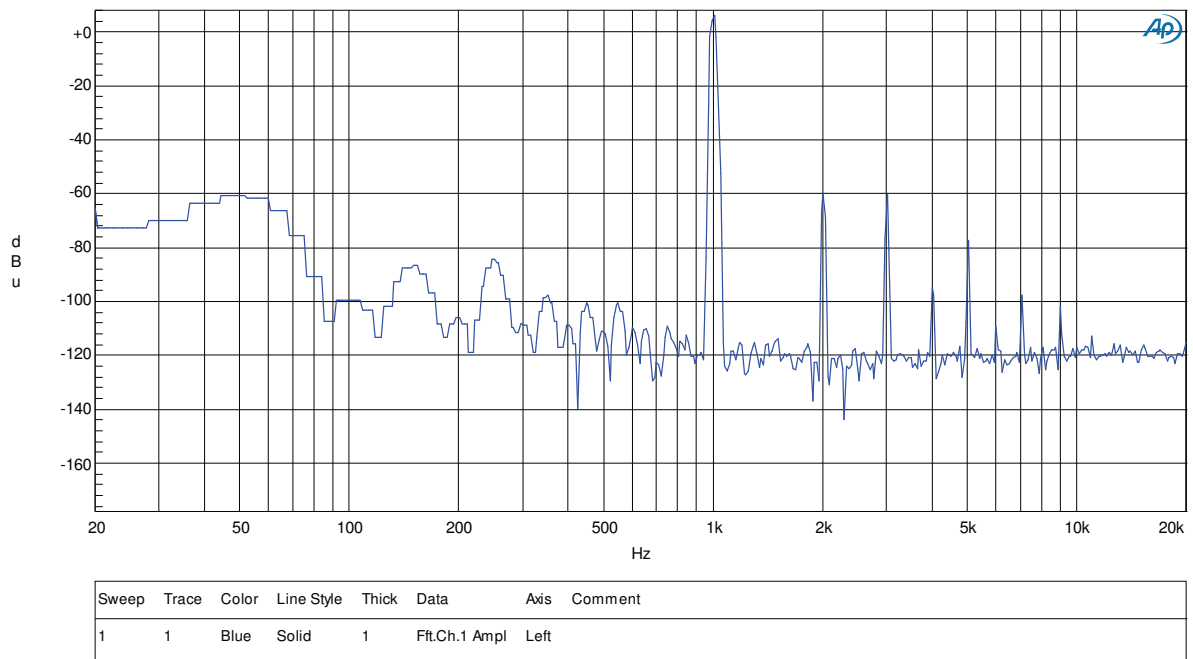


Abbildung 24 - FFT Messung mit Tiefpass und 1 kHz Impuls

6. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 - Pin 1 Problem (links) und korrekte Ausführung (rechts).....	3
Abbildung 2 - Belegung eines XLR-Steckers und Masseführung	3
Abbildung 3 - Der Hummer	4
Abbildung 4 - Der Testadapter	5
Abbildung 5 - Überprüfung der Signalkette Schritt 1	5
Abbildung 6 - Überprüfung der Signalkette Schritt 2	6
Abbildung 7 - Überprüfung der Signalkette Schritt 3	6
Abbildung 8 - Überprüfung der Signalkette Schritt 4	6
Abbildung 9 - Dual Voltage Power Supply	7
Abbildung 10 - aktive Tiefpassschaltung	8
Abbildung 11 - Line Receiver	9
Abbildung 12 - Line Driver	10
Abbildung 13 - Foto der fertigen Schaltung mit angeschlossenem Hummer an Pin 1	11
Abbildung 14 - Der Hummertest.....	12
Abbildung 15 - Messung am Audio Precision Messplatz	13
Abbildung 16 - Frequenzgangmessung	14
Abbildung 17 - Frequenzgangmessung mit Hummer	14
Abbildung 18 - Messung des Signalrauschabstandes.....	15
Abbildung 19 - Signalrauschabstandsmessung mit Tiefpass	16
Abbildung 20 - FFT Messung ohne Tiefpass	17
Abbildung 21 - FFT Messung ohne Tiefpass mit 1kHz Impuls.....	18
Abbildung 22 - FFT Messung mit Tiefpass	19
Abbildung 23 - FFT Messung mit Tiefpass und 1 kHz Impuls	20

Verstehen, finden und eliminieren von Erdschleifen in Audio- und Videosystemen

**Freie Übersetzung von
Klaus Hostniker
Jürgen Konrad**

Inhaltsverzeichnis

0 Einleitung

- 0.1 Wie „leise“ ist „leise“?
- 0.2 Mythen über Erdung und Leiter

1 Erdung, Wechselstrom und Sicherheit

- 1.1 Schutz vor defektem Equipment
- 1.2 Blitzschutz
- 1.3 Fakten über Wechselstrom
- 1.4 Es sind nicht einfach 50 Hz

2 Unsymmetrische Audio Interfaces

- 2.1 Interfaces und Impedanzen
- 2.2 Anpassung
- 2.3 Wo das Rauschen herkommt
- 2.4 Das Problem-Interface finden
- 2.5 Lösungen
- 2.6 Unterbrechen der Schleife
- 2.7 CATV und Satelliten TV Schüsseln
- 2.8 Isolation für digitale Interfaces
- 2.9 Wahl des Kabeltyps
- 2.10 Tipps zur Rauschreduzierung

3 Symmetrische Audio Interfaces

- 3.1 Eine Frage der Symmetrie
- 3.2 Werbung und Wahrheit
- 3.3 Pin 1 Probleme und der „Hummer“
- 3.4 Das Problem-Interface finden
- 3.5 Lösungen
- 3.6 Kabel und Abschirmung

3.7 „Unsymmetrisch zu Symmetrisch“ - Interfaces

3.8 „Symmetrisch zu Unsymmetrisch“ - Interfaces

4 Video Interfaces

4.1 Der „Brumm“-Streifen

4.2 Das Problem-Interface finden

5 Hochfrequenz - Interferenz und Netzstörungen

5.1 Permanente Störungen

5.2 HF - Rauschunterdrückung

5.3 „technical grounding“

5.4 Netzstromisolation, Filter und „symmetrischer Netzstrom“

5.5 Überspannungsunterdrückungsmaßnahmen

Referenzen

0 Einleitung

“A cable is a source of potential trouble connecting two other sources of potential trouble.”
Ein Witz unter Elektronikspezialisten, dessen Aussage man aber trotzdem immer bedenken und ernst nehmen sollte. Jedes Signal kann durch **Rauschen** verunreinigt werden wenn es durch Equipment, Geräte oder Kabel fließt. Wenn das Signal einmal durch Rauschen verseucht wurde, dann ist es in Wahrheit unmöglich es wieder zu entfernen, ohne das Originalsignal zu verändern oder zu zerstören. Aus diesem Grund kann kein System „leiser“ sein als seine „lauteste Verbindung“. Rauschen und Interferenzen müssen in der gesamten Signalstrecke verhindert werden. Ein Signal von einer Box zu einer anderen zu übertragen scheint ja ganz simpel zu sein, aber wenn das Signal verrauscht wird ist normalerweise die Signalschnittstelle die Gefahrenzone und nicht die geräteinterne Signalverarbeitung.

Viele Audio/Video-Designer und –Elektroniker stempeln das Thema Erdung und Koppelung als eine Art „schwarze Magie“ ab. Wie oft hört man davon, dass ein Kabel Rauschen „aufnimmt“ – wahrscheinlich von der Luft wie ein Radioempfänger? Oder, dass diese Lösung eine „bessere“ Abschirmung bringt? Ebenso die Gerätehersteller wissen oft selber nicht wo das Rauschen herkommt. Die meisten Grundregeln der Physik werden routinemäßig übersehen, ignoriert oder vergessen. In Hochschulen wird in den Elektronikursen die praktische Angelegenheit von Erdung nur sehr selten behandelt und angeführt. Infolgedessen sind Mythen und Fehlinformationen epidemisch geworden!

0.1 Wie „leise“ ist „leise“?

Wie viel an Rauschen und Interferenz tolerierbar ist hängt vom System selber ab und wofür es genutzt wird. Ein Monitor System in einem Recording Studio benötigt viel mehr Immunität gegenüber Erdungsrauschen und Interferenzen als eine Sprechanlage in einem Geschäft zum Beispiel. Der Dynamikbereich eines Systems ist das Verhältnis (*ratio*) - in dB gemessen - des maximal möglichen unverzerrten Ausgangssignals, zum restlichen Ausgangsrauschen oder „Rauschteppichs“. In Hochleistungs-Soundsystemen werden mehr als 120 dB an Dynamikbereich vorausgesetzt. [19] In Videosystemen ist eine 50 dB *signal-to-noise ratio* (SNR) ein akzeptabler Grenzwert, da darüber hinaus keine weitere Verbesserung bei Bildern mehr wahrnehmbar ist, außer für ein geschultes Auge.

Natürlich findet man in allen elektronischen Geräten eine vorhersehbare Menge an „weißem“ Rauschen, was auch absolut erwartet werden muss. Weißes Rauschen ist statistisch gleichverteilt und seine Leistung ist gleichmäßig aufgeteilt auf den ganzen Signalfrequenzbereich. In einem Audiosystem klingt weißes Rauschen wie ein „Zischen“. In einem Videosystem macht es sich als eine körnige Bewegung oder „Schnee“ im Bild bemerkbar. Übermäßiges Zufallsrauschen (*random noise*) ist normalerweise eine Ursache von ungeeigneter Signalverstärkung, was in diesem Artikel aber nicht behandelt wird. Erdungsrauschen, normalerweise hörbar als Brummen (*hum*), Summen (*buzz*), Klicken (*clicks*) oder Poppen (*pops*) in Audiosignalen oder sichtbar als Brummstreifen in Videosignalen, ist normalerweise viel mehr auffälliger und irritierender.

10 dB Rauschverminderung wird normalerweise als „halb so laut“ beschrieben und eine 2 oder 3 dB Verminderung als „gerade bemerkbar“.

0.2 Mythen über Erdung und Leiter

Früher und in der Zeit der Entwicklung der Elektronik wurden die gemeinsamen Rückleitungen von verschiedenen Schaltkreisen ebenso als „geerdet“ bezeichnet, ungeachtet dessen ob diese überhaupt mit der Erdung verbunden waren oder nicht. Darüber hinaus dient ein einzelner Erdungskreis meistens zufällig oder absichtlich mehr als einem Zweck. Dadurch ist die wirkliche Bedeutung des Begriffes Erdung sehr vage, unklar, abstrus und fantasievoll geworden. Einige Techniker haben den starken Drang diese unerwünschten Spannungsdifferenzen durch „wegkürzen“ mit großen Leitern zu reduzieren. Wobei die Resultate hierbei aber oft sehr enttäuschend ausfallen. [8] Andere Techniker denken, dass das Systemrauschen experimentell verbessert werden kann indem man einfach eine „bessere“ und „leisere“ Erdung findet. Viele frönen sich in ihrem sehnsüchtigen Denken, dass Rauschstrom irgendwie in geschickter Weise zu einer Erde/Masse gerichtet werden kann, wo er dann für immer verschwinden wird! [9]

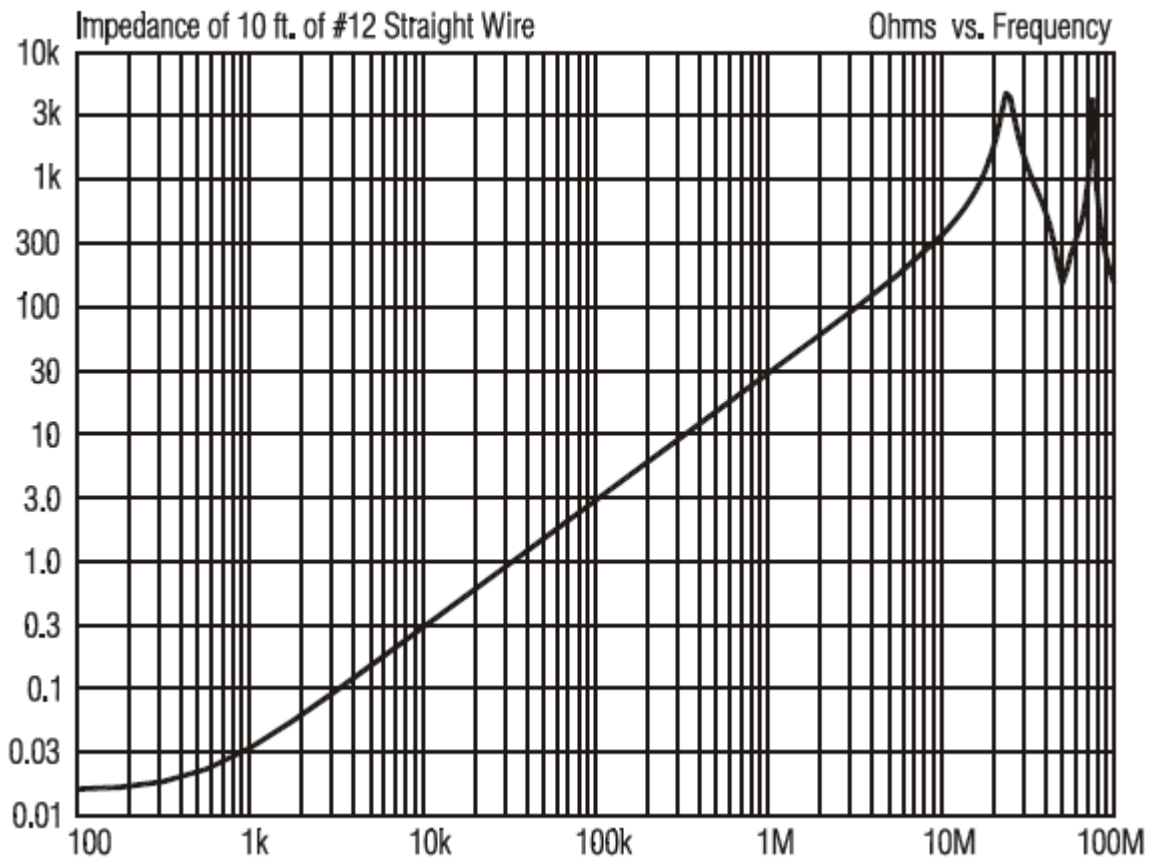
Hier ein paar allgemeine Mythen über Erdung:

Die Erdungsanschlüsse liegen genau auf 0 Volt — vermutlich in Bezug auf andere Erdungsanschlüsse und zu einem „mystischen“ Referenzpunkt. Das führt zu skurrilen Ideen über viele Staberder die Systemrauschen verschwinden lassen können. Aber Fakt ist, dass der Erdwiderstand (*soil resistance*) sehr viel höher ist (oft zig Ohm) als eine Leitung zwischen ihnen.

Merke: Die Impedanz (Z) ist der ersichtliche Wechselstrom-Widerstand eines Stromkreises, der die Kapazität und/oder Induktivität zusätzlich zum normalen Widerstand enthält.

Leitungen haben Nullimpedanz – und deswegen kann sich eine Null-Volt Referenz in viele Regionen des Systems ausdehnen, um Spannungsdifferenzen zu eliminieren. Aber in Wirklichkeit sind Leitungen sehr limitiert:

- Der Gleichstrom-Widerstand einer Leitung findet nur bei sehr tiefen Frequenzen eine Anwendung und ist direkt proportional zur Länge der Leitung. z.B. beträgt der Widerstand eines 3 Meter langen Drahtes mit 1,2 mm Durchmesser 0,015 Ohm.
- Die **Induktivität** einer Leitung ist nahezu unabhängig von ihrem Durchmesser, aber direkt proportional zu ihrer Länge und nimmt bei Krümmungen und Schleifen zu. Der oben genannte Draht hat eine Impedanz von 30 Ohm bei 1 MHz (AM Rundfunk) – siehe Grafik. Das Ersetzen mit einem ½ Zoll Durchmesser und soliden kupfernen Stange senkt den Widerstand nur auf ungefähr 25 Ohm.
- Eine Leitung schwingt (wird zur Antenne), wenn ihre physikalische Länge ein Viertel der Wellenlänge ist. Das bedeutet für einen 3m langen Draht, dass er bei etwa 25 MHz zu einem offenen Kreis wird.

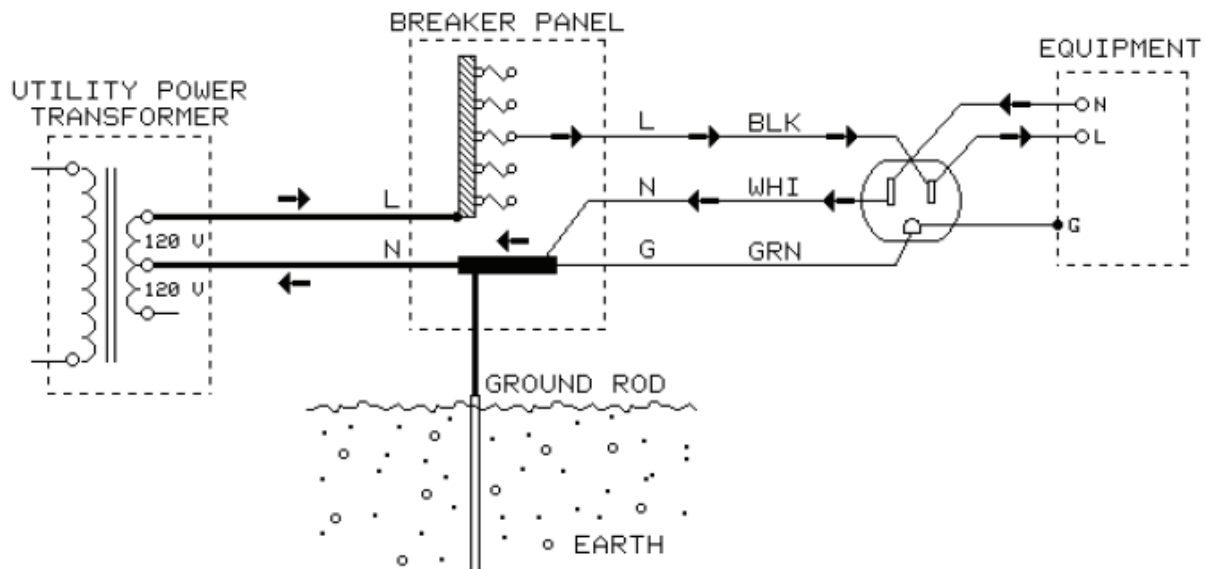


Sind Erdungen wirklich wichtig für geräuscharme Systemoperationen? Denke an all die Elektronik in einem Flugzeug!

1 Erdung, Wechselstrom und Sicherheit

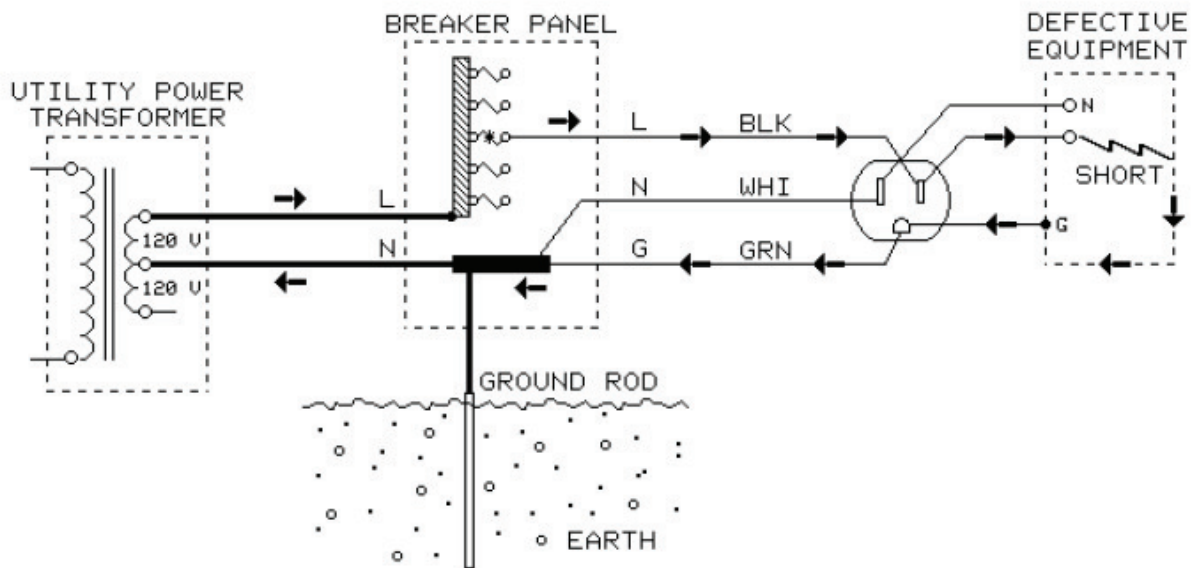
Im Allgemeinen ist es das Ziel einer Erdung die entstehenden Spannungsdifferenzen bei einer elektrischen Zusammenschaltung von leitenden Objekten und Equipment zu minimieren. Eine allgemeine treffende Definition ist, dass **Erdung lediglich eine Rückleitung für Strom ist**. Wir müssen uns im Klaren sein, dass **Strom immer zu seiner Quelle zurückkehrt**. Entweder auf beabsichtigter oder aber auch auf unbeabsichtigter Weise – *den Elektronen ist das egal und sie lesen auch keine Schaltbilder!* [1]

Die folgende Zeichnung zeigt wie Wechselstrom durch ein dreipoliges Kabel gespeist wird und an eine Steckdose gelangt. Einer der ankommenden Netzanschlussleiter, welche sehr oft unisoliert sind, ist der *geerdete* Leiter oder „Nullleiter“. *National Electric Code* fordern, dass in jedem Haushalt und Gebäude eine 230-Volt Wechselstrom Verteilung (z.B.: Stromzweig) ein 3-Leitungs System installiert sein muss. Die Nullleiter und die Leitungsdrähte sind Teil eines normalen Laststromschaltkreises, so wie hier mit den Pfeilen dargestellt. Beachte, dass der Nullleiter und die Sicherheitserdung von jedem Stromzweig miteinander verbunden sind und auch mit einem Staberder am Netzanschlusseingang in Verbindung stehen.



1.1 Schutz vor defektem Equipment

Von jedem mit Wechselstrom betriebenen Gerät mit freiliegenden, ungeschützten Leitungen (inklusive den Signalsteckern) kann eine Stromschlaggefahr ausgehen, wenn gewisse interne Defekte auftreten. Zum Beispiel wird eine Isolierung bei Netztransformatoren, Schalter, Motoren und anderen internen Bauteilen verwendet um die Elektrizität dort zu behalten, wo sie hingehört. Aber aus verschiedensten Gründen kann die Isolierung fehlen oder defekt sein und es kann zum Kurzschluss mit dem ungeschützten Metall kommen, wie es in der Abbildung gezeigt wird.

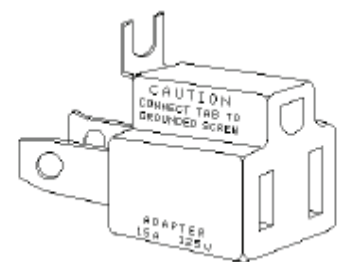


Wenn zum Beispiel der Motor einer Waschmaschine überhitzt und die Isolierung dabei unwirksam wird, dann kann das Gehäuse der Maschine die volle Netzspannung abbekommen. Sollte eine Person nun unabsichtlich die Maschine berühren und etwas ist zur gleichen Zeit geerdet, wie z.B. ein Wasserhahn, kann diese Person einem Stromschlag ausgesetzt und im schlimmsten Fall auch getötet werden. Um das zu verhindern haben viele Geräte eine dritte Leitung die ungeschütztes Metall mit dem Erdungsdraht des Netzanschlusses verbindet. Der Erdungspin der Steckdose ist durch den Erdungsdraht (gelb-grün) mit dem Nullleiter am Schaltkasten verbunden. Diese niederohmige „neutrale“ Verbindung erlaubt hohem Kurzschlussstrom schnell den Schutzschalter zu aktivieren und so den Strom vom Schaltkreis zu nehmen. Dafür muss der Erdungsanschluss vom Staberder mit dem neutralen Anschluss des Transformators verbunden sein.

Verwende NIEMALS Geräte wie 3-Stiftstecker zu 2-Stiftstecker Wechselstromadapter, oder „ground lifters“, um ein Rauschproblem zu lösen!



Solche Adapter sind dafür vorgesehen eine Sicherheitserdung (achte auf das Kleingedruckte), in den Fällen wo Schukostecker (3-Stift Stecker) an Eurosteckdosen (2-Stift Steckdosen) angeschlossen werden müssen, zu gewährleisten. Sollte eine sachgemäße Sicherheitserdung nicht vorhanden sein, dann verwende immer einen Fehlerstromschutzschalter (FI-Schutzschalter oder einen *ground-fault circuit interrupter* – GFCI). Ein GFCI arbeitet so, dass er die Stromdifferenz zwischen der Leiterbahn und dem Nullleiter abtastet. Diese Differenz stellt den Strom im Leiter dar, der **nicht** in den Nullleiter rückgeführt wird. Die Vermutung muss dann sein, dass der abhanden gekommene Strom durch eine Person geflossen ist. Wenn die Differenz ca. 5 mA erreicht wird eine interne Sicherung ausgelöst. Der an der linken



Seite gezeigte GFCI ist eigentlich unüblich, weil er einen abklappbaren Erdungs-Pin hat, welcher es erlaubt ihn auch mit einem Eurostecker (2-Stift Stecker) zu verwenden. [5]

Man stelle sich zwei Geräte vor die mittels eines Signalkabels verbunden sind. Jedes der Geräte hat einen Schukostecker. Ein Gerät besitzt einen *ground lifter* an seinem Wechselstrom Anschluss und der Andere nicht. Wenn ein Kurzschluss in dem „gelifteten“

Gerät auftritt, fließt der Kurzschlussstrom durch das Signalkabel um zum geerdeten Gerät zu kommen. Es ist sehr wahrscheinlich, dass das Kabel verschmort und schmilzt! **Sicherheitserdungen zu entfernen oder wegzulassen ist sowohl gefährlich als auch illegal – es macht dich somit gesetzlich haftbar!**

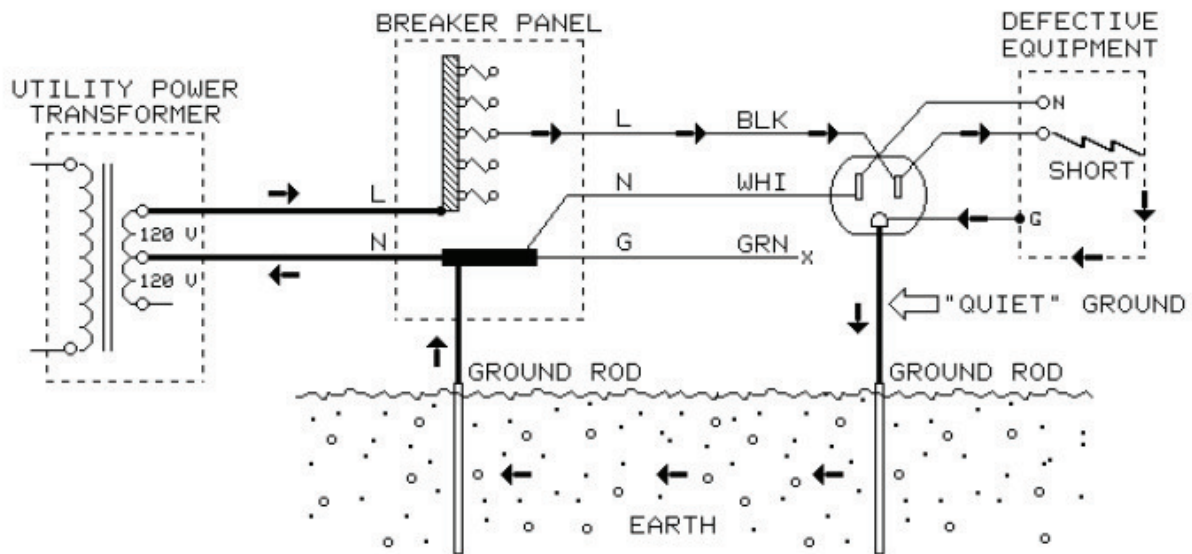
Audio- und Videogeräte für Normalverbraucher haben 1997 neun Menschen in den USA durch Stromschlag getötet. Im selbem Jahr verursachten solche Geräte 1900 Wohnungsbrände welche 110 Verletzungen, 20 Todesfälle und über 30 Millionen Dollar Schaden an Eigentum zur Folge hatten. [6] [7]

Die Widerstand von trockener, menschlicher Haut ist zwar hoch genug um eine leichte Berührung einer 230 V Leitung sicher zu überstehen, aber eine normale Hautfeuchtigkeit erlaubt, dass mehr Strom fließt, was wiederum die Fläche und den Druck vergrößert und somit zu einem ernsthaften elektrischen Schock führt. Bei 1 mA oder weniger spürt man lediglich ein unangenehmes Prickeln. Aber bei ungefähr 10 mA können unfreiwillige Muskelkontraktionen zu einem „Todesgriff“ führen – oder zu Erstickung, wenn der Strom durch die Brust fließt. Ein Strom von 50 bis 100 mA der durch die Brust fließt erzeugt normalerweise ein Kammerflimmern was zum Tot führen kann. **Habe immer einen gesunden Respekt gegenüber Elektrizität!**



1.2 Blitzschutz

Eine Masse ist wirklich mit der Erde verbunden und ist wichtig für den Blitzschutz. Hochspannungsoberleitungen sind häufige Ziele von Blitzen. Bevor die modernen Standards wie *the Code* eingeführt wurden, haben Hochspannungsleitungen Blitzschläge gezielt in Gebäude geleitet, Feuer verursacht und Menschen getötet. Deswegen ist heute praktisch jede elektrische Energie über Leitungen verteilt, die auch einen Leiter an die Erde angeschlossen haben und das periodisch verteilt entlang ihrer Strecke. Diese Erdung und die Erdung an den Netzeingangspanels sind niederohmig um einen Blitz zu entladen bevor sie in ein Gebäude eintreten können. Telefon-, CATV- und Satelliten TV-Kabel sind ebenfalls darauf ausgelegt Blitzenergie „aufzuhalten“ bevor sie in ein Gebäude gelangt. Ein weiterer Vorteil der Sicherheitserdung zu einer Masseverbindung ist, dass während eines Gerätekurzschlusses nur wenige Volt an den ungeschützten Teilen des defekten Gerätes anliegen würden, gegenüber den anderen geerdeten Geräten.

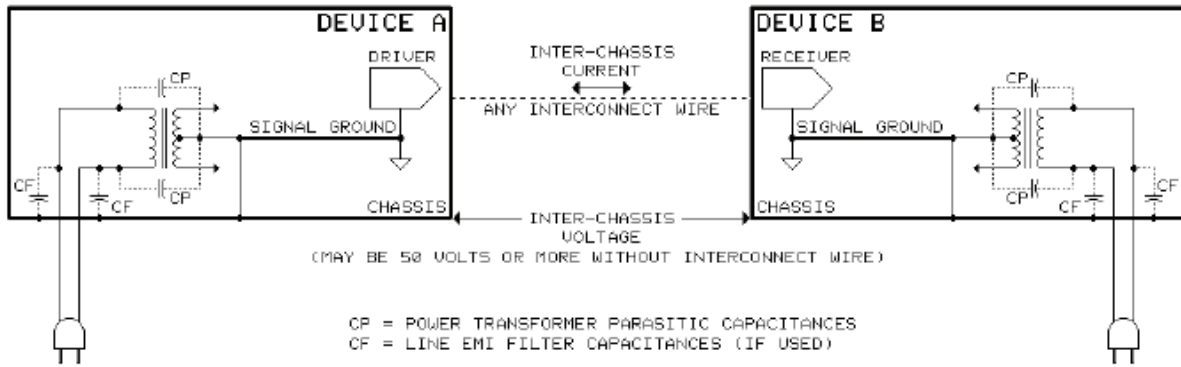


Da der Boden einen Widerstand hat wie jeder andere Leiter, haben Masseverbindungen **nicht** Null Volt, gegenüber anderen Erdungsleitern oder einem mystischen oder absoluten Referenzpunkt. *The Code* erlaubt, dass der Ableitungswiderstand (gemessen mit spezieller Technik) eines in Wohnungen verwendeten Staberders 25 Ohm groß sein kann. Dies ist zu hoch um den Schutzschalter bei Kurzschluss auszulösen, wie im gefährlichen Schaltdraht oben gezeigt (als „leise“ Geräteerdung beschrieben). Der Bodenwiderstand zwischen dem separaten Staberdern kann zulassen, dass Tausende von Volt zwischen den einzelnen Staberdern auftreten, wenn Blitzstrom wirklich durch einen von ihnen fließt. Das kann zum Beispiel ein Computermodem beschädigen, wenn es einen Computer (geerdet über das Netzkabel am Staberder) und eine Telefonleitung trifft, die über unterschiedliche Staberder geschützt werden. [3] Aus diesem Grund sollen alle anderen zu schützenden Masseanschlüsse (Telefon, CATV, etc.) am selben Stab anliegen, sofern dies möglich ist. Wenn mehrfache Staberder verwendet werden, dann fordert *The Code* dass sie alle mit der *main utility power grounding electrode* verbunden sein müssen. [4]

1.3 Fakten über Wechselstrom

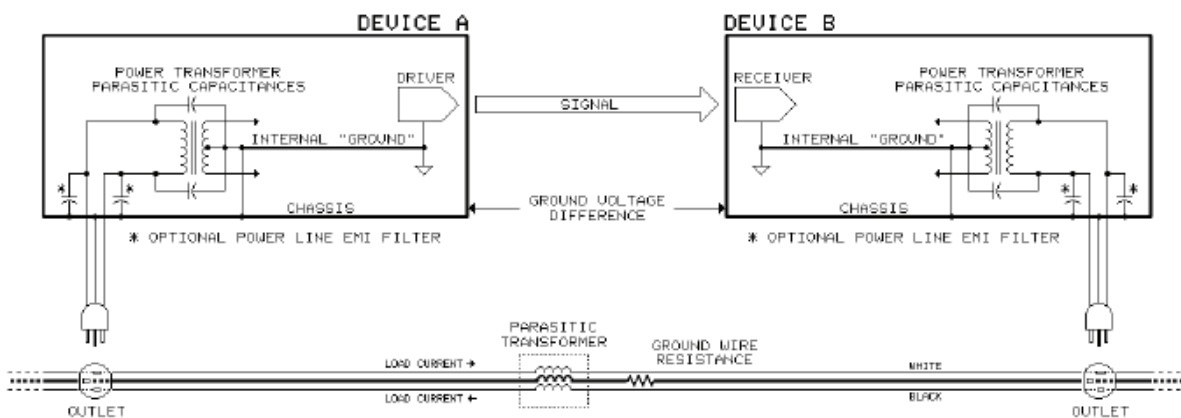
Die meisten der Systeme bestehen aus mindestens zwei Geräten die mit Wechselstrom arbeiten. Obwohl Brummen und andere Probleme oft als Konsequenz einer unzulässigen Erdung angesehen werden, ist in den meisten Fällen eigentlich gar nichts unzulässig in der Systemerdung. Ein richtig installiertes, völlig *code*-konformes Wechselstrom-Verteilungssystem wird kleine, völlig sichere Spannungsunterschiede zwischen den Sicherheitserdungen aller Anschlüsse bilden. Im Allgemeinen werden die niedrigsten Spannungsdifferenzen (einige, wenige Millivolt) zwischen den physikalisch nahen Anschlüssen auf dem gleichen Schaltkreis und die höchsten Spannungsdifferenzen (bis zu einigen Volt) zwischen den physikalisch weiter entfernten Anschlüssen auf unterschiedlichen Schaltkreisen vorhanden sein. Diese geringfügigen Spannungen verursachen nur dann Probleme, wenn sie zwischen ungeschützten Stellen in einem System vorhanden sind – was dann mehr unglücklich als unzulässig ist.

In jedem realen Gerät gibt es **parasitäre Kapazitäten** zwischen der Netzleitung und der Geräteerdung. Das sind die unvermeidbaren Wicklungskapazitäten der Netztransformatoren die nie in schematischen Diagrammen dargestellt werden. Besonders bei digitalem Equipment erhöhen interne elektromagnetische Interferenz-Filter die Kapazität zusätzlich. Diese Kapazitäten erlauben das Fließen von Leckstrom zwischen der Netzleitung und der Gehäuseerdung innerhalb jedes einzelnen Teils des Equipments.



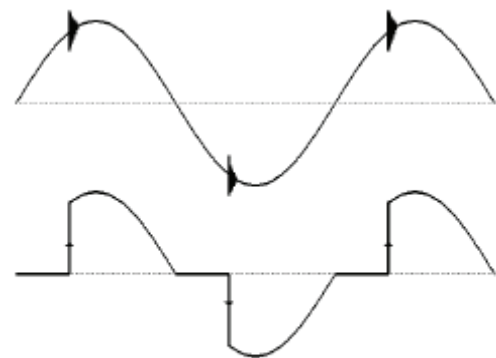
Bei bewilligten ungeerdeten Geräten (z.B.: mit Eurostecker) ist dieser Strom auf 0,75 mA limitiert. Solches Equipment enthält etliche Schutzmechanismen, damit es auch bei internen Bauteilausfällen, Überlastungen und bei unachtsamer Behandlung sicher bleibt. Weil diese Geräte ungeerdet sind, können deren Gehäuse (oder Ein- und Ausgangsanschlüsse) relative hohe Spannungen im Gegensatz zum Erdungssystem annehmen. Obwohl ein Voltmeter gut über 50 Volt feststellen kann, ist der vorhandene Strom klein und wird nur ein geringfügiges Prickeln verursachen, wenn es eine Person durchfließt. Wie auch immer, bei jeglicher Verbindung zwischen zwei solchen Geräten, oder einem ungeerdeten Gerät und einem geerdeten Gerät, wird dieser Leckstrom übertragen. **Wir müssen diese Tatsache als die Wirklichkeit akzeptieren.**

Bei bewilligten geerdeten Geräten (z.B.: mit Schukostecker) ist der Leckstrom auf 5 mA limitiert. Er fließt in eine Sicherheitserdung und sammelt sich in einem Schaltkreis wo er Spannungsabfälle im Leitungswiderstand hervorruft. Jedoch die Auswirkung von Leckstrom bei geerdetem Equipment ist normalerweise verglichen mit den Spannungsdifferenzen zwischen den Anschlusserdungen unwesentlich. Erhebliche Spannungen werden magnetisch induziert, zurückzuführen auf die nicht perfekte Auslöschung der elektrischen Felder welche die Leiter umgeben. Die höchsten erzeugten Spannungen treten im Allgemeinen mit einzelnen losen Leitungen im Stahlrohr auf, welches die magnetische Leistungsfähigkeit des parasitären Transformators erhöht. Die deutlich niedrigeren erzeugten Spannungen werden im Allgemeinen durch die universelle Geometrie von Romex® oder ähnlichen gebunden Kabeln produziert. Auf jedem Fall existiert eine kleine aber bedeutende Erdungsspannungsdifferenz (1 Volt ist nicht selten) zwischen dem Gehäuse oder der lokalen „Erdung“ von irgendwelchen zwei Teilen von geerdetem Equipment. **Wir müssen auch diese Tatsache als die Wirklichkeit akzeptieren.**



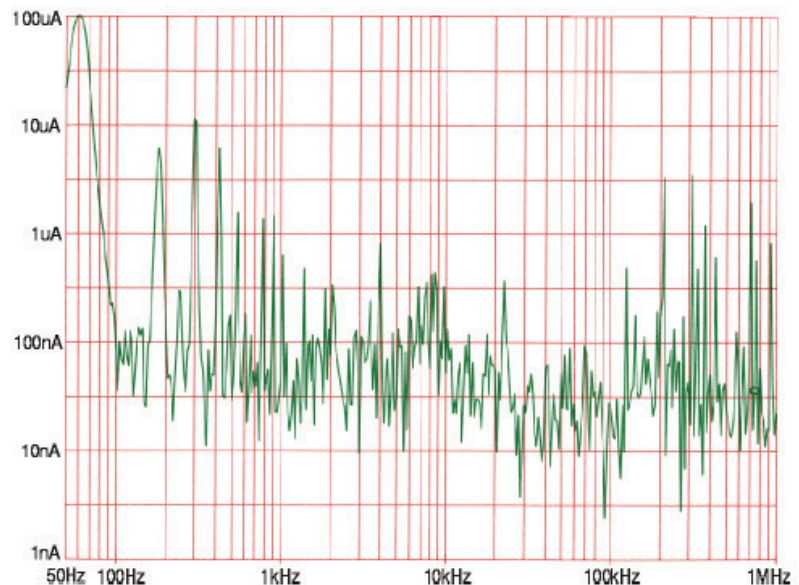
1.4 Es sind nicht einfach 50 Hz

Netzleitungsspannung besteht **normalerweise** aus einem breiten Spektrum von Harmonischen und Rauschen, zusätzlich zu der reinen 50 Hz Sinuswelle. Das Rauschen wird durch Spannungsversorgungsteile in elektronischen Geräten, in den Leuchtstofflichtern, in den Lichtdimmern und in den unregelmäßigen Ladungen wie Schalter, Relays, oder Bürstenmotoren (Mixer, Staubsauger, ...) verursacht. Die Zeichnung rechts zeigt wie plötzlich durch Veränderungen im Laststrom eines gewöhnlichen, phasenkontrollierenden Lichtdimmers, hochfrequentes Netzleitungsrauschen verursacht werden kann. Bei hohen Frequenzen verhält sich die Gebäudeverdrahtung wie ein System von schlecht abgeschlossenen Leitungen, hochfrequente Energie wird durch die Verdrahtung vor und zurück reflektiert bis diese eventuell absorbiert oder abgestrahlt wird.



Upper = Line Voltage
Lower = Lamp Current

Der Graph an der rechten Seite zeigt das Spektrum des Rauschstromes der in einer 3 nF parasitären Kapazität fließt, gespeist von einer typischen Wechselstromsteckdose. Die 50 Hz Harmonischen (in Grafik bei 60 Hz, da amerikanischer Standard) sind das was dem „Summen“ seinen akustischen Charakter gibt. Beachte wie viel Energie oberhalb der 100 kHz vorhanden ist, welches den Bereich von AM Radio inkludiert.

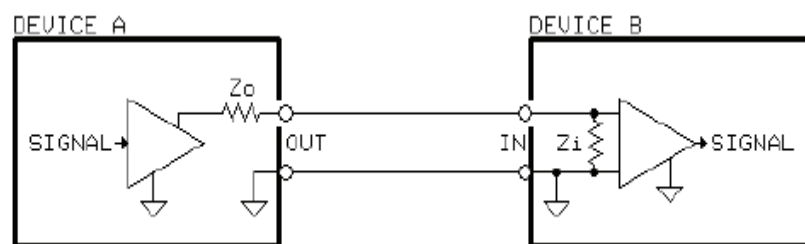


2 Unsymmetrische Audio Interfaces

Schon alleine aufgrund des Preises von *High-End* Audio Equipment könnte man darauf schließen, dass die heutigen Designs am neuesten Stand sind. Hersteller werben oft mit eindrucksvoller *Performance*. Da die zu Grunde liegenden Messungen aber unter Laborbedingungen durchgeführt wurden, decken und zeigen sie nichts über die Rauschprobleme auf, welche in realen Systemen nur zu häufig vorkommen. Schade eigentlich aufgrund der Tatsache, dass fast alle Audiogeräte für den Normalverbraucher unsymmetrische Interfaces besitzen, welche extrem empfindlich gegenüber Netzbrummen sind. Dieses scheint ironisch wenn man beachtet, dass sich der Rauschabstand (SNR) ständig über die letzten 50 Jahre verbessert hat.

2.1 Interfaces und Impedanzen

Ein Interface ist ein „Signaltransportsystem“ bestehend aus einem Sendergerät mit einem Ausgang, der Leitung bzw. einem Kabel und einem Empfängergerät mit einem Eingang. Ein Interface kann symmetrisch



(*balanced*) oder unsymmetrisch (*unbalanced*) sein. Dieses hängt nur von den Erdungsimpedanzen der zwei Leiter im Kabel ab. Wie im Bild bei einem unsymmetrischen Interface gezeigt, ist ein Leiter geerdet (*zero-impedance* Z_0) und der Zweite hat irgendeine höhere Impedanz.

Jeder Sender hat eine interne Impedanz, die Ausgangsimpedanz Z_0 . In der Praxis haben reale Equipmentsausgänge keine Null-Ausgangs-Impedanz. Genauso hat jedes Empfängergerät eine interne Impedanz, die Eingangs-Impedanz Z_i . Und hier haben ebenso reale Equipmenteingänge keine unendlich große Eingangsimpedanz.

Wenn ein Ausgang mit einem Eingang verbunden wird, dann formen die Ausgangsimpedanz des Sendergerätes und die Eingangsimpedanz des Empfängergerätes einen seriellen Stromkreis. Während der Strom überall im seriellen Stromkreis gleich bleibt, verändert sich die Spannung proportional zur Impedanz (Spannungsteiler). Um also die maximale Signalspannung zu übertragen, muss Z_i viel größer als Z_0 sein. Hier findet man typische Werte für Z_0 von 100 Ohm bis 1 kOhm und Werte für Z_i von 10 kOhm bis 100 kOhm. Damit kann 90% bis 99,9% der Signalspannung übertragen werden.

Eine niedrige Ausgangsimpedanz ist sehr wichtig! Ausgangsimpedanz wird oft verwechselt mit Lastimpedanz und ist häufig in den Datenblättern der Verkäufer nicht vorhanden bzw. angegeben. Manchmal findet man die Angabe „20 kOhm Minimum Lastimpedanz“ als einzige Spezifikation die angeführt ist, für solch einen Ausgang, was aber nicht sehr brauchbar ist.

2.2 Anpassung

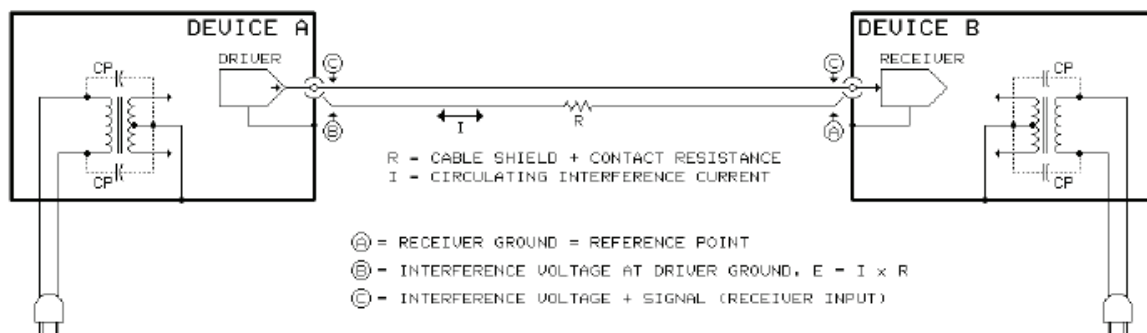
Ein weit verbreitetes Missverständnis ist es, dass Audio-Ausgänge und –Eingänge Impedanz-Angepasst sein müssen. Die Schaltkreistheorie lehrt uns, wenn Quell- und Lastwiderstände dieselben sind, wird maximale Leistung übertragen. Obwohl nützlich, in einigen passiven Signalprozesssystemen, gilt dieses Konzept bei modernen Audiosignal-

schnittstellen NICHT. Ihr Ziel ist es **Spannung** zu übertragen und nicht Leistung! Wenn Z_i zu Z_0 angepasst ist, dann geht die Hälfte der Signalspannung verloren und der Ausgang liegt unter einer unnötig schweren Last.

Impedanz-Anpassung ist nur erforderlich bei Video- und HF-Kabel, weil hier das Signal eine viel kleinere Wellenlänge besitzt. Als generelle Regel gilt, dass Kabel „Leitungseffekte“ aufweisen, wenn ihre physikalische Länge um 10% länger ist als die Wellenlänge bei der höchsten Signalfrequenz. Um eine „Energireflexion“ von einem Ende des Kabels zum anderen Ende zu vermeiden, müssen die Senderimpedanz und die Empfängerlastimpedanz mit dem Wellenwiderstand des Kabels angepasst sein. Reflexionen verursachen sichtbare „Doppelbilder“ und „Ringe“ bei Videobildern. Für Audiokabel ist eine Abgleichung nicht notwendig, ausgenommen die Kabel sind über 1200 Meter lang.

2.3 Wo das Rauschen herkommt

Bei ungeerdeten Geräten fließt Netzanschlussleckstrom in den geerdeten Signalleiter (Schirmung auf Masse). Hat dieser Leiter einen Widerstand, wird eine kleine Rauschspannung über ihre Länge gebildet. Aufgrund dessen, dass das Interface ein serieller Stromkreis ist, wird diese Rauschspannung zum Originalsignal direkt addiert. Weil die Impedanz des geerdeten Leiters gleich ist zum Signal- und zum Rauschstromleiter, wird dieser Mechanismus auch **Impedanzkopplung** genannt.



Nehmen wir ein ca. 7 Meter langes Verbindungskabel mit Folienschirmung und Erdungsdraht an. Aus Standard Drahttabellen oder aktuellen Messungen ist dessen Schirmungsimpedanz bei 1 Ohm. Der Widerstand des inneren Leiters ist nicht signifikant und wird nicht weiter besprochen. Liegt der Leckstrom bei 316 μ A, dann liegt die Rauschspannung bei 316 μ V. Da das -10 dBV Referenzlevel für „Anwenderaudioanwendungen“ bei 316mV liegt, beträgt das Rauschen $20 \cdot \log(316 \mu\text{V} / 316 \text{mV}) = -60 \text{ dB}$ bezogen auf das Signal. Für die meisten Systeme ist das ein sehr schlechter Rauschabstand. Wird das Kabel z.B. mit einem Belden #8241F ersetzt, wird der Schirmungswiderstand auf 0,065 Ohm reduziert und das Rauschen auf 24 dB!

Impedanzkopplung kann sich in einem unsymmetrischen Interface zwischen zwei geerdeten Geräten schwerwiegend auswirken. Eine Erdungsspannungsdifferenz die durch eine Gebäudeverdrahtung verursacht wird, reicht von wenigen Millivolt bis zu einem Volt und wird effektiv über die Enden der geerdeten Signalleitung eingepreßt, typischerweise auf die Kabelschirmung. Erdungsspannungsdifferenzen können zwischen dem Netzerdungssystem und manchen anderen Erdungsanschlüssen, wie z.B. einer CATV-Speisung, höher sein. In Audiosystemen resultiert dies in ernstzunehmende Brummprobleme.

2.4 Das Problem-Interface finden

Herauszufinden wie und wo Rauschen in ein System gelangt sein könnte, kann oft eine sehr zeitintensive und frustrierende Erfahrung werden, weil es oft den Anschein hat, dass Rauschen ohne einen ersichtlichen Grund auftritt. Aber wenn wir verstehen wie geerdete Systeme und Interfaces eigentlich funktionieren und wie Rauschen in die Signale gelangen, dann wird es einfach und logisch Probleme zu finden und zu eliminieren.

Vielleicht der wichtigste Aspekt der Fehlerbehandlung ist, wie man an die Problematik herangeht. Eine methodische Herangehensweise und Annäherung an das Problem kann hier sehr von Nutzen sein. Zum Beispiel soll man nie den Fehler machen zu denken, dass etwas kein Problem sein kann nur weil man es immer so gemacht hat. Denken sie daran: Probleme die von selber wieder verschwinden tendieren dazu auch wieder von alleine zu erscheinen.

- **Beginne nicht als erstes damit, Dinge auszutauschen oder zu verändern!**

Weil viele Probleme offenbaren sich von selbst, wenn wir uns selbst über einige Hinweise im Klaren werden.

- **Stelle Fragen!**

- Hat es jemals richtig gearbeitet?
- Welche Symptome sagen dir, dass es nicht richtig arbeitet?
- Wann hat es begonnen schlechter zu werden oder nicht mehr zu funktionieren?
- Welche andere Symptome gab es vor – während – nach dem Auftreten des Problems?

- **Achte auf Hinweise vom Equipment selbst!**

Einfache und logische Veränderungen an der Equipmentsteuerung selbst, können nützliche Anhaltspunkte liefern. Zum Beispiel, ist das Rauschen unbeeinflusst von der Einstellung des Lautstärkereglers, dann tritt das Problem erst nach diesem Regler in die Signalstrecke ein. Wenn das Rauschen beseitigt werden kann, indem man die Lautstärke reduziert, oder einen anderen Eingang wählt, dann tritt das Problem vor diesem Regler auf.

- **Schreibe alles mit!**

Es kann einem viel Zeit ersparen, wenn alles genau dokumentiert wird.

- **Zeichne ein Block-Diagramm des Systems!**

- Zeige alle Verbindungskabel (auch digitale und HF) mit deren durchschnittlichen Längen. Markiere alle symmetrischen Ein- und Ausgänge. Stereopaare können generell als eine Einzellinie angegeben werden.
- Kennzeichne jedes Equipment welches mit Schukostecker geerdet ist.
- Kennzeichne alle anderen Masseanschlüsse (Kabel-TV, digitale Satellitenschüsseln, ...).

- **Arbeite das System vom Ende der Signalkette nach vorne auf!**

Um genaue Hinweise auf das/die Problem/e zu bekommen, beginne die Kontrolle immer bei den Eingängen der Leistungsverstärker (bei Audiosystemen) bzw. bei dem Eingang des Monitors (bei Videosystemen) und teste sequenziell die Interfaces zurück bis zur Signalquelle. Leicht konstruierbare Adapter oder "Dummies" erlauben

das System sich selber zu testen und können genau festlegen an welchem Punkt Rauschen oder Interferenz in das System gelangt. Bei Platzierung des Testadapters an strategisch wichtigen Stellen im Interface, erhält man präzise Information über die Art des Problems.

Mit den Tests kann man speziell folgendes Identifizieren:

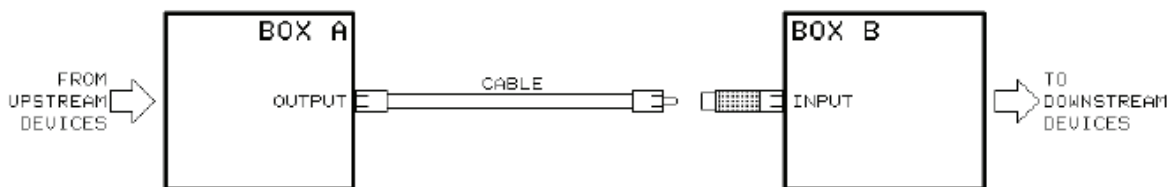
- Impedanzkopplung in unsymmetrischen Kabel (überwiegende Mehrheit der Probleme)
- Magnetische oder elektrostatische Beeinflussung der Kabel in der Nähe von Feldern, oder
- Impedanzkopplung innerhalb von defektem Equipment (siehe Kap. 3.3)

Die Adapter sind Standardstecker, die wie in der Abbildung gezeigt, verkabelt sind. Da diese Adapter das Signal nicht durchlassen, immer sichergehen, dass diese gut markiert sind und nicht aus versehen im System installiert bleiben. Verwende die folgende 4-Stufen Prozedur um jedes Interface zu testen. Sei bedacht und vorsichtig während der Ausführung der Tests, dass nicht etwaige Lautsprecher und Ohren ruiniert werden. Deshalb ist es immer sicherer bevor man die Kabel entfernt, aussteckt oder umsteckt die Leistungsverstärker vorher auszuschalten.

Um Stereo-Signalfade zu testen, verwende 2 Adapter und verwende sie gleichzeitig für L und R wie in der Prozedur beschrieben.

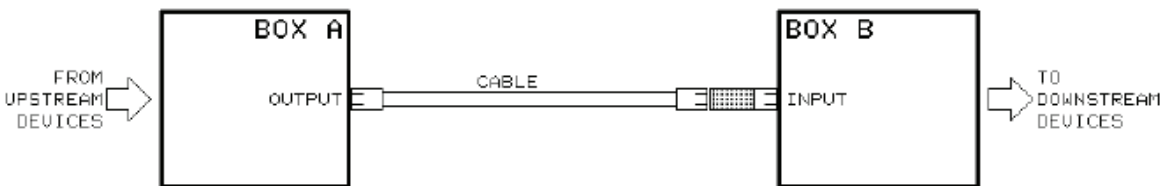


1. Schritt – Stecke das Kabel vom Eingang der Box B ab und stecke den Adapter ein.



Ist der Ausgang leise? **NEIN** – das Problem liegt entweder in der Box B oder später in der Signalkette.
JA – gehe zum nächsten Schritt.

2. Schritt – Lasse den Adapter am Eingang von Box B stecken und stecke das Kabel an den Adapter.

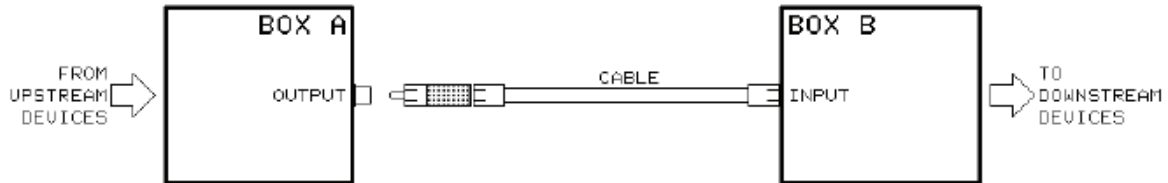


Ist der Ausgang leise? **NEIN** – das Problem liegt entweder in der Box B oder weiter „stromabwärts“. Wenn Box B ein Leistungsverstärker ist der normale (ungeerdete) Lautsprecher speist, dann zeigt dieses Testresultat, dass hier ein internes Impedanzkopplungsproblem

(**Pin 1 Problem**) vorliegen kann. Der „*Hummer-Test*“ (siehe Kapitel 3.3) kann das dann bestätigen.

JA – gehe zum nächsten Schritt.

3. Schritt – Entferne den Adapter und stecke das Kabel in den Eingang der Box B. Stecke das andere Ende des Kabels aus der Box A aus und stecke es am Adapter an. *Stelle sicher, dass der Adapter nichts Leitendes berührt.*

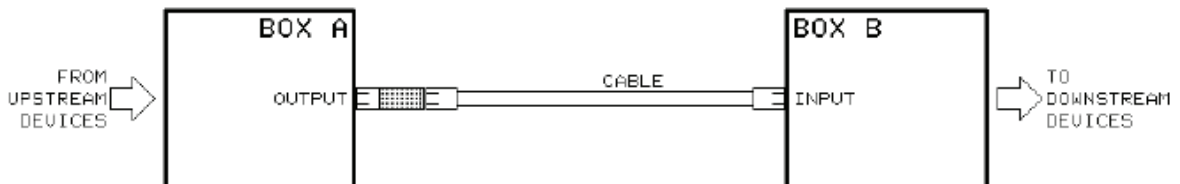


Ist der Ausgang leise?

NEIN – das Rauschen ist im Kabel induziert. Versuchen sie das Kabel anders zu führen um den Einstreuungen zu entgehen.

JA – gehe zum nächsten Schritt.

4. Schritt – Lasse den Adapter am Kabel stecken und stecke den Adapter in den Ausgang von Box A.



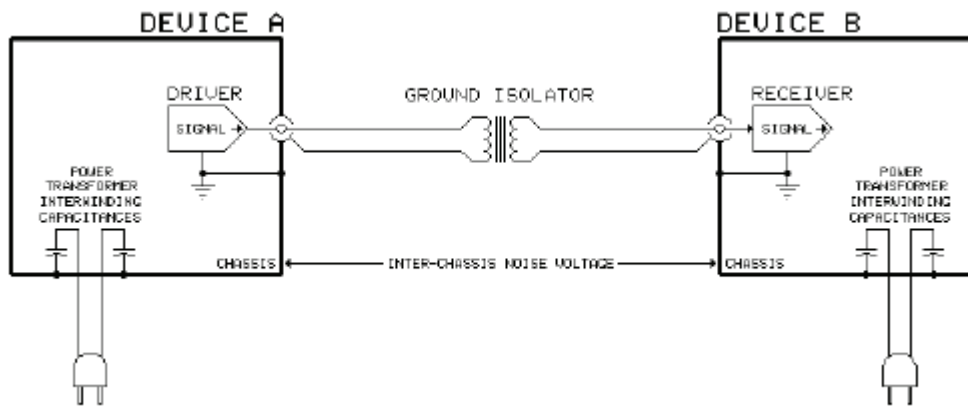
Ist der Ausgang leise?

NEIN – Impedanzkopplung ist das Problem. Installiere einen Isolator in der Signalstrecke.

JA – das Rauschen kommt aus dem Ausgang von Box A. Führe die Testsequenz bei dem zuvor gelegenen Interface noch mal durch und wiederhole das so lange bis das Problem gefunden wurde.

2.5 Lösungen

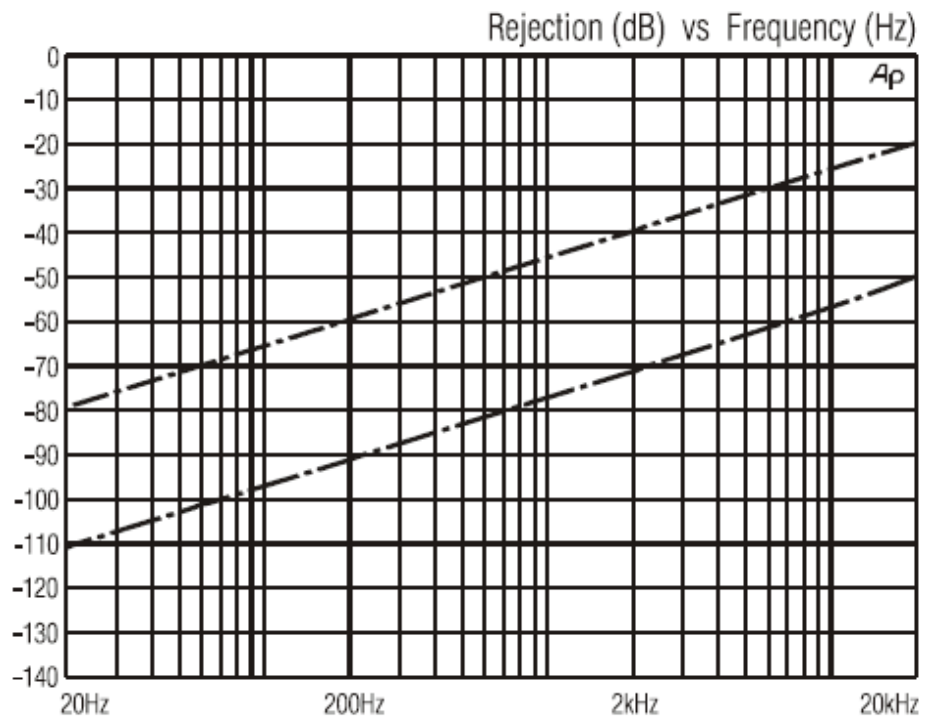
„Erdungsisolatoren“ sind Bauteile die das grundlegende Problem mit unsymmetrischen Interfaces lösen können. Allgemein definiert sind das Geräte, deren Differenzantwort eine hohe Gleichtaktunterdrückung hat. Ein Isolator ist **kein Filter** der auf „magische“ Weise Rauschen, welches irgendwo in einer Signalstrecke auftritt, registrieren und beseitigen kann. **Um dieses Problem zu lösen muss ein Isolator an dem Punkt in der Signalstrecke installiert werden, wo das Rauschen auftritt.**



Transformatoren bilden einen exzellenten Erdungsisolator. Sie übertragen Signalspannung von Wicklung zu Wicklung ohne jegliche elektrischen Verbindungen zwischen ihnen. So wird die Strecke, wo ansonsten der Rauschstrom zwischen den Geräten fließen würde, geöffnet.

In der Theorie, wenn kein Rauschstrom im Kabel fließt, dann ist die Rauschkopplung ganz eliminiert. Aber in der Praxis hängt die Reduktion des Erdungsrauschens prinzipiell vom Transformatortyp ab der verwendet wird. Es gibt zwei wesentliche Typen von Audio-Transformatoren. Beim ersten Typ, dem Ausgangstransformator, sind die primären und die sekundären Windungen eng beieinander. Die auftretenden beachtlichen Kapazitäten erlauben eine Koppelung des Rauschstroms zwischen den Windungen, speziell bei hohen Audiofrequenzen. Aber natürlich verursacht dieser Strom Rauschen im Signal wenn er über die Schirmung fließt. Der zweite Typ, der Eingangstransformator, hat eine Schirmung zwischen den Windungen. Einen so genannten **Faradayschen Käfig** (*kein magnetischer Schirm*), der die kapazitive Kopplung zwischen den Windungen effektiv eliminiert, was eine gewaltige Verbesserung der Rauschunterdrückung mit sich bringt.

In der Grafik wird die Rauschunterdrückung in Abhängigkeit der Frequenz gezeigt, bei einem typisch unsymmetrischen Interface. Die Ausgangsimpedanz des Gerätes A beträgt 600 Ohm und die Eingangsimpedanz des Gerätes B beträgt 50 kOhm. Laut Definition, ohne einen Isolator, gibt es eine Unterdrückung um 0 dB in einem unsymmetrischem Interface (obere Linie in der Grafik). Die mittlere Linie zeigt einen typischen Isolator der einen Ausgangstransformator benutzt. Er reduziert das 50 Hz Brummen um ca. 70 dB, aber die Zischartefakte um 3 kHz werden nur um 35 dB reduziert. Die unterste Linie zeigt einen typischen Isolator der einen Eingangstransformator benutzt. Die Unterdrückung beträgt über 100 dB bei 50 Hz und über 65 dB bei 3 kHz.





Isolators Using Output-Type Transformers
Ebtech HE-2

dieser Geräte ist, dass sie überall entlang bei einem Kabel installiert werden können oder als *patch-bays* verwendet werden können. Während Geräte mit Eingangstransformatoren eine um 30 dB bessere Rauschunterdrückung haben, wird ihre Hochfrequenz-Antwort aber übermäßig durch die Kabelkapazitäten an den Ausgängen bedämpft. Die Resultate sind immer besser, aber sie müssen in der Nähe des Equipment Einganges installiert werden und das verwendete Kabel darf nicht länger als 0,5 bis 1 Meter sein.

Außer in außergewöhnlichen Situationen ist es **nicht** notwendig eine Leitung am Netzanschluss zu „symmetrieren“ (indem man einen unbalanced to balanced converter verwendet) und dann wieder am Empfängerende zu „unsymmetrieren“ (indem man einen balanced to unbalanced converter verwendet). Die Rauschunterdrückung eines solchen Modells ist nicht besser, oft sogar schlechter, als die eines einzelnen Isolators, mit einem Eingangstransformator, welcher am Empfängerende installiert ist.



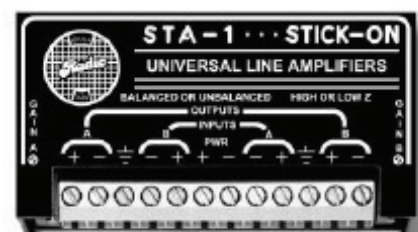
Isolator Using Input-Type Transformers
Jensen ISO-MAX CI-2RR

Überprüfen sie die *Performance-Daten* eines Isolators sorgfältig.

Viele haben dürftige, wage, oder nicht existierende Spezifikationen und Datenblätter – und viele verwenden billige Transformatoren! Diese Miniatur Transformatoren können Verluste im tieffrequenten Bereich, Bassverzerrungen und ein schlechtes Einschwingverhalten verursachen. Datenblätter für Hochqualitäts-Erdundsisolatoren, wie die ISO-MAX® Serie, sind komplett und vollständig, unmissverständlich und nachprüfbar. Transformator basierende Isolatoren haben des Weiteren noch andere Vorteile:

- Ihre Eingänge sind wirklich „**universal**“, akzeptieren Signale sowohl von unsymmetrischen als auch von symmetrischen Ausgängen, bei Aufrechterhaltung der sehr hohen Rauschunterdrückung. Unterdrückung von 100 dB bei 50 Hz und über 65 dB bei 3 kHz sind sehr typisch für Isolatoren die einen Faraday-geschirmten Eingangstransformator verwenden (angegeben mit einem „I“ bei ISO-MAX Modellnummern).
- Isolatoren die einen Eingangstransformator verwenden liefern eine HF-unterdrückung und Ultraschallinterferenzunterdrückung. Die nachfolgende Reduktion von spektralen „Unreinheiten“ wird oft als wunderbare neue Klarheit des Audiosignals bezeichnet. [11]
- Sie können das „Pin 1 Problem“ lösen (Impedanzkopplung innerhalb eines schlecht konstruiertem Equipment).
- Sie sind passiv und benötigen keinen Strom.
- Sie sind sehr robust, betriebssicher, verlässlich und nahezu immun gegen transiente Überspannungen.

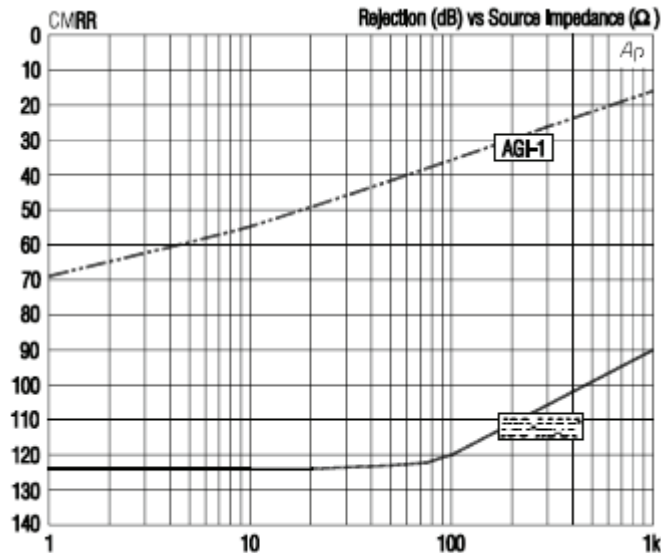
Eine große Vielzahl von handelsüblichen Schnittstellen sind „aktiv“ (d.h. müssen mit Strom versorgt werden). Trotzdem enthalten sie viele brauchbare Eigenschaften



Typical "Active" Interface
Radio Design Labs STA-1

Es gibt eine beachtliche Anzahl von „*black boxes*“ auf dem Markt die dazu gedacht sind Erdschleifen-Probleme zu lösen. Einige dieser „*black boxes*“ basieren auf Transformatoren. Mit sehr seltener Ausnahme beinhalten diese Geräte Ausgangstransformatoren. Ein Vorteil

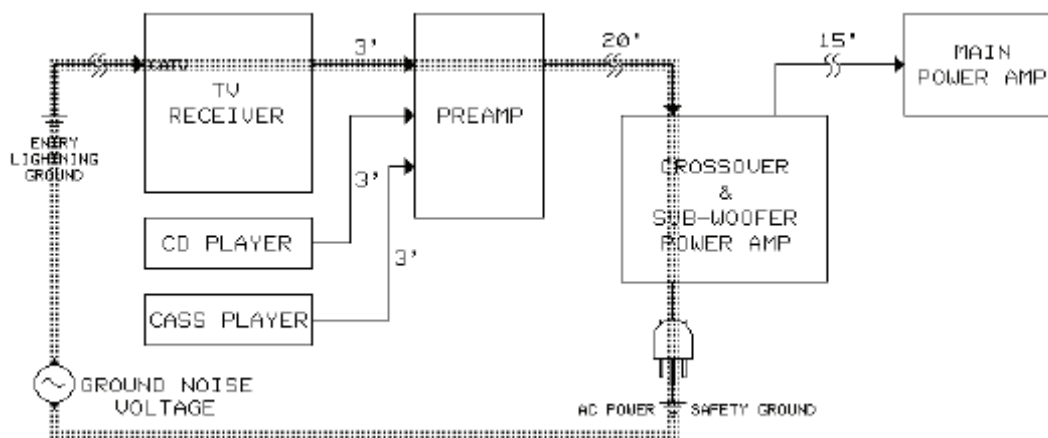
und Fähigkeiten. Sie benutzen ausnahmslos Differenzverstärker-Schaltkreise um ihre unsymmetrischen Eingänge zu „isolieren“. Die Erdungsrauschunterdrückung von gewöhnlichen Differenzverstärkern ist sehr empfindlich gegenüber Impedanz-Ungleichgewichten im Stromanschluss. Bei *unsymmetrischen* Anschlüssen bekommt ihre ganze Ausgangsimpedanz ein „Ungleichgewicht“ und hat einen typischen Bereich von 200 Ohm bis 1 kOhm und mehr. Unter diesen Bedingungen ist die Rauschunterdrückung der Differenzverstärker sehr schlecht.



Die Grafik auf der linken Seite vergleicht die Wirkungsweise der 50 Hz Brummunterdrückung einer typisch aktiven Schnittstelle, dem Sonance AGI-1 „Audio Erdisolator“ (dargestellt durch die unterbrochenen Linie), und einen auf Eingangstransformator basierendem Isolator. Im Bereich von 200 Ohm bis 1 kOhm erreicht der *aktive* Isolator nur eine Unterdrückung von 15 bis 30 dB während die Unterdrückung des ISO-MAX® CI-2RR Isolators noch um 80 dB besser ist.

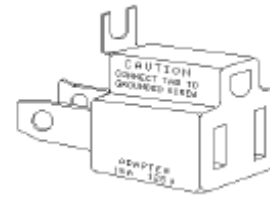
2.6 Unterbrechen der Schleife

Wenn ein System aus zwei oder mehreren geerdeten Geräten besteht, egal ob über Netzleitungen oder anderen geerdeten Verbindungen, wird eine „Erdungsschleife“ wie in der Abbildung gezeigt, gebildet.

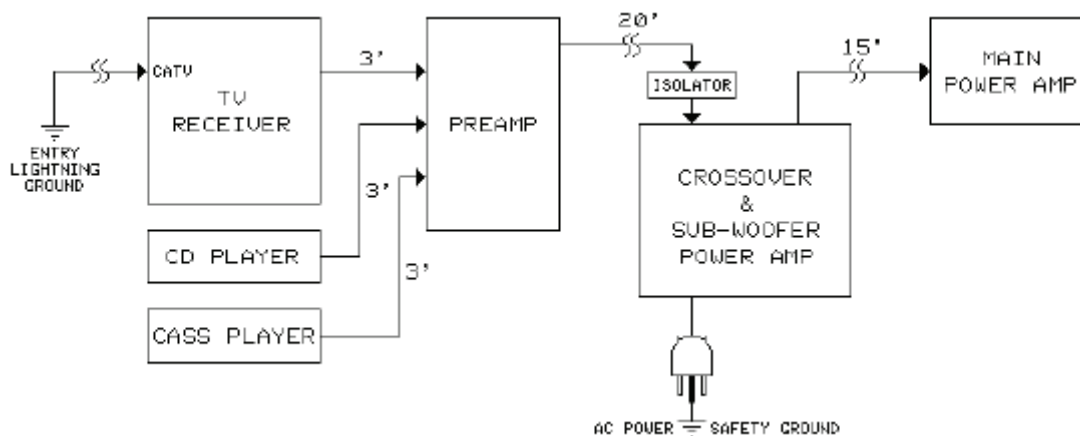


Es existiert oft eine erhebliche Erdungsrauschspannung zwischen der CATV (*cable television*) -Erdung und dem Wechselstrom-Erdungssystem, welche einen relativ großen Rauschstrom im Schild aller Signalkabel, die Bestandteil dieser Erdungsschleife zwischen TV und dem Subwoofer sind, verursacht. Aus diesem Stromfluss resultiert in unsymmetrischen Interfaces eine Impedanzkopplung welche direkt Rauschen in das Signal addiert. Allgemein hängt die Menge des Rauschens welches dazuaddiert wird in direkter Proportion mit der Kabellänge zusammen. Dieses Beispielsystem würde ein lautes Brummen unabhängig vom gewählten Eingang oder den Einstellungen des Lautstärkereglers aufweisen, wegen des gegenwärtigen Flusses des Erdungsrauschstromes (*ground noise current*) im 6-Meter-Kabel (ca. 20 Fuß in der Abbildung).

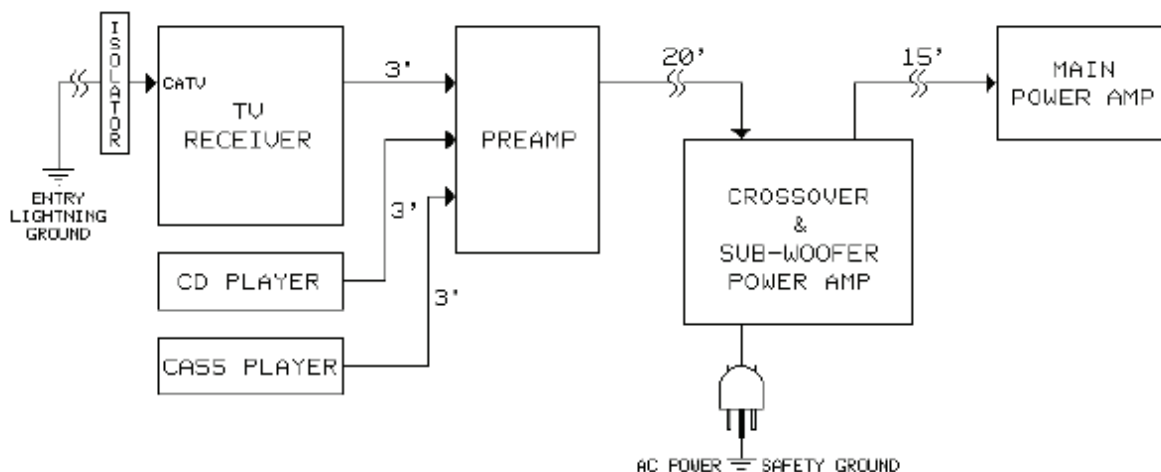
Natürlich kann die Schleife unterbrochen werden indem man den Erdungsanschluss des Subwoofers trennt. **DAS ABER NIEMALS TUN!** Audiokabel die Equipment miteinander verbinden können tödliche Spannungen auch über das System hinaus übertragen, oder können Feuer verursachen wenn der Subwoofer einen Netzleitungsdefekt verursacht.



Ein sicherer Weg die Schleife zu unterbrechen ist es einen Erdungsisolator in der Audio Signalstrecke vom TV zum Subwoofer zu installieren. Da längere Kabel anfälliger gegenüber Rauschen sind wäre die günstigste Lösung in diesem System den Isolator am Empfängerende des 6 Meter (20 Fuß) Kabels zu platzieren, wie in der Abbildung gezeigt.

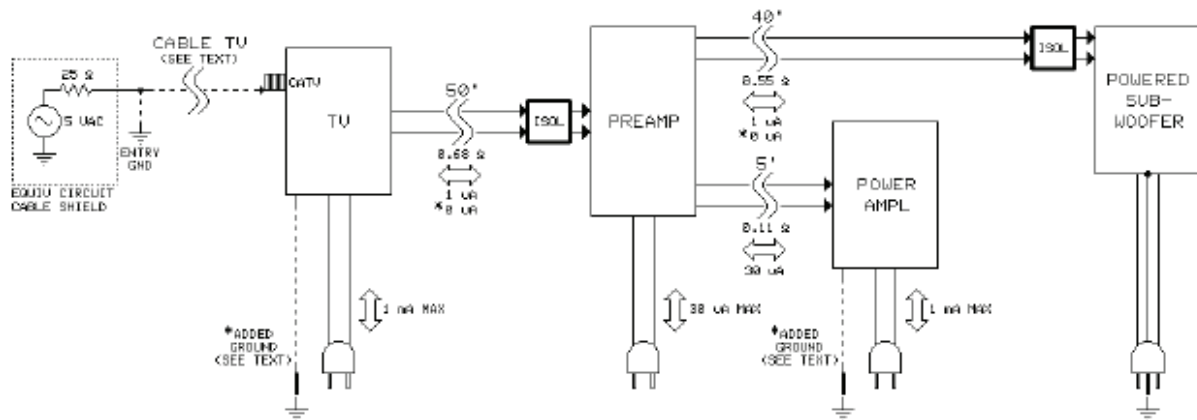


Eine andere sichere Lösung ist es einen Erdungsisolator in der CATV Signalstrecke beim TV zu installieren, wie in der nächsten Abbildung gezeigt, um die Schleife zu unterbrechen. CATV Isolatoren sollten immer dort installiert werden wo das Kabel zum ersten Mal an ein Audio- oder Videosystem angesteckt wird.



Da die meisten Anwendergeräte Eurostecker (ungeerdete 2-Stift Wechselstromstecker) haben, kann das Installieren eines Isolators einige Geräte „schwebend“ werden lassen. Das erlaubt der Spannung sich zwischen dem Eingang und dem Ausgang des Isolators auf 230 Volt Wechselspannung anzunähern. Das Ganze ist nicht gefährlich, setzt aber eine extreme und unnötige Unterdrückungslast auf den Isolator. Das Problem ist leicht lösbar indem man separate Erdungsverbindungen zu den „schwebenden“ Geräten hinzufügt (siehe Abbildung). Der einfachste Weg wäre es die EURO 2-Stift Stecker mit SCHUKO 3-Stift Steckern zu ersetzen und eine Leitung (bevorzugt green) zwischen dem Erdungsanschluss des neuen

Wechselstromsteckers und der Gehäuseerdung hinzuzufügen. Um herauszufinden, ob ein möglicher Gehäuseverbindungspunkt (Schraube) gerade geerdet ist, verwendet man zur Überprüfung ein Ohmmeter zwischen der Schraube und dem äußeren Kontakt eines RCA (*chinch*) Steckers, welcher selbst als Verbindung verwendet werden kann, wenn notwendig.



2.7 CATV und Satelliten TV Schüsseln

Hochwertige CATV Isolatoren lassen Hochfrequenzsignale mit praktisch keinem Verlust oder Verminderung passieren, aber verhindern tiefrequenten Stromfluss und somit Netzleitungsbrummschleifen.

- Sie müssen immer nach dem Blitzableiter (*lightning ground*) installiert werden.
- CATV Isolatoren funktionieren bei CATV, Fernsehsendungen und FM Frequenzen. Der Isolator der auf der rechten Seite abgebildet ist, lässt auch Kabelmodemfrequenzen durch.
- Beachte, das Signalweichen bei ihrem Ausgang Schirmungen verbinden, was eine mögliche Quelle für Brummschleifen zwischen den Systemen sein kann. Es werden im Allgemeinen separate Isolatoren an jedem Weichenausgang empfohlen.
- CATV Isolatoren funktionieren NICHT wenn man sie auf der Strecke der DSS Schüssel zum Empfänger anbringt. Sie können keine Gleichspannung vom Empfänger zur Schüssel führen.



CATV Isolator
ISO-MAX VRD-1FF

Satellitenschüsselsysteme müssen nach den Bestimmungen der *NEC-Schreiben 250* und *810* geerdet sein, um einen Blitzschutz (*lightning*) zu gewährleisten. Diese Erdung kann dieselbe Art von Brummschleifen erzeugen wie eine CATV Verbindung. Ein „isolierter Erdungsadapter“ der in Serie mit dem Staberder geschaltet ist, lässt die Schüssel **sicher** ungeerdet unter normalen Bedingungen betreiben. Die Adaptergrundplatte wird an die Masse des Staberders angeschlossen. Der Erdungsblock der Schüsseln wird dann an dem anderen Eingang der Erdungsadapter angebracht. Der Erdungsleiter für die Schüssel selbst wird auch an diesen Anschluss (*Terminal*) angeschlossen. Wenn die Spannung über dem Adapter 90 Volt erreicht, wie bei einem nahen oder direkten Blitzeinschlag, ionisiert eine interne Gasröhre und somit hält er 18000 Ampere eines direkten Blitzschlags aus. Anschließend kehrt die Röhre wieder in den Grundzustand zurück. [26] Wenn der DSS Empfänger einen Schukostecker hat, kann es notwendig sein einen GFCI zu installieren, welcher den Erdungsstromkreis unterbricht. In manchen Situationen kann es sinnvoller sein Audio- und Video-Isolatoren an den Ausgangsleitungen des Satellitenempfängers zu benutzen.

2.8 Isolation für digitale Interfaces

Das ehrwürdige RS-232 Dateninterface ist *unsymmetrisch*, was es sehr anfällig für Erdungsrauschen durch Impedanzkopplung macht – aber die Rauschsymptome dieses Interfaces sind üblicherweise „unerklärlich“. Das optisch isolierte Gerät kann zwischen seinen Eingangs- und Ausgangsanschlüssen 2000 Volt standhalten. Ähnliche Geräte sind von verschiedenen Herstellern erhältlich für RS-232, RS-422 und anderen populären Interfaces. Mehr Informationen dazu auf folgenden Homepages:

www.bb-elec.com

www.telebyteusa.com



RS-232 Isolator
B&B Electronics

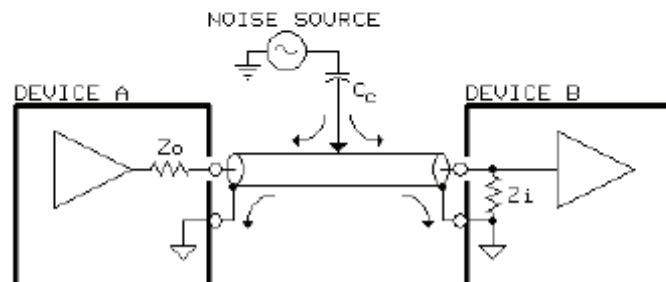
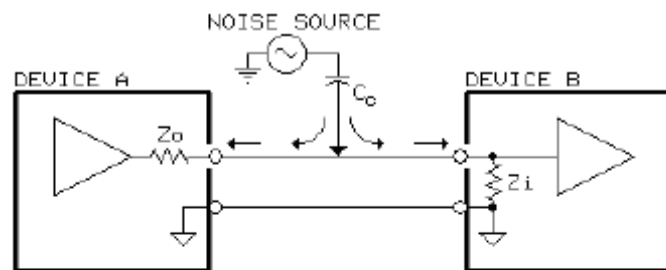
2.9 Wahl des Kabeltyps

Starke elektrische Wechselfelder umgeben jeden Leiter der mit hoher Wechselstromspannung betrieben wird. Zum Beispiel Neonleuchtzeichen und Wechselstrom Netzleitungen bzw. -kabel. Die Feldstärke fällt mit der Distanz stark ab. Mit dem Einschließen von Signalleitern in die Schirmung kann man Rauschkopplung auf Grund von elektrischen Feldern verhindern.

Der Raum zwischen zwei Leitern bildet eine Kapazität C_c und jede Veränderung der Spannung zwischen den Leitern erfordert einen Stromfluss durch die Kapazität.

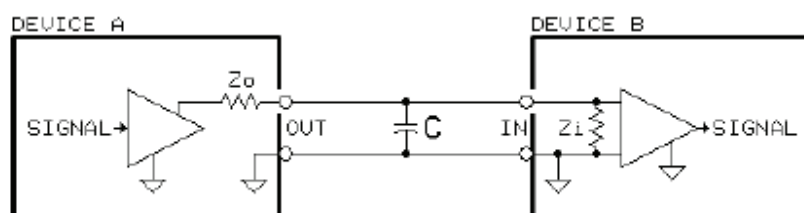
Ohne eine Schirmung fügt der Stromfluss in den Parallelimpedanzen Z_o und Z_i Rauschspannung zu dem Signal hinzu. Aber eine geerdete Schirmung leitet den Rauschstrom ab. Die äußere Schirmung der Kabel, wenn diese den inneren Signalleiter komplett umgeben, ergibt eine 100%ige Abdeckung. Elektrische Felder verursachen normalerweise nur Rauschprobleme wenn die Antriebsquelle eine sehr hohe Impedanz aufweist, wie es bei „Anwender Vakuum-Röhren-Ausrüstungen“ der Fall ist.

Rauschen wird generell nicht über die „Luft“ von Kabel mit mangelhafter Schirmung aufgenommen. Um zu verdeutlichen wie trivial Schirmung in realen Systemen ist, denke daran, dass bekannte Hersteller viele Arten von unsymmetrischen und symmetrischen Kabel anbieten, die im Bereich von \$80 bis \$500 pro Meter liegen, welche keine komplette Schirmung haben – die Erdungs- und Signalleiter sind einfach miteinander verwoben.



Vermeide hochkapazitive Kabel.

Einige exotische Audiokabel haben eine hohe Kapazität und können ernsthaft das Hochfrequenzverhalten verschlechtern. Die



Kabelkapazität und die Impedanz des Senderausganges bilden einen Tiefpassfilter. Somit kann die hohe Ausgangsimpedanz in Kombination mit einem langen und/oder hochkapazitiven Kabel ernsthaft das Hochfrequenzverhalten verschlechtern. Ist zum Beispiel die Ausgangsimpedanz 1 kOhm (typisch bei Anwenderequipment) und die Kabelkapazität beträgt 50 pF pro Fuß (1 Fuß \approx 30 cm, typisch für gewöhnliche Kabel), dann wird sich das Verhalten bei 20 kHz und 50 Fuß (ca. 15 Meter) um 0,5 dB verschlechtern, um 1,5 dB bei 100 Fuß (ca. 30 Meter) und um 4 dB bei 200 Fuß (ca. 60 Meter) Kabellänge. Bedenke dass einige „exotische“ Kabel wesentlich höhere Kapazitäten haben.

Unsymmetrische Kabel sind anfällig für Wechsellmagnetfelder. Ungeachtet von Kabelkonstruktionen sind unsymmetrische Interfaces anfällig für Rauschen welches von nahe gelegenen Magnetfeldquellen eingebracht wird. Im Gegensatz zu symmetrischen Interfaces **kann** das Rauschen bei unsymmetrischen Interfaces am Empfängereingang **nicht** wieder aufgehoben werden.

Audiokabel sind keine Hochspannungsleitungen. Das Marketing und der Medienrummel für exotische Kabel berufen sich oft auf die klassische Leitungstheorie und setzen voraus, dass das Nanosekundenverhalten irgendwie wichtig ist. Aber die Physik zeigt uns, dass Audiokabel keine Leitungseffekte in der Technik aufzeigen, solange sie keine Länge von ca. 1200 Meter erreichen.

KEINE ANDERES PRODUKT IST SO GEHEIMNISUMWOBEN WIE DAS AUDIOKABEL!

Die Audioindustrie, und da speziell die *High-End* Abteilung, wimmelt von Fehlinformationen, Mythen und Mystizismus. Wissenschaftliche *double-blind* Tests haben gezeigt, dass es nichts Unerklärliches gibt, über die hörbaren Unterschiede zwischen den verschiedensten Kabelarten. Zum Beispiel ist es bekannt, dass das physikalische Design eines Kabels einen Einfluss auf dessen Kopplung mit Netzrauschen im Ultraschallbereich hat. Sogar sehr niedrige Levels dieses Rauschens können hörbare „spektrale Verschmutzungen“ in den nachfolgenden Verstärkern verursachen. [11] Die Lösung dieses Problem ist es die Kopplung schon so früh wie möglich und an ihrer Quelle zu unterbinden, anstatt sich sinnlos mit Gedanken zu quälen, welches "Designer-Kabel" die angenehmste Verbesserung bringen könnte.

Die kostspieligen und exotischen Kabel, selbst wenn sie doppelt oder dreifach abgeschirmt sind, gebildet aus 100% reinem „Utopium“ und handgemacht von einem Team aus Jungfrauen, haben KEINEN bedeutenden Effekt auf Brumm- und Summprobleme!

Ein leistungsstarkes Kabel für ein unsymmetrisches Audiosignal soll eine niedrige Kapazität und einen sehr niedrigen Schirmungswiderstand haben. Ein gutes Beispiel eines solchen Kabels ist das Belden #8241F. Seine 17 pF/Fuß Kapazität erlaubt eine 200 Fuß lange Leitung zu einem typischen 1 kOhm Ausgang, während eine -3db Bandbreite von 50 kHz beibehalten wird. Dessen niedriger 2,6 mOhm/Fuß Schirmungswiderstand ist gleich dem eines #14 Drahtes, welcher signifikant die Impedanzkopplung reduzieren kann. Weiters ist das Kabel flexibel und in vielen Farben erhältlich.

2.10 Tipps zur Rauschreduzierung

Halte die Länge der Kabel so kurz als möglich. Längere Kabel erhöhen nur die Impedanzkopplung. Das Aufwickeln von überschüssigem Kabel führt zu mehr magnetischem Einfluss.

Verwende Kabel mit dicker Schirmung. Das ist besonders wichtig wenn die Kabel sehr lang sein müssen. Die einzige Eigenschaft von Kabel, damit sie irgendeinen signifikanten Effekt bei Audiorauschkoppelung hat, ist ein Schirmungswiderstand.

Bündle Signalkabel. Alle Signalkabel zwischen irgendwelchen zwei Boxen sollten gebündelt sein. Wenn zum Beispiel die L und R Kabel eines Stereopaars separat sind, wird ein nahe gelegenes Gleichmagnetfeld Strom in die Schleifenregion innerhalb der zwei Schilde bringen – und Brummen in beide Signale einkoppeln. Eine Bündelung von allen Gleichstromnetzkabeln hilft ihre magnetischen und elektrischen Felder zu mitteln, was deren Netzstrahlung reduziert. Natürlich sollte man schauen, dass man die gebündelten Signalkabel so weit wie möglich von den gebündelten Netzkabeln entfernt hält. Denken Sie daran dass Kabel oder solche Bündel am meisten Einstreuungen haben wenn sie parallel laufen und solche die sich in einem Winkel von 90° kreuzen am wenigsten Einstreuungen aufeinander haben.

Achte immer auf gute Verbindungen. Stecker die für lange Zeit ungestört gelassen wurden, können oxidieren und einen hohen (und oft einen verzerrungsproduzierenden, nicht-linearen) Kontaktwiderstand entwickeln. Brummen oder Rauschen welches sich ändert wenn ein Stecker wackelt ist ein Hinweis für einen schlechten Kontakt. Verwende einen guten Kontaktspray und/oder Gold überzogene Stecker um solchen Problemen vorzubeugen.

Füge nicht unnötige Erdungen hinzu. Mehr hinzugefügte Erdungen bei den Geräten zieht eher eine Erhöhung des Systemerdungsrauschstroms auf sich als eine Reduzierung. Aber natürlich stecke oder trenne NIEMALS eine Sicherheitserdung oder einen Blitzschutzerdung aus um ein Problem zu lösen.

Verwende Erdungsisolatoren bei Problem Interfaces. Isolatoren sind eine „Wunderwaffen“-Lösung für Impedanzkopplung, welches die größte Schwäche von unsymmetrischen Interfaces ist.

3 Symmetrische Audio Interfaces

Eine Schnittstelle kann unsymmetrisch oder symmetrisch sein. Dies hängt nur von den Erdungswiderständen der Kabel ab. Bei symmetrischen Schnittstellen haben beide Leiter dieselbe Impedanz (ungleich null). Eine symmetrische Schnittstelle erfordert, dass Quelle, Kabel und Empfänger alle derselben Erdungsimpedanz entsprechen. Symmetrische Schnittstellen sind somit gut in der Lage, alle Arten von Geräuschkoppelung zu verhindern. Tatsächlich ist diese Technik so leistungsfähig, dass viele Systeme, wie zum Beispiel das Telefon, Symmetrische Interfaces anstelle von Schirmung als Hauptrauschunterdrückung verwenden.

3.1 Eine Frage der Symmetrie

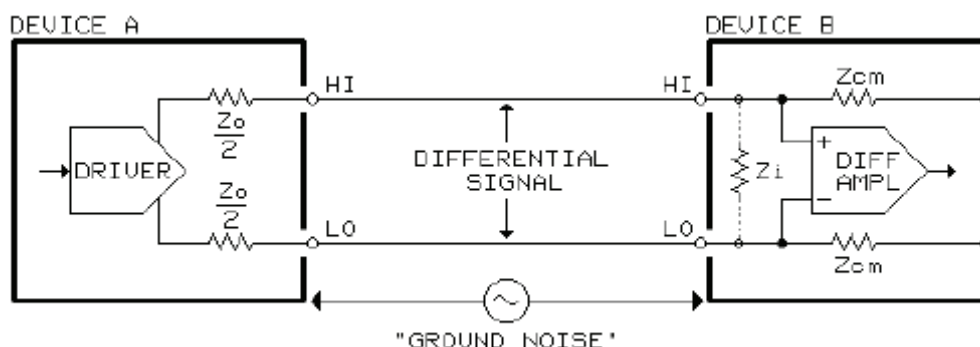
Die zutreffende Natur der symmetrischen Schnittstellen wird weitgehend missverstanden. Ein Beispiel: „Jeder Leiter hat die gleiche Spannung aber die entgegengesetzte Polarität des andern Leiters. Der Schaltkreis, der dieses Signal im Mixer empfängt, wird Differentialverstärker genannt und diese entgegengesetzte Polarität der Leiter ist wesentlich für seinen Betrieb.“ [12]

Dieses, wie viele Veröffentlichungen auch, beschreibt Signalsymmetrie (d.h., "Gleichgestelltes in der Spannung aber Entgegengesetztes in der Polarität"), aber übersieht vollständig die wichtigste Eigenschaft einer symmetrischen Schnittstelle: Die Ansicht, dass Signalsymmetrie irgendetwas mit Rauschunterdrückung zu tun hat ist FALSCH!

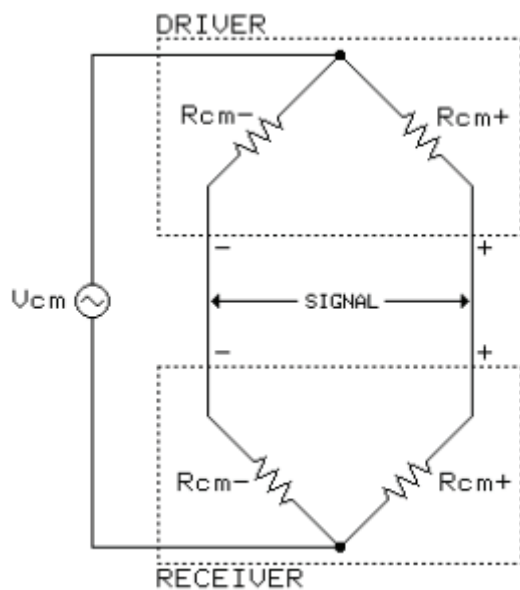
Aus dem informativen Anhang von IEC Standard 60268-3: „Allgemein hängt die Rausch- oder Interferenzunterdrückung nur von der Widerstandbalance von Quelle, Kabel und Empfänger ab. Diese Unterdrückung ist unabhängig vom Vorhandensein eines gewünschten Differenzsignals. Folglich spielt es keine Rolle ob dieses „gewünschte“ Signal komplett auf einem Leiter anliegt (als eine höhere Spannung im Vergleich zum anderen Leiter), oder aber an beiden Leitern anliegt. Die Symmetrie des gewünschten Signals hat Vorteile, aber sie betreffen Headroom und Übersprechen, nicht aber Rausch- und Interferenzunterdrückung.“

Eine genauere Definition ist: „Ein symmetrischer Stromkreis ist ein 2-Leiter Stromkreis, in dem beide Leiter und alle anhängenden Stromkreise den gleichen Widerstand in Bezug auf Masse und zu allen weiteren angeschlossenen Leitern haben. Der Zweck der Symmetrie ist, die Rauschaufnahme in beiden Leitern gleich zusetzen, in diesem Fall entsteht im Gleichtaktmodus ein Rauschsignal, welches bei angeschlossener Last aufgehoben werden kann.“ [13]

Ein einfaches Symmetrisches Interface ist im folgenden Bild zu sehen:



Theoretisch kann es jede mögliche Störung unterdrücken, sei es wegen Spannungsunterschieden oder magnetischen sowie elektrischen Feldern, so lange identische Spannungen an jedem Leiter anliegen und die resultierenden Höchstspannungen (Peaks) nicht die Empfängerfähigkeit übersteigen. Wenn beide Geräte geerdet werden, wird der Grundspannungsunterschied zwischen ihnen der des Erdungsrauschens sein. Wenn eine oder beide Geräte nicht geerdet sind, kann der Grundspannungsunterschied sehr groß werden. Traditionsgemäß werden bei symmetrischen Audioverbindungen abgeschirmte Kabel verwendet. Die Schirmung des Kabels wird mit der Erdung des Gerätes verbunden. Dieser Anschluss dient dazu, den Grundspannungsunterschied zwischen den Vorrichtungen herabzusetzen. Wenn jedoch solch ein Anschluss fehlt, können andere Massen erforderlich sein, um den Grundspannungsunterschied zu begrenzen. Die Spannung, die identisch auf beiden Eingängen anliegt, wird *common-mode* (Gleichtakt-) Spannung genannt.



Ein symmetrischer Empfänger benutzt eine Differenzialvorrichtung, entweder ein spezieller Verstärker oder ein Transformator, der nur auf den Spannungsunterschied zwischen seinen Eingängen reagiert. Ein idealer Empfänger würde bei den *common-mode* Spannungen nicht ansprechen. Aber bei realen Geräten ist die Antwort nicht null. Das Verhältnis der differentialen Verstärkung des Gerätes zu seiner *common-mode*-Gewinn wird CMRR (common-mode rejection ratio) genannt. Es wird normalerweise in dB ausgedrückt, in dem höhere Werte bessere Unterdrückung bedeuten. Es fällt auf, dass im *common-mode* (d.h., in Bezug auf die Erdung) die Widerstände der Quelle und die Widerstände des Empfängers eine Wheatstone-Brücke bilden, wie im Bild nebenan ersichtlich.

Wenn die Brücke nicht abgeglichen oder auf Null ist, wird ein Teil des Grundrauschens V_{cm} in ein differentielles Signal auf dem Leiter umgewandelt. Ist die *common-mode* Spannung null, hängt das stark vom Verhältnis der Impedanzen von Quelle und Empfänger ab. Weiters ist die Spannung relativ wenig von der Impedanz zwischen den Leitern abhängig, die Impedanzen jedoch sind von überwiegender Bedeutung.

3.2 Werbung und Wahrheit

Die Brücke ist für kleine fraktionelle Impedanzänderungen in einem seiner Arme am empfindlichsten, wenn alle Arme den gleichen Widerstand haben. [14] Sie ist weniger empfindlich, wenn die oberen und unteren Arme einen deutlichen Unterschied der Impedanzwerte haben. Folglich können wir die CMRR Verminderung in einer symmetrischen Schnittstelle herabsetzen, die durch normale Komponententoleranzen verursacht wird, indem wir die *common-mode*-Widerstände sehr niedrig bei einem Ende der Leitung und sehr hoch am anderen wählen. [15] Die Ausgangsimpedanzen von praktisch allen realen Quellen werden durch Reihenwiderständen festgelegt (oft auch durch Koppelkondensatoren) die gewöhnlich ca. 5% Toleranz haben. Deshalb können typische Quellen ein Ungleichgewicht bezüglich der Impedanzen bis zu 10 Ohm haben. Die *common-mode* Eingangsimpedanzen des typischen symmetrischen Eingangsschaltkreises liegen im Bereich von 10 kOhm bis 50 kOhm. Somit ist der CMRR sehr empfindlich auf ein Ungleichgewicht der Quellenausgangsimpedanz.

Ein Beispiel: der CMRR des allgemein verwendeten SSM-2141 verschlechtert sich bei 1 Ohm Unausgeglichenheit schon um 25 dB!

Geräte wie Eingangstransformatoren oder der symmetrische Empfänger InGenius®, sind im Wesentlichen durch die Ungleichheiten unberührt (auch bei mehreren hundert Ohm), weil ihre *common-mode* Eingangsimpedanzen ungefähr bei 50 MOhm liegen.

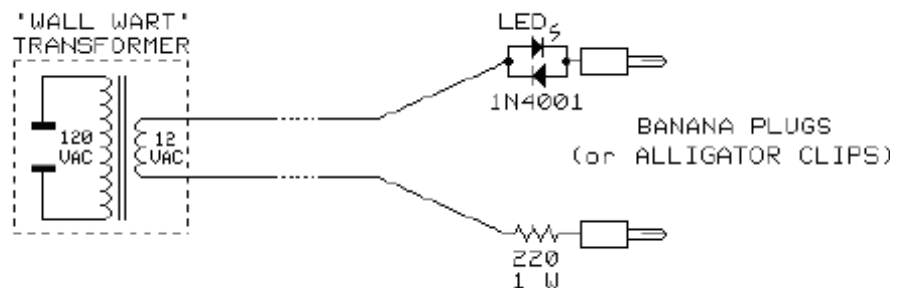
Die Rauschunterdrückung für den Eingang einer realen symmetrischen Schnittstelle ist häufig kleiner als angegeben. Das ist deshalb so, weil die Performance der symmetrischen Eingänge traditionsgemäß so gemessen wird, dass die Quellen- und Kabelimpedanzen ignoriert werden. Zum Beispiel "zwickte" die alte IEC Methode im Wesentlichen die Quellimpedanz so weit ab, bis die Unausgeglichenheit Null betrug. Eine andere Methode, die einfach die zwei Eingänge verbindet und noch von vielen Technikern verwendet wird, ist ebenso unrealistisch. Der Autor dieses Textes ist ziemlich erfreut die IEC überzeugt zu haben, einen neuen CMRR Test anzunehmen, der reale Impedanzunausgeglichenheiten in der Quelle berücksichtigt. Der neue Test ist in der dritten Ausgabe vom *IEC Standard 60268-3: stichhaltige Systemanlagen - Teil 3: Verstärker, August 2000* veröffentlicht worden. Es ist sehr wichtig zu verstehen, dass Rauschunterdrückung in einer symmetrischen Schnittstelle nicht nur eine Funktion des Empfängers ist – die Performance in einem realen System hängt von dem Zusammenspiel von Quelle, Kabel und Empfänger ab.

3.3 PIN1-Probleme und der „Hummer“

Das "PIN1 Problem" (Stift 1 ist bei XLR-Steckern die Schirmung), betitelt durch Neil Muncy, ist unbeabsichtigt in viele Geräte mit symmetrischen Interfaces „designed“ worden. Neil sagt: *"Balancing (Abstimmen) erwirbt folglich ein getrübbtes Renomme, das es nicht verdient. Dies ist in der Tat eine verrückte Situation. Abgestimmte Verbindungen sollen störungsfreie Systemleistung sicherstellen, aber häufig tun sie das nicht."* [16]

Das PIN1-Problem macht den Erdungsanschluss (Schirmungsanschluss) zu einem sehr niederohmigen Signaleingang. Erdungsstrom, der meist mit viel Netzleitungsrauschen behaftet ist, greift somit mehr auf den gesamten Stromkreislauf ein. Der kleine verursachte Spannungsabfall wird verstärkt und erscheint am Ausgang. Wenn dieses Problem in den Systemen besteht, kann es mit und auf andere Rauschkoppelungsmechanismen einwirken, was wiederum Rauschprobleme sinnlos auftreten und unvorhersehbar erscheinen lässt. Dieses Problem betrifft Geräte mit unsymmetrischen Schnittstellen ebenfalls.

Glücklicherweise gibt es einen einfachen Test, um das PIN1-Problem aufzudecken. Der „hummer“ basiert auf einer Idee, die von John Windt vorgeschlagen wurde. [18]



Diese einfache Vorrichtung, deren Schaltbild hier gezeigt wird, zwingt einen Wechselstrom von ungefähr 50 mA, die möglicherweise unangenehmen Erdungsanschlüsse in der Vorrichtung zu durchzufließen. In richtig entworfenen Geräten verursacht dies kein Zusatzrauschen am Geräteausgang. Der 12-Volt-Transformator muss ungefähr 50 mA liefern, wenn die Stecker kurzgeschlossen werden. Die wahlweise freigestellte LED Diode (und 1N4001 Diode) zeigt einfach an, dass die Verbindung in Ordnung ist und Strom tatsächlich fließt.

Überprüfung mit dem "hummer":

1. Trennen Sie alle Eingangs- und Ausgangskabel, ausgenommen der Ausgang den man überprüfen will, sowie alle möglichen Chassisanschlüsse (z.B.: Rack-einschübe,...) von dem zu messenden Gerät.
2. Schalten sie ein.
3. Messen (und hören Sie, wenn möglich) das Ausgangssignal. Die einzigen Geräusche sollten weißes Rauschen oder Zischen sein. Versuchen Sie verschiedene Einstellungen, um sich mit den Rauscheigenschaften des Gerätes ohne den angeschlossenen *hummer* vertraut zu machen.
4. Halten sie einen Anschluss des *hummers* an das Gehäuse und halten sie den anderen Anschluss an jeden Erdungskontakt jedes Ein- oder Ausganges. Ist das Gerät korrekt entworfen, darf kein Brummen oder eine andere Veränderung des Rauschens auftreten.
5. Prüfen Sie andere möglicherweise unangenehme Wege, wie zum Beispiel von einem Eingangs- zu einem Ausgangsschirmungskontakt oder vom Erdungspin des Netzanschlußkabels zum Chassis.

Bei manchem Equipment ist bei den XLR-Anschlüssen der PIN1 nicht direkt mit Masse verbunden – hoffentlich ist das nur bei den Eingängen der Fall! In diesem Fall wird das LED am *hummer* nicht leuchten. Das ist ok.

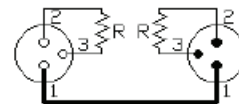
3.4 Das Probleminterface finden

Einfach konstruierte Testadapter oder "-attrappen" (*dummies*) lassen das System sich selbst prüfen und können den genauen Eintrittspunkt des Rauschens oder der Interferenzen bestimmen. Werden vorübergehend die Attrappen an die strategischen Positionen in der Schnittstelle angeschlossen, werden exakte Informationen über die Natur des Problems aufgedeckt.

Die Tests können spezifisch kennzeichnen:

- Durch Schirmungsstrom verursachte Koppelung in den Kabel
- Magnetische oder elektrostatische Aufnahme der Kabel von nahen Feldern
- Impedanzkoppelung innerhalb von defekter Ausrüstung.

Balanced Interfaces



For Balanced Audio XLR

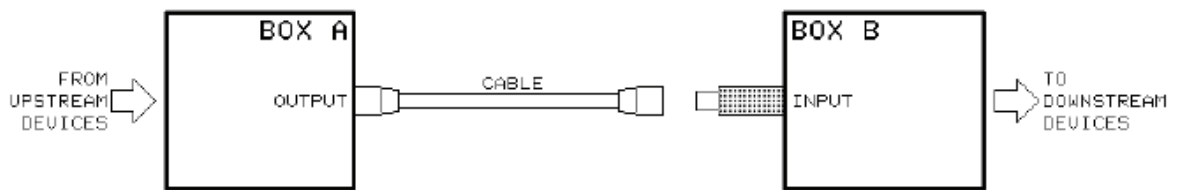
P1/J1 = Switchcraft S3FM Adapter
with QG3F and QG3M Inserts
R = 604 Ω , 1%, 1/4 W Resistor

For Balanced Audio 3C Phone

Use Switchcraft 383A and 387A
Adapters with XLR version

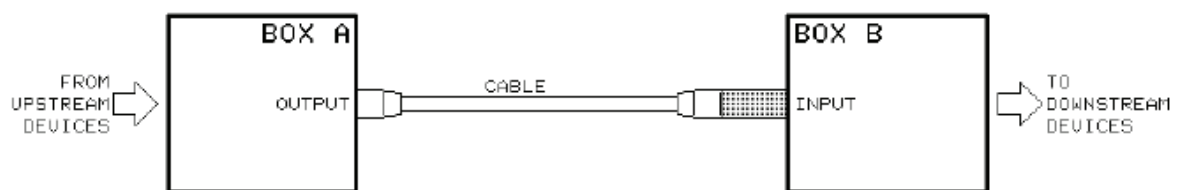
Für die Attrappen werden Standardsteckern verwendet, die wie gezeigt verdrahtet werden. Erinnern sie sich daran, dass SIE KEIN SIGNAL FÜHREN. Jede Schnittstelle wird mit dem folgenden 4-Schritt Verfahren geprüft:

Schritt 1 – Stecken sie das Kabel von Box B ab und stecken sie die Attrappe auf.



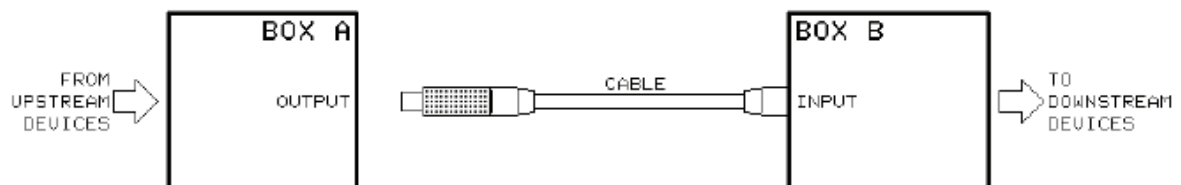
Ist der Ausgang leise? – **NEIN**: das Problem liegt in Box B oder noch später im Signalfloss.
JA: Gehen sie zum nächsten Schritt.

Schritt 2 – Stecken sie das Kabel auf die Attrappe.



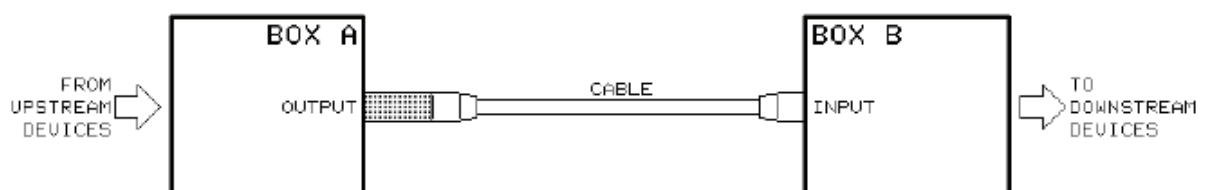
Ist der Ausgang leise? – **NEIN**: Box B hat ein internes PIN1-Problem. Der Hummer-Test wird dies bestätigen.
JA: Gehen sie zum nächsten Schritt.

Schritt 3 – Stecken sie das Kabel in Box B und darauf die Attrappe. Achten sie darauf dass die Attrappe nichts Leitendes berührt.



Ist der Ausgang leise? – **NEIN**: Das Rauschen entsteht im Kabel. Versuchen sie störende Felder zu umgehen.
JA: Gehen sie zum nächsten Schritt.

Schritt 4 – Stecken sie die Attrappe an Box B an.



Ist der Ausgang leise? – **NEIN:** Das Problem ist ein Rauschen, welches vom Schirmungsstrom induziert wird. Dies wird SCIN genannt (*shield-current-induced noise*).

JA: Das Rauschen kommt vom Ausgang von Box A. Wiederholen sie das gesamte Verfahren für die in der Signalkette vorangegangenen Schnittstellen.

3.5 Lösungen

Die häufigsten Probleme von symmetrischen Schnittstellen beruhen auf einem schlechten CMRR im Gerät und dem PIN1-Problem. Der gezeigte Isolator verwendet einen Eingangswandler der den CMRR und die Interferenzunterdrückung erheblich verbessert. Wie vorher erklärt, ist die Verbesserung des CMRR davon abhängig welcher Transformator im Isolator verwendet wird.

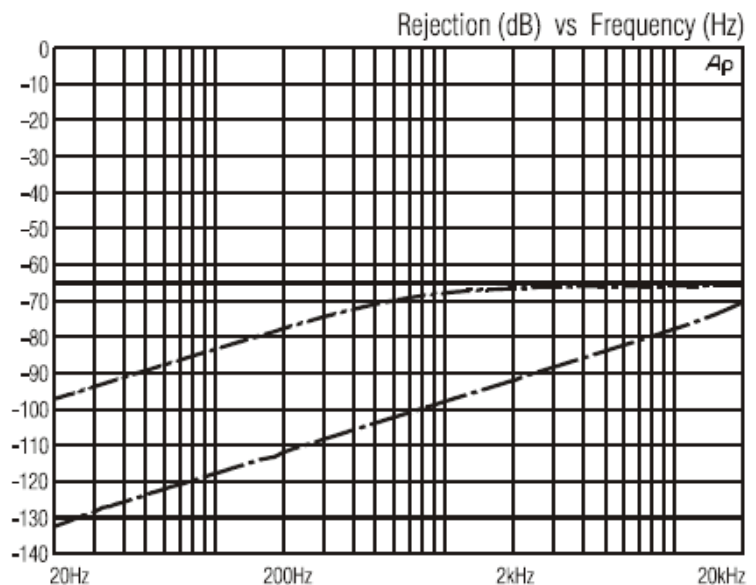


Isolator for Balanced Interfaces
Jensen ISO-MAX PI-2XX

IEC 60268-3 Methode. Als Quelle fungiert ein typischer symmetrischer 600 Ohm Ausgang, außer dass die *common-mode*-Impedanzen präzise abgestimmt sind ($\pm 1\%$, z.B. virtuelle Nullimpedanz). Der Empfänger ist ein typisches aktives Gerät mit einer Eingangsimpedanz von 40 kOhm (*common-mode*-Impedanzen liegen bei 20 kOhm), mit einem CMRR von 90 dB wenn die Verbindung mit der Quelle korrekt ist. Dies sind die Laborzustände, unter denen die meisten annoncierten CMRR Abbildungen zu erhalten sind!

Zugegeben, reale Ausgänge sind selten so präzise abgestimmt. Der neue IEC-Test erzeugt absichtlich ein Ungleichgewicht von 10 Ohm. Für diesen typischen Eingang ohne Isolator fällt der CMRR von angepriesenen 90 dB auf 65 dB wie im Graph oben ersichtlich. Die mittlere Linie zeigt den Effekt wenn ein gewöhnlicher Transformationsisolator am Ausgang verwendet wird. Obwohl das 50 Hz Brummen um etwa 20 dB reduziert wird, ist die Reduzierung bei 3 kHz nahezu Null. Wie auch immer, ein *high-performance*-Isolator mit einem Eingangstransformator reduziert das 50 Hz-Brummen um 60 dB und verringert Zischartefakte bei 3 kHz um über 20 dB.

Der Graph zeigt den Zusammenhang zwischen CMRR und der Frequenz in einer symmetrischen Schnittstelle, getestet mit der



Wie früher schon erwähnt: Finger weg von Geräten die nicht ordentlich spezifiziert sind! Manchmal können diese zwar Rauschprobleme lösen, allerdings mit Einbußen bezüglich der Klangqualität. Der gezeigte Isolator löst das PIN1-Problem durch Schalter an der Unterseite, welche die Schirmungsanschlüsse konfigurieren. Wie auch bei unsymmetrischen Applikationen haben Eingangstransformatoren auch andere Vorteile:

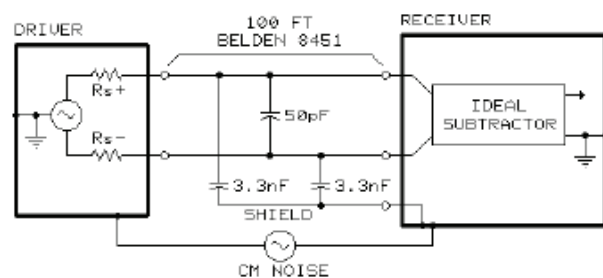
- Die Eingänge akzeptieren sowohl Signale von unsymmetrischen als auch von symmetrischen Ausgängen, trotz hoher Rauschunterdrückung. Eine Verbesserung des CMRR von 40 auf 60dB ist typisch für Faraday-geschirmte Eingangstransformatoren (indiziert durch ein „I“ in ISO-MAX Modellen).

- Isolatoren mit Eingangstransformatoren bieten eine Eigenunterdrückung von HF- und Ultraschallinterferenzen. Die resultierende Verminderung von „spektralen Unreinheiten“ wird oft als eine wunderbare neue Klarheit des Schallsignals beschrieben. [14]
- Sie lösen PIN1-Probleme (Gesamtimpedanzkopplung in schlecht entworfenem Equipment).
- Sie sind passiv, benötigen somit keine Stromversorgung.
- Sie sind robust, betriebssicher und nahezu immun gegenüber transienten Spannungsspitzen.

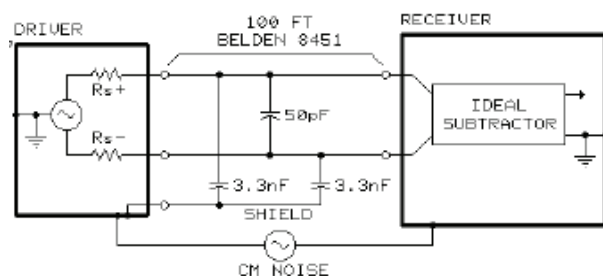
3.6 Kabel und Abschirmung

In unsymmetrischen Kabeln können Elektrische Felder kapazitiv Rauschen in der Signalleitung verursachen. Bei symmetrischen Schnittstellen werden theoretisch gleiche Spannungen in zwei symmetrische Leitungen induziert. Dies führt zu einer *common-mode*-Spannung, welche theoretisch durch den Empfänger vermindert wird. In der Praxis wird die Verminderung durch die Anpassung der kapazitiven Koppelung und der Leitungsimpedanz eingeschränkt. Das Anpassen der kapazitiven Kopplung kann durch das Verdrehen der symmetrischen Leitungen verbessert werden, auch durch Mittelung der Positionen (und Kapazitäten) relativ zur Quelle des Feldes. Wie auch immer, eine geerdete Schirmung löst das gesamte Problem, indem es einfach die rauschbehafteten Ströme erdet. Auch hier ist eine umflochtene Schirmung mit 85% bis 95% Deckung normalerweise ausreichend.

Geerdete Schirmungsanschlüsse können den CMRR beeinflussen. Kabelkapazitäten zwischen jedem Signalleiter und der Schirmung sind zu 4% bis 6% unabgestimmt in typischen Kabeln. Wenn die Schirmung am Empfänger geerdet ist, bilden diese Kapazitäten und die Quellausgangsimpedanzen (ihrerseits oft bis zu 5% verstimmt) ein Paar von Tiefpassfiltern für *common-mode* Rauschen. Dies wandelt einen Teil dieses Rauschens zu einem Differenzsignal um. Wenn die Schirmung nur einfach an der Quelle angeschlossen ist, wird dieser Umwandlungsvorgang komplett eliminiert, weil alle Filterelement auf demselben Potential liegen (Masse). [22]



NEVER Ground Shield **ONLY** at Receiver



ALWAYS Ground Shield at Driver

Signalspannung liegt an den inneren Leitern an, da Strom durch die Schirmung von den Kabelkapazitäten fließt. Wenn die Signale perfekt symmetrisch (gleiche oder entgegengesetzte Schwingung) und die Kapazitäten perfekt abgestimmt sind, wird kein Strom mehr durch die 2 Koppelkapazitäten auf die Schirmung fließen. Dieser Strom sollte zum Sender zurückfließen. Ist die Schirmung am Empfänger geerdet, wird der ganze oder ein Teil des Stromes über einen undefinierten Weg zurückfließen, was wiederum zu Crosstalk, Verzerrung, oder Oszillation im empfindlichen Stromkreis führt. [22] **Deshalb sollte für geschirmte symmetrische Audiokabel die Schirmung IMMER am Sender geerdet werden** - auch wenn dieser selbst nicht geerdet ist.

Andererseits steht dies im Konflikt mit „Netz“-Erdungsmethoden, welche bei HF-Frequenzen bevorzugt werden. Um sich gegen HF-Interferenzen zu schützen sind zusätzliche Erdungsmaßnahmen wünschenswert. Folglich ist die am weitesten verbreitete Maßnahme die Schirmung an beiden Enden zu erden. Jedoch beeinträchtigt dies wiederum den CMRR mit unbestimmtem Grad. Aber ein hochfrequenten Verfahren kann einem niederfrequenten Verfahren überlagert werden, um die beiden bestmöglichen CMRRs zu erhalten und auch die HF-Empfindlichkeit zu senken. Bei diesem Ansatz, *Hybrid-Erdung* genannt, wird das Kabelende auf der Empfängerseite über eine Kapazität geerdet. Dieser Kondensator stellt effektiv einen kleinen HF-Schaltkreis dar, aber einen offenen Kreis für Audiofrequenzen. [23][24] Die Vorzüge dieser Anwendung waren jahrelang das Thema einer *AES working group*.

Starke Wechsellmagnetfelder umfassen jeden Leiter wenn ein großer Wechselstrom anliegt – zum Beispiel bei Gebäudeverdrahtung, Leistungstransformatoren, Motoren und CRT Anzeigen. Die Feldstärke fällt im Allgemeinen schnell mit einem größeren Abstand zur Quelle ab. Die Physik sagt uns, dass jeder Leiter, der einem zeitvarianten Magnetfeld ausgesetzt ist, eine Spannung induziert. In einem perfekt symmetrischen Interface werden identische Spannungen in die beiden Signalleitungen induziert, was sie zu einer *common-mode*-Spannung macht, welche vom Empfänger komplett reflektiert wird. In der Praxis ist die Reflexion vom Grad der Anpassung der magnetischen Kopplung und der Leitungsimpedanzen limitiert. Verdrillt man die symmetrische Leiter, kann die magnetische Kopplung verbessert werden. Verdrillte symmetrische Leiter, ob geschirmt oder nicht, sind nahezu immun gegenüber Magnetfeldern und machen nichtgeschirmte symmetrische Leiter nahezu immun gegenüber elektrischen Feldern. Das ist von großer Bedeutung in *low level*-Mikrophonschaltungen. Erinnern sie sich, dass die Verdrahtung an Anschlüssen und innerhalb von XLR-Verbindungen anfällig ist weil die Verdrillung hier nicht mehr gegeben ist. Bei magnetischunempfindlicher Ausstattung, wie ein „*star-quad*“ Mikrophonkabel etwa, steigt die Immunität gegenüber einem Magnetfeld um etwa 40dB verglichen mit einem standardmäßig verdrillten geschirmten Kabel (mit 2 Leitern).

Effektive Magnetschirmung, speziell um die Netzfrequenzen, ist sehr schwierig zu erlangen. Nur magnetische Materialien wie Stahlrohre können eine geeignete Schirmung bieten – aber sie ist nicht bei gewöhnlichen geschirmten Kabel gegeben. Ein Stromfluss durch die Schirmung lässt ein Magnetfeld dicht um die Verdrillung entstehen. Eine nicht perfekte Symmetrie in realen Kabeln resultiert in ungleich induzierte Spannungen in den verdrillten Leitern, was wiederum Rauschen zum Differenzsignal hinzufügt. Dieser Effekt wurde 1994 von Neil Muncy veröffentlicht und er taufte ihn *SC/N*. Generell haben die besten Kabel eine geflochtene oder eine entgegengesetzte Wicklung als Schirmung und die schlechtesten Kabel haben eine Folienschirmung oder Ableitungsdrähte.

3.7 „Unsymmetrisch zu Symmetrisch“ - Interfaces

Betriebs- und Referenzpegel von Signalen sind unterschiedlich in billigeren (unsymmetrischen) und professionellen (symmetrischen) Geräten. Bei ersteren liegt die Referenz bei -10 dBV oder 316 mV RMS während bei zweiterem +4 dBu oder 1,228 V RMS gefordert sind. Deshalb ist eine Spannungsverstärkung von 3,9 oder aber 12dB notwendig.

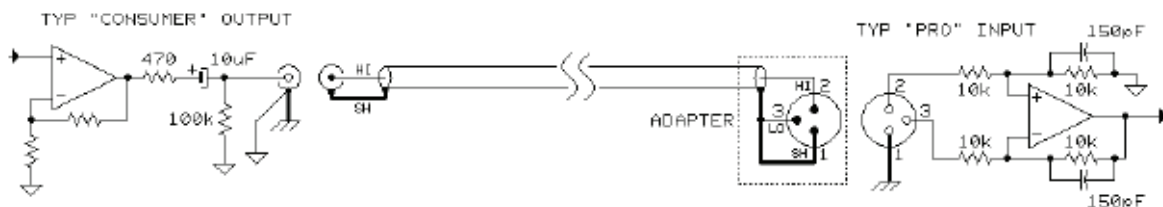
Eine faire Frage muss lauten: „Warum verwendet man nicht einen Aufwärtstransformator (Verstärker) um diese Verstärkung zu erreichen?“ Viele kommerzielle Produkte empfehlen das aber ich nicht! Lassen sie mich erklären: Angenommen, der Transformator hat ein Spannungsverhältnis von 1:4 für einen theoretischen Spannungsanstieg von 12 dB. Unvermeidlich wird dadurch das Impedanzverhältnis zu 1:16. Deshalb wird jegliche Ladungsimpedanz am professionellen Gerät mit dem Faktor 1/16 an das unsymmetrische Gerät reflektiert. Wenn typische symmetrische Eingänge Impedanzen im Bereich von 10 bis 40 kOhm besitzen, werden sie beim unsymmetrischen Quellgerät als 625 Ohm bis 2,5 kOhm erscheinen. Bedenken sie dass die unsymmetrischen Eingänge typischerweise eine Mindestlast von 10 kOhm benötigen. Grund dafür ist die interne (oder Ausgangs-) Impedanz von typischerweise 1 kOhm oder mehr. Deshalb ist die aktuelle Verstärkung **nicht** 12 dB, nur 3 bis 8 dB. Zusätzlich wird am Ausgang ein Headroomverlust von 8 dB auftreten, was frühere Verzerrung bedeutet. Außerdem tritt bei für 10 kOhm ausgelegten unsymmetrischen Ausgängen (mittels Koppelkondensatoren) ein schlechtes Bassantwortverhalten auf. Für gewöhnlich sind Veröffentlichungen zu diesem Thema deutlich abweichend von den Datenblättern der Hersteller.



Level-Shifter Using Transformers for Gain
EbTech LLS-2

Verstärkung ist üblicherweise eine problematische Angelegenheit in den meisten Systemen, da die Eingänge des meist professionellen Equipments generell einen zusätzlichen „Verstärkungsbereich“ haben. Wenn die Verstärkung nicht mehr nötig wäre, hätte man mehr Möglichkeiten für unsymmetrische und symmetrische Interfaces. In den meisten Fällen ist Rauschunterdrückung weiters eine wichtige Angelegenheit.

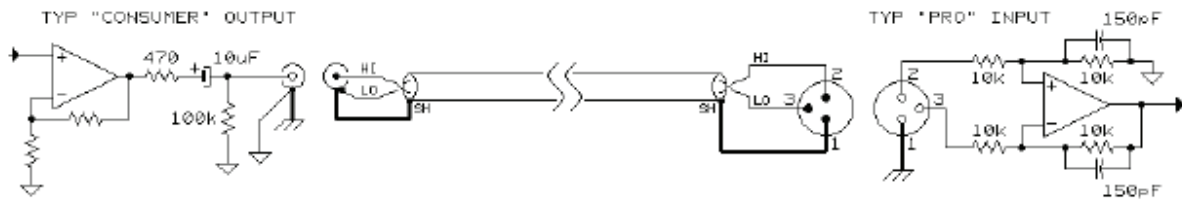
Der weit verbreitete Anschluss welcher hier gezeigt wird, verwendet geschirmte einpolige Kabel und einen RCA zu XLR Adapter, resultierend in einer 0dB Netzrauschunterdrückung – es wird somit das ganze Potential der Rauschunterdrückung des symmetrischen Eingangs verschwendet!



WRONG Connection Uses RCA to XLR Adapter - Noise Rejection = 0 dB

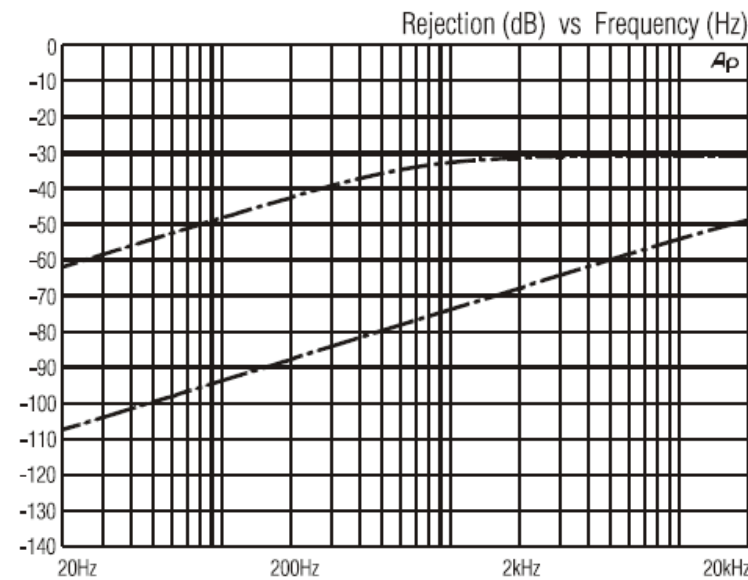
Ein alternativer Anschluss verwendet 2 geschirmte verdrehte Kabel, wodurch die Vorteile des symmetrischen Eingangs zu Tragen kommen. Nun tritt Netzrauschen im Schirmungsleiter eher auf, als in einem der Signalleitungen. Die Rauschunterdrückung ist um bis zu 30dB verbessert wenn der Eingang ein typischer aktiver Differenzverstärker ist. Wird am

symmetrischen Eingang ein Eingangstransformator oder der InGenius® IC verwendet, kann die Unterdrückung bis zu 80dB betragen. [27]



CORRECT Connection is Much Better - **Noise Rejection = 20 dB to 30 dB**

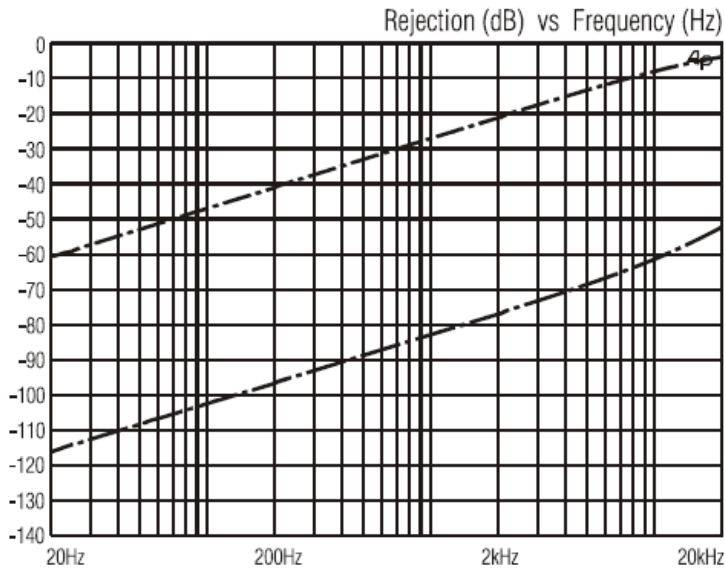
Der folgende Graph zeigt Rauschunterdrückung für unterschiedliche unsymmetrisch-zu-symmetrisch-Interfaces. Die höchste Linie bei 0dB stellt die simple Adapter und 2-Leiter-Kabelverbindung dar. Die Linie bei -30dB zeigt die Verbesserung durch den alternativen 3-Leiter-Anschluss. Die letzte Linie zeigt den Effekt eines Isolators unter Verwendung eines gewöhnlichen Ausgangstransformators. Es verbessert das 50Hz-Brummen etwas über 20dB, aber hat wenig Wirkung auf Zischartefakte über 1kHz. Ein hochqualitativer Isolator mit Eingangstransformator steigert die Unterdrückung zu etwa 105 dB bei 50 Hz und 65 dB bei 3 kHz. Für die bestmögliche Unterdrückung verwendet man keine 2-Leiter-Kabel vom unsymmetrischen Ausgang zum Isolatoreingang. Stattdessen verwendet man einen symmetrischen XLR-Stecker und ein 3-Leiter-Kabel, überkreuzend gewickelt. Dieser Test wurde unter der Verwendung eines unsymmetrischen 600 Ohm Ausgang und eines 40 kOhm



symmetrischen Eingangs, wie in 3.5 beschrieben, durchgeführt.

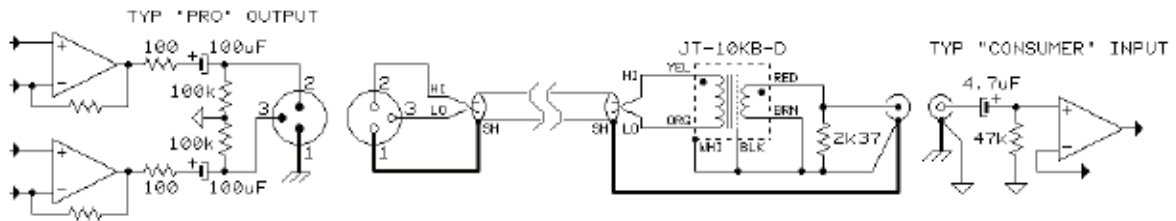
3.8 „Symmetrisch zu Unsymmetrisch“ - Interfaces

Betriebspegelunterschiede sind legitime Angelegenheiten bei diesen Schnittstellen. Da unsymmetrische Eingänge selten ein passives Dämpfungsglied haben, können sie schnell von „professionellen“ Signalpegeln übersteuert werden. Nochmals, wenn die „professionelle“ Referenz bei +4 dBu oder 1,228 V RMS liegt und die unsymmetrische Referenz bei -10 dBV oder 316 mV RMS liegt, dann ist dies ein effektiver Unterschied von 12 dB. Das bedeutet das Signal muss um 12 dB geschwächt werden. Offensichtlich kann der Ausgang eines professionellen, symmetrischen Ausgangs um 12 dB geschwächt werden, aber dann wären dessen Pegelmessung unnützlich und die Rauschperformance würde leiden.



Die Unterdrückung des Erdungsrauschens ist weiters wünschenswert. Der Graph zeigt die Rauschunterdrückung für verschiedene symmetrisch-zu-unsymmetrisch-Schnittstellen. Die obere Linie bei 0dB zeigt eine direkte Verbindung, wie durch einen Adapter oder ein Adapterkabel. Direkte Verbindungen bringen jedoch Probleme mit sich, aufgrund der großen Unterschiede von symmetrischen Ausgängen. Manche, so wie hier im Graph, können beschädigt werden wenn einer der Ausgangsanschlüsse geerdet ist. Ausgangsstufen welche entweder

Transformatoren oder weit verbreitete „servo“-symmetrische Ausgänge verwenden, müssen **einen** geerdeten Ausgangsanschluss haben, um ein passendes Ausgangssignal zu erzeugen. Aber ein „servo“-symmetrischer Ausgang kann zu oszillieren beginnen oder instabil werden wenn sich der Erdungsanschluss am (weit entfernten) anderen Kabelende befindet. [28] Dieses Dilemma kann durch die Verwendung eines Transformators gelöst werden. Die zweite Linie zeigt dass ein Ausgangstransformator das 50 Hz-Rauschen um bis zu 50 dB und die Zischartefakte um 3 kHz um etwa 20 dB senken kann. Ein hochwertiger Eingangstransformator, wie unten gezeigt, verbessert die Unterdrückung um über 105 dB bei 50 Hz und um fast 75 dB bei 3 kHz.



Ein Trafo-Basierender Isolator ist das einzig „universelle“ Interface, welches mit jeder bekannten Ausgangsstufe gut funktioniert. Konventionell wird ein 4:1 Transformator eingesetzt, welcher das Signal um die gewünschten 12 dB dämpft.



Pro to Consumer Isolator
Jensen ISO-MAX PC-2XR

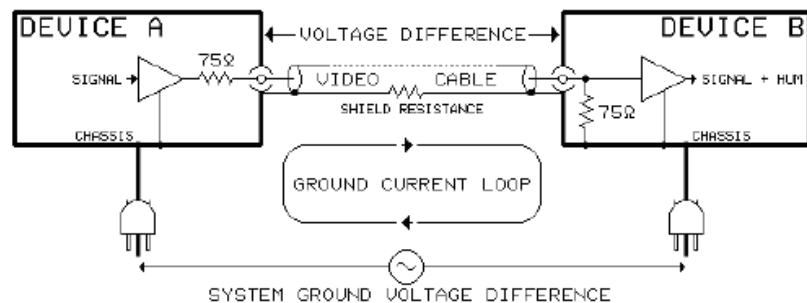
4 Video Interfaces

4.1 Der „Brumm“-Streifen

Das *Academic Press Dictionary of Science and Technology* definiert den „Brumm“-Streifen als „einen dunklen, horizontalen Streifen in einem Fernsehbild, verursacht durch Brumminterferenz in dem Videosignal“. Für Standard NTSC Videogeräte bedeutet das eine langsam über den Bildschirm schleichende Störung. Die Bewegung hängt von der geringfügigen Frequenzabweichung des NTSC-Signals von 59,94 Hz und den 60 Hz der Versorgungsspannung ab. (Anm.: der Autor bezieht sich auf die USA, in Europa liegt die Frequenz bei 50 Hz.) Der Unterschied von 0,06 Hz veranlasst den Streifen in 16 Sekunden von dem unteren zum oberen Rand des Bildschirms zu laufen. Wie vorher erwähnt, sind Netzspannungsunterschiede oft durch parasitäre Transformatoren in der Gebäudeverkabelung zu erklären und sie sind eine Funktion von verzweigten Ladungsströmen. Wenn einige, wenn nicht alle Ladungen ihre Energie vom Versorgungsnetz in Form von Impulsen bei jeder Spitze des Wechselstromsignals erhalten (z.B. bei 120 Hz), treten einige Störungen auf.

Die Schirmung eines koaxialen Videokabels ist der Rückweg für den Videosignalstrom, aber wie in der Abbildung gezeigt, wird die Schirmung ebenfalls zu einem Weg für den Netzleitungs-erdungsstrom. Die Amplitude

dieses Stromes in der Schleife hängt von der Erdungsspannung des ganzen Systems und dem Gesamtwiderstand in dieser ab, in Übereinkunft mit dem Ohmschen Gesetz. Das bedeutet ebenfalls dass ein Spannungsabfall, proportional zum Widerstand der Schirmung, entlang des Kabels auftreten wird. Denn wenn die Impedanzen von Sender (Device A) und Empfänger (Device B) gleich sind, wird vom Empfänger aus gesehen die halbe Spannung zum Signal addiert. Wie in allen unsymmetrischen Schnittstellen ist die Schirmungsimpedanz den Signalstrom- und Erdungsstromwegen gemein, dieser Mechanismus wird Impedanzkopplung genannt.

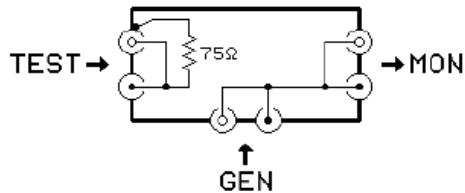


Ein Standardvideosignal hat eine totale Amplitude von 1 V (Spitze-Spitze) und etwa 700 mV davon entsprechen dem Intervall von Schwarz zu Weiß in dem angezeigten Bild. Obwohl manche Videoanzeigen mit Schwarzabhebungs- oder Austastwertstromkreisen (*pedestal clamping*) arbeiten, die sie toleranter gegenüber tieffrequenten Störungen machen, ist eine Interferenz von 7 mV (Spitze-Spitze) in vielen Systemen unter *worst-case*-Bedingungen zu erkennen. Deshalb können kleine Spannungsdifferenzen von 14 mV von einem Ende des Kabels zum anderen schon ein sichtbares Problem verursachen. Normale Verlustströme von Geräten mit 2-Leiter-Anschluß (2-Stift-Stecker) verursachen selten ein Brummstreifenproblem. Generell entstehen Probleme nur durch den höheren Stromfluss zwischen 2 geerdeten Teilen von Geräten.

4.2 Das Problem-Interface finden [21]

Dies ist eine simple Variation des *Audio Trouble Shooting* Prozesses. Da viele, wenn nicht alle Monitore auf den blauen Bildschirm zurückschalten wenn sie kein Videosignal anliegen haben, verwendet dieser Test eine portable Videoquelle um den Bildschirm aktiv zu halten.

Falls sie viel mit Video arbeiten, sollten sie bereits etwas Ähnliches wie den *B&K Präzisionsmodell 1257 NTSC* –Bildgenerator kennen. Es ist wichtig dass der Generator batteriebetrieben und ungeerdet ist. Weiters benötigen sie einen Testadapter wie unten beschrieben. Es ist bequem ein solches Gerät zu verwenden, da man die RCA- sowie die BNC-Stecker verwenden kann.



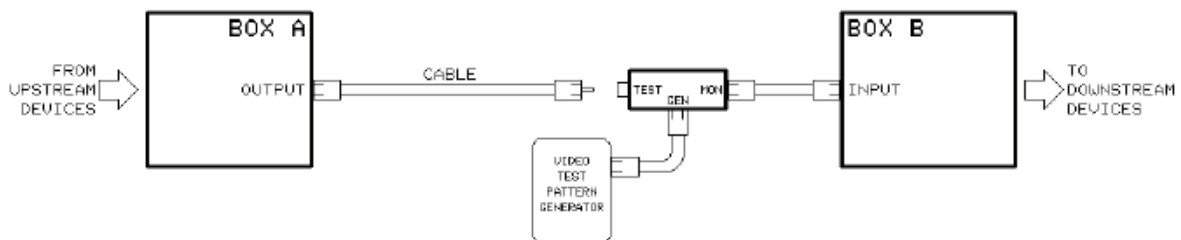
Wird der Adapter und der Generator an strategische Punkte im System gesetzt, kann man präzise Informationen über die Natur des Problems erhalten. Das Kabel zwischen dem Adapter und der Box B muss so kurz wie möglich sein und viel kürzer als das zu testende Kabel sein. **Beginnen sie immer am Eingang des Bildschirmes und arbeiten sie sich rückwärts in der Signalkette**

weiter.

Jede Signalschnittstelle wird mit dem folgenden 4-Schritt Verfahren geprüft:

Schritt 1

Stecken sie das Kabel vom Eingang der Box B ab und stecken sie den Adapter mit Generator wie in dem Bild beschrieben auf. Verwenden Sie ein möglichst kurzes Kabel. *Dieser Test unterbindet jeglichen Rauschstrom, welcher ansonsten über die Kabelschirmung in Box B fließen würde.*

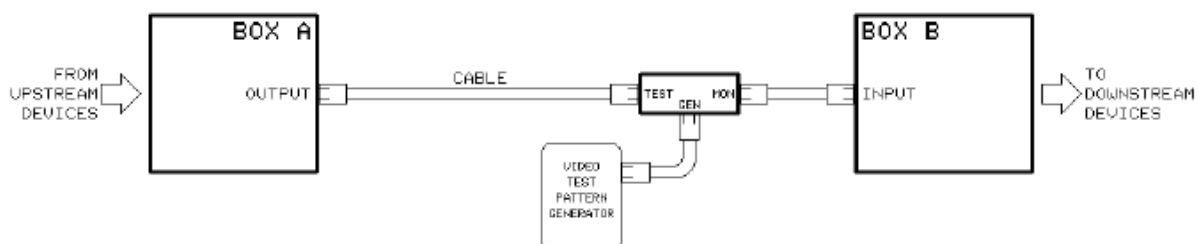


Ist die Störung verschwunden? **NEIN** – Die Störung tritt in Box B auf oder in nachfolgenden Einheiten auf. Stecken sie ab und versuchen sie den Test am nachfolgenden Interface in der Signalkette.

JA - Gehen sie zum nächsten Schritt.

Schritt 2

Lasen sie den Adapter/Generator eingesteckt und schließen das Kabel von Box A an. *Dieser Test erlaubt Rauschstrom über Schirmung in Box B zu fließen.*



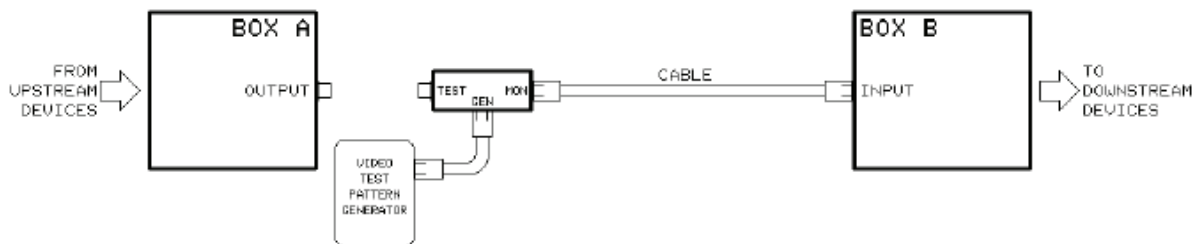
Ist die Störung verschwunden? **NEIN** – Das Problem könnte von der Impedanzkopplung innerhalb der Box B oder nachfolgend auftreten. Ist

ein Differenzeingang vorhanden (z.B. wenn die Schirmung nicht direkt geerdet ist), könnten die *common-mode*-Spannungslimits überschritten worden sein. Wenn das Problem nicht in Box B liegt, stecken sie ab und beginnen sie mit dem Test am Nachfolgenden Interface.

JA - Gehen sie zum nächsten Schritt.

Schritt 3

Stecken Sie den Adapter/Generator ab und stecken sie das Kabel zwischen ihn und Box B. Verbinden sie ihn nicht mit Box A oder unterbinden Sie jegliche Berührung mit etwas Leitendem. *Dieser Test testet das Kabel selbst auf Rauschen, das durch Magnet- oder elektrische Felder induziert werden könnte. Das weit entfernte Ende des Kabels bleibt von Strom durchflossen um einen anderen Stromfluss durch die Schirmung zu verhindern.*

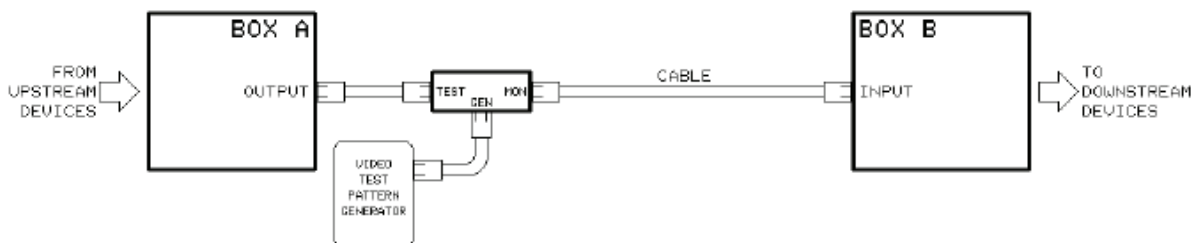


Ist die Störung verschwunden? **NEIN** – Die Störungen werden im Kabel induziert. Das ist meist der Fall wenn das Kabel einem starken Wechsellmagnetfeld ausgesetzt ist. Quellen eines solchen Feldes sind auch Starkstromleitungen, Netztransformatoren und CRT-Displays. Elektrische Feldkoppelung ist ebenso möglich, aber extrem selten in Videosystemen, außer die Schirmung ist gebrochen oder nicht angeschlossen.

JA - Gehen sie zum nächsten Schritt.

Schritt 4

Stecken Sie Box A an. *Dieser Test verhindert dass Box A Box B versorgt, aber der Erdungsstrom fließt trotzdem über die Kabelschirmung.*



Ist die Störung verschwunden? **NEIN** – Der Erdungsstrom wird durch die Impedanzen der Kabelschirmung gekoppelt. Installieren sie eine passende Erdungsisolation.

JA - Die Störungen treten im Ausgang von Box A auf. Wiederholen sie den ganzen Test bei im Signalfuss vorangegangenen Interfaces.

5 Hochfrequenz - Interferenz und Netzstörungen

5.1 Permanente Störungen

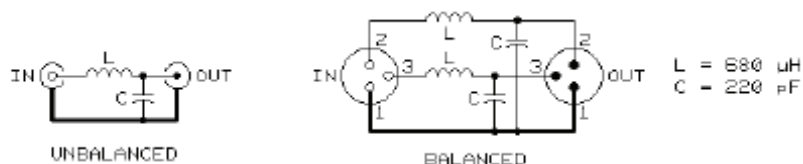
Elektromagnetische Interferenz (EMI) ist nicht schwer zu finden – es ist viel schwerer ihr zu entgehen, speziell in dicht besiedelten Regionen wie in einem Stadtgebiet. EMI kann abgestrahlt (über die Luft) und/oder über die Signal- sowie Versorgungskabel in das Equipment weitergeleitet werden. Gewöhnliche Quellen von abgestrahlter Interferenz sind: AM, UKW, FM, Rundfunk, Amateurfunk, Fernbedienungen, Schnurlostelefone, Mobiltelefone, unzählige 2-Weg Radio und Radartransmitter und medizinische sowie industrielle HF-Geräte. Weiters sind elektrische Funken, hervorgerufen durch Scheißarbeiten, Gleichstrommotoren mit Bürsten, Relais und Schalter, weitere potentielle Quellen von breitbandiger abgestrahlter oder weitergeleiteter Interferenz. Weniger offensichtlichere Quellen sind Funkenüberschläge oder Koronaentladungen (Glimmentladung) bei Netzkabelisolatoren (häufig in Küstennähe oder Gebieten mit hoher Luftfeuchtigkeit) oder gestörtes fluoreszierendes Licht oder Neonlicht. Natürlich ist Blitzschlag (der ultimative Funke) ein wohlbekannter Produzent einer vorübergehenden Interferenz. Da Netz- und Telefonleitungen auch als große Außenantennen verstanden werden können, wimmelt es in ihnen von AM-Radiosignalen und allerlei anderen Interferenzen (siehe „Es sind nicht gleich 50 Hz“). Aber die am meist störenden Quellen sind gewöhnlich innerhalb des Gebäudes und die Interferenz fließt durch die Netzleitungen. Die störende Quelle könnte im gleichen Raum wie sie sein, oder noch schlimmer, Teil ihres Systems sein! Die am meisten störenden Quellen sind billige Lichtdimmer, fluoreszierende Lichter, CRT Displays oder Geräte mit Schaltnetzteilen.

5.2 HF - Rauschunterdrückung

Bei HF-Interferenz über 20 MHz können die rechtsgezeigten, aus Ferrit gefertigten Ummantelungen, einfach an der Außenseite des Kabels angebracht werden. Dies kann sehr effektiv sein. In den meisten Fällen funktionieren die Ummantelungen am besten wenn sie in der Nähe der Empfängerseite am Kabel angebracht werden. Oft auch kann es effektiver sein das Kabel mehrmals durch die Ummantelung zu führen.



Wenn dies nichts hilft, oder die zu unterdrückende Frequenz tiefer liegt (wie bei AM Radio), kann ein Tiefpass RFI-Filter im Signalweg nötig sein. Die Zeichnungen unten zeigen Beispielfilter für unsymmetrische und symmetrische Applikationen. Um die beste Performance und höchste Audioqualität zu erreichen, sollte man Keramikkondensatoren des Typs NP0 oder C0G mit möglichst kurzen Anschlüssen verwenden (unter 1/4“). Die 680 μ H-Induktivitäten haben kleine Ferritkerne – Strombelastung



und Gleichstromresistenz sind damit nicht kritisch. Für Interferenz über 100 MHz sollten eine oder zwei Ferritperlen an Stelle der Spulen verwendet werden. In sehr schwierigen Situationen bei AM-Radio kann es erforderlich sein, sehr hohe Induktivitäten bis maximal 1000 μ H zu verwenden. Für einen symmetrischen Filter sollten die Kapazitäten und Induktivitäten eine Toleranz von 5% oder besser aufweisen können. Diese Filter arbeiten am

besten am Empfängerende des Kabels - Eingänge sind in der Regel anfälliger im HF-Bereich als Ausgänge – allerdings ist das nicht immer der Fall. Für low-level Mikrofonkabel sollte Miniatur-Toroid-Induktivitäten verwendet werden. Diese verhindern eine mögliche Aufnahme eines Brummens aus einem magnetischen Wechselfeld.

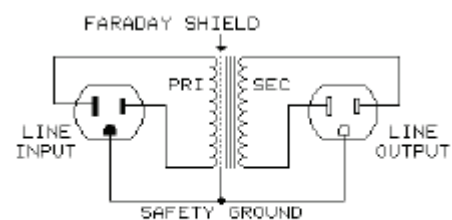
5.3 „technical grounding“

So genanntes „*technical*“ oder „*isolated*“ *grounding* kann manchmal elektrisches Rauschen in einem Erdungssystem reduzieren. Es ist gut einsetzbar in Situationen, wo Leitungen in Kontakt mit dem Gebäudestahl, Wasserleitungsrohren, Gasrohren oder anderen Strukturen, die selbst geerdet sein können und Rauschströme beinhalten, kommen können. Spezielle isolierte oder „IG“ Steckdosen (generell in oranger Farbe) werden verwendet. Diese schirmen absichtlich den grünen Sicherheitsanschluss von dessen Halterung ab. Deshalb ist eine Sicherheitserdung nicht durch eine Anschlussdose mit deren Leitung gegeben, aber durch einen separat abgeschirmten grünen Draht, welcher zu dem elektrischen Anschluss entlang der weißen und schwarzen Drähte zurückgeführt wird. Dadurch wird die Induktivität niedrig gehalten. Am häufigsten ist die Verdrahtung im gleichen Kreis die zum Anschluss führt nicht in Reihe geschaltet. Dadurch koppeln rauschbehaftete Leckströme von einem Gerät weniger mit anderen im gleichen Stromkreis. Deshalb wird induktive Kopplung zwischen Phasenleiter und Erdungsleiter (eine guter Grund für Grundspannungsdifferenzen zwischen Anschlüssen) **nicht** reduziert. „*Technical grounding*“ – Praktiken sind im NEC Artikel 250-74 und dessen Ausführungen enthalten.

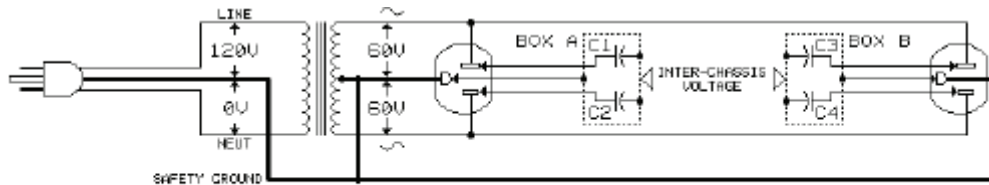
5.4 Netzstromisolation, Filter und „symmetrischer Netzstrom“

Da Rauschen im System oft vom Netzanschluss herrührt, ist ein „sauberer“ Anschluss eine verlockende Idee. Geht es allerdings nach der Erfahrung des Autors, verbessern solche Maßnahmen wenn überhaupt nur marginal die Problematik. Generell liegt die kosteneffektivste Lösung in einer Identifikation und Elimination der Brummschleifen oder anderen Problemen, welche dem Signalpfad ein Rauschen hinzufügen. Dieser Ansatz löst das wahre Problem. **Eine Veränderung des Netzanschlusses um das Rauschen loszuwerden, ist wie wenn man ein Gewehr anstelle einer Silberkugel benutzt um ein Problem zu treffen!**

Erstens ist es nötig, wenn irgendein Filter, *conditioner* oder Isolationstransformator verwendet wird, das Gerät sowie auch Last stets mit der Erdung zu verbinden. Da Wicklungskapazitäten von Transformatoren und/oder Filterkapazitäten das zusätzliche 50 Hz-Rauschen und die hochfrequenten Rauschteile in das Erdungssystem ableiten, verschlimmert sich das Problem welches gelöst werden soll. Zweitens sind diese beworbenen „rauschbedämpfenden Gebilde“ für alle Netzleitungen sehr unrealistisch. Es wurden Messungen mit dem ganzen Equipment gemacht (Generator, Detektor und *device under test*). Dabei war alles auf einer großen metallischen Masseplatte befestigt. Obwohl die Resultate beeindruckend waren, betreffen sie nicht die Performance in einer realen Situation, wo die Erdung mittels eines Erdungskreises oder –leiters bewerkstelligt wird. Aber solche Anwendungen können sehr effektiv sein wenn sie am Netzeingang installiert werden, wo alle Systemerdungen physikalisch sehr an einem gemeinsamen Referenzpunkt liegen (üblich stellt den der Staberder dar).



Power Isolation Transformer



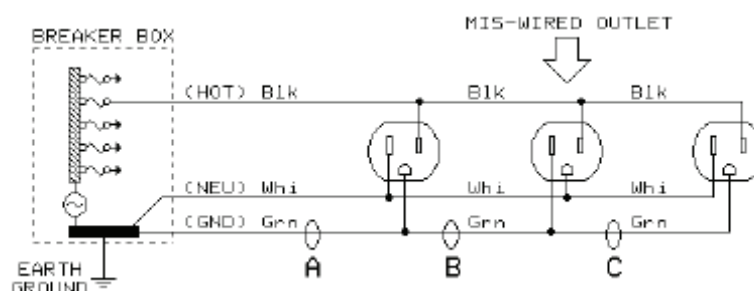
Balanced Power Attempts to Cancel Ground Current with Symmetrical Voltages

„Symmetrischer Netzstrom“ oder besser gesagt symmetrischer Gleichstrom, ist ein verführerisches Konzept. Die Befürworter dieses Konzepts nehmen oft an, dass das Equipment präzise abgestimmte Kapazitäten von jedem Leiter des Netzsteckers zum Chassis hat (C1 und C2 oder C3 und C4), wenn sie zu erklären versuchen wie dies das Grundrauschen vermindern kann. Wäre dies wahr, würden natürlich die kapazitären Rauschströme von jedem 60 Volt- Leiter die gleiche Amplitude haben. Weiters hätte jeder die entgegen gerichtete Polarität, was wiederum eine völlige Auslöschung zur Folge hätte. Aber diese Annahme ist nicht gültig für die überwältigende Mehrheit des Equipments in der Praxis, dessen Kapazitäten oft ein Verhältnis von 3:1 oder 4:1 aufweisen. Nur Befürworter des symmetrischen Netzstroms gestehen dass die aktuelle Rauschverminderung unter 10 dB liegt und selten 15 dB überschreitet (bedenken sie dass 10 dB Rauschverminderung generell als halb so laut von Zuhörern empfunden wird). Und es ist nicht wahrscheinlich dass Gerätehersteller teure Netztransformatoren mit „kapazitiv-symmetrischen“ primären Wicklungen oder RFI-Filter mit Präzisionskapazitäten verwenden.

Andererseits kann symmetrischer Netzstrom kosteneffektiven Sinn in manchen Systemen machen. Ein Beispiel dafür kann eine Videoduplikation sein, die 50 unsymmetrische (koaxiale) Videoverbindungen und Brummstreifen mit einem unakzeptierbaren Pegel von -30 dB haben. Hier kann die Verbesserung um 10dB von symmetrischem Netzstrom (oder „*technical grounding*“) wahrscheinlich die Brummstreifen auf ein besser akzeptierbares Level bringen, was effektiv das Problem lösen kann. Aber für Audioanwendungen wird die 10dB Verbesserung nur selten den Unterschied zwischen akzeptabler und unakzeptabler Performance ausmachen!

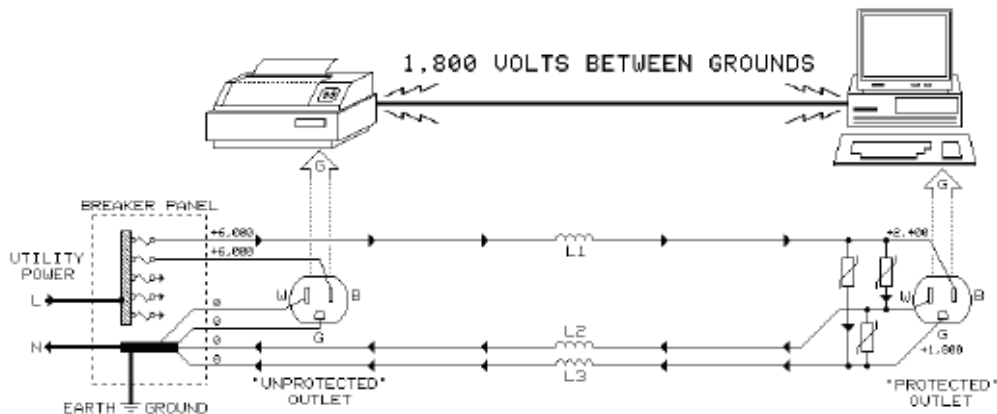
In Wirklichkeit beruhen viele der Vorteile die oft der „Strombehandlung“ zugeschrieben werden einfach darauf, dass das ganze Systemequipment bei derselben Anschlussleiste oder einem eigenen Stromkreis angeschlossen ist. Offensichtlich ist das immer eine gute Idee!

Ein einfacher Verdrahtungsfehler der den neutralen Leiter mit dem Erdungsleiter vertauscht, erlaubt dem Ladungsstrom in den Erdungskreis zu fließen. Die dadurch entstehenden abnormal hohen Spannungsspitzen können schwerwiegendes Erdungsrauschen in Systemen mit Erdungsleiter verursachen. Diese Störung kann nicht mit einfachen Steckdosen-Testern gefunden werden. Wie in der nächsten Grafik ersichtlich, können aber Messungen an den Punkten A, B und C mit einem Zangenamperemeter das Problem verdeutlichen. [30]



5.5 Überspannungsunterdrückungsmaßnahmen

In den letzten Jahren halfen unbrauchbare wissenschaftliche Arbeiten, Angst- und Horrorgeschichten, viele Überspannungs-Schutzgeräte zu verkaufen. Allerdings lässt ein unbedachter Einsatz solcher Geräte das Risiko von Geräteschäden ansteigen! Übliche Geräte verwenden drei MOVs (Metall-Oxid-Varistoren) um die Überspannung in den Erdungsleiter abzuleiten. Wie in der folgenden Grafik gezeigt wird, entstehen während einer Überspannung oder einer Überspannungsspitze sehr hohe Spannungsunterschiede im Erdungsleitersystem. Wenn Geräte an verschiedenen Steckdosen oder Stromkreisen angeschlossen sind, werden Schnittstellen oftmals beschädigt wenn sie den hohen Spannungen ausgesetzt sind. [31]



Um von durch Blitzschlag verursachte Überspannungen im System zu unterdrücken ist es nötig, Schutzgeräte am Hauptstromanschluss (sprich dem Eingang des Systems) anzubringen, wie solche der Firma Surge-X. Diese leiten nicht nur die Überspannung ab, sondern stellen vielmehr eine hohe Impedanz gegenüber der Überspannung dar, was den Strom begrenzt und die Energie langsam ableitet. Diese Geräte leiten kein Rauschen oder schädigende Überspannungen in das Erdungsleitersystem.



Series-Mode Surge Protection
Surge-X SX-2120



Series-Mode Protection for Branch Circuit
Surge-X SX-15NE

Referenzen

• Literaturquellen:

- [1] Gerke, D. and Kimmel, W., *The Mysteries of Grounding*, IEEE EMC Society Newsletter, Summer 1998, pp. 13-14.
- [2] Whitlock, B., *Ground Rods: Magical Noise Sinks?*, Sound & Video Contractor, November 2000, pp. 102-103.
- [3] Whitlock, B., *Surge Protection: The Enemy Within*, Sound & Video Contractor, July 1999, pp. 94-95.
- [4] Morrison, R. and Lewis, W., *Grounding and Shielding in Facilities*, Wiley-Interscience, New York, 1990, pp. 47-49.
- [5] Model 34000, Technology Research Corp., Clearwater, Florida, Tel (727) 530-9580, www.trci.net.
- [6] Hiser, S., *1997 Electrocutions Associated with the Use of Consumer Products*, United States Consumer Products Safety Commission, 2000, www.cpsc.gov
- [7] Mah, J. et al, *1997 Residential Fire Loss Estimates*, United States Consumer Products Safety Commission, 2000, www.cpsc.gov
- [8] Morrison, R., *Solving Interference Problems in Electronics*, First Edition, John Wiley & Sons, 1996, p. 35.
- [9] Morrison, R. and Lewis, W., *Grounding and Shielding in Facilities*, Wiley-Interscience, New York, 1990, pp. 168-169.
- [10] Whitlock, B., *Hum & Buzz in Unbalanced Interconnect Systems*, Application Note AN004, Jensen Transformers, 1996, www.jensentransformers.com.
- [11] Jensen, D. & Sokolich, G., *Spectral Contamination Measurement*, Audio Engineering Society 85th Convention, 1988, Preprint #2725.
- [12] Keltz, A., *Unbalanced vs. Balanced Lines and Cables*, Technical Articles, Whirlwind USA
- [13] Ott, H., *Noise Reduction Techniques in Electronic Systems*, Second Edition, John Wiley & Sons, 1988, p. 116.
- [14] *Reference Data for Radio Engineers*, Fifth Edition, Howard W. Sams, 1972, p. 11-1.
- [15] Whitlock, B., *A New Balanced Input Circuit for Maximum Common-Mode Rejection in Real-World Environments*, Audio Engineering Society 101st Convention, 1996, Preprint #4372, available at www.jensentransformers.com.
- [16] Muncy, N., *Noise Susceptibility in Analog and Digital Signal Processing Systems*, Journal of the Audio Engineering Society, June 1995, pp. 435-453.
- [17] Brown, J. and Whitlock, B., *Common-Mode to Differential-Mode Conversion in Shielded Twisted-Pair Cables (Shield-Current-Induced Noise)*, Audio Engineering Society 114th Convention, 2003.
- [18] Windt, J., *An Easily Implemented Procedure for Identifying Potential Electromagnetic Compatibility Problems in New Equipment and Existing Systems: The Hummer Test*, Journal of the Audio Engineering Society, June 1995, pp. 484-487.
- [19] Fielder, L., *Dynamic Range Issues in the Modern Digital Audio Environment*, Journal of the Audio Engineering Society, May 1995, pp. 322-339.
- [20] Pease, R., *Troubleshooting Analog Circuits*, Butterworth-Heinemann, 1991.
- [21] Whitlock, B., *Losing the Hum Bar, Part 1 - Troubleshooting*, Sound & Video Contractor, May 2002, pp. 26-30.
- [22] Whitlock, B., *Balanced Lines in Audio Systems: Fact, Fiction, and Transformers*, Journal of the Audio Engineering Society, June 1995, pp. 460-462.
- [23] Ott, H., *op. cit.*, p. 105.
- [24] Morrison, R., *Noise and Other Interfering Signals*, John Wiley & Sons, 1992, p. 55.
- [25] Whitlock, B., *Losing the Hum Bar, Part 2 - Product Solutions*, Sound & Video Contractor, July 2002, pp. 20-26.
- [26] *PolyPhaser Model IGA-90V*, PolyPhaser Corporation, Minden, Nevada, (800) 325-7170, www.polyphaser.com.
- [27] Whitlock, B., *Interconnection of Balanced and Unbalanced Equipment*, Application Note AN003, Jensen Transformers, Inc., 1995.
- [28] Hay, T., *Differential Technology in Recording Consoles and the Impact of Transformerless Circuitry on Grounding Techniques*, Audio Engineering Society 67th Convention, 1986, Preprint #1723.
- [29] Whitlock, B., *Understanding and Controlling RF Interference*, Sound & Video Contractor, February 1999, pp. 78-80.
- [30] Whitlock, B., *Neutral Ground*, Sound & Video Contractor, June 2001, pp. 24-26.
- [31] Whitlock, B., *Surge Protection: The Enemy Within*, Sound & Video Contractor, July 1999, pp. 94-95.
- [32] Muncy, N., *The Benefits of Surgex Surge Suppression*, www.surgex.com/pdf/surgex11001.pdf.

• Weiterführende Literatur:

1. Whitlock, B., *Handbook for Sound Engineers*, 3rd Edition, Focal Press, 2001, Glen Ballou, editor, Chapter 11, *Audio Transformers* and Chapter 32, *Grounding*.
2. Morrison, R. & Lewis, W., *Grounding and Shielding in Facilities*, 1st Edition, John Wiley & Sons, 1990.
3. Morrison, R., *Solving Interference Problems in Electronics*, 1st Edition, John Wiley & Sons, 1996.

Hinweis:

Der Autor möchte darauf hinweisen, dass erwähnte Geräte und die Anführung deren Eigenschaften rein der Illustration dienen sollen und keine Werbung darstellen.