

Was ist Masse ? Oder warum Cinch verboten gehört

Eine Zusammenfassung über analoge Audio-Schnittstellen aus der Sichtweise der Selbstbau Community.

Oliver Pirlich

www.2pi-online.de

Version 1.7

März 2017

Vorwort

Sonntagabend, man scannt die Foren nach neuen Innovationen von Gleichgesinnten oder nach Problemen, um zu helfen. Wieder einer dieser zahlreichen Hilfeschreie, nachdem sich ein Genosse das komplette Wochenende versaut hat: „Es brummt!“.

Dann die Diagnose: „Das ist ein Masseproblem“ gefolgt von einer Reihe gutgemeinter Ratschläge oder auch Stochern im Dunkeln. Entweder, man bekommt es irgendwie so hin, daß man es nicht mehr hört oder ist teilweise so frustriert, daß man einfach mit dem geringst möglichen Restbrumm weiterlebt. Es gibt auch immer wieder Leute, die den Schutzleiteranschluß von Schutzklasse 1 Geräten umgehen. Das ist keine gute Idee.

So hatte man sich die Inbetriebnahme vom hochgelobten Gegenstand der Begierde nicht vorgestellt. Was auch immer vorgeschlagen wird, es bleibt so gut wie immer nur ein Bekämpfen von Symptomen.

Interessanterweise ist es meistens Brumm, der die Störungsakzeptanzgrenze des Hörers überschreitet. Solange es nicht brummt, ist es häufig die beste Anlage oder der beste Verstärker der Welt und man scheint demnach ja alles richtig gemacht zu haben. Aber daß das Audiosignal schon **erheblich** und nachhaltig beschädigt sein kann, ohne, daß es brummt, ist weniger bekannt.

Wenn „schlechter Klang“ festgestellt wird, dann ist oft halt das gesamte Gerät schuld daran. Aber ist diese Schlußfolgerung denn so überhaupt zulässig oder gibt es da nicht noch sehr viel mehr zu entdecken ?

Nutzt man die ausgereifte Technologie der differentiellen bzw. symmetrischen Übertragung, gehören die oben geschilderten Frustrationen der Vergangenheit an.

Aber nicht nur das. Bei richtiger Schaltungstechnik verbessert sich der Klang im Gegensatz zur sog. single-ended Übertragung deutlich. Diese Schaltungstechnik beschränkt sich im übrigen nicht nur auf die Geräte Ein- und Ausgänge, sondern es gibt auch innerhalb der Schaltungen viele Stellen, die sich durch differentielle Auslegung verbessern lassen. Das wird man später bei den Schaltungsbeispielen sehen.

Der Versuch einer Beschreibung der subjektiven Klangverbesserung könnte folgendermaßen lauten:

- Das Klangbild wird ruhiger, entspannter, „schwärzer“, transparenter und klarer.
- Feinste Details einer Aufnahme im positiven wie im negativen Sinne kommen besser durch (und so mancher wäre verwundert, wenn er/sie mal hören dürfte, was auf den Aufnahmen wirklich so alles drauf ist oder eben auch nicht).
- Selbst von den Lautsprechern scheint sich die Musik besser zu lösen und die Stereoabbildung wird deutlicher/schärfer.

Warum das so ist, soll in dieser Zusammenfassung aufgezeigt werden.

Cinch, die Mutter aller unsymmetrischen Audioschnittstellen

Wer kennt sie nicht. Gülden oder silbern blinken sie uns von quasi jedem Consumer-Audiogerät aus an: Die Cinchbuchsen. Auch bekannt als RCA (Radio Corporation of America) Konnektoren stellen sie die einfachste und am weit verbreitetsten Schnittstelle zwischen Audiogeräten dar. Quasi jeder Hersteller von Audiogeräten nimmt diese Verbindung und sie ist doch nicht genormt [1].

Aber es ist nicht die Buchse oder der Stecker, welche zum eigentlichen Problem werden können, sondern die dahinter bzw. davorliegenden unsymmetrischen, single-ended Schaltungen. Hier gibt es das Nutzsignal und einen Bezugspunkt, auch als Masse oder GND bekannt.

Der Schwarz-Weiß-Malerei halber wird aber dennoch diese Verbindungstechnik als Sündenbock auserkoren.

Warum sich diese Schnittstelle auf dem Markt durchgesetzt hat, bleibt ein Rätsel. Gewinnmaximierung könnte allerdings ein Grund sein und Plattenspieler ein weiterer.

Was ist Masse, wer sind G, N und D ?

Und jetzt sind wir bei dem eigentlich Problem angelangt: Das G-Wort, oder in deutsch das M-Wort.

Masse ist wie gesagt der Bezugspunkt des Audiosignals bei unsymmetrischer Signalübertragung. Irgendwohin müssen die Elektronen ja fließen (bzw. von irgendwoher müssen sie ja kommen). Aber Masse ist auch etwas, wohin man den gesamten Müll, der in einer Schaltung anfällt, abschiebt. Einfachstes Beispiel hierfür sind bypass Kondensatoren, die hochfrequente Signale von den Versorgungspins integrierter Schaltungen fernhalten sollen oder Störungen, die auf die Kabelschirme einprasseln.

Eine Müllhalde als Bezugspunkt, das fängt ja gut an. Aber es kommt noch besser. Auf welchem Potential liegt denn Masse, 0V ? Ist es ein schwarzes Loch ? Was ist GND ?

Masse ist erst einmal der Fußpunkt eines Trafos. Also das Ende der sekundären Wicklung in einem unsymmetrischen Netzteil oder es ist der Punkt zwischen den sekundären Wicklungen in einem symmetrischen Netzteil. Man könnte meinen, daß diese Punkte auf 0V liegen. Tun sie aber nicht. Jedenfalls nicht bei realen Bauteilen, welche alle parasitäre, also ungewollte Elemente aufweisen. Ein Trafo sind zwei Spulen. Es gibt aber auch Widerstände und Kapazitäten. Letztere entstehen zwischen der primären und der sekundären Wicklung und sie sind unvermeidbar ! Manchmal werden sogar absichtlich Kondensatoren bzw. Widerstände zwischen Lichtnetz und Gehäuse geschaltet, um Radiofrequenzen zu unterdrücken und/oder Sicherheitsstandards einzuhalten [2].

Und so kommt es, daß das Potential, auf dem Masse liegt, nicht 0V ist und solange eigentlich völlig unbekannt, bis man es mißt. Es ist kein quasi definierter Bezug wie Erde, also **floating** auf schlau. Wobei Erde, also der Schutzleiteranschluß, im Vergleich zu einer floating Masse keinerlei Vorteile bietet und ebenfalls kein schwarzes Loch ist.

Zur Anschauung (nicht zur genauen Messung) nehme man nur mal ein AC-Voltmeter und messe vom Gehäuse oder vom Mantel eines Cinch-Steckers, was auf dasselbe herausläuft, gegen Erde, also den Schutzkontakt in einer Steckdose. Das Voltmeter kann jeden beliebigen Wert zwischen 0V und Netzspannung annehmen ! Typischerweise geht es so bei 20V los und das ist ein gutes Netzteil. Schaltnetzteile sind hier übrigens nicht besser. Ein paar private Messungen zeigen, daß sie mit ungefähr halber Netzspannung deutlich schlechter abschneiden als Geräte mit konventionellen Netzteilen von angesehenen Herstellern. Statistisch signifikant ist diese empirisch ermittelte Aussage natürlich nicht. Es hängt auch davon ab, wieviel Leistung das Gerät selber aufnimmt. Je mehr, desto höher ist in aller Regel das Potential von GND. Und wie ist die Frequenz des Patienten ? Überwiegend 50Hz bzw. 60Hz. Dazu kommen ungerade Harmonische der Netzfrequenz von Geräten, deren Leistung mit Phasenanschnittsteuerungen geregelt werden und AM Radio [7].

Alles, was da zusammenkommen kann inkl. Störungen aus dem Lichtnetz, nennt man **ground noise** (hört sich doch besser an als Massekrach).

Ground noise wird primär, da sehr offensichtlich, als brummen, knacksen (von funkschlagenden Systemen wie manchen Motoren) und prasseln [3] wahrgenommen.

Zusammenfassung:

Der Bezugspunkt, also ein fester Teil unseres geliebten Audiosignals, das wir doch so beschützen wollen mit Voodooakabeln, Schlangenöldämpfern und mit Kondensatoren, die von atlantischen Meerjungfrauen bei Vollmond unter Wasser geklöppelt wurden, ist eine Müllhalde, die auf zig zehn oder hundert Volt Wechselspannung mit verschiedenen Frequenzanteilen liegt und die von den verbundenen Geräten individuell wie auf einem Basar „ausgehandelt“ wird.

Eigentlich ist das auch kein Problem, solange wir Supraleiter als Cinchkabel verwenden.

Wie kommt der Dreck ins Audiosignal ? Der unbalanced Fall.

Supraleiter ? Haben wir leider nicht.

Die Kabel und auch Leiterbahnen auf Platinen haben alle einen Widerstand. Hier ist nun der Mechanismus, wie sich die beiden **unweigerlich und untrennbar vereinen, für immer und über brummen, knacksen und prasseln hinaus.**

Nehmen wir zwei Geräte und schalten sie wie gewohnt per Cinch zusammen. Oben haben wir gesehen, auf welchem Potential GND liegen kann. Was aber eigentlich stört, ist ein Strom der aus unterschiedlichen Potentialen durch den Widerstand der Cinchleitung fließt, oder besser gesagt durch den des Schirms.

Oh, apropos Schirm: Jetzt wird die Masse auch noch dazu herangezogen, das Signal zu schirmen. Für elektrische Felder hat es eine Wirkung, nicht aber für magnetische. Da würde nur verdrillen von Leitungen helfen, aber es gibt ja nichts zum Verdrillen.

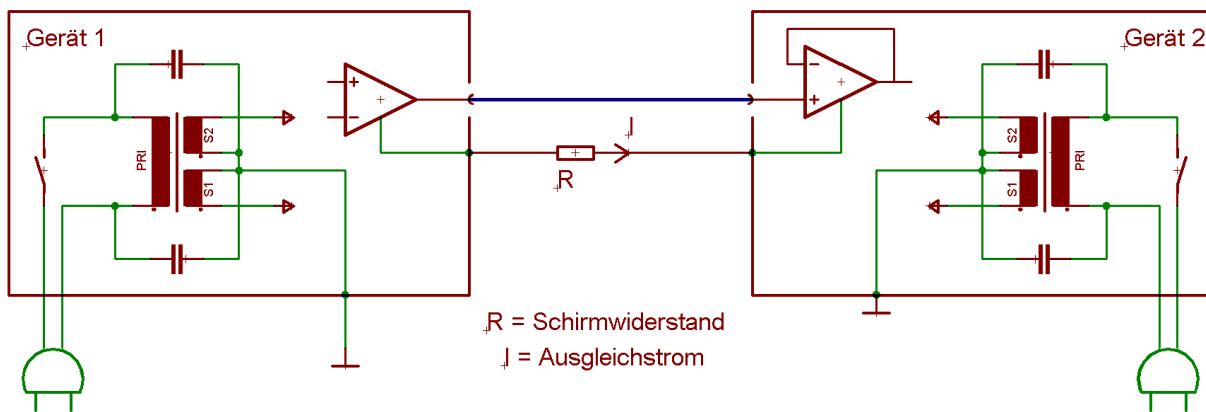


Bild 1, abgeleitet aus [2].

Die beiden Geräte sind also eine Parallelschaltung von Spannungsquellen unterschiedlicher Ursprungspannung. Es fließt ein Ausgleichsstrom über den Schirm der Cinchleitung. Hier fällt nun eine Spannung ab. Diese liegt direkt mit dem Eingang des zweiten Geräts in Reihe und wird daher unmittelbar zum Nutzsignal addiert.

Beide Quellen sind über eine gemeinsame Impedanz verbunden, den Widerstand des Schirms. Der ist das Problem, bzw. der Strom, der über den Mantel fließt. Der Mechanismus heißt auf neudeutsch: **common impedance coupling**.

Und jetzt sollte auch klar sein, was ein Mantelstromfilter ist, bzw. was er machen soll. Wobei es im Audiobereich keine magischen „Filter“ sind, die nur die Störung aussieben. Zu den sog. Audioübertragern kommen wir allerdings erst später.

Man sieht also auch, daß dieser Ausgleichsstrom bzw. ground noise an sich das Audiosignal **immer** Prinzip bedingt an den Eingängen von Geräten und Schaltungsteilen kontaminieren wird. Es ist nur die Frage, ob oder in wie weit es hörbar wird. Wie gesagt, brummen, knacksen und prasseln sind offensichtlich; „schlechter Klang“ läßt sich hingegen nicht quantifizieren und **jede Kombination von Geräten, Kabeln und Steckdosen verhält sich anders !**

Innerhalb der Geräte gibt es auch Maßnahmen, die den Strom so gering wie möglich halten sollen. Aber die Addition von ground noise zum Signal kann alleine aufgrund der Mehrfachaufgabe von Masse, zu denen eben auch gehört, als Nutzsignalbezug (signal return path) zu dienen, nicht ohne besondere Vorkehrungen verhindert werden.

Die Wahrscheinlichkeit, daß zwei miteinander Verbundene Geräte auf gleichem, durch parasitäre Bauteile hervorgerufenem Potential liegen, so daß kein Strom fließen würde, kann man sich ausrechnen.

Und Kombinationen von single-ended Schaltungen funktionieren doch !

Na ja, unter gewissen Bedingungen manchmal, halbwegs:

- a. Schaltungsgruppen innerhalb eines Gerätes, die am selben Netzteil hängen. Hier fließen normalerweise keine relevanten Ausgleichsströme.
Wenn digitale und analoge Schaltungsteile existieren, wird es aber schon wieder extrem gefährlich.
- b. Eine Anlage mit lauter floating-GND Hifi-Komponenten, die am besten an der gleichen Steckdosen hängen, um die Potentialdifferenzen so gering wie möglich zu halten. Diese sollen dann mit möglichst kurzen Cinchkabeln mit niederohmigen Schirmen verbunden sein und satt auf der Buchse sitzende Stecker haben, um Übergangswiderstände zu minimieren. Common impedance coupling findet selbstverständlich immer noch statt, bleibt aber normalerweise wenigstens Brummfrei.

Aber an dieser Stelle sei nun mal ganz genau zu überlegen, warum Audiophile davon sprechen, daß gewisse Komponenten „zusammenpassen“ und ein bestimmter Verbund von Geräten besser klingt als andere Kombinationen.

Vielleicht wird das Nutzsignal einfach weniger durch ground noise maskiert bei reduzierten Mantelströmen ? Wäre vielleicht mal nett zu versuchen, die Aussagen von Audiophilen mit Messungen zu korrelieren...

Und wenn man den Gedanken mal weiter spinnt, müßte man auch Messungen von Geräten mit single-ended Ein- und Ausgängen in Frage stellen, da ja kein Endanwender mit dem Generatorausgang eines Audiotesters seine Musik hört.

Der Gesamtverbund der Geräte macht hier die Musik und die Einzelkomponenten mit ihren beeinflussbaren Eingängen und Schaltungstechnik können gar nicht isoliert betrachtet werden bzw. ist so eine Betrachtung nicht wirklich praxisrelevant.

Man benötigt also Schnittstellen und Signalverarbeitung, welche die Geräte deutlich unabhängiger werden lassen. Dann klingen sie auch sauberer und damit besser.

Und wann funktionieren sie gar nicht oder immer schlechter ?

Nehmen wir mal eine mögliche Beispielanlage, in der es einen Fernseher, einen BD-player und einen Verstärker gibt. Wenn man fernsieht, soll der Sound von der Anlage kommen. Wenn man eine blue-ray ansieht, soll der Ausgang direkt in den Verstärker gehen und nicht über den Fernseher laufen, da dessen Prozessor minderwertig ist. Also schließt man Video vom BD player an den Fernseher an und Audio an den Verstärker. Aber die Audioausgänge vom TV werden ebenfalls am Verstärker angeschlossen. Fertig ist die berühmte Masseschleife mit den bekannten Auswirkungen.

Oder man stelle sich aktive Lautsprecher vor, die die Endstufen beheimaten. Die Kabel vom Vorverstärker bis zur jeweiligen Box können leicht 10m lang werden, da man ja damit nicht auf kürzestem Wege quer durch den Raum fahren möchte. Oder wenigsten will das die bessere Hälfte

nicht. Also muß man Umwege durch Sockelleisten und über Türrahmen nehmen wenn man eh gerade kein Haus um die Anlage neu baut oder saniert.

Übrigens ist auch das Übersprechen in single-ended Schaltungen aufgrund der Impedanzunterschiede erheblich schlechter.

Wie man sieht, gibt es eine ganze Reihe von Problemen. Bei den Selbstbauern kommt dann noch ein weiterer beachtlicher Aspekt hinzu: Natürliche Verwirrung. Denn die Materie ist komplex.

- Wann muß das Gehäuse geerdet werden ?
- Wann müssen Cinchbuchsen isoliert werden ?
- Schutzklasse I und II bzw. Elektromagnetische Verträglichkeitsanforderungen
- Und die Vorstellung, daß man doch alles am besten in einem magischen, All Heil bringenden, der Märchenwelt entstammenden, sternförmigen Massepunkt vereint. Und wenn man schon dabei ist, PE gleich mit.
- Im Zeitalter von Class-D mit symmetrischen Eingängen sind dann auch noch Cinchgeräte zu verbinden, was weiter zur Konfusion beitragen kann.

Zusammenfassung

Single-ended bzw. unbalanced Schnittstellen und Schaltungstechnik sind ist ein fragiles und wenig robustes System mit vielen Möglichkeiten, etwas falsch zu machen. Man muß sich häufig relativ weit einarbeiten, nur, um eine kleine Anlage aus Quelle und Verstärker zum Laufen zu bringen. Es gibt also jede Menge Spaß beim Kampf alleine gegen die offensichtlichen Symptome. Die eigentlichen Ursachen existieren weiter und können bei jedweder Veränderung neu in Erscheinung treten und wieder für Verwirrung, Frust oder schlechteren Klang sorgen.

Geht es besser ? Zurück in die Balance.

Es geht !

Es ging schon sehr lange oder anders herum: Ohne diese Art der Signalübertragung würde vieles nicht funktionieren (Telefon, LAN, USB, Mikrofon, Computer main boards etc, etc.)

Weitere gute Nachrichten:

- Bezeichnungen und Aufgaben von Leitungen werden nun eindeutig, da technisch richtig und somit auch übersichtlicher.
- Das Audiosignal leidet **erheblich** weniger.
- Und für den DIYer wird es nicht mal teurer, wenn aktuelle Technologie verwendet wird.

Aber es erfordert etwas Umdenken, insbesondere, wenn man selber Schaltungen designed.

Balanced Audio Interfaces

Bevor es ans Eingemachte geht, muß man auch hier kurz mit ein paar Verwirrungen aufräumen. Die Rede ist von:

- symmetrisch
- balanced
- differentiell

Was darf's denn nun sein und wie funktioniert es prinzipiell wirklich ?

Es gibt ja diese Sichtweise, daß man das Signal in Phase und gegenphasig überträgt. Eine Störung von außen erfolgt aber gleichphasig auf beiden Leitern und der Differenzverstärker sorgt mit Subtraktion dafür, daß das Störsignal verschwindet. Das ist aber **Signalsymmetrie** und bei weitem nicht die wichtigste Eigenschaft von balanced audio interfaces. Tatsächlich ist sie überhaupt **gar keine Grundvoraussetzung** für die Funktion. In anderen Worten: **Man muß gar nicht zwei Signale übertragen**. Es ist eine unterstützende Maßnahme, um die kapazitive Kopplung vom Signal auf den Schirm zu minimieren [5].

In Wirklichkeit geht es um nichts anderes als Impedanzen. Und zwar die Impedanzen der beiden Leiter in Bezug auf Masse. Diese müssen gleich sein, also symmetrisch oder weniger zweideutig „ausgeglichen“, die wörtliche Bedeutung von „balanced“. Hierbei setzen sich diese Impedanzen aus mehreren Einzelimpedanzen zusammen wie man später noch sehen wird.

Im weiteren soll der Begriff balanced weiter verwendet werden. Er wird in der einschlägigen englischen Literatur verwendet. Aber das stört uns ja nicht weiter. Man posted ja auch auf Facebook, voted in meetings und geht anschließend power-shoppern.

Bei unsymmetrischer Übertragung, oder auch „single-ended“, ist GND der zweite Leiter und hat eine Impedanz, die bei Audiofrequenzen gegen Null geht, während sich die Impedanz des Nutzsignalleiters deutlich von Null unterscheidet.

Wenn die Impedanzen beider Leiter gleich sind, ist auch die jeweils aufgenommene Störung gleich und wird am differentiellen Eingang des nächsten Gerätes oder der nächsten Stufe unterdrückt. Gibt es weiter entlang der Signalkette keine Einheit mit differentiellem Charakter, bleibt die Störung natürlich auf beiden Leitungen erhalten und kann wieder mit dem Signal für immer wie vorher im single-ended Fall verschmelzen [5]. Somit ist Signalsymmetrie alleine wertlos.

Die Störung, die nun auf **beiden Leitungen** gleich auftaucht, wird **common-mode Signal** genannt. Das ist wieder ground noise und Störungen durch elektrische und magnetische Kopplung.

Ein wichtiges Bild, das einem die „neue“ Betrachtungsweise erheblich erleichtert, ist folgendes:

Audio-Schnittstellen, auch innerhalb eines Gerätes zwischen Schaltungsteilen, sollen funktionieren wie das Messen von Spannungen. Dazu gibt es wie am Multimeter zwei Leitungen, eine rote und eine schwarze oder auch eine + und eine - Leitung.

Wenn man eine von beiden weg läßt, zeigt das Voltmeter Schrott an. Man kann aber diese Leitungen an zwei beliebige Stellen einer Schaltung halten und die Spannung zwischen den

Punkten messen. Auf welchem Potential diese Punkte in Bezug auf Masse liegen, ist völlig egal. Es wird nur die Differenz angezeigt, um die es tatsächlich geht.

Im Fall von balanced Audio Interfaces gibt man der differentiellen Einheit (Verstärker oder Trafo) am Eingang der nächsten Stufe auf dem roten und schwarzen Leiter vor, was zu messen ist, bzw. wovon die Differenz zu bilden ist, um Störungen zu unterdrücken. Und so können wir Masse nun ganz getrost wieder als Müllhalde und Schirm gegen elektrische Einkopplung verwenden. Als Schutz gegen magnetische Einkopplung verdreht man die beiden Leiter. Das ist für lau.

Und fertig ist eine robust funktionierende Schnittstelle, welche unwesentlich aufwendiger sein **kann**, als eine unsymmetrische.

Wenn man jetzt Erd- oder Masseschleifen, die wie gesehen auch in einfachen Installationen quasi völlig normal sind, mit seinen Geräten und der Verkabelung baut, ist das der balanced Schnittstelle herzlich egal. Die Schleifen und ground noise sind jetzt außen vor.

Praktische Geräteschnittstellen

Es gibt nun mehrere Möglichkeiten, das geliebte Musiksignal auf geschützten Pfaden zu transportieren.

Die älteste, intuitivste und eigentlich robusteste Methode funktioniert mit Audioübertragern.

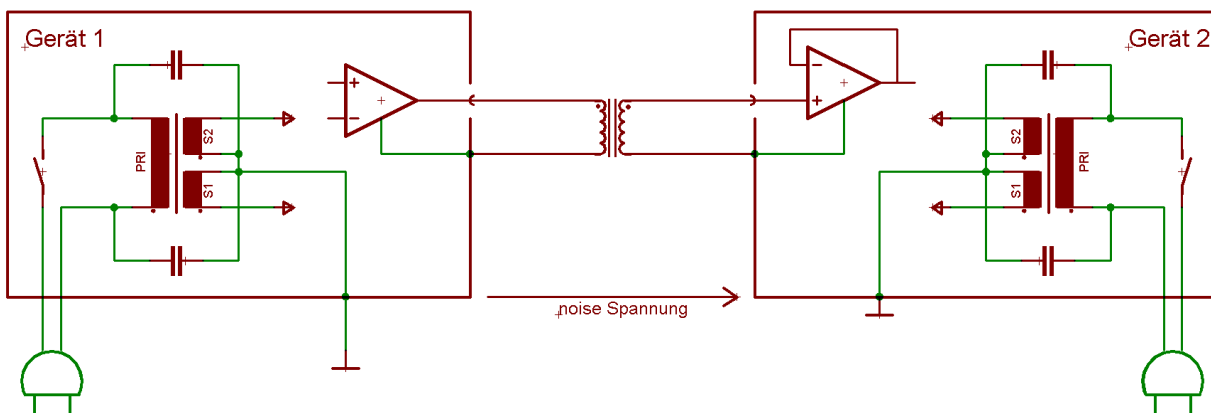


Bild 2, abgeleitet aus [7].

Man braucht gar nicht mehr viel zu erklären. Es springt einen jetzt hoffentlich förmlich an, wie und warum so ein Mantelstromfilter zwischen zwei unbalanced Geräten funktioniert. Über den Trafo kann gar kein Ausgleichsstrom zwischen den Geräten fließen. Allerdings würde ich diese Methode nach wie vor als Symptombekämpfung betrachten, denn Ein- und Ausgang sind immer noch unbalanced und Trafos haben wiederum ihre oft nicht optimalen Eigenheiten.

Sie haben gegenüber Schaltungen mit Operationsverstärkern allerdings einen eleganten Vorteil: Sie messen nicht nur brav das Signal mit zwei Verbindungen, sondern sie kümmern sich auch überhaupt nicht um die noise Spannung zwischen den Geräten, welche in der Praxis ja Netzspannung annehmen können. Das ist bei Schaltungen mit Halbleitern nicht so. Wenn die common-mode Spannung, die ja sowohl am + als auch am – Eingang auftaucht, zu hoch wird,

quittieren die Schaltungen die Situation mit deutlich meß- und hörbaren Verzerrungen. Man spricht dann von **common-mode distortion**. Man muß die Spannung also irgendwie loswerden.

Interessant wird es, wenn es eine Mischung aus balanced und unbalanced gibt. Das ist ja auch die typische Kombi wenn man jetzt Consumer-Quellgeräte wie CD-player z.B. an Class-D Endstufen mit balanced Eingängen anschließt.

Folgende Zeichnungen sind abgeleitet aus [6].

Die einfachste und wohl am häufigsten verwendete Art ist ein simples Adapterkabel:

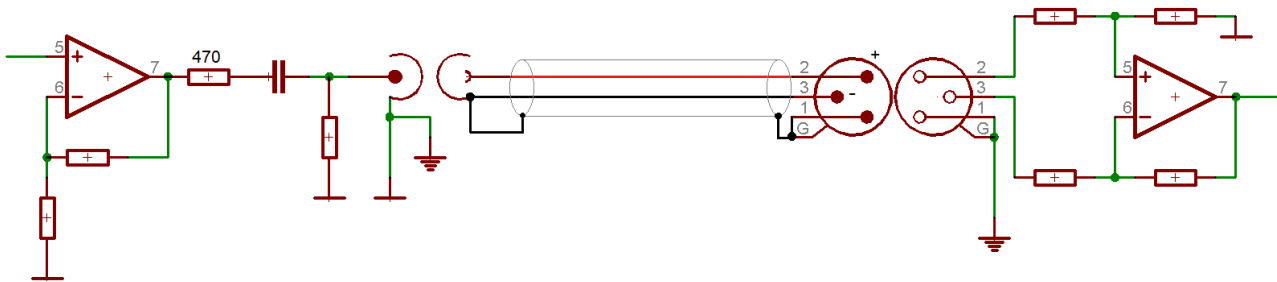


Bild 3

Man mißt zwar auf der Empfängerseite die Spannung differentiell aber der Ausgangswiderstand der Quelle ist unbalanced (hier ungefähr 470 Ohm). Diese Tatsache beeinträchtigt die Fähigkeit des Differenzverstärkers, Störungen zu unterdrücken. In anderen Worten: Seine common mode rejection ratio CMRR sinkt dadurch beachtlich. Laut [6] bleiben aber immerhin noch so 30dB CMRR übrig. Warum das so ist und was das bedeutet, sieht man im nächsten Kapitel.

Die common-mode Spannung, die jetzt den Differenzverstärker in die Verzerrung treiben würde, wird über das Verbindungskabel gegen Erde geleitet und wird somit unschädlich.

So geht es übrigens nicht. Die Verwendung eines geschirmten Einleiterkabels läßt die CMRR nicht nur sinken, sie wird 0 ! Der balanced Eingang ist für den A...llwertesten weil der ground noise hier wieder in einen der Signaleingänge fließt.

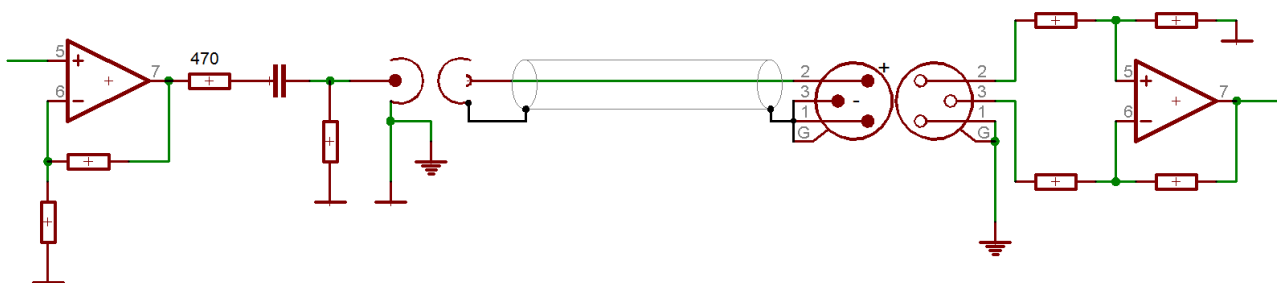


Bild 4

So sähe das Ganze mit (Ausgangs-) Trafo aus:

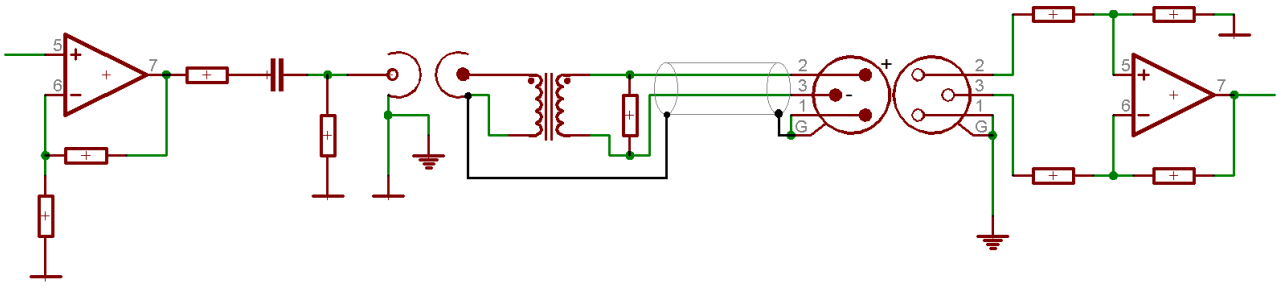


Bild 5

Und so mit einem balanced Ein- und Ausgang. In diesem Beispiel sind Signal und Impedanzen symmetrisch. Es sei an dieser Stelle zu erwähnen, daß es mehrere Schaltungsvarianten sowohl für Ein- und auch Ausgänge gibt und jede ihre Eigenarten besitzt. Um ein grundlegendes Verständnis für die Sache zu bekommen, reicht es aber, sich auf die gezeigten Beispiele zu beschränken.

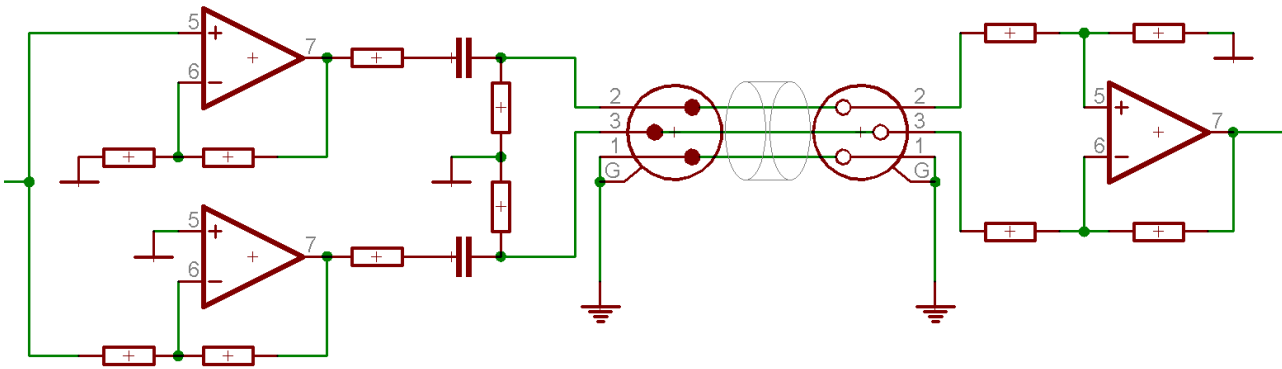


Bild 6

Bei den beiden letzten Methoden ist theoretisch alles im Lot.

Wie es nun ganz genau funktioniert und wie man es optimiert und total simpel und günstig machen kann, dazu kommt wird endlich jetzt.

Das Eingemachte. Oder wie kommt die Marmelade aufs Brot

Dieses Kapitel beruht auf [4] und [5].

Wer bis hierher gut folgen konnte, der wird auch den Rest verstehen. Diejenigen, die es ganz genau wissen wollen, können es auch mal selber durchrechnen. Aber dazu muß man erst wissen, was es überhaupt zu rechnen gibt. Also brauchen wir ein Modell. Das ist freundlicherweise so simpel, daß man auch ohne Rechnen erkennen kann, welche die wichtigen Parameter sind.

Wie nehmen also eine Quelle und einen Empfänger, welche über ein geschirmtes und zweiadriges Kabel mit verdrehten Leitern verbunden sind.

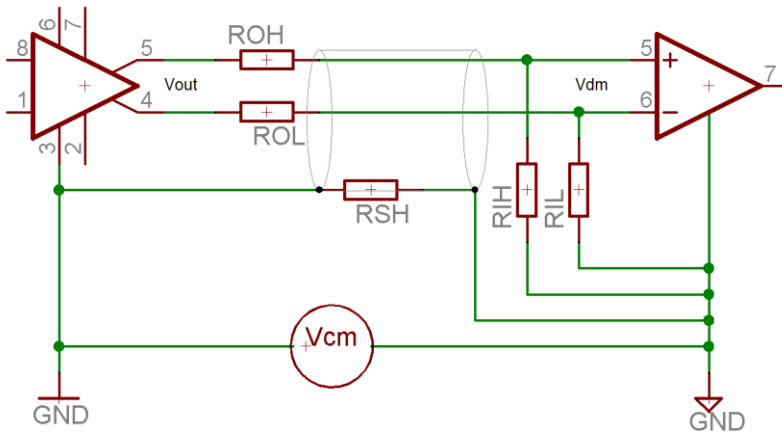


Bild 7

Die Quelle hat je einen Widerstand in den beiden Ausgängen und der Empfänger hat sie je in den Eingängen.

Der Schirm hat seinen Widerstand und zwischen den beiden Geräten fällt die böse common mode Spannung ab.

Nun schmeißen wir alles weg, was wir nicht brauchen, nehmen an, daß aus der Quelle 0V kommen und konzentrieren uns auf die common mode Spannung. Um die geht es ja schließlich. Dann bekommt man folgendes Bild:

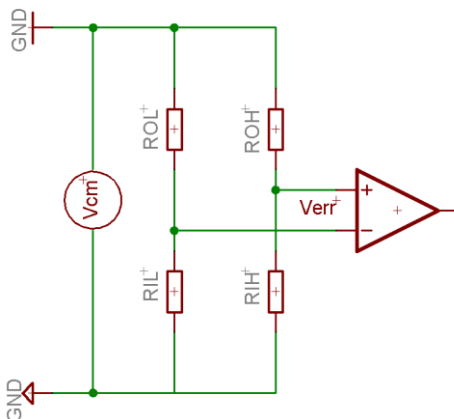


Bild 8

Wir hatten gesagt, Balance bedeutet, daß die Widerstände immer gleich sein sollen. Also jeweils gleich in den Ausgängen und jeweils gleich in den Eingängen. Es gilt also:

$$\frac{ROL}{RIL} = \frac{ROH}{RIH}$$

Das geübte Elektronikerauge erkennt eine Widerstandsbrückenschaltung, auch nach dem Erfinder Wheatstone Brücke genannt.

Man spricht von „abgeglichen“ wenn die Widerstandsverhältnisse in beiden Zweigen gleich sind. Dann wird die Spannung zwischen den Zweigen, also Verr, 0V. Man könnte auch hier wieder sagen, die Brücke ist in Balance.

Jedes Signal, hervorgerufen durch Vcm zwischen den Eingängen des Differenzverstärkers, ist unerwünscht. Wenn dort doch eine Spannung auftauchen sollte, addiert sie sich wieder zum Nutzsignal und wird ggf. verstärkt. In diesem Fall spricht man von **common mode conversion**.

Bevor wir zu genauen Formeln kommen, sieht man ein paar wichtige Punkte aber auch schon ohne sie:

1. Verr kann sich gar nicht ausbilden, wenn die Ausgangswiderstände 0 werden.
2. Analog hierzu passiert dasselbe, wenn die Eingangswiderstände gegen unendlich gehen.

In der Praxis mit realen Bauteilen sollte man beides für beste Performance berücksichtigen.

3. Es ist also davon auszugehen, daß die Brücke am empfindlichsten auf kleine Widerstandsänderungen und dem einhergehenden Ausbilden von Verr reagiert, wenn alle Widerstände etwa gleich sind aber eben nicht ganz genau gleich.

Was fällt beim obigen Bild 8 noch auf ? Da gibt es gar kein Nutzsignal ! Also hat auch Signalsymmetrie überhaupt gar nichts mit der Unterdrückung von noise oder Interferenzen in balanced Audio interfaces zu tun ! [5]

Formeln und weitere Begrifflichkeiten

Es wurde beschrieben, was common mode conversion ist. Das Verhältnis aus Verr und Vcm ist also die **common mode conversion ratio**. Je kleiner diese ist, desto besser. Typischerweise gibt man aber die Fähigkeit einer Schaltung an, das Gleichtaktsignal zu unterdrücken, also die **common mode rejection ratio** (CMRR). Diese Formel bauen wir nun anhand Bild 7 und 8 zusammen:

$$\frac{Verr}{Vcm} = \frac{RIH}{ROH + RIH} - \frac{RIL}{ROL + RIL}$$

Vout ist das Nutzsignal am Ausgang der Quelle und Vdm (differential mode) ist das Nutzsignal am Eingang des Empfängers. Bei der Betrachtungsweise des Nutzsignals gibt es jeweils nur einen Ausgangswiderstand RO und einen Differenzeingangswiderstand RI.

$$\frac{V_{dm}}{V_{out}} = \frac{RI}{RO + RI}$$

CMRR ist dann:

$$CMRR = -20 * \log \left(\frac{|V_{err}/V_{cm}|}{|V_{dm}/V_{out}|} \right)$$

Das ganze schreibt man auch gerne als Verhältnis der Verstärkungen A, und zwar der differentiellen zur Gleichtaktverstärkung:

$$CMRR = 20 * \log \left(\frac{A_d}{|A_{cm}|} \right)$$

Was man durch diese Darstellung schön sieht, ist, daß man CMRR geschenkt bekommt, wenn man am Eingang des Differenzverstärkers auch tatsächlich verstärkt.

Hier nun die Formeln, wie sich die Änderungen bedingt durch Toleranzen in den Ein- und Ausgangswiderständen äußern würden.

Annahme: Die Ausgangswiderstände sind gleich. $RO_H=RO_L=RO$

Die Eingangswiderstände sind nicht gleich und wären: $R_{IL}=RI$ und $R_{IH}=RI+\Delta RI$

$$\frac{|V_{err}/V_{cm}|}{|V_{dm}/V_{out}|} \approx \frac{\Delta RI * RO}{RI * (RO + RI)} \approx \frac{\Delta RI * RO}{RI^2}$$

Hier sieht man wieder, daß die Empfindlichkeit der Brücke auf eine imbalance der Eingangswiderstände bei größerem Ausgangswiderstand steigt. Also muß man letzteren so klein wie möglich halten.

Dafür sinkt die Empfindlichkeit sehr schnell mit Vergrößerung des Eingangswiderstandes.

Der umgekehrte Fall, also eine Abweichung bei den Ausgangswiderständen, sähe so aus:

$$\frac{|V_{err}/V_{cm}|}{|V_{dm}/V_{out}|} \approx \frac{\Delta RO}{RI + RO} \approx \frac{\Delta RO}{RI}$$

Auch hier kompensiert ein möglichst hoher Eingangswiderstand die Abweichungen der Ausgangswiderstände.

Wieviele CMRR braucht man überhaupt ?

Diese Frage ist gar nicht so leicht zu beantworten und man findet auch nichts in der Literatur für Heimanwendungen. Letztlich hängt es davon ab, mit welcher Stärke und Art von Störungen man zu kämpfen hat bzw. wie komplex die Anlage ist und wie sie überhaupt aufgebaut ist.

Man kann im Heimbereich davon ausgehen, daß der Löwenanteil wieder vom ground noise gestellt wird und nicht durch magnetische bzw. elektrische Kopplung, da hier ja bereits aufgrund der Maßnahmen eine Basisimmunisierung stattgefunden hat. Man kann an der Stelle jedenfalls

wiederholen, daß es **kein zu viel** gibt. Es kann nur sein, daß es ab einem Punkt wirklich keinen hörbaren Vorteil mehr gibt. Man sollte auch abwägen, wieviel CMRR man denn mit den vorhandenen Meßmitteln und Budget erreichen kann.

Zur worst case Abschätzung der CMRR eines DiffAmps wie in Bild 11 (unten) kann man folgende Formel verwenden [8]. Hierbei wird angenommen, daß sich die Toleranzen der Widerstände maximal ungünstig verteilen.

$$CMRR = 20 \log \left(\frac{1 + R7/R6}{4T/100} \right)$$

Wobei T die Toleranz in % ist.

Bei einer Verstärkung von 1 ($R6=R7=R8=R9$) und mit 1% Widerständen um den Differenzverstärker kommt man auf eine CMRR von lauen 34dB, welche zu höheren Frequenzen typischerweise noch sinkt.

Bei einer Verstärkung von 1 ($R6=R7=R8=R9$) und mit 0,1% Widerständen um den Differenzverstärker springen bereits stattliche 54dB raus.

Bei einer Verstärkung von 2 ($R7/R6 = 2/1$) und mit 0,1% Widerständen um den Differenzverstärker sind es schon ca. 57,5dB, da man wie beschrieben CMRR durch die Verstärkung geschenkt bekommt.

Die Toleranz von den Widerständen läßt sich noch halbieren, indem man vier des entsprechenden Wertes parallel oder in Serie schaltet.

Mit 0.05% und keiner Verstärkung käme man also mindestens auf 60dB CMRR, was einen hervorragenden Wert darstellt (1000 fache Unterdrückung). Das wird allerdings noch von der Quellimpedanz und von den Toleranzen von C1, C2, R3, R5 (Bild 13) negativ beeinflusst. Aber wenn man am Ende des Tages hier bei 50dB oder mehr unter realen Bedingungen landet, d.h. daß bei der Ermittlung der CMRR von einer kleinen imbalance von wenigen Ohm der Brücke aufgrund von z.B. Kabeltoleranzen ausgegangen wird, sollte man auf der sicheren Seite sein.

Ein Audio-Trafo eines namhaften Herstellers wird mit 60dB bei einfacher Außenbeschaltung von angegeben, liegt also in einer vergleichbaren Größenordnung.

Unbalanced zu Balanced, der (neue) Sonderfall

Die Verbindung Cinch zu balanced ist ja irgendwie aus der Not heraus geboren. Da müssen zwei, die nicht füreinander gemacht sind, irgendwie zusammengebracht werden. Man denke wieder an Consumer-Quellgeräte und Class-D Endstufen mit balanced Eingang.

Wie das enden kann und wo die Stolperfallen sind, hat man jetzt gesehen. Das ändert aber nichts daran, daß es so viele Quellgeräte gibt, die bis auf ihre miserable Schnittstelle ausreichend oder sogar sehr gut sein können. Wie kann man aber nun diese ganze Problematik abhaken und unter die Frustration und die Verwirrung ein für alle Mal einen Schlußstrich setzen, sodaß es auch wirklich jedem Bastelwilligen auf Anhieb gelingt ?

Wie wir in Bild 3 gesehen haben, gibt es Adapterkabel. Deren Funktion steht und fällt allerdings mit der Qualität des folgenden Eingangs. Allerdings helfen die CMRR Werte des Eingangs in Datenblättern häufig nicht wirklich weiter, da diese oft nur unter Laborbedingungen und somit ohne jegliche natürliche Imbalance angegeben werden. Somit fallen sie meist viel zu hoch aus. Wie fast immer, müsste man also wieder genauer hinschauen.

Audioübertrager wären robust, recht einfach aber teuer (so ab ca. 60€ pro Kanal).

Was auch immer man macht, man sollte so früh wie möglich in der Signalkette wandeln.

Eine Möglichkeit wäre also, diese Wandlung in einem Vorverstärker zu vollziehen. Dazu soll später eine einfache, kostengünstige aber robuste Lösung entstehen und die einzelnen Funktionen genau erläutert werden. Die Schaltung soll auch eine einfache aber funktionierende Lautstärkeregelung beinhalten, welche für balanced Schaltungen aufwendig und teuer geraten kann, wenn man das Prinzip nicht vollends durchschaut hat.

Darüber hinaus gibt es ein weiteres Beispiel, wie man mit diesem Wissen eine extrem simple, effektive, rauscharme und kostengünstige Endstufe ohne hörbaren Eigenklang bauen kann.

Bevor wir aber dazu kommen, gibt es einen weiteren Kniff.

Trick 17

Man hat bislang mehrfach gesehen, daß Signalsymmetrie primär keine Rolle spielt und daß es einzig und alleine Impedanzen sind, auf die es ankommt. Man kann es gar nicht häufig genug sagen.

Das Thema ist nach wie vor, wie man sinnvoll single-ended Geräte mit anderen basierend auf einem balanced Eingang verbindet.

Schauen wir uns dazu nochmal einen typischen oder ähnlichen Ausgang von Cinchquellen an.

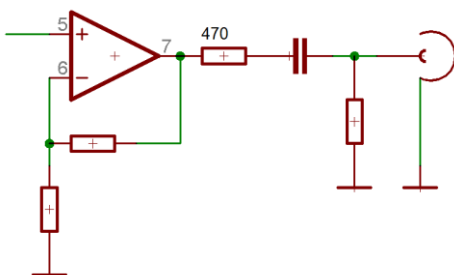


Bild 9. Consumer Cinchausgang

Wir sehen, daß die Leitung für das Nutzsignal vom Ausgangswiderstand, welcher dazu gedacht ist, um Kabelkapazitäten vom Ausgang zu isolieren, dominiert wird. C und R Formen einen Hochpaß, um DC loszuwerden. D.h. sowohl der Ausgangswiderstand des OP als auch die Impedanz von C gehen bei Audiosignalen gegen 0. Es bleiben 470Ω.

Diese 470Ω wären gleichzeitig die imbalance für die Brücke, wenn man nun einen Differenzverstärker anschließt, da die Impedanz von Masse auch gegen 0 geht. Keine perfekte Ausgangssituation, wenn das nachfolgende Gerät keine allzu hohe CMRR hat.

Und was, wenn wir jetzt einfach einen zweiten Leiter mit der gleichen Impedanz wie oben nachbilden und als zweite Leitung an den Differenzverstärker schicken ?

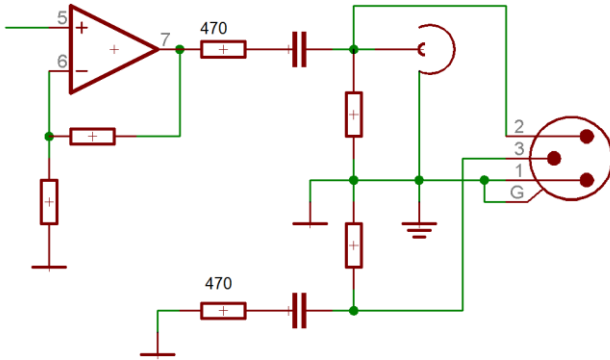


Bild 10. Modifizierter Cinchausgang

Bingo, die Brücke ist zurück im Gleichgewicht !

Man muß nur wissen, wie der Ausgang des jeweiligen Gerätes aufgebaut ist. Dann einfach die Teile doppelt ausführen, um die Impedanz nachzubilden. Das geht entweder nach Schaltplan, messen oder nachschauen, falls möglich.

Dazu muß man nicht einmal das Quellgerät modifizieren. Man kann die Teile auch extern oder in einem Vorverstärker plazieren. Dessen Eingänge sind dann halt bestimmten Geräten zugewiesen.

Der Ausgangswiderstand geht zwar in so einem Fall nicht gegen 0. Dennoch ist diese Lösung äußerst pfiffig, günstig (3 Teile und eine Buchse) und ein riesen Schritt in die richtige Richtung !

Diese Methode ist dem einfachen Adapterkabel deutlich überlegen bzw. hängt der Erfolg nicht nur vom folgenden, meist unbekanntem Eingang ab. Denn das modifizierte Gerät wird zu einem mit **vollwertigen** symmetrischen Ausgängen. Es wird nur auf einem Leiter kein Signal übertragen und die Ausgangsimpedanz könnte ggf. niedriger sein.

Schaltungssynthese eines balanced Vorverstärkers

(basierend auf [4])

Fassen wir nochmal zusammen, was die Eigenschaften des Geräts sein müssen:

1. Sehr hoher Eingangswiderstand für die common-mode Spannung
2. Geringer Ausgangswiderstand, um das folgende differentielle Gerät so gut wie es geht zu unterstützen und um längere Kabel treiben zu können.

Wir fangen also mit dem Kernstück an, dem Differenzverstärker.

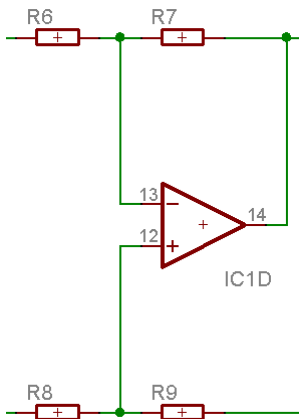


Bild 11 Differenzverstärker

Dieser alleine hätte mit sinnvollen Widerstandswerten einen viel zu geringen Eingangswiderstand. Wenn man die Werte zu groß macht, gibt es dadurch zu viel Johnson-Rauschen. Außerdem ist es technisch nicht möglich, einen Differenzverstärker mit nur einem OP zu bauen, welcher ausbalancierte Eingangswiderstände gegen Masse hat, da die Bezugspunkte unterschiedlich sind. Die Eingangsimpedanz am Minus-Eingang bezieht sich auf den Ausgang und die im Plus-Eingang auf Masse.

Also flankieren wir ihn mit Spannungsfolgern an den Eingängen.

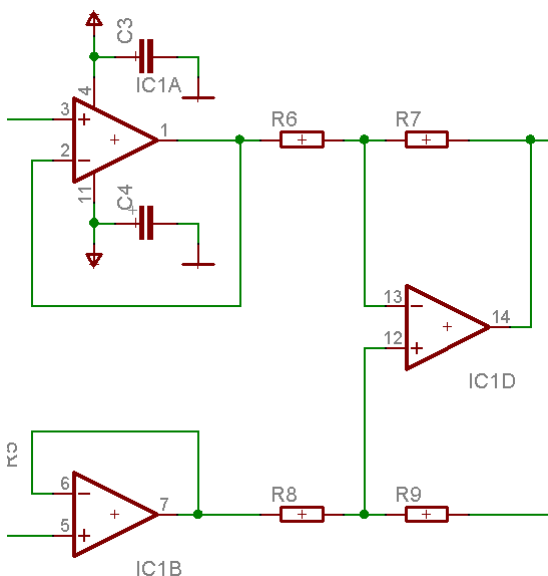


Bild 12

Jetzt ist die Eingangsimpedanz gegen Masse gleich und sehr groß und so kann man die Widerstände um den Diff.Amp sehr klein machen. Eben so klein, daß er noch seinen eigenen Feedbackzweig und auch die folgende Stufe gut treiben kann. 1K Ω sind hier gerade recht. So bleibt das Rauschen schön niedrig.

Jetzt pimpen wir den Eingang. Dort braucht man Widerstände, um die Bias-Ströme der Eingangspuffer abzuführen. Dadurch verliert man zwar vom gewünscht hohen Eingangswiderstand. Aber mit einem sehr großen Wert für R4 kann man das wieder etwas kompensieren.

Ganz vorne verhindert ein Tiefpaß, daß der Verstärker zum Radio wird oder daß man Taxifunk empfängt.

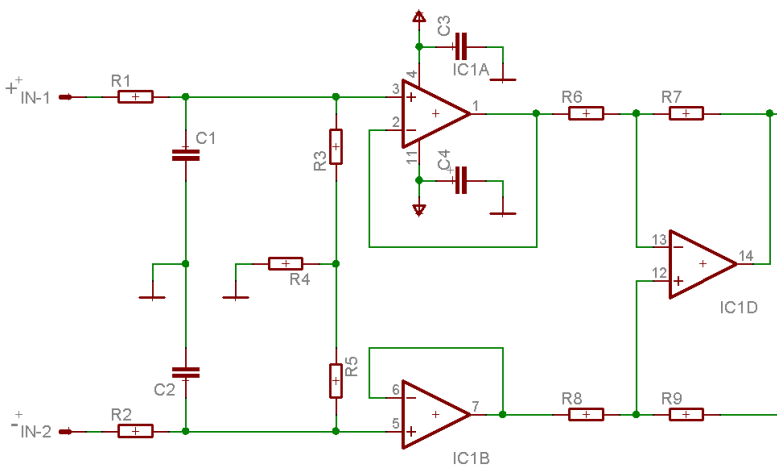


Bild 13

Nun zur Lautstärkeregelung. Zwei Bauteile, große Wirkung, viele Aufgaben.

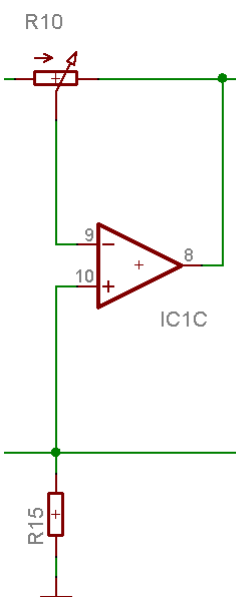


Bild 14 Lautstärkeregelung

Wie man sieht, wird ein Poti verwendet, um die Verstärkung eines OPs zu regeln. Auf diese Art und Weise eliminiert man die Schwachstellen von veränderbaren Widerständen. Nämlich die Linearität der Widerstandsbahn und Verzerrungen durch den Schleifkontakt. Die Linearität hängt in dieser Konfiguration nur noch vom Teilungsverhältnis ab. In der Mittelstellung ist die Verstärkung also 1. Darüber steigt sie und darunter geht sie gegen Null.

Also sind zig Euro, die man sonst in ein teures, esoterisches Audiopoti oder auch in geschaltete Widerstände investieren muß, gespart.

Das Poti benötigt einen linearen Verlauf und keinen logarithmischen. Durch das Zusammenspiel mit dem Verstärker wird die Gesamtkennlinie aber wieder eine sehr gute Annäherung an den logarithmischen Verlauf. Sehr pfiffig das Ganze.

Es gibt nur zwei potentielle Schwachstellen:

1. Wenn man ganz, ganz leise machen möchte, kann es bei billigen Potis etwas schwierig werden, die Stelle zwischen leise und aus zu finden.
2. Die Verstärkung jenseits der Mittelstellung kann zu viel sein und der Eingang der Folgestufe wird übersteuert. Oder gegen Ende der Widerstandsbahn fängt der OP an, zu klippen, da die Signalamplitude die Versorgungsspannungen übersteigt. Hier ist also Vorsicht geboten. Aber nicht mehr als sonst, denn ein Lautsprecher würde auch ohne dieses Verhalten bei einer Fehlstellung des Lautstärkereglers zuerst Schaden nehmen.

Fertig ? Nicht doch !

Der OP kann gleichzeitig als Ausgangsstufe verwendet werden, da sein Ausgangswiderstand sehr gering ist. Das spart weitere OPs.

Es wurden zwei Bauteile genannt, was ist mit R15 ? Der dient nur dazu, daß das Layoutprogramm dieses Signal eben nicht als GND, sondern als ein echtes Signal betrachtet. Denn genau das ist es eigentlich, obwohl an dieser Stelle der Schaltung die Signalsymmetrie der Einfachheit und Wirtschaftlichkeit halber aufgegeben wird. R15 ist also eine Drahtbrücke.

Bei balanced Schaltungen sollen das + und – Signal auch so nah wie möglich beieinander verlegt werden. Das ist quasi die Fortsetzung der verdrillten Leitung zwischen den Geräten.

Im Gegensatz zu single-ended Schaltungen, bei denen man sich bei der Masseführung einen abwürgen muß, um ein kränkelndes Konzept aufrecht zu erhalten, darf und soll man hier einfach eine Massefläche verwenden !

Der niederohmige Ausgang.

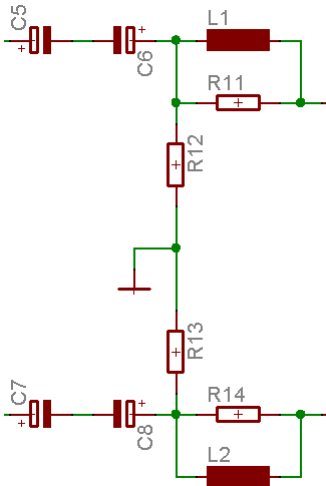


Bild 15 Ausgangszweige

Die antiseriellen Elkos bilden einen bipolaren Kondensator halber Kapazität, der Gleichspannung vom Ausgang bzw. vom Eingang des nächsten Gerätes fernhalten soll.

Igitt, Elkos im Signalweg.

Das ist kein Problem, solange an ihnen keine „signifikante“ Nutzsignalspannung abfällt (DC soll aber komplett abfallen). Also muß man sie nur groß genug auslegen. Douglas Self [8] betrachtet Signalspannungen ab 80mVrms aufgrund von eigenen Verzerrungsmessungen an Kondensatoren als zu hoch. Also nicht wundern, wenn man hier mehrere hundert Mikrofarad oder mehr antrifft.

Die Kondensatoren schützen auch gegen den unwahrscheinlichen Fall, daß das Poti kaputt geht. In diesem Fall würde der Ausgang von IC1c auf Versorgungsspannung hängen, was sich vor einer DC-gekoppelten (also ohne DC Filter) Class-D Endstufe nicht gut macht.

Die Spannungsfestigkeit muß hoch genug sein, da dieser Verstärker aufgrund der aktiven Regelung ja auch tatsächlich verstärken kann.

In den single-ended Ausgängen von Consumerware befinden sich immer einfache build out Widerstände in der typischen Größenordnung von ca. 50Ω...470Ω, um den Ausgang gegen die kapazitive Last der Kabel zu isolieren. Man wünscht aber niedrigere Werte bei mindestens gleich guter Isolation. Dazu könnte man eine sog. „zero-impedance“ OP-Schaltung verwenden. Aber es geht auch einfacher. Man nimmt einfach eine Spule und schaltet sie parallel zum Widerstand. Bei Audiofrequenzen geht die Impedanz gegen null, während sich das bei steigender Frequenz ändert und die Isolationswirkung eintritt, also genau da, wo man sie auch braucht. Die Kombi findet sich in jedem Class-A oder Class-AB Verstärker genau aus demselben Grund. Ein möglicher Kern der Spule darf nur nicht in die Sättigung getrieben werden, sodaß es klirren würde. So erreicht man einen Ausgangswiderstand $<1\Omega$ bei Audiofrequenzen.

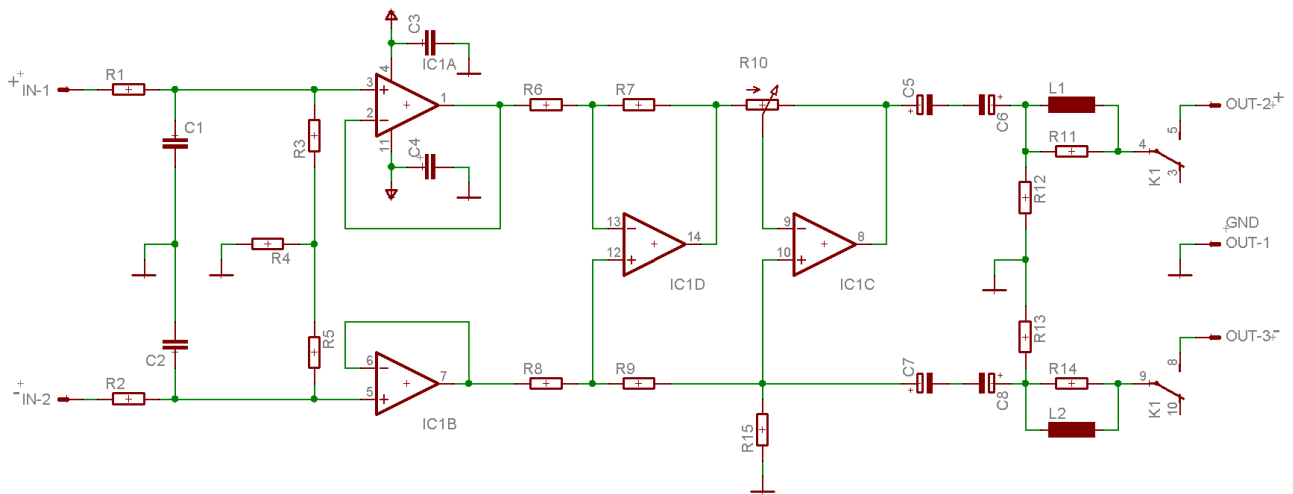


Bild 16. Gesamtschaltung

Für beste CMRR sollten Bauteile mit geringsten Toleranzen verwendet werden oder sogar gematcht werden, da sie direkten Einfluß auf die Brücke haben. Dazu gehören: R1, R2, C1, C2, R3, R5, R6, R7, R8, R9. Auf absolute Werte kommt es nicht an. Bei C1 und C2 kann das schwierig werden, wenn man nicht über ein Gerät verfügt, das Picofarad messen kann. Für die Widerstände kann man 0,1%ige einsetzen und/oder mit einer selbst gebauten und batteriebetriebenen (kein ripple) Wheatstone Brücke und einem mV-Meter selektieren. Bei größeren Werten im zig zehn Kiloohmbereich, wie für R3 und R5, empfiehlt es sich, die Umgebungstemperatur konstant zu halten und die Widerstände beim Selektieren mit einer Pinzette anzufassen, damit sie sich nicht aufwärmen.

Und fertig ist ein effektiver, kostengünstiger und pfiffiger Vorverstärker für balanced Signale. Er wurde unter dem Namen „[PreamPi](#)“ mittlerweile von vielen DIYern erfolgreich nachgebaut.

Kritiker könnten an dieser Stelle anmerken, daß balanced Eingänge mit OPs immer ein höheres Rauschen aufweisen, als single-ended Schaltungen. Das ist auch nicht weg zu diskutieren. Aber man muß sich fragen, was besser ist, ein etwas erhöhtes Rauschen und dafür „besserer Klang“ und keine weiteren Störungen und Frustrationen. Oder ein Signal, mit weniger Rauschen, welches dafür aber verbrummt bzw. Details durch ground noise maskiert werden. Außerdem ist es bei entsprechend gutem Design nicht der Vorverstärker, der das meiste Rauschen beiträgt, sondern die Endstufen, welche mit einer häufig zu hohen Verstärkung zusätzlich noch das Eingangsrauschen anheben.

Um das Rauschen dennoch zu minimieren, könnte man wie in [8] beschrieben mehrere Schaltungsteile wie in Bild 12 gezeigt, parallelisieren, sodaß sich der Johnson-noise (weißes Rauschen) wieder auslöscht. Nein, das ist kein Witz: Mehr OPs, weniger Rauschen, wenn man weiß wie.

Jedoch reicht es vollkommen aus, rauscharme OPs zu verwenden und Impedanzen in der Schaltung niedrig zu halten.

Die Optimierung der Endstufen (weniger Eigenrauschen und weniger Verstärkung) würde an dieser Stelle deutlichen größeren Erfolg bringen, wie vom Autor [hier](#) beispielhaft vorgerechnet. Sinnvolle Grenzen für Verstärkungen der Endstufen bei Pegeln heutiger Consumer-Quellgeräte liegen zwischen 10 und 20-fach (also zwischen 20dB und 26dB). Zu einem Beispiel dafür kommen wir nun.

Schaltungssynthese einer balanced Endstufe

Dieses Beispiel beruht auf dem hervorragenden und günstigen Class A/B Chipamp LM3886.

Die Vorgehensweise ist die exakt gleiche wie beim Vorverstärker.

Man nehme den Chipamp und ergänzt die Eingänge mit Spannungsfolgern, um aus den bereits oben erwähnten Gründen wieder die gewünschte Instrumentenverstärker-Topologie zu bekommen. Auch die Eingangsbeschaltung bleibt im Prinzip gleich.

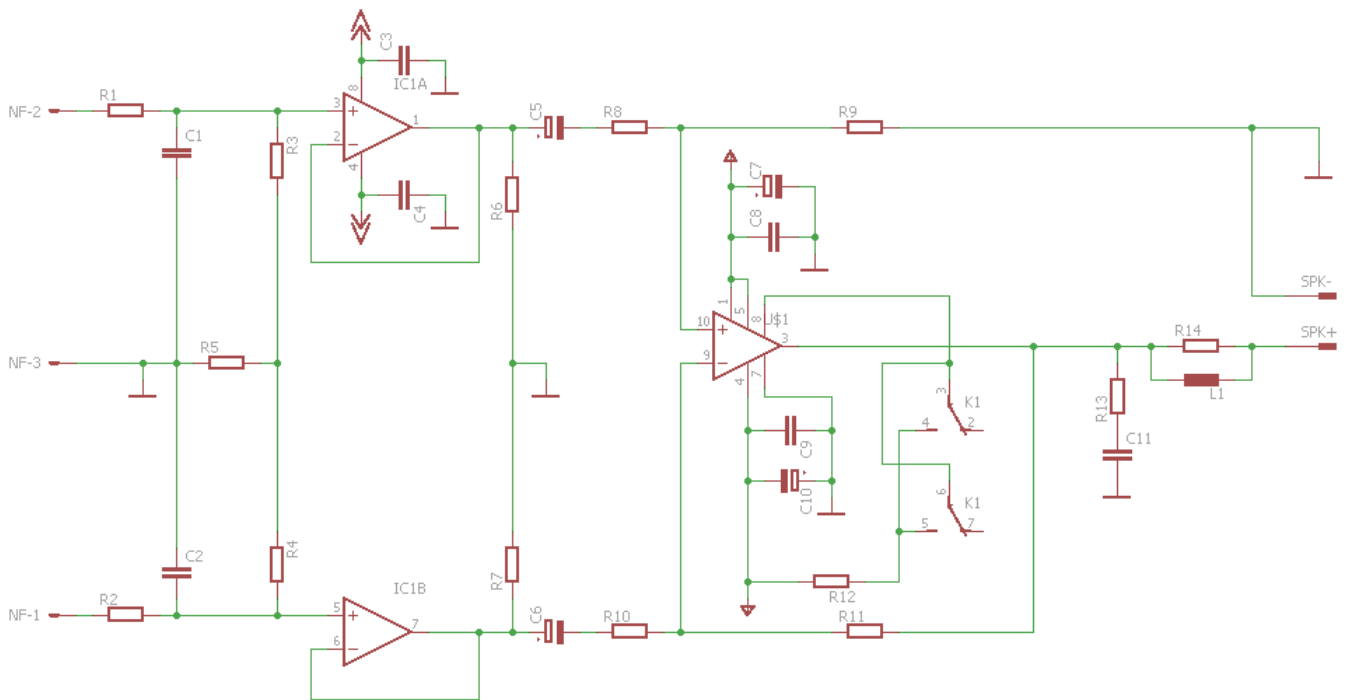


Bild 17. Balanced Endstufe

Die Verstärkung kann über R9/R8 bzw. R11/R10 eingestellt werden. Die kleinst mögliche liegt bei diesem Chipamp aus Stabilitätsgründen bei 10-fach (20dB).

C5 und C6 blockieren DC. Auch hier sind sie so groß gewählt, damit sie das Signal nicht verzerren und auch die Balance des Chipamps nicht gefährden.

R6 und R7 sorgen dafür, daß sich keine Ladungen auf der Eingangsseite der Kondensatoren ausbilden, welche entgegen der Zeichnung bipolare Typen sind.

R14 und L1 isolieren den Ausgang von kapazitiven Lasten und R13 und C11 dienen der Stabilität des Verstärkers.

Fertig.

Sog. Gainclones gibt es seit vielen Jahren in allen möglichen sinnvollen, jedoch zumeist unsinnvollen Ausprägungen. Alleine die Layouts der Platinen sind häufig nicht korrekt.

Diese Version ist aus folgenden Gründen dem Datenblatt-Design aufgrund der Topologie haushoch überlegen und das nur zu den Kosten des vorgeschalteten OPs:

- Man kann zwei der Verstärker sehr leicht brücken, um mehr Leistung zu erhalten. Dazu dreht man einfach die Polarität des Eingangspaares eines Amps um, da man ja das Signal mißt wie mit einem Voltmeter.
- Der OP etabliert zusammen mit dem Chipamp eine substantielle CMRR im Brummbereich. Laut Simulation wären das ca. 80dB bei 50Hz ohne source imbalance und perfekte Toleranzen. Aber davon bleiben sicherlich 50...60dB unter realen Bedingungen hängen. Mit ca. 30dB bei 20KHz wäre man ebenfalls noch gut dabei.
- Die input capacity modulation distortion im LM3886 ist bei einem differentiellen Design viel kleiner, weil sich die Ladeströme in den Eingängen eines Diff. Amp. größtenteils aufheben. Das gilt natürlich prinzipiell für den Vorverstärker genauso. Mit dem Datenblatt-Design des Chipamps steigen die Verzerrungen so ab ca. 500Hz an.
- Der Chipamp wird von einer sehr niederohmigen Quelle gespeist, was sein Eingangsruschen minimiert. Auch das gilt gleichermaßen für den Vorverstärker.

Abgesehen davon bedeutet eine Verstärkung von 10-fach (20dB) maximale Gegenkopplung bei diesem Chip und damit maximale Fehlerkorrektur für diese einfache Beschaltung. Der loop gain liegt bei ca. 30dB @ 20KHz, welcher zu tiefen Frequenzen ja mit 20dB pro Dekade steigt. Somit erhält man ca. 90dB bei 20Hz.

Das bedeutet, daß Verzerrungen maximal möglich korrigiert werden, der Ausgangswiderstand sinkt und Störungen vom Netzteil maximal unterdrückt werden. Und natürlich wird sämtliches Eingangsruschen auch nur 10-fach verstärkt.

Der Gainstruktur der kompletten Anlage kommt das ebenfalls entgegen, denn man muß das Signal nicht mehr vor der Endstufe stark abschwächen, um es dann samt Rauschen wieder fest anzuheben.

Daraus resultiert in der Praxis der Vorteil, daß man auch höhere Pegel in etwaigen vorgeschalteten DSPs fahren kann, wodurch die ADCs und DACs besser angesteuert werden.

Darüber hinaus bieten die Chipamps weitere Vorteile gegenüber Endstufen mit Einzelbauteilen:

- Die Mutfunktion muß nicht über Relais im Ausgang realisiert werden und somit steigt auch nicht der Ausgangswiderstand bzw. sinkt der Dämpfungsfaktor nicht.
- Der Chip enthält bereits die wichtigsten Schutzschaltungen (hier „SPIke protection“ genannt), die man ansonsten extra bereitstellen müßte.
- Alle Transistoren des Verstärkers sind hervorragend thermisch gekoppelt, was die Übernahmeverzerrungen bei Class A/B senkt.

Alles in allem also extrem viel guter Verstärker bei super geringem Aufwand und minimalen Kosten.

Weitere Modelle und Informationen zu derartigen Endstufen finden sich [hier](#) und [hier](#).

Verkabelung

Wie muß jetzt alles verkabelt werden ? Das ist relativ einfach. Man braucht wesentlich weniger zu überlegen, als bei diesen Adapterkabeln und den herkömmlichen Kombinationen aus balanced und unbalanced Geräten.

Ein Gedankenbild hilft mal wieder:

Man stelle sich vor, daß der Schirm des Verbindungskabels eine Verlängerung der Metallgehäuse der zu verbindenden Geräte ist.

Das ist alles.

Der Schirm hat mit Audio nichts zu tun. Wie der Name schon verrät, handelt es sich um einen Schirm. Er wird in allen Geräten sofort am Ein- und Ausgang mit dem Gehäuse verbunden, und sonst nirgendwo. Man beachte den Fluß des Schirmstroms.

Das bedeutet, daß er **immer** an **beiden** Enden angeschlossen ist. Auch die Gehäuse von XLR-Buchsen müssen hier verbunden werden. All das ist im AES48 Standard festgehalten. In der Zeichnung unten kann man sich nun beliebig viele dieser Blöcke zur linken und rechten Seite vorstellen.

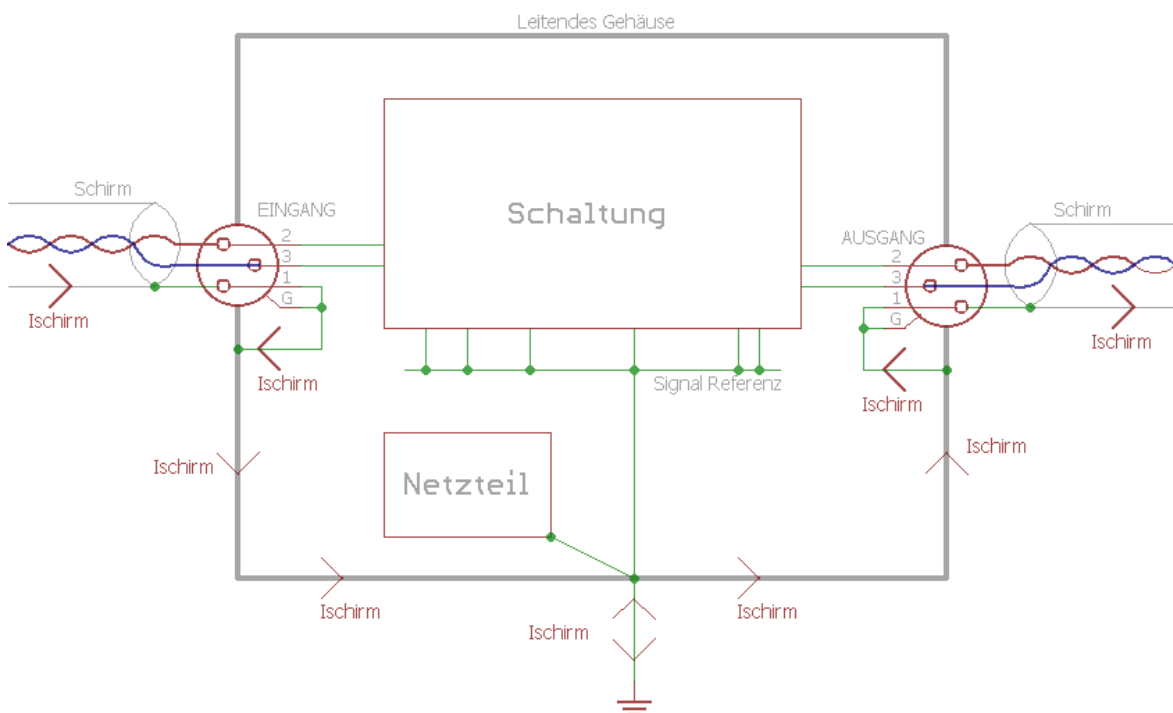


Bild 18. Geräteverkabelung nach AES48 Standard

Alles andere ist falsch und nix mit „one end only“ ! Wenn man das ganz stur ausführt, benötigt es kein weiteres Wort darüber, obwohl schon so viel darüber geschrieben wurde. „Pin 1 Problem“ wäre die Phrase in einer Suchmaschine der Wahl, falls es mal langweilig sein sollte.

Wenn das nicht funktioniert, hat man ein Gerät von der Stange gekauft, welches falsch designed bzw. verkabelt wurde. Dabei fließt Schirmstrom durch die Schaltungen, anstatt drum herum.

Suspekt aber nicht notwendigerweise falsch sind demnach also Produkte, bei denen man die Schirme direkt an der Platine anschließen soll, auf der auch das Signal verarbeitet wird.

Wenn sie falsch gemacht sind, kann sich Schirmstrom per common impedance coupling an den single-ended Schaltungsteilen, die es quasi immer gibt in einer komplexen Schaltung, mit dem Signal vereinen. Nur differentielle Schaltungsteile, so wie der Eingang im Beispiel unten, bleiben davon unberührt. Je mehr Schaltungsteile also balanced ausgeführt sind, desto sauberer und robuster wird das Signal verarbeitet. Aber man kann eben nicht jede beliebige Schaltung differentiell gestalten.

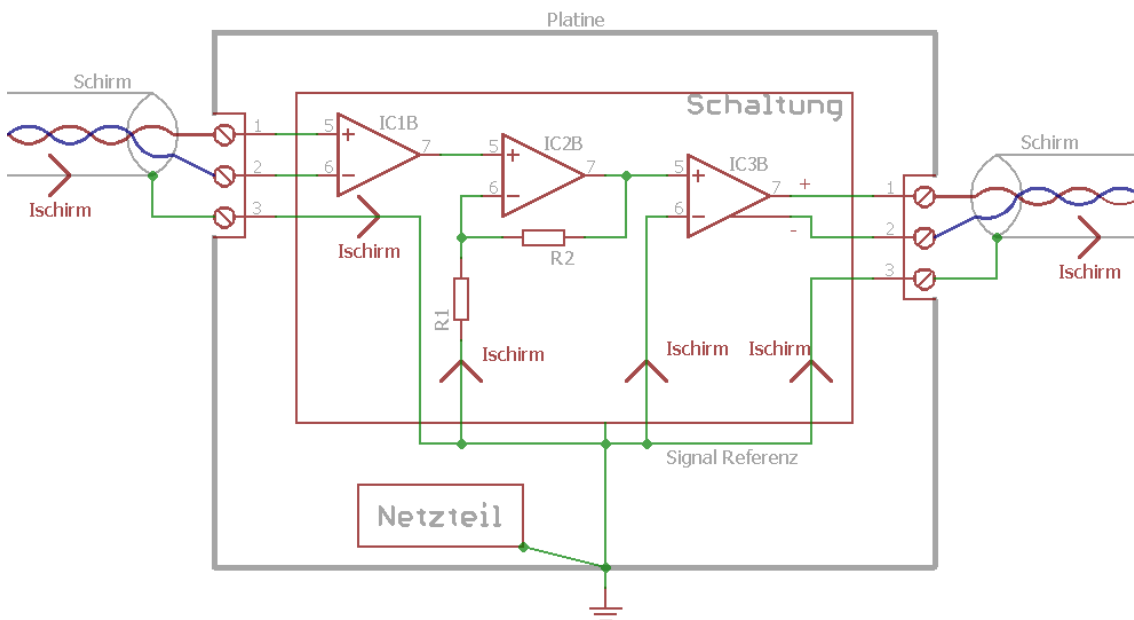


Bild 19. Schirmanschlüsse auf einer Platine mit inkorrektem Layout, angelehnt an [5] und [9]

Um korrekt zu funktionieren, müssten die Schirmanschlüsse getrennt von GND auf kurzen Pfaden geführt werden, um erst am Netzteil mit Masse verbunden zu werden.

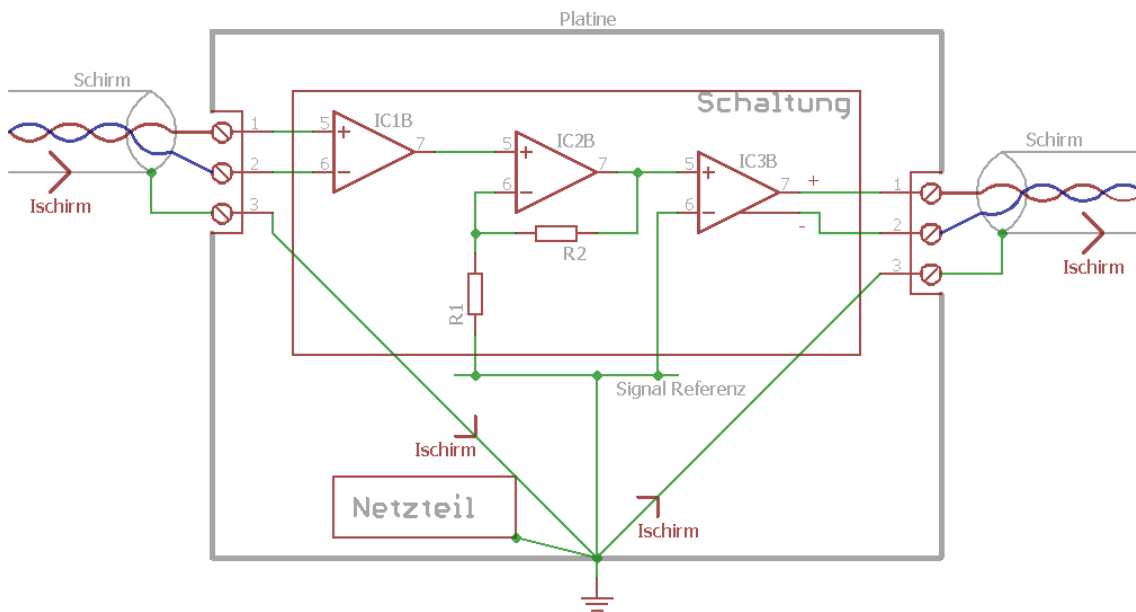


Bild 20. Schirmanschlüsse auf einer Platine mit korrektem Layout, angelehnt an [5]

Wenn es tatsächlich brummen sollte oder nicht sauber klingt, kann man den Schirm am Ende auftrennen. Das ist aber nicht empfohlen, da die CMRR darunter leidet. [9]

Es ist also besser, selbst nach AES48 Standard zu verkabeln, soweit das möglich ist. Das mag es erforderlich machen, daß man sich über die Herstellerangaben zur Verkabelung hinwegsetzt.

PE kommt ebenfalls an das Gehäuse samt Masse vom Netzteil, am besten in einem Punkt. Somit wäre auch ein Class-D Verstärker EMV-verträglich verpackt.

Das Nutzsignal liegt nur zwischen den beiden Leitern an. Rot ist schwarz und plus ist minus, oder so ähnlich. Mehr kann man darüber gar nicht sagen; wie beim Voltmeter eben.

Wenn mehrere Schaltungen mit nur einem einzigen Netzteil in einem Gehäuse landen, dann könnte man den Schirm innerhalb des Gehäuses komplett weglassen (das Gehäuse schirmt ja noch). Oder tatsächlich alle drei Anschlüsse, welche üblicherweise auf den Boards vorhanden sind, verwenden, da in diesem Fall ja keine signifikanten Schirmströme fließen können.

Kann es noch einfacher und besser gehen ? Wohl kaum !

Quellenangaben:

- [1] <http://de.wikipedia.org/wiki/Cinch>
- [2] [Bill Whitlock , Jensen Application Note AN-004, HUM & BUZZ IN UNBALANCED INTERCONNECT SYSTEMS](#)
- [3] JAES (Journal of the AES), Volume 43 Number 6, Special Excerpt "Shields & Grounds: Safety, Power Mains, Studio, Cable, Equipment".
Bill Whitlock, Balanced Lines in Audio Systems, Fact, Fiction, and Transformers
- [4] [Linear Audio vol. 5, Bruno Putzeys, The G Word, or How to Get Your Audio off the Ground](#)
- [5] [Bill Whitlock, Design of High-Performance Balanced Audio Interfaces](#)
- [6] [Bill Whitlock , Jensen Application Note AN-003, INTERCONNECTION OF BALANCED AND UNBALANCED EQUIPMENT](#)
- [7] [Bill Whitlock , Jensen Transformers Inc., Generic Student Seminar, UNDERSTANDING, FINDING, & ELIMINATING GROUND LOOPS IN AUDIO & VIDEO SYSTEMS](#)
- [8] [Douglas Self, Small Signal Audio Design, Focal Press](#)
- [9] [Hypex Electronics Application Note, Dealing with legacy pin 1 problems](#)

Hersteller von Audiübertragern:

<http://www.cinemag.biz>

<http://www.jensen-transformers.com>

<http://www.lundahl.se>

<http://www.sowter.co.uk>