HANS M. STRASSNER GMBH
Messtechnik für Forschung und Industrie

Probleme mit der Stromversorgung von HiFi- oder Heimkinoanlagen?

„Das Phänomen der letzten eineinhalb Meter“

Die Frage kann man in noch vielen Fällen sicherlich mit ja beantworten, auch wenn kein spontan hör- oder sichtbarer Anlass ein Problem vermuten lässt. Viele Anlagen, speziell aus mehreren Komponenten zusammengestellte, spielen unter ihrem Potential, obwohl sich das Problem meist schon mit geringerem Aufwand deutlich reduzieren ließe. Es gibt hier noch ein Verständnisproblem.

Die uns als Kabel- und Netzfilterhersteller in diesem Zusammenhang häufigst gestellte Frage lautet sinngemäß:

> ***„Wie kann es sein, dass das letzte 1,5m Netzkabelstück den Klang meiner Anlage verbessern soll, wenn doch x-lange Meter einer Standard-1,5qmm Netzleitung in der Wand vorgeschaltet bleiben?“***

Es scheint auch ohne Erklärung logisch, dass eine eigene, nur für eine HiFi- oder Heimkinoanlage gelegte und querschnittstärkere Netzleitung ab Zählerkasten in der Wand positive Dienste tun wird. Warum aber die letzten 1,5m Gerätenetzleitung in vielen Fällen sogar wichtiger sind, ist erklärungsbedürftig.

Vorort produziert, - die Differenzspannungsstörung

Die Vermutung, dass alle klang- und bildbeeinträchtigenden Störungen über die Netzleitung oder als Funkwelle (Elektrosmog) von außen kommen, ist unvollständig (Siehe HMS-Broschüre “Wissenswertes zum Thema: Entstörung von HiFi- und Heimkino-Anlagen“). Für einen nicht vernachlässigbaren Anteil sorgen die Komponenten selbst und zwar umso mehr, je mehr Komponenten miteinander verschaltet sind.

Nehmen wir die einfachste HiFi-Kette bestehend aus CD-Player und Vollverstärker gespeist aus einer Wandsteckdose und einer gemeinsamen Steckdosenleiste.

Die vom Hausanschluss über den Zähler, die Sicherung, die Wandleitung und Schuko-Wandsteckdose erfolgte Stromversorgung erzeugt an den Einsteckplätzen der Steckdosenleiste gleiche Bedingungen (Potentiale) für beide Geräte. Das heißt, die Spannungsschwankungen der Stromversorgung als auch die überlagerten Störungen durch andere Verbraucher und Einstreuungen treffen auf beide Komponenten im gleichen Ausmaß.

../2

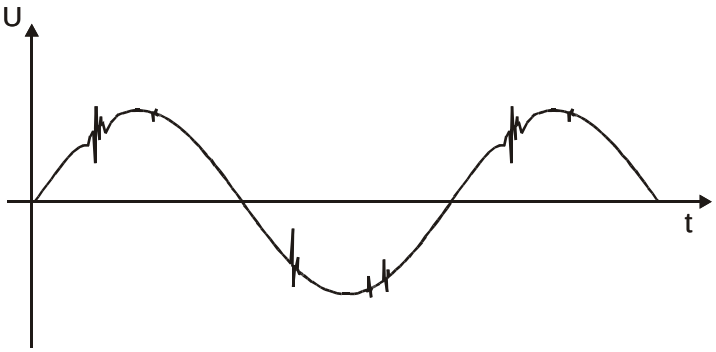


Abbildung 1: Typische Netzstörungen

Gegen diese als Gleichtaktstörung auf unsere Komponenten wirksame Störungsart sind diese innerhalb gewisser Grenzen recht unempfindlich (solange es sich nicht um Hochfrequenz handelt), denn es entsteht ja keine Spannungsdifferenz zwischen ihnen. Niederfrequente Spannungsschwankungen werden von fast immer vorhandenen Spannungsstabilisatoren auf der Gleichspannungsseite ausgeregelt.

Sehr anders sieht die Situation allerdings aus, wenn man den unterschiedlichen Stromfluss zu den Komponenten auf den letzten 1,5m Netzkabel von der gemeinsamen Steckdosenleiste betrachtet.

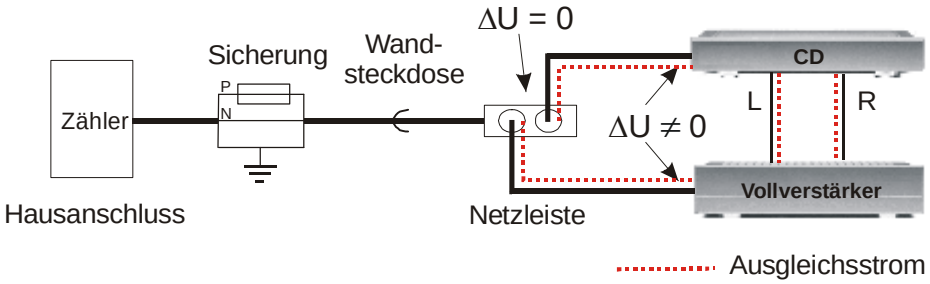


Abbildung 2: Entstehung von Differenzspannungen in den letzten 1,5m

Der CD-Player nimmt eine geringe Leistung auf und dies auch konstant, unabhängig von der gehörten Musik. Die daraus resultierenden Spannungsabfälle am ohmschen und induktiven Widerstand der Netzleitung, den Kontaktübergangswiderständen des Schukosteckers und des Kaltgerätesteckers sind typischerweise eher gering, sofern wir hier nur die durch die Stromaufnahme bedingten Spannungsabfälle betrachten.

Der Vollverstärker jedoch nimmt deutlich höhere Leistung auf und dies auch noch in unmittelbarer Abhängigkeit zu der gehörten Musik und der Lautstärke. Der Spannungsabfall (Spitzenspannung) auf seinem Anschlusskabel mit allen Übergangswiderständen ist deutlich höher und ständig schwankend.

../3

Es entsteht auf diese Art eine Spannungsdifferenz zwischen den beiden Komponenten, die sich über die Signalleitungsverbindungen auszugleichen versucht und eine Störung des Nutzsignales hinterlässt – **die Differenzspannungsstörung.**

Man mag dazu neigen, dass das Problem aufgrund der mäßigen, mittleren Leistungsaufnahme bezogen auf den typischen Netzleitungsquerschnitt und unter Nichtbeachtung der Übergangswiderstände eigentlich nicht groß sein kann. Falsch!

Leider ist es so, dass bei der Umwandlung der 230V 50Hz Wechselspannung über einen Transformator mit Gleichrichter und Lade-Kondensator in die notwendige Gleichspannung zur Versorgung der Verstärkerelektronik sehr kräftige Stromimpulse entstehen.

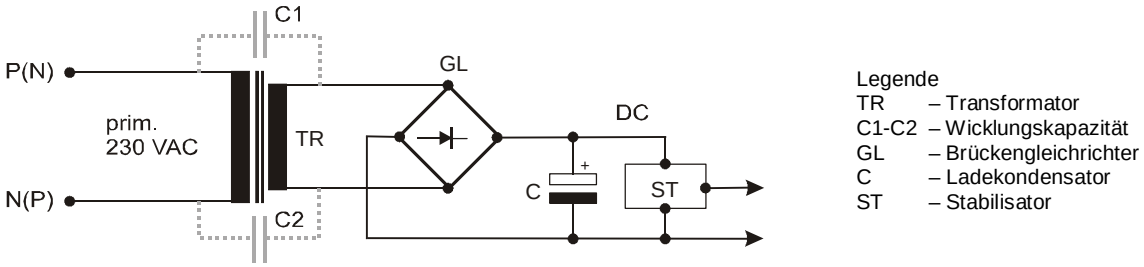


Abbildung 3: Typische Gleichrichterschaltung

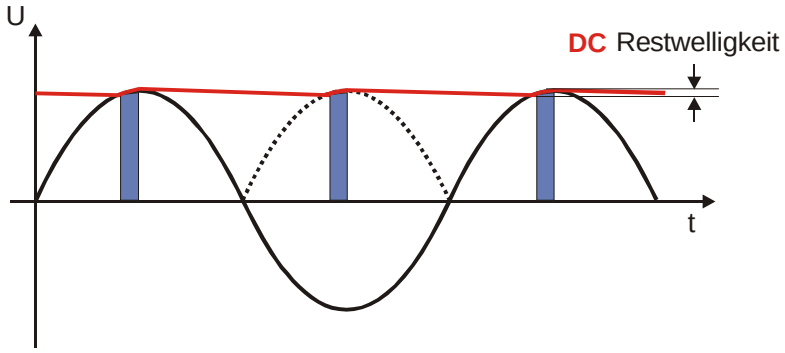


Abbildung 4: Entstehen von Stromimpulsen durch Wechselspannungs-/Gleichspannungsumformung

Wie die Abbildungen zeigen, leitet der Gleichrichter nur während eines kurzen Zeitfensters pro Halbwelle der Wechselspannung um den Ladekondensator nachzuladen. Wählt der Konstrukteur eine besonders geringe Restwelligkeit der Gleichspannung als Ziel, muss er den Ladekondensator vergrößern. Dies führt zu immer kürzeren Ladestromimpulsen, die in kürzerer Zeit die gleiche Ladungsmenge befördern müssen, d.h. die Impulshöhe wird immer größer. Der nur während dieses kurzen Impulses stromliefernde Transformator (vereinfachte Darstellung) entnimmt einen entsprechend seinem Wicklungsverhältnis reduzierten Stromimpuls aus der 230V Netzleitung. Dieser erreicht aber dort noch Werte, die leicht den 10-20fachen Nennstromwert übersteigen. Ein recht normaler z.B. 100W Verstärker erzeugt also Stromspitzen von bis zu 10A und dies periodisch mit 100Hz.

Nimmt man diesen Wert und die Tatsache, dass es sich bei diesen Impulsen um ein sehr oberwellenreiches Signal handelt, wird klar, dass die ohmschen und speziell induktiven Widerstände der Netzleitung und auch die Übergangswiderstände der Schuko- und Kaltgerätestecker eine entscheidende Rolle spielen. An ihnen baut sich ein Spannungsabfall auf

../4

proportional zum Widerstandswert, dem Augenblickswert des Stromes und seines impulsbedingten, hohen Frequenzinhaltes (die Größe erreicht leicht den Bereich mehrerer Volt).

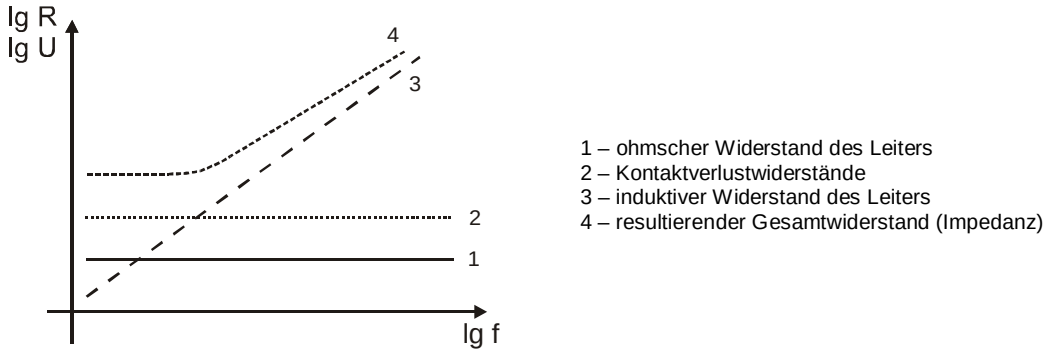


Abbildung 5: Frequenzabhängigkeit der Impedanz einer Netzleitung und ihrer Spannungsabfälle

Der induktive Widerstand wurde und wird meist noch unzureichend beachtet. Dies ist jedoch angesichts des impulshaften Stromflusses ein eindeutiger Fehler. Es nutzt wenig, die Querschnitte der Kabel auf Daumendicke zu vergrößern, wenn nicht gleichzeitig die Induktivität drastisch reduziert wird.

Die Störung durch Differenzspannungen ist in jeder Anlagenzusammenstellung zu erwarten und unabhängig vom Einsatzort, weil selbst erzeugt. Dies erklärt, warum Netzkabel (die letzten eineinhalb Meter) selbst unter sauberen Netzbedingungen und geringem Elektro-Smog noch deutlich Verbesserungen erwarten lassen.

Folgt man der bis hierher gegebenen Erklärung, muss man zu dem Schluss kommen, dass dies speziell auf die Hochstrom-Verbraucher wie Vollverstärker und Endstufen zutrifft. In der Praxis zeigt sich aber, dass digital arbeitende Geräte wie z.B. CD/DVD-Player und alle Videokomponenten ebenso wichtig sind. Die internen Arbeitsfrequenzen dieser Geräte liegen im hohen MHz-Bereich. Natürlich versucht, trotz bester Schirmung, ein Teil dieser Frequenzen das betreffende Gerät über die Transformator-Wicklungskapazitäten (C1-C2, Abb. 3) und das Netzkabel nicht nur gegen Erde fließend, zu verlassen. Hat das Netzkabel eine hohe Induktivität, entsteht unabhängig davon ob geschirmt oder nicht, ein hoher Spannungsabfall dieses Frequenzinhaltes. Diese hochfrequente Differenzspannung sucht Ausgleich ebenfalls über die Signalverbindungen fließend und kann zu sehr intensiven Störungen Anlass geben.

In einer HiFi- oder Heimkinokette sind also alle Endstufen sowie digital oder im Video- und Hf-Bereich arbeitenden Geräte mit einem hochwertigen Netzkabel mit Vorteil zu betreiben. Rein analoge Komponenten wie Vorverstärker, Tapedecks etc. sind unkritischer.

Die Netzkabel sollten möglichst niederinduktiv und von höherem Querschnitt sein. 3qmm bei L <= 150nH/m ist eine gute Empfehlung. Eine Schirmung ist nicht zwingend erforderlich, denn eine niederinduktive Leitung besitzt gleichzeitig auch eine niedrige Streuinduktivität. Wo wenig herausstreut, streut auch wenig ein.

Natürlich sollten die Netzkabellängen so kurz wie möglich und die Kontaktqualitäten zur Erzielung niedriger Übergangswiderstände so hochwertig wie möglich gehalten werden (siehe Abschnitt Schuko-Stecker und -Dosen).

Es ist weiterhin besonders wichtig, dass alle Komponenten einer Anlage aus möglichst nur einer hochwertigen Steckdosenleiste betrieben werden, möglichst mit integrierten,

../5

komponentenspezifisch getrennten Filtern gegen die hier nicht angesprochenen, hochfrequenten Störungen aus dem Netz.

Wo dies nicht ohne Schwierigkeiten oder Kabelsalat im Wohnzimmer möglich ist (z.B: bei Anschluss aktiver Lautsprecher, aktiver Subwoofer oder Projektoren), lässt sich die Entstehung hoher Differenzspannungen wegen der Benutzung unterschiedlicher Steckdosen im Raum nicht verhindern. Kann man die Ursache schädlicher Ausgleichsströme nicht vermeiden, lässt sich deren Auswirkung auf Ton und Bild noch mit anderen Mitteln unterdrücken.

HMS hält ein breites Programm hochwirksamer Filter für alle Einsatzbereiche von Video-, Digital- bis Audio-Filtern bereit (Silenzio SAT bis Silenzio Audio-Mantelstromfilter, siehe auch „Konsequent gegen Brumm- und Interferenzstörungen – die HMS Silenzio-Mantelstromfilterserie). Dies gilt auch für SAT-TV und FM/TV über Kabelanschluss wo Ausgleichsströme (Brummschleifen) wegen der 2ten Masse (Erde) über die Antenne praktisch unvermeidlich sind.

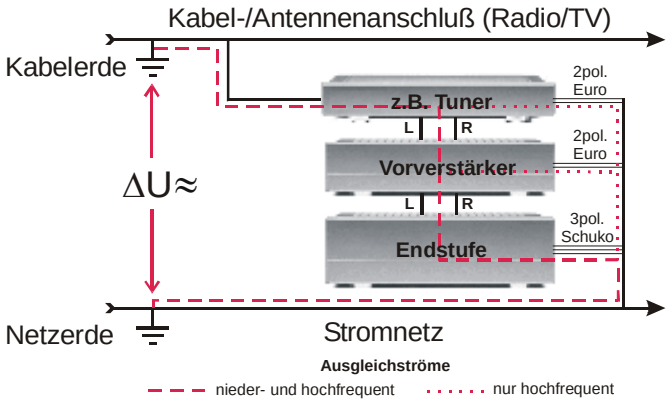


Abbildung 6: Entstehung einer Brummschleife bei Kabelanschluss

Dennoch gilt: kann man ein Problem vermeiden, ist dies meist effizienter, sprich kostengünstiger als die Bekämpfung seiner Auswirkung.

Das Entwicklungsziel für eine hohe Netzleitungsqualität muss also sein:

- Möglichst **kleine ohmsche Widerstände** in Abstimmung mit dazu
- **passendem**, **niedrigem induktiven Widerstand**, sowie
- **vernachlässigbare Übergangswiderstände der Steckverbinder** (vernachlässigbar, damit ihre oft nichtlineare Wirkung ohne Einfluß bleibt).

Wir haben dieses Entwicklungsziel bei unserer Energia SL und insbesondere Gran Finale SL im Verbund mit weichverkupferten und vergoldeten Schuko- und IEC Heiß/Kaltgeräte-Steckern/Buchsen in den Vordergrund gestellt. Uns war gleichzeitig noch wichtig, dass die Produkte nicht zu der Klasse der monströsen Kabel zählen, die jeden Steckverbinder kurzfristig ruinieren und/oder die Komponenten sogar „vom Tisch ziehen“. Dafür hätte HMS wohl auch keine VDE-Zertifizierung erhalten.

Im Folgenden einige Messergebnisse zur Verdeutlichung im Vergleich.

../6

Netzleitungen

(Alle Messwerte beziehen sich auf die Hin- und Rückleitung einer 1m langen Leitung.)

Standard Stegleitung 1,5 qmm Volldraht für feste Verlegung nach VDE

R_{ohmsch} = 24 mΩ/m; L = 1,03µH/m → R_{ind} = 65 mΩ/m (10 KHz)

Standard Rundleitung 1,5 qmm Volldraht für feste Verlegung nach VDE

R_{ohmsch} = 24 mΩ/m; L = 0,638µH/m → R_{ind} = 40,07 mΩ/m (10 KHz)

Standard Rundleitung 2,5 qmm Volldraht für feste Verlegung nach VDE

R_{ohmsch} = 14,4 mΩ/m; L = 0,61µH/m → R_{ind} = 38,3 mΩ/m (10 KHz)

(Auch querschnittstärkere 3pol. Leitungen haben keinen signifikant niedrigeren induktiven Widerstand)

HMS Energia SL 3,0 qmm Litzenleitung für mobilen Einsatz (VDE zertifiziert)

R_{ohmsch} = 12 mΩ/m; L = 0,123µH/m → R_{ind} = 7,7 mΩ/m (10 KHz)

HMS Gran Finale SL 6,0 qmm Litzenleitung für mobilen Einsatz

R_{ohmsch} = 6 mΩ/m; L = 0,075µH/m → R_{ind} = 4,7 mΩ/m (10 KHz)

Die Messergebnisse sind sicher sehr interessant. Zunächst bestätigen sie, dass die Strecken ab Verteilerleiste zu den Komponenten wohl die kritischeren sind wegen der Differenzspannungen, denn eine 1,5 qmm Hausverkabelung von z.B. 20 m hat einen dominanten ohmschen und induktiven Widerstand (R_{ohmsch} = 480 mΩ; $R_{ind.}$ = 800 mΩ). Wäre dies nicht so, könnte der Kabelwechsel an der Anlage nur schwerlich so deutlich hörbar werden.

Es ist klar zu sehen, dass eine Querschnittsvergrößerung zwar den ohmschen Widerstand linear reduziert, nicht aber den induktiven. Leider ist dies bei allen 3pol. (Phase, Null, Erde) Leitungen so, gleichgültig ob Volldraht oder Litze, da sich die Induktivität proportional zum Quotienten A/d d.h. Abstand zu Durchmesser der Leitung definiert. Ein wirklich niederinduktives Kabel hat einen völlig anderen Aufbau. Energia SL ist neunpolig, Gran Finale SL 17polig. Derartige Konstruktionen sind zwar für den mobilen Betrieb, also als Netzanschlusskabel VDE zertifizierbar, nicht aber für die feste Verlegung in der Wand (hierzu mehr in Abschnitt Haus Netzverkabelung).

Wegen der auch wichtigen Kontaktübergangswiderstände hier einige Messwerte.

Schuko-Stecker und -Dosen

(Alle Messwerte beziehen sich auf beide Kontakte für Hin- und Rückleitung.)

1. Standard Wandsteckdose ca. 10 Jahre in Gebrauch und Standard Schukostecker gebraucht. Kontakte in beiden Fällen vernickelt.

   R_{ohmsch} = instabil zwischen 30 bis über 100 mΩ

../7

2. **HMS Schuko-Wandsteckdose** mit Standard Schukostecker, neu

   R_{ohmsch} = 1,7 mΩ stabil, auch nach mehrfachem Stecken konstant

3. **HMS Schuko-Wandsteckdose** mit verkupfert/vergoldeten **Popp/HMS Schukostecker**

   R_{ohmsch} = **0,5 mΩ** stabil

Das Ergebnis spricht für sich. Eine Schnellmontage-Wandsteckdose (schraublos, Anschlüsse werden nur durch Federdruck kontaktiert) wie sie seit den 70er Jahren fast ausnahmslos montiert werden, sollte sich niemand mehr erlauben.

HiFi und Records schrieb hierzu: „Soviel Klanggewinn für sowenig Geld wie im Fall der HMS Steckdose gibt es selten. Ein absolutes Muss...“

Und am anderen Kabelende...

Kaltgeräte Stecker und Buchsen

(Alle Messwerte beziehen sich auf beide Kontakte für Hin- und Rückleitung.)

1. IEC Buchse (Messing) gebraucht an neuem IEC Einbaustecker (Messing, vernickelt)
   R_{ohmsch} = instabil zwischen 25 bis 60 mΩ
2. IEC Buchse HMS verkupfert und vergoldet an neuem IEC Einbaustecker (Messing vernickelt)

   R_{ohmsch} = **1,7 mΩ** stabil

Wie kann ein derart durchschlagend verbessertes Ergebnis erzielt werden? Hierzu vorab ein paar Erläuterungen zum Thema:

Kontakte und Kontaktwerkstoffe

Studiert man die Datenblätter industriell gefertigter Kontakte, Relais, Schütze etc. fällt auf, dass auch in den größten Leistungsklassen (Motorschütze) Übergangswiderstände zwischen 2 bis 10 mΩ, bei Kleinleistungsrelais ca. 5 – 15 mΩ zu finden sind. Diese beachtlich hohen Werte sind keinesfalls durch die Leitereigenschaften der Kontaktoberflächenvergütungen zu erklären.

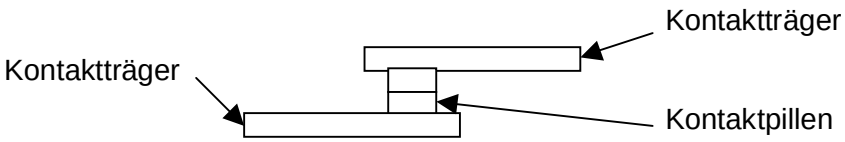
Deren Auswahl erfolgt im Wesentlichen nach den Arbeitsbedingungen des Kontaktes, wie DC oder AC und Höhe der Spannung sowie Strom und ob induktive/kapazitive Lasten bei voller Belastung geschaltet werden müssen, Stichwort Abbrand und Funkenlöschung. (Für Kleinsignal AC u. DC – AgAu; für hohe Schaltleistung und AC--$AgSnO_2$; AgCdO; AgNi u.a.)

Keines der je nach Anwendung verwendeten Elementen/Legierungen ist ein so schlechter Leiter, dass eine wenige µ starke Oberflächenschicht zu solchen Übergangswiderständen führen könnte. So ist z.B. Kupfer nur ca. 6 % schlechter als der beste Leiter, Silber. Gold nur ca. 30 % schlechter (je nach Legierung). Kontaktmessing oder Bronze sind Kupferlegierungen. Ihre Leitfähigkeiten stehen angesichts der großen Querschnitte, z. B. Schuko P u. N Pinne, außer Frage. Reinstkupfer massiv oder andere Diskussionen wären unsinnig, weil zu weich und nicht maschinell verarbeitbar und ohne weiteren Vorteil.

Die Gründe sind andere:

Nehmen wir eine typ. Kontaktkonstruktion:

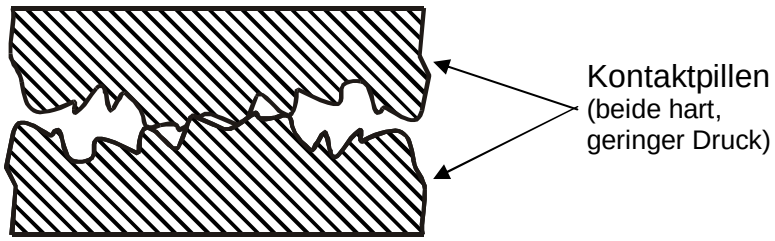
../8



Zwei kreisrunde Pillen sind fest mit ihrem wesentlich stärkeren Kontaktträger vernietet oder verschweißt. Nehmen wir an, alle Teile seien Kupfer und die Kontaktträger wesentlich querschnittsstärker als die Kontaktpillen. Nehmen wir des Weiteren an, die Pillen haben nur einen Querschnitt von 1,5 qmm und je 1 mm Höhe, dann müsste sich ein Übergangswiderstand von R_{eu} = 12 mΩ/m → 24 µΩ messen lassen. Tatsächlich aber messen wir Werte die 100- bis 1.000-mal höher liegen.

Wie kommt das zustande?

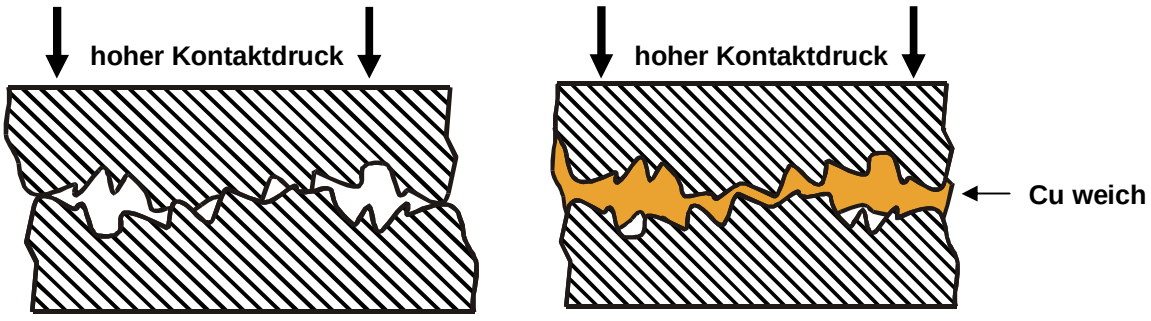
Würde man sich den Querschnitt der Kontaktflächen hoch vergrößert anschauen können, würde man eine „Alpenlandschaft“ übereinanderliegend zu Gesicht bekommen (Oberflächenrauhigkeit).



Es haben auf der gesamten Kontaktfläche nur wenige Bergspitzen Kontakt miteinander, d. h. der tatsächlich leitende Querschnitt reduziert sich im Kontaktbereich dramatisch. Die Verhältnisse sind noch wesentlich größer als die oben genannten 100 bis 1.000 vermuten lassen, da die eigentliche Kontaktzone ja nicht 2 mm hoch ist, sondern nur wenige µm. Das heißt der weitaus überwiegende Teil der Kontaktfläche liefert gar keinen Kontakt und ist mit Luft oder Oxidationsprodukten gefüllt.

Was ist zu tun? Zwei Dinge liegen spontan nahe:

1. Wir erhöhen den Druck der Kontaktstücke aufeinander. Das wird die Spitze verformen und zu größeren Kontaktflächen führen (bei großer Härte der Kontaktmaterialien nicht sonderlich wirksam).
2. Wir nehmen einen der beiden Kontaktpillen mit einer besonders weichen metallischen Beschichtung. Die harten Spitzen des anderen Kontaktes werden die weiche Beschichtung fließend verformen, sodass auch die Täler zwischen den Kontakten mit leitendem Metall aufgefüllt werden und an der Leitfähigkeit des Kontaktes teilhaben.



Kontaktpillen beide hart

Kontaktpillen einseitig weich

Genau so haben wir es gemacht.

Unsere HMS Schukosteckdose liefert mit doppelter Federung und langen, ermüdungsarmen Federn den hohen Kontaktdruck. Der HMS Schukostecker ist 20 µ **weichverkupfert** und nur zum Schutz gegen Korrosion 1 µ **weichvergoldet**. Kupfer wie auch Gold sind in reiner Form galvanisch abgeschieden mit den duktilsten metallischen Elementen. Der recht dicke Auftrag weichen Kupfers ist also der Schlüssel zum Erfolg.

Bei der IEC Kaltgerätebuchse haben wir die Kontaktfedern entsprechend gleichartig in der Oberfläche behandelt, sodass auf den mühseligen Umbau der IEC Einbaustecker verzichtet werden kann. Denn wie gesagt, es reicht, wenn ein Kontaktpartner eine weiche Oberfläche präsentiert.

Noch ein paar allgemeine Bemerkungen zu Kontakten.

Wie auch die Messungen schon zeigten, ergaben sich teilweise sehr instabile Werte bei älteren Kontakten. Dies benötigt sicher keine weitere Erklärung. Kontakte haben ganz allgemein eine selbstreinigende Wirkung durch die schleifende Bewegung der Kontaktflächen bei Bedienung. Wir haben häufiger Ärger mit heute zur Reparatur kommenden Messgeräten im fortgeschrittenen Alter. Ursache ist immer, dass die Schalter über Jahre nicht benutzt wurden und langsam vor sich hin oxidieren konnten. Silberkontakte zeigen hier eine erhöhte Anfälligkeit. Reinigungssprays helfen nur kurzfristig und verschlimmern den Fehler meist nach kurzer Zeit, da man sie nach der Reinigung nicht vollständig entfernen kann. Besser ist eine mechanische Reinigung durch häufige Benutzung. Dies gilt sicher auch für viele Kontakte im Hifi-/Heimkino-Bereich. Korrosionshemmende Sprays sind empfehlenswert, sofern sie bei neuen/sauberen Kontakten zum Einsatz kommen.

Abschließend noch eine Empfehlung zur

Haus Netzverkabelung

Zunächst ist es ohne jede Diskussion besser, eine nur für die Hifi/Heimkino Anlage benutzte Leitung zur Verfügung zu haben, um sich von Störeinflüssen anderer Verbraucher weitestgehend frei zu machen. Der Hauptanschluss ist die niederimpedanteste Zapfstelle, so dass Störungen weiterer angeschlossener Steigleitungen hier nahezu einen Kurzschluss erfahren.

Nun haben wir einige Male gehört, dass Kunden sich etwas besonders Gutes tun wollten und einen 3 Phasen Anschluss legen ließen. Eine Phase für den CD-Player, eine für die Vorstufe und die dritte für die Endstufe. Dies ist die unglücklichste Lösung. Nicht nur weil die Augenblickswerte der Spannungen sowie Störungen auf den 3 Phasen garantiert unterschiedlich sind, sondern jetzt die lange Leitung bis zum Zähler mit in die differenzspannungsbildende Leitungslänge eingeht. Dies gilt auch für hochfrequente Einkopplungen.

Also nur 1ne Phase zu einer Steckdose. Der Elektriker kann leicht die am wenigsten belastete wählen, - dies sind meist die Schlafzimmeranschlüsse.

Zur Frage der Leitung: wie die Messergebnisse zeigen, ist es nicht nur eine Frage des Querschnittes. Die Induktivität spielt keine untergeordnete Rolle, wenngleich auch nicht gleichermaßen wichtige Rolle wie im Fall der letzten 1,5m (Gleichtakt-/Differenzstörung).

Da es keine VDE gemäße, niederinduktive Leitung für feste Verlegung gibt, unsere Energia SL dürfen wir nicht empfehlen, weil die vielpoligen Litzenleitungen nur für mobilen Einsatz zulässig sind, empfehlen wir folgende Lösung:

../10

Nehmen Sie so viele Standard 1,5 qmm Volldraht-Rundleitungen parallel wie Sie sie durch die vorhandenen Leerrohre bekommen. Lassen Sie diese vom Elektriker im Zählerkasten gemeinsam, also alle blauen Drähte auf Null, alle braunen auf eine Phase und alle gelb/grünen auf Erde auflegen.

Der Vorteil dieser Lösung:

Das Material ist VDE-gemäß, preiswert, leicht beschaffbar und, weil nicht so störrisch wie große Querschnitte, auch leicht verlegbar. Es wird kein übertriebenes Stirnrunzeln des Elektrikers verursachen. Technischer Vorteil – neben dem großen erreichbaren Summen-Querschnitt reduziert sich die Induktivität bei 2 Leitungen auf etwas weniger als die Hälfte, bei 4 Leitungen auf weniger als ein Viertel (durch das enge Zusammenliegen). Dies kann mit keiner querschnittsgleichen 3adr. Leitung erreicht werden.

Mit geschirmten Leitungen sollte man ebenso verfahren. Der Schirm ist allerdings nur am Verteiler auf Erde zu legen.

Geschirmte Leitungen sind häufig schwer beschaffbar und weil viel steifer, auch schwer verlegbar. Die niedrigere Induktivität der ungeschirmten Mehrfachleitung macht einen Schirm allerdings auch nahezu überflüssig, denn niedrige Induktivität heißt ja niedrige Streuinduktivität. Und wie gesagt: wo wenig rausstreut, streut auch wenig rein. Wir haben sehr gute Erfahrungen mit ungeschirmten Leitungen 3 und 4 x 1,5 qmm.

Und auch die Sicherung sollte ihr Elektriker wechseln, wie die Messergebnisse belegen.

Messergebnisse zu Sicherungen

16 Amp. Netzautomat gebraucht

R_{ohmsch} _ 20 mΩ instabil, nach mehrfachem Schalten abfallend auf R _ 10 mΩ; recht stabil. Induktivität L = 0,8µH ≈ R_{ind} = 50,2 mΩ (10 KHz)

16 Amp. Schmelzsicherung, träge

R_{ohmsch} = 6,5 mΩ kalt (kleiner Strom) L = 0,05 µH, vernachlässigbar klein

10 mΩ warm (größerer Strom)

Die 16 Amp. träge Schraubsicherung ist dem 16 Amp. Automaten gegenüber klar überlegen. Es entfällt der induktive Widerstand praktisch vollständig, da dieser Sicherungstyp nicht über eine Magnetspule, sondern über einen Schmelzdraht auslöst. Eine 25 Amp. Version hätte einen noch niedrigeren Widerstand des Schmelzdrahtes, ist aber wegen des auf 16 Amp. maximaler Strombelastung begrenzend Zulassung des Schukosystems nicht VDE-gemäß.

Wichtig ist die Konstanz des Widerstandes auf niedrigem Niveau. Die wird durch den hohen Kontaktdruck einer Schraubsicherung am besten und langfristigsten garantiert. Sicherungen mit Federdruckkontakten, in letzter Zeit auch in versilberter Ausführung erhältlich, haben langfristig ein höheres oxidationsbedingtes Problem wie schon die schraubenlose Schnellmontage-Schukodose.

Und wer putzt schon regelmäßig seine Sicherungen?

Hans M. Strassner

HMS-Elektronik
Hans M. Strassner GmbH