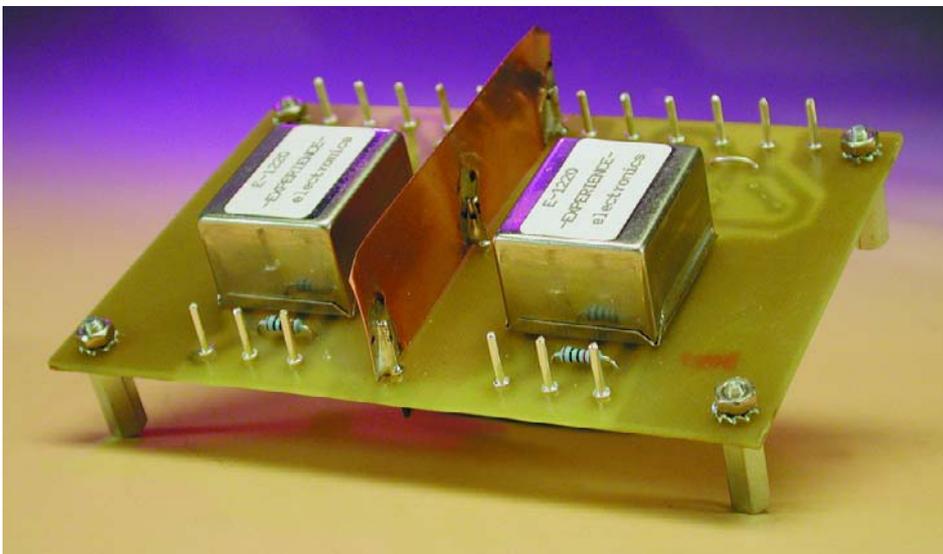


Übertrager gegen Brummprobleme

Galvanische Trennung gegen Brummschleifen

Von Gerhard Haas

Wer analoge Musikaufnahmen mit Hilfe des PCs auf CD brennen möchte, bekommt es oft mit Brumm-Problemen zu tun. Mit den hier vorgestellten Hilfsmitteln wird gezeigt, wie sich dieses Problem auf elegante Weise beheben lässt.



Eine analoge HiFi-Anlage und der PC werden üblicherweise mit Cinch-Kabeln verbunden. Über die Abschirmung sind die Massen aller Geräte miteinander verbunden. Aus Sicherheitsgründen und wegen der EMV muss der PC am Schutzleiter angeschlossen sein. Das Frequenzgemisch, das im PC durch Schaltnetzteil, Prozessortaktfrequenz, Takt des Front-Side-Bus und vieles mehr entsteht, darf nicht das Stromnetz oder die Umgebung verseuchen.

Die analoge HiFi-Anlage kommt in der Regel auch nicht ohne eine Verbindung zum Schutz-

leiter aus, vor allem, wenn Röhrenverstärker eingesetzt werden, die aufgrund der hohen inneren Betriebsspannung geerdet sein müssen. Aber auch der Schallplattenspieler und der Tuner (Antenne) kommen mit dem Schutzleiter in Kontakt.

Bild 1 zeigt, wie die diversen Geräte über die Schuko-Kabel miteinander in Verbindung stehen. Wenn nun noch die Masseverbindung über die NF-Kabel hinzukommen, ist eine Brummschleife perfekt, eine Ringverbin-

dung, die sich wie eine kurzgeschlossene Trafowicklung auswirkt. Die überall unvermeidlichen elektromagnetischen Felder, die durch die stromdurchflossene Elektroinstallation entstehen, wird in dieser Schleife eine Spannung mit der Netzfrequenz induziert. Kommt noch der Tuner hinzu, entsteht eine weitere Brummschleife über den Kabelanschluss beziehungsweise die wegen des Blitzschutzes unbedingt notwendige Erdung der Antenne. Durch die prinzipiell sehr lange Erdschleife über NF-Kabel, Antenne beziehungsweise BK-Anschluss, Antennenleitung, Netzanschlusskabel über Schutzkontakt und dem Haussicherungskasten ist ein hartnäckiger 50-Hz-Brumm unvermeidbar.

Trennen statt Brummen!

Brummschleifen sollte man meiden wie der Teufel das Weihwasser. Dazu gibt es mehrere Möglichkeiten.

– Man verwendet ausschließlich Geräte, die in Schutzklasse II ausgeführt sind. Das bedeutet, dass der Schutzleiter entfällt, da die Geräte intern zur Netzspannung doppelt isoliert und entsprechend

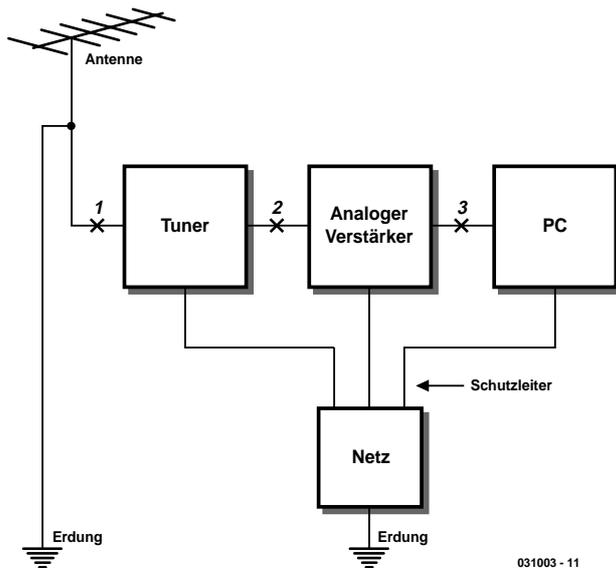


Bild 1. Schutzleiter, Erdung und Signalmasse sorgen für Brummschleifen

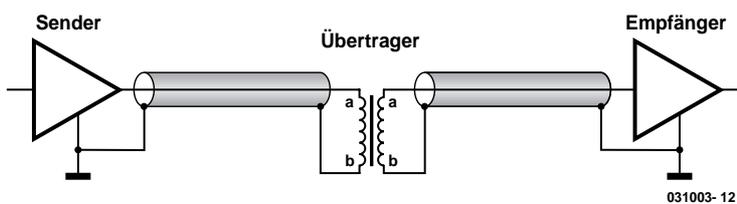


Bild 2. Galvanische Trennung einer Signalleitung durch einen Übertrager.

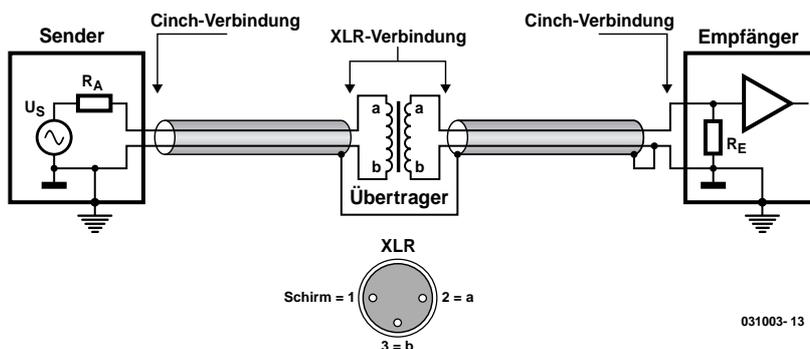


Bild 3. Symmetrischer Anschluss des Übertragers

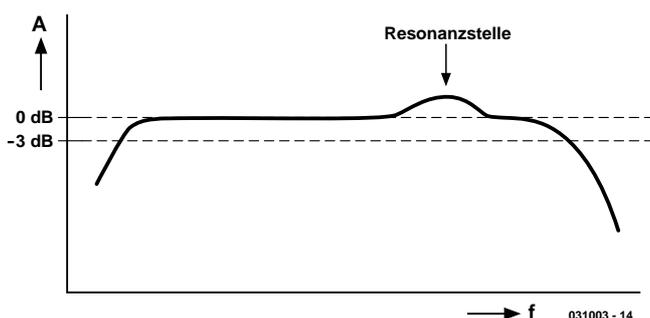


Bild 4. Typischer Frequenzgang eines Übertragers.

spannungsfest sind. Beim PC ist dies aber nicht möglich, und auch die Antenne bleibt ja weiterhin mit der Erde verbunden (o.k., man könnte jedes Mal den Antennenstecker ziehen, aber dies ist unter Umständen umständlich und man kann keine Radiosendungen per Harddisk-Rekording auf CD brennen).

- Eine unschöne Methode ist es, den Schutzleiter an den betroffenen Geräten abzuklemmen. Dies ist nicht nur unschön, sondern lebensgefährlich, denn bei einem Fehler steht die gesamte Audiokette „unter Strom“.
- Brummschleifen lassen sich vermeiden, wenn man optische Verbindungen verwendet. Allerdings setzt dies einen optischen Eingang am PC voraus, und die Qualität der Signalübertragung (aufgrund von unzureichenden PC-Karten und Software ohnehin nicht überragend) wird noch schlechter.

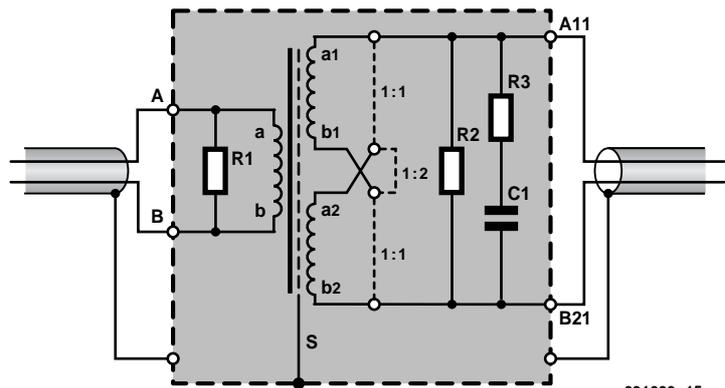
Es gibt aber eine einfache und wirksame Abhilfe. Man kann an den Punkten 1, 2 und 3 (Bild 1) Trennübertrager setzen. Die Übertrager lassen das Nutzsignal ungehindert durch, unterbrechen jedoch die Erdschleifen, so dass alle Gerätemassen nur über den Schutzleiter verbunden sind. Der Tuner lässt sich am leichtesten von der Antenne entkoppeln, indem ein HF-Masse-Entkoppler, auch Mantelstromfilter genannt, zwischen Antenneneingang des Tuners und Antennenkabel gesteckt wird. Der kleine HF-Übertrager im Filter lässt Frequenzen zwischen ungefähr 2 MHz und 870 MHz mit einer vernachlässigbarer Einfügedämpfung von etwa 1 dB durch. Dieser Masse-Entkoppler darf jedoch nicht zwischen (wegen Blitzschutz zwingend geerdeter) SAT-Schüssel und Tuner eingeschleift werden, denn der LAN wird über das Kabel mit Gleichstrom gespeist und geschaltet! Wird hier galvanisch getrennt, geht nichts mehr.

Im NF-Bereich innerhalb der analogen Anlage und zum PC müssen NF-Übertrager für die nötige galvanische Trennung sorgen. Die korrekte Verkabelung ist sehr wichtig für vollen Erfolg. In der Regel sind Cinch-Verbindungen wie in **Bild 2** üblich. Dies ist jedoch eine störungsanfällige Billiglösung, über die Abschirmungen sowohl NF-Signale als auch die eingefangenen Störströme fließen. In **Bild 3** ist die bessere Schaltungsart gezeigt. Statt eines einadrig abgeschirmten Kabels verwendet man ein zweiadriges mit gemeinsamer Abschirmung für beide Leiter. Nun fließen die NF-Ströme über eigene abgeschirmte Leitungen. Der Schirm soll nur die Störspannung auffangen und nach Masse ableiten. Am Übertrager verwendet man am

Übertrager E-1220

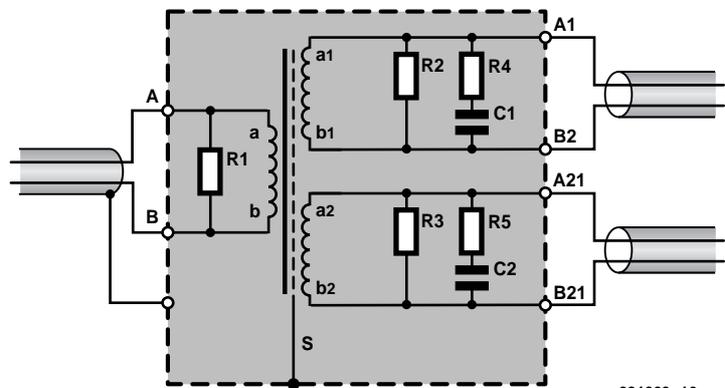
Frequenzgang	< 10Hz...82 kHz±1 dB 12Hz...66kHz±0.2dB
Klirfaktor	<0.001% <0.08% bei 40Hz <0.12% bei 30Hz <0.24% bei 20Hz
Maximalpegel	ca. 2V _{eff} =8dBu

besten dreipolige XLR-Steckverbindungen. Anders als bei HF-Masse-Entkopplern, deren einfacher Aufbau auf Ferritkern mit wenigen Windungen kaum Probleme bereiten, sind bei NF-Übertragern größere Eisenkerne mit relativ hohen Windungszahlen notwendig. Durch Wicklungs- und Schaltkapazitäten sowie Induktivitäten entsteht der in Bild 4 dargestellte typische Frequenzgang. Die untere Grenzfrequenz wird durch die Primärinduktivität des Übertragers und alle beteiligte Kapazitäten bestimmt. Durch die Kapazitäten und die Streuinduktivität des Übertragers ergibt sich ein Reihenschwingkreis, der die obere Grenzfrequenz bestimmt. Im mittleren Frequenzbereich kann eine Streuspitze auftreten, die ebenfalls von der Übertragerinduktivität und den Kapazitäten abhängt. Hier entsteht ein Parallelschwingkreis. Durch die



031003-15

Bild 5. Ein Kompensationsglied zur Frequenzgangkorrektur



031003-16

Bild 6. Im Splitbetrieb werden zwei Empfänger von einem Übertrager angesteuert.

Übersetzungsverhältnis

Oft hört man, dass ein Übertrager zum Beispiel mit den Impedanzen 600 Ω zu 600 Ω benötigt wird. Dies ist aber Aberglauben, denn die absolute Übertragerimpedanz spielt prinzipiell keine Rolle, lediglich das Übersetzungsverhältnis ü.

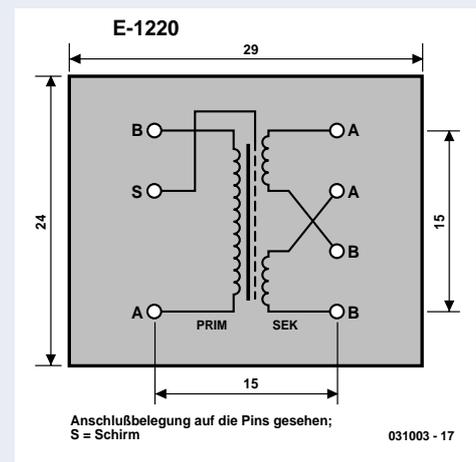
Spannungsübersetzung $ü = U_E / U_A$

Stromübersetzung $ü = I_A / I_E$

Widerstandsübersetzung $ü^2 = R_E / R_A$ (abgeleitet aus den beiden vorigen Formeln)

Die Indizes E und A stehen jeweils für Eingang und Ausgang. Wie man sieht, verhalten sich bei der Übersetzung Ströme und Spannungen umgekehrt proportional. Die Widerstände werden mit dem Quadrat von ü übersetzt. Bei einem Übersetzungsverhältnis von 1:1 ändert sich weder an Spannung, Strom noch Widerstand etwas, es wird lediglich eine galvanische Trennung erreicht. Wenn beispielsweise am Eingang eine Quelle mit 2 kΩ Ausgangswiderstand angeschlossen wird, erscheinen auf der Sekundärseite diese 2 kΩ. Hat das folgende Gerät einen Eingangswiderstand von 50 kΩ, wird der Ausgang genau damit belastet. Ob ein Übertrager dazwischen ist oder nicht, ändert prinzipiell nichts.

Wird der Übertrager jedoch 1:2 geschaltet, erscheint die Eingangsspannung in doppelter Höhe am Ausgang. Die Ströme sind bei dieser Anwendung ohne Bedeutung, weil sie sehr klein sind. Die Widerstände werden in diesem Fall mit $ü^2 = 4$ übersetzt. Hier werden aus 2 kΩ nun 8 kΩ und aus 50 kΩ werden 12,5 kΩ. Da der Quellwiderstand nach wie vor 2 kΩ beträgt und dieses Gerät nun statt mit 50 kΩ nur mit 12,5 kΩ belastet wird, ist ein Betrieb immer noch möglich. In der Audiotechnik ist alles auf Spannungsanpassung ausgelegt, also die Last ist wenigstens 5...10 mal größer als die Quelle, denn Quellwiderstand und Lastwiderstand bilden zusammen einen Spannungsteiler. In unserem Beispiel hätten wir mit etwa 1,5 dB Pegelverlust zu rechnen. Ein weiterer geringer Pegelverlust wird noch durch den endlichen Kupferwiderstand der Übertragerwicklungen stattfinden. Er liegt aber so niedrig, dass sein Einfluss nur gering ist. Der gesamte Pegelverlust kann durch den Lautstärksteller leicht ausgeglichen werden.



Anschlußbelegung auf die Pins gesehen; S = Schirm

031003-17

Übertragerbeschaltung mit endlichen Widerständen, die aus dem Ausgangswiderstand des Vorverstärkers und dem Eingangswiderstand des Empfängers (Soundkarte) bestehen, dämpfen diese Resonanzstelle mehr oder weniger stark.

Der richtige Anschluss

In der vollständigen und optimalen Schaltung des NF-Übertragers mit Anschlussbelegung in **Bild 5** wird der Übertrager von der Senderseite mit einem zweiadrig abgeschirmten Kabel gespeist. Der Schirm des Kabels wird nur mit dem abschirmenden Metallgehäuse verbunden, nicht mit der Masse des Senders. Auf der Ausgangsseite nimmt die

Kabalabschirmung sowohl mit dem Gehäuse als auch mit dem Masseanschluss des Empfänger Kontakt auf. Der Schirm ist also nur an einer unkritischen Stelle beim Empfänger aufgelegt und führt keinerlei NF-Signal. Der Übertrager selbst besitzt einen statischen Schirm zwischen Primär- und Sekundärwicklung, der auch an das Metallgehäuse gelegt wird. Damit wird optimale Entkopplung von Störungen erreicht. Bei Übertragern und bei symmetrischen Leitungen in der Studioteknik wird die eine Ader mit a bezeichnet, die andere mit b, damit die Phasenlage definiert ist (die richtige Phasenlage garantiert den höchsten Störabstand). Oft kommt es vor, dass hochwertigere

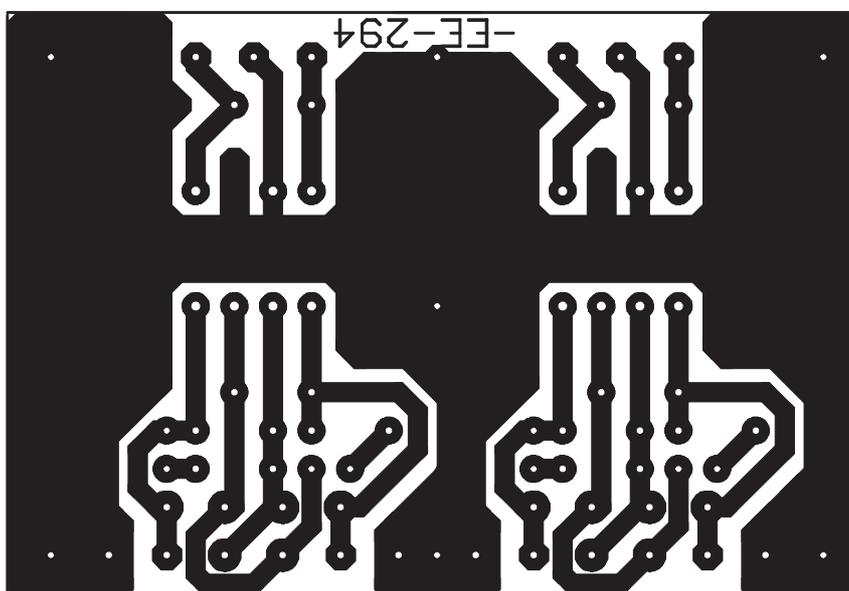
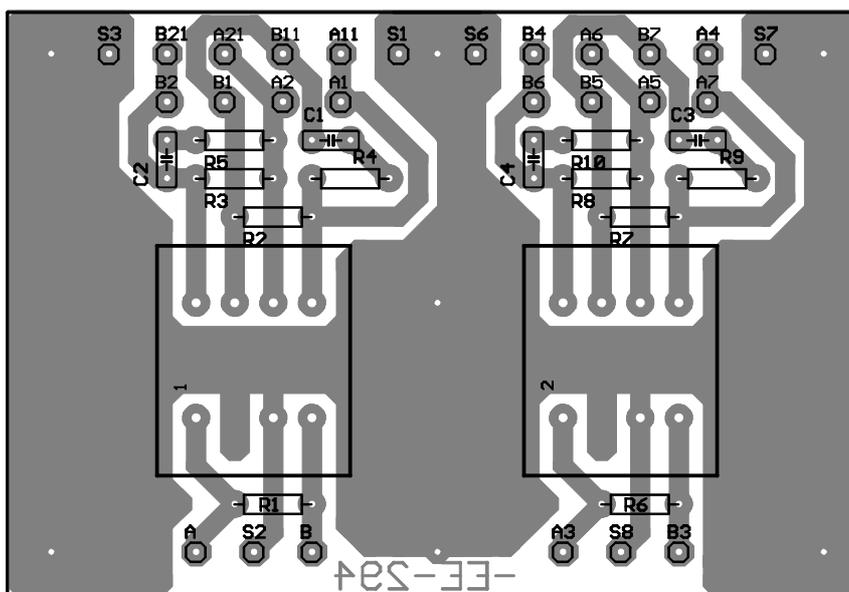
HiFi-Verstärker symmetrische Ausgänge besitzen, die zwar elektronisch symmetriert, aber nicht erdfrei sind. Deshalb wird die Brummschleife nicht durchbrochen. Dennoch sollte man den symmetrischen Ausgang verwenden, um einen Übertrager anzuschließen.

Die Kompensationsbauteile auf der Sekundärseite sind je nach Betriebsart (1:1 oder 1:2) zu bestücken. Soll der Übertrager im Splitbetrieb verwendet werden, sind die Kompensationsbauteile zweimal vorgesehen.

Frequenzgang zurechtrücken

Wenn der Übertrager in eine bestehende Kette eingeschleift wird, ist es sinnvoll, den Frequenzgang zu überprüfen. Meistens kann auf die Beschaltung vollständig verzichtet werden. Ist jedoch beispielsweise der Eingangswiderstand der Empfängerschaltung sehr hoch, kann es zu Welligkeiten (Resonanzstelle) kommen. In der Regel liegt sie außerhalb des Hörbereichs und kann nur durch ungünstige Verhältnisse in den Hörbereich rutschen. Dies kann geschehen, wenn der Übertrager an einer hochohmigen Last (von beispielsweise 500 k Ω) quasi im Leerlauf betrieben wird. Als erste Abhilfe wird der Widerstand R2 eingesetzt. Wenn der Quellwiderstand zum Beispiel 100 Ω beträgt, kann R2 2,2 k Ω haben. Damit hat die Quelle eine 22-fach Last und der Übertrager ist niederohmig abgeschlossen. Wenn dies nicht ausreicht und eine Resonanzspitze feststellbar ist, wird diese mit C1 und R3 kompensiert. Als typische Werte gelten für C1 etwa 22 pF bis 3,3 nF, für R3 4,7...22 k Ω . Für die Widerstände verwendet man am besten Metallschichttypen, als Kondensator ist ein Keramiktyp mit 5 mm Rastermaß geeignet.

In Bild 5 sind noch Brücken an der Sekundärseite des Übertragers eingezeichnet. Der verwendete Übertrager E-1220 besitzt ein Übersetzungsverhältnis von 1:1+1. Durch die Brücken 1:1 werden beide Sekundär-



Stückliste

Download des Platinenlayouts unter www.elektor.de

Übertrager und Leer-Platine sind erhältlich bei

EXPERIENCE electronics

Weststrasse 1

89542 Herbrechtingen

Tel.: 0 73 24 / 53 18

FAX: 0 73 24 / 25 53

E-Mail: experience.electronics@t-online.de

Internet: www.experience-electronics.de

wicklungen parallel geschaltet, so dass der Übertrager 1:1 übersetzt. Wenn eine Pegelanhebung von 6 dB notwendig ist, setzt man die Brücke 1:2.

Man kann die Sekundärwicklungen aber auch einzeln verwenden und zwei verschiedene Empfänger erdfrei ansteuern. Für die Widerstände und Kondensatoren gilt das bereits Gesagte. In **Bild 6** ist gezeigt, wie in diesem Fall beschaltet werden muss. Die Schirme werden nur bei den Empfängern aufgelegt, der Schirm des Senders jedoch am Gehäuse und am Übertragerschirm. Nur so lassen sich Erdschleifen vermeiden.

Platine und Gehäuse

Auf dem Titelfoto sieht man, wie zwei Übertrager auf einer Platine aufgebaut sind. Die große Massefläche dient der Abschirmung und ist mit dem Gehäuse, aber nicht mit den Signalleitungen verbunden. Zwischen den Übertragern sind auf Ober- und Unterseite

der Platine Kupferfolien zur Abschirmung und besserer Kanaltrennung gelötet. Die Übertrager sind in Mu-Metall gekapselt, um elektromagnetische Einstreuungen auf Kern und Spule des Übertragers zu vermeiden. Dieses Material ist relativ teuer, aber an dieser Stelle unbedingt notwendig, um die Übertragungsqualität zu sichern.

Die Platine sollte in ein kleines Aluminiumgehäuse eingebaut werden. Aluminium ist unmagnetisch und vermeidet so magnetische Verzerrungen. Cinch-Buchsen müssen isoliert zum Gehäuse sein, XLR-Verbindungen nicht. Viele fürchten, dass HF-Masse-Entkoppler wie auch die Übertrager den Klang verfälschen könnten. Da der HF-Masse-Entkoppler im HF-Bereich eingesetzt wird, hat er keinerlei Einfluss auf die Qualität des NF-Signals. Dafür ist allein der Tuner zuständig.

Im NF-Bereich gibt es auch keinerlei Qualitätsprobleme, wenn alle hier genannten Hinweise beachtet werden. Einen richtig eingesetzten Übertrager in hoher Qualität hört man nicht, er macht nur seinen Job. Beim NF-Übertrager gibt es im praktischen Betrieb noch einen Aspekt, der nicht unbeachtet bleiben darf. Dies ist die maximale Aussteuerung. Wird der Signalpegel vor allem bei tiefen Frequenzen zu hoch, gerät der Kern in Sättigung und verursacht Verzerrungen, die vorwiegend aus dem Klirranteil k_3 bestehen und kratzig klingen. Deshalb sollte der maximal mögliche Signalpegel nicht überschritten werden.

(031003)rg

Literaturhinweis:

High-End mit Röhren
Elektor Verlag Aachen – ISBN 3-928051-63-6