



# Selbstbau & Sicherheit

## Die Vorschriften

Alle elektronischen Geräte müssen so konstruiert sein, dass sie die Bedingungen der Deutschen Industrie Norm DIN IEC 100 ff erfüllen. Die Vorschriften sollen der Gefahr eines elektrischen Schlages bei bestimmungsgemäßen Gebrauch und im Fehlerfall vorbeugen. Dazu muss die Berührung von Teilen, die spannungsführend sind oder bei einem Fehler spannungsführend werden können, durch den Einsatz von Kapselung oder Abdeckungen oder durch das Anbringen dieser Teile an unzugänglichen Stellen ausgeschlossen werden. Eine Alternative stellt die Beschränkung von Spannungen und Strömen an Teilen, die absichtlich oder zufällig berührt werden können, durch eine Spannungs- und/oder Strombegrenzung oder Erdung dar.

Die Höhe des Stroms, der für den menschlichen Körper gefährlich werden kann, schwankt individuell je nach Art des Anschlusses an den Körper, der Frequenz und der Zeitspanne des Stromflusses. Geräte mit Netzspannungsanschluss werden in drei Schutzklassen eingeteilt.

## - Klasse I

Geräte der Schutzklasse I sind dadurch gekennzeichnet, dass ihre berührbaren leitfähigen Teile, die im Falle des Versagens der Basisisolierung berührgefährlich werden können, mit dem Schutzleiter des Netzes verbunden sind. Ein zusätzlicher Schutz ist dadurch gegeben, dass alle berührbaren leitfähigen Teile durch ein (unter Umständen flexibles) Kabel an den (grün/gelben) Schutzleiter der festgelegten Installation angeschlossen sind. So kann kein Teil beim Ausfall der Basisisolierung spannungsführend werden.

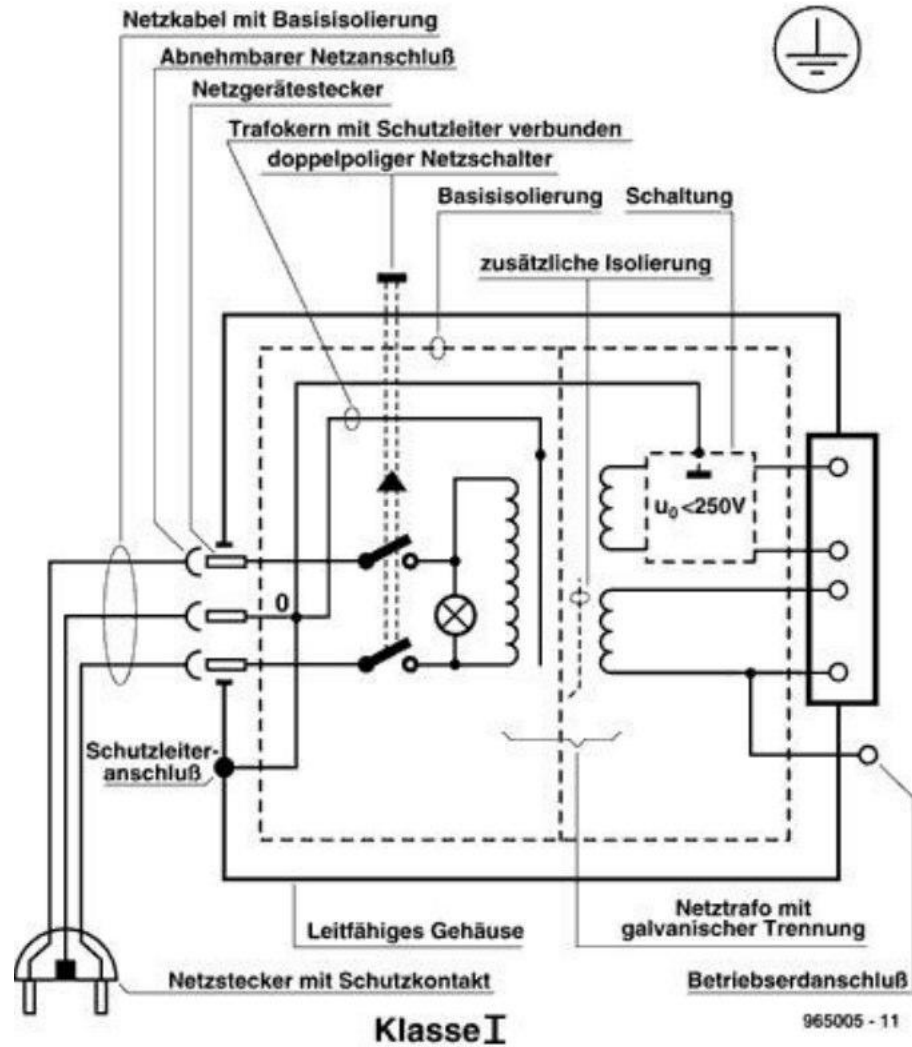
Besitzt das Gerät eine abnehmbare Anschlussleitung, muss auch der Gerätestecker einen voreilenden Schutzkontakt besitzen.

**Der grün/gelbe Schutzleiter darf niemals für eine andere Aufgabe als der des Schutzleiters eingesetzt werden und keinen kleineren Querschnitt als die Versorgungsleiter haben.**

Zusätzlich zu dieser Maßnahme können Geräte der Schutzklasse I Teile mit doppelter oder verstärkter Isolierung enthalten.

Auch Teile, die mit Schutzkleinspannung oder durch Schutzimpedanz geschützt sind (wenn leitfähige Teile berührt werden müssen), sind möglich.

# Selbstbau & Sicherheit



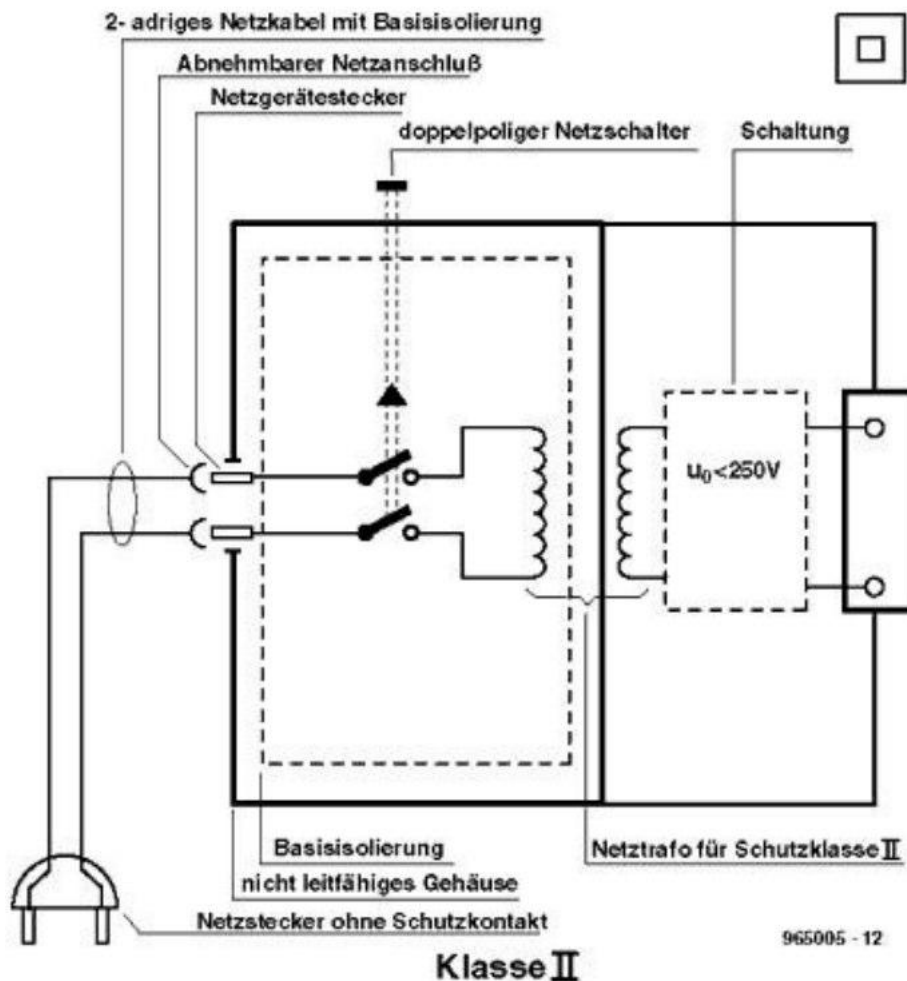
# Selbstbau & Sicherheit

## - Klasse II

Auch bei Geräten der Schutzklasse II, bei denen die Möglichkeit eines Schutzleiteranschlusses fehlt, hängt der Schutz nicht nur von der Basisisolierung ab, sondern auch von zusätzlichen Maßnahmen.

Eine mögliche Maßnahme kann die Verwendung eines im wesentlichen zusammenhängenden Gehäuses aus nichtleitendem Material sein, das alle leitfähigen Teile umfaßt. Berührbare Schilder, Schrauben oder Nieten müssen in gleicher Qualität gegen spannungsführende Teile isoliert sein.

Wird das Gerät dagegen in einem im wesentlichen zusammenhängenden leitfähigen Gehäuse untergebracht, muss beim Netzteil durchweg eine doppelte Isolierung angewendet werden. Eine Ausnahme stellt die verstärkte Isolierung dar, die dann angewandt wird, wenn eine doppelte Isolierung unmöglich ist. Natürlich können auch Kombinationen zwischen isolierenden und leitenden Gehäusen eingesetzt werden, die diese Bedingung erfüllen. Es ist unzulässig, die Zusatzisolation durch nichtleitende Schrauben, Muttern oder Montageteile erreichen zu wollen. Bei einer möglichen Reparatur könnte es durch Vertauschung zur Aufhebung der Zusatzisolation kommen.



# Selbstbau & Sicherheit

## - Klasse III



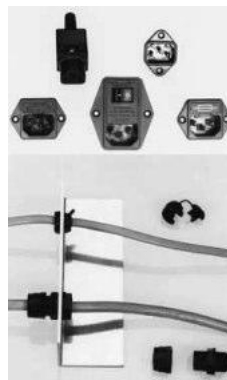
Geräte mit der Schutzklasse III werden ausschließlich aus besonders zuverlässigen Stromquellen mit Schutzkleinspannung gespeist. Orts veränderliche Transformatoren müssen schutzisoliert und gemäß DIN VDE 0551 ausgeführt sein. Aktive Teile, die betriebsmäßig Spannung führen, dürfen nicht mit dem Schutzleiter, der Erde oder mit aktiven Leitern anderer Stromkreise verbunden sein. Stecker an Geräten der Schutzklasse III dürfen keinen Schutzleiteranschluß besitzen und auch nicht in Steckdosen für höhere Spannung passen.

Wenn die Versorgungsspannung unter 25 V Wechselspannung oder unter 60 V Gleichspannung liegt, kann sogar auf jeden Schutz gegen direkte Berührung verzichtet werden. Geräte mit Schutzklasse III, die mit Spannungen bis 50 VAC oder 120 VDC betrieben werden (dies sind die Maximalspannungen für Geräte der Schutzklasse III), müssen mit einem Schutz gegen direktes Berühren versehen sein. Die Netzteile aller drei Schutzklassen müssen zusätzlich zur Basisisolierung mit einer weiteren, den Anforderungen der jeweiligen Schutzklasse entsprechenden Schutzmaßnahme versehen sein.

## Praktische Hinweise

### - Netzdurchführung

In der Praxis betreffen diese Sicherheitsvorschriften vor allem den Umgang mit der 230-V-Netzspannung. Oberstes Gebot sollte es sein, die netzspannungsführenden Teile so kompakt und stabil wie möglich zu halten. Dies kann durch komplette Netzspannungsgerätestecker, wie sie im Foto zu sehen sind, erreicht werden. Diese Stecker sind mit und ohne Schutzleiteranschluß und teilweise mit integrierter Primärsicherung und Netzschalter im Handel. Verzichtet man auf diese Netzspannungsgerätestecker, muss das Netzkabel mit einer wirksamen Zugentlastung ausgestattet sein. Bei Klasse-I-Geräten wird der gelb/grüne Schutzleiter direkt neben der Durchführung leitend mit dem Gehäuse und - wenn möglich - mit dem Trafokern verbunden.





# Selbstbau & Sicherheit

## -Schalter

Bei der Auswahl des Netzschalters ist zunächst auf die nötige Spannungsfestigkeit von 250 V Wechselspannung zu achten. Diese Information findet man üblicherweise auf der Rückseite des Schalters, ebenso wie die Angabe über den maximalen Strom. Der geklammerte Wert bezeichnet den maximalen Strom bei induktiver oder kapazitiver Last.

Schließt man beispielsweise einen Motor als Last an, ist der niedrigere Wert gültig. Die auf den Schaltern angegebene Spannung ist die Schaltspannung und betrifft nicht den Berührungsschutz. Im Bereich des Netzteils sollten nur Bauteile (Netzschalter, Sicherungsschalter etc.) mit VDE-Zeichen verwendet werden, da nur dieses Zeichen die Einhaltung der Kriech- und Luftstrecken nach außen garantiert. Alle Netzschalter müssen zweipolig sein, wenn nicht mindestens eine der drei folgenden Bedingungen gegeben ist:

- 1) Ein einpoliger Netzschalter schaltet einen Netztransformator mit galvanisch getrennter Primär- und Sekundärwicklung.
- 2) Ein Funktionsschalter mit ausreichender Spannungsfestigkeit kann verwendet werden, wenn der Netztrafo getrennte Wicklungen besitzt, zusätzlich die Leistung des Gerätes weniger als 10 W beträgt und deutlich sichtbar angezeigt wird, daß die Netzspannung angeschlossen ist.
- 3) Kein Netzschalter ist notwendig, wenn die Leistungsaufnahme bei normalem Gebrauch nicht über 10 W liegt, wie dies beispielsweise bei Uhren, Antennenverstärkern oder anderen Geräten für den kontinuierlichen Gebrauch der Fall ist. Schmelzsicherungen und Bauteile von Netzentstörfiltern müssen nicht, können und sollten aber, wenn möglich, mit ausgeschaltet werden.

## - Verdrahtung

Die Verdrahtung der netzspannungsführenden Teile erfordert erhöhte Aufmerksamkeit. Das Netzkabel muss einen Querschnitt von mindestens  $2 \cdot 0,75$  mm und eine Isolationsschicht von 0,4mm Stärke aufweisen. Der Schutzleiter darf nicht dünner als die Außenleiter sein. Wenn möglich, sind doppelt isolierte Netzkabel (beispielsweise NYLHY) einfach isolierten (wie NYFAZ) vorzuziehen. Die Adern können - wenn an der Kabeldurchführung entsprechend isolierte Lötstützpunkte vorhanden sind - verlötet, mit AMP-Steckschuhen am Netzstecker angebracht oder an (Platinen-) Lüsterklemmen festgeschraubt werden. Keinesfalls sollte man das Netzkabel direkt auf die Platine löten oder einer mechanischen Spannung aussetzen. Litzenenden, die in einer Lüster- oder Platinenklemme verschraubt werden, müssen einen Spleißschutz (Aderendhülsen) haben. Verzinnen und Verdrehen ist als Spleißschutz ungeeignet und unzulässig. Bei Klasse-I-Geräten ist darauf zu achten, dass der Schutzleiter mit allen berührbaren leitfähigen Teilen, also auch Potiachsen und Kühlkörpern verbunden ist. Weiterhin ist für eine ausreichende Entlüftung elektronischer Baugruppen zu sorgen. Lassen Sie, wenn im Schaltplan vorhanden, niemals eine Schmelzsicherung weg. Bei Eigenkonstruktionen liegt der Maximalstrom der trägen Primärsicherung etwa 25 % über dem Nominalstrom. Muss sekundär abgesichert werden, ist der Maximalstrom der schnellen (bei induktiver oder kapazitiver Belastung auch mittelträgen oder trägen) Sicherung gleich dem Nominalstrom des Gerätes.

# Selbstbau & Sicherheit

## - Transformatoren

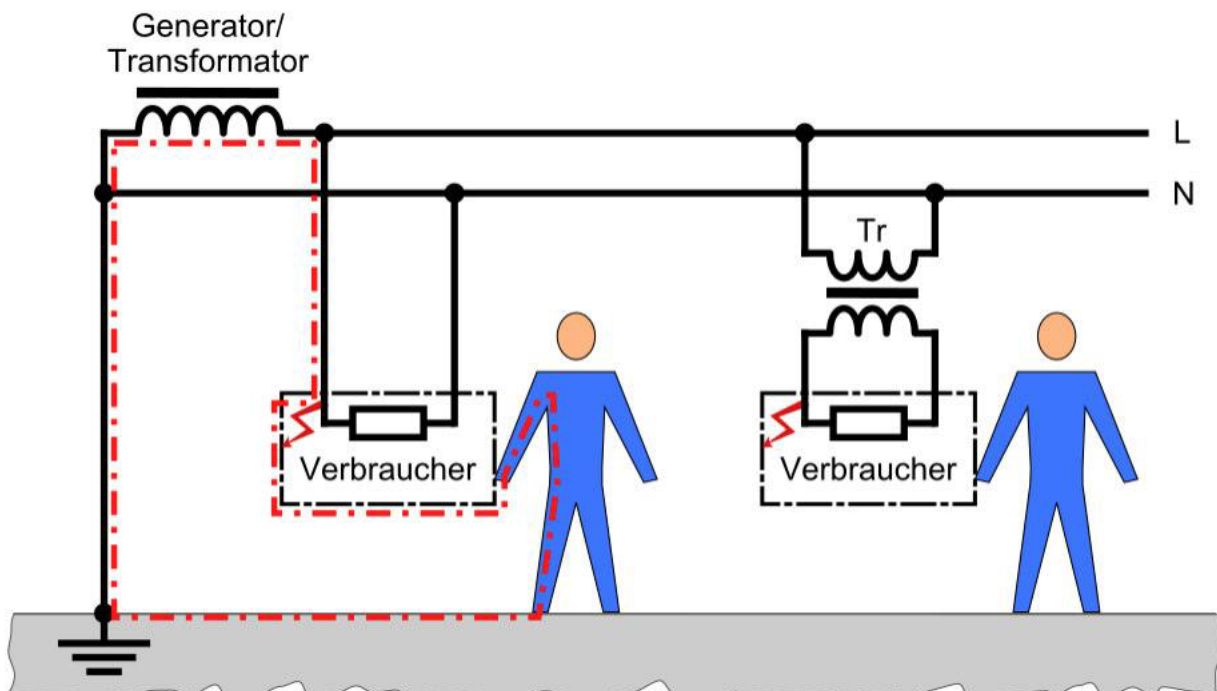
Netztransformatoren, die für den Einbau in elektronische Geräte vorgesehen sind, besitzen in den meisten Fällen keine Schutzklasse, sondern sind nur **vorbereitet für Schutzklasse I**.

Transformatoren, die die Kennzeichnung **vorbereitet für Schutzklasse II** tragen, können bei entsprechenden Maßnahmen auch für Klasse-I- Geräte verwendet werden.

## Messen und Testen

Bei Eingriffen in das Gerät zu Meß-, Test- oder Reparaturzwecken müssen besondere Sicherheitsvorkehrungen getroffen werden. Das Gerät speist man dann möglichst über einen Sicherheits-Trenntransformator gemäß VDE DIN 0550. An einen Trenntrafo darf nur ein Verbraucher (max. 16 A) angeschlossen werden. Außerdem sollte jeder Arbeitsplatz mit einem Personenschutzschalter ausgestattet sein. Ein Fehlerstrom-Schutzschalter (FI-Schalter) mit einem Auslösestrom von 30 mA im Sicherungskasten verspricht ebenfalls ausreichende Sicherheit.

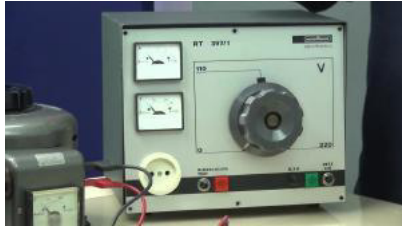
**Die Schutztrennung ist eine Schutzmaßnahme**, die auf der sicheren **galvanischen Trennung** der Stromkreise, zum Beispiel mittels eines Trenntransformators, beruht. Sie ist eine mögliche Maßnahme gegen Stromunfälle in Niederspannungsnetzen, wenn aufgrund von bestimmten Situationen, wie bei Arbeiten unter engen räumlichen Verhältnissen, die Gefahr besteht, dass Personen spannungsführende Teile versehentlich berühren.



# Selbstbau & Sicherheit

Ein **Regeltrenntransformator** bietet in der Praxis viele Vorteile da sich die Höhe der Spannung einstellen lässt. Die Leistung des Gerätes sollte 1000 VA (Volt-Ampere- Scheinleistung) betragen.

Beispiele:



---

## EMV-Richtlinien

### Die EMC-Richtlinie

Auch wenn die am 1. Januar 1996 in Kraft getretene CE-Kennzeichnungspflicht (Konformitätskennzeichen) für selbstgebaute Geräte nicht gilt, müssen dennoch die EMC-Bestimmungen (EMC = Elektromagnetische Kompatibilität) entsprechend dem EMVG (Gesetz über die elektromagnetische Verträglichkeit) beachtet werden.

Die unter das EMVG fallenden Geräte müssen demnach so beschaffen sein, daß sie keine Störungen verursachen und nicht zu empfindlich auf Störungen von außen reagieren. Unter den Begriff Störung fallen viele Erscheinungen wie elektromagnetische Felder und statische Entladungen, aber auch eine Verunreinigung des Lichtnetzes in vielfältiger Form.

### Das Gesetz

Auch der Selbstbauer darf ein Gerät nur dann in Betrieb nehmen, wenn es die gesetzlichen Vorschriften des EMVG erfüllt. Das Bundesamt für Post und Telekommunikation (BAPT) als kontrollierendes staatliches Organ wird auf Klagen hin initiativ. Scheint eine Schaltung nicht mit den Richtlinien konform, kann der Ingebrauchnehmer möglicherweise für den entstandenen Schaden haftbar gemacht werden.

### CE-Kennzeichen

Der Selbstbauer muß keine CE-Kennzeichnung an seinem Gerät anbringen.

### Warum EMC?

Längerfristig ist für den Verbraucher der wichtigste Vorteil der EMC-Richtlinie, dass alle elektrischen und elektronischen Geräte in Haus und Büro ungestört nebeneinander funktionieren können.



# Selbstbau & Sicherheit

## Emission

Die wichtigste und klassische Form der EMC-Problematik ist die zu starke Emission an unerwünschter HF-Energie, die über das Gehäuse und/oder Kabel abgestrahlt wird. Neben der Begrenzung dieser Emission sollte die Schaltung nach der EMC-Richtlinie auch keine störende Signale in das Lichtnetz einspeisen, selbst keine mit niederfrequentem Spektrum.

## Immunität

Neu sind die Bestimmungen bezüglich der Unempfindlichkeit oder Immunität der Geräte. Innerhalb einer definierten Störumgebung soll das Gerät fehlerfrei funktionieren. Die Vorschriften sind sehr umfangreich und erstrecken sich auf fast alle denkbaren Störquellen.

## Computer & Co.

Die EMC-Richtlinie betrifft zuerst und vor allem Computer, computerisierte Geräte und ihre Peripherie. Nicht nur, dass Computer und Mikroprozessoren notorische Störquellen darstellen, durch die sequentielle Befehlsausführung sind sie auch besonders stöempfindlich.

## EMC-Gehäuseentwurf

Ein selbstgebautes prozessorgesteuertes Gerät kann nur dann die EMC-Richtlinie erfüllen, wenn es in ein Metallgehäuse eingebaut ist oder zumindest eine einteilige metallische L-förmige Bodenfläche/Rückwand aufweist, auf der alle Kabel zusammengeführt oder gefiltert werden. Sind auf der Gerätefront Steckverbinder vorhanden, ist ein U-förmiges Gehäusechassis vorzuziehen. Noch bessere Resultate werden erzielt, wenn man darüber hinaus einen 2 cm breiten und 1 mm dicken Streifen Kupferblech über die gesamte Breite an der Rückwand befestigt, den man in regelmäßigen Abständen mit Kabelschuhen zur Befestigung sämtlicher Massekabel versieht. Außerdem soll dieser Blechstreifen alle 5 cm leitend mit der Rückwand verschraubt werden.

Ein geschlossenes Metallgehäuse ergibt noch bessere Resultate als ein L- oder U-förmig gebogenes Blech. Man muss aber darauf achten, dass auch die Verbindungen der Gehäuseteile HF-dicht sind, mit anderen Worten, über die gesamte Länge der Verbindung in elektrischem Kontakt miteinander stehen. Alternativ kann man die Verbindungen verschrauben oder mit leitendem Gummi oder Kontaktfedern versehen. Nichtleitende Farbaufträge oder eine Oxydlage sind natürlich zu entfernen.

## EMC-Netzteilentwurf

Beim Entwurf eines Netzteils sollte man sowohl imitierte als auch emittierte Störungen berücksichtigen. Nicht fehlen sollte deshalb ein Standard-Netzfilter, das über sein Metallgehäuse unmittelbar mit dem leitenden Gerätegehäuse in Verbindung steht.

Ein Selbstbau eines Netzfilters ist nicht sinnvoll, da die benötigten hochwertigen Komponenten nur schwer erhältlich sind. Wenn möglich, ist ein Netzfilter mit eingebautem (Euro-) Netzstecker, Sicherungshalter und eventuell Netzschalter einzusetzen. Dadurch sind auch größtenteils die Bedingungen bezüglich der elektrischen Sicherheit erfüllt. Das Filter ist primär mit seiner charakteristischen Impedanz abzuschließen, üblicherweise eine Reihenschaltung aus Widerstand





# Selbstbau & Sicherheit

( 50 Ohm/1W) und einem Kondensator ( 10n/250 V AC, Klasse X2 ).

## Peripherie und Erdung

Alle Kabel zu peripheren Geräten, Meßsensoren, Steuerrelais und so weiter werden durch die metallische Gehäusewand oder ein L-Profil geführt. Die Masseleitungen verbindet man im Innenraum des Gehäuses direkt über kurze Kabel (<5 cm) mit dem Kupferstreifen. Beim Einsatz von Buchsen/Steckern muss die Abschirmung an dem rundum abgeschirmten Steckverbinder angebracht werden.

Im Prinzip müssen alle nichtabgeschirmten Signalleitungen mit einem Filter ausgestattet sein, der wenigstens aus einem Ferrit-Ringkern (30 mm) pro Kabel (oder für alle Signalleitungen gemeinsam) besteht. Dieser Ringkern kann auch außerhalb des Gehäuses angebracht werden, wie man es beispielsweise von PC- Monitoren her kennt.

Wenn es technisch vertretbar ist, sollte man am Steckverbinder im Gehäuse einen 150 Ohm Reihenwiderstand und eventuell eine Kapazität nach Masse der Leitung hinzufügen.

Auch kann man fix und fertig erhältliche, aber teurere T- oder Pi-Filter anbringen. In allen anderen Fällen müssen die Verbindungen innerhalb des Gehäuses abgeschirmt und die Abschirmung beidseitig geerdet werden, nämlich auf der Platine und auf dem Kupfer-Massestreifen an der Gehäuserückwand.

Die EMC-Massefläche auf der Platine muss so gut wie möglich mit dem Kupferstreifen verbunden sein, wenn möglich, mit einem flexiblen Masseband oder einigen parallelen (Band-) Kabeln.

## Statische Elektrizität (ESD)

Alle von außen berührbaren Teile sollten, wenn möglich, aus nichtleitendem, antistatischem Material gefertigt sein. Alle berührbaren Teile, die durch die Gehäusewand ragen (Achsen, LEDs ...) müssen galvanisch mit Masse verbunden sein ( bei Klasse- II- Geräten über einen 1MOhm-Widerstand). Alle Ein – und Ausgänge, deren Verdrahtung oder Anschlüsse berührbar sind, müssen einen Masseschild (zum Beispiel ein geerdetes metallisches Steckergehäuse) besitzen, über den elektrostatische Entladungen abfließen können. Dies kann am bequemsten durch versenkte Kontakte (z.B. Sub-D), durch geerdete Metallgehäuse und/oder rundum abschirmende Kabelhalterungen geschehen.

## Netzteile

Ein Netztransformator sollte an der primären wie an der sekundären Seite mit einem RCNetzwerk(Snubbernnetzwerk) versehen sein. Gleichrichterbrücken werden ebenfalls mit RC-Netzwerken gefiltert. Der sekundäre (Spitzen-) Ladestrom im Elko sollte durch den Innenwiderstand des Trafos und/oder durch externe Reihenwiderstände begrenzt werden. Dazu verwendet man an der 230-V-Seite Varistoren (350V/2 W) zwischen Phasen- und Neutralleiter beziehungsweise sowohl zwischen Phase und Schutzleiter als auch zwischen Neutralleiter und



# Selbstbau & Sicherheit

Schutzleiter. Sekundär - am besten hinter dem Pufferelko - sollte man einen TransientenSuppressor einsetzen. Wird das Netzteil in digitalen Schaltungen gebraucht, kann zur Beschränkung der Emission eine Gleichtaktspule an der sekundären Trafoseite aufgenommen werden. Bei Audio-Geräten ist zusätzlich eine Abschirmung zwischen primärer und sekundärer Trafoseite zu empfehlen, die man über ein kurzes Masseband mit dem Kupferblechstreifen an der Rückwand verbindet. Das Netzteil muß vier Perioden Netzausfall und Netzspannungsvariationen im Bereich von -20 % bis +10 % verkraften können.

## Audio-Geräte

Bei Audio-Entwürfen ist Immunität eine wichtige Voraussetzung für ordnungsgemäße Funktion. Am besten werden alle Kabel abgeschirmt. Lautsprecherkabel, bei denen eine Abschirmung nicht möglich ist, sollte man deshalb mit speziellen, für hohe Ströme geeigneten T- oder Pi-Filtern ausstatten, die die Basswiedergabe nicht beeinträchtigen. Ein solches Filter wird in jede Ader aufgenommen. Die Filter werden als Durchführungsfilter in die Wand eines Metallgehäuses montiert, das die Lautsprecher-Anschlussklemmen des Verstärkers abschirmt.

## Niederfrequente Magnetfelder

Abgeschirmte Kabel im Gehäuse bieten keinen Schutz vor der Einstreuung niederfrequenter Magnetfelder des Netztrafos. Die Abschirmung wird erst bei Frequenzen von einigen Kilohertz wirksam. Darum müssen diese Kabel so dicht wie möglich an den metallischen Gehäusewänden verlegt und einseitig am Kupferstreifen geerdet werden, um elektrische Felder abzuleiten. Das Netzteil kann in besonderen Fällen auch in einem separaten Gehäuse-Abteil (aus Stahl) platziert werden. Ein spezieller streuarmer Trafo kann das Streufeld und damit auch den Netzbrumm weiter reduzieren.

## Hochfrequente Magnetfelder

HF-Felder dürfen nicht ins Innere des (metallischen) Gehäuses eindringen. Für qualitativ hochwertige Schaltungen kommt deshalb ein Kunststoffgehäuse nicht in Frage. Alle externen Audiokabel müssen abgeschirmt und die Abschirmung an der Außenseite des Gehäuses abgeschlossen werden. Auch hier sind ausschließlich Vollmetall-Steckkontakte einzusetzen. Alle internen Kabelabschirmungen werden am Kupferstreifen im Gehäuse angeschlossen. Es ist wichtig, ein Gehäuse mit ausreichender Wandstärke (>2 mm) zu wählen, da sonst aufgrund des Skineffekts innere und äußere Felder nur unzureichend voneinander getrennt werden. Der Durchmesser von Gehäusebohrungen sollte nicht größer als 2 cm sein, eventuell sollte man größere Ausbrüche mit leitender Gaze abdecken.

## Kühlkörper

Kühlkörper werden an möglichst vielen Stellen HF-geerdet und wenn möglich im Gehäuse untergebracht.

Nichtgeerdete Kühlkörper in Schaltnetzteilen verursachen mit Sicherheit EMC-Probleme. Eventuell ist ein Masseschirm zwischen Schalttransistor und Kühlkörper einzusetzen. Die Gehäuseperforation



# Selbstbau & Sicherheit

sollte möglichst kleine Bohrungen aufweisen oder mit einer leitenden Gaze versehen sein.  
Übrigens: Auch Ventilatoren gehören ins Gehäuse.

## Kabel

In Hinblick auf EMC sind Kabel bestens geeignet, um als (Sende- und Empfangs-) Antennen Störungen in die Welt zu setzen beziehungsweise einzufangen. Dies gilt ebenso für einfache wie für abgeschirmte Kabel. Die Abschirmung eines (koaxialen) Kabels muß deshalb rundum Kontakt mit dem Steckverbinder eingehen. Die Abschirmung kann als Rückstromleiter fungieren, um eine HF-magnetische Abschirmung zu erreichen. Für die magnetische Abschirmung im NF-Bereich ist es besser, eine verdrehte Zweidrahtleitung (twisted pair) mit Abschirmung zu verwenden. Bei einem Flachbandkabel sollte jede Signalader zwischen zwei Masseadern liegen und das gesamte Kabel zusätzlich einseitig oder rundum abgeschirmt sein. Kabel, die Signale mit Frequenzanteilen über 10 kHz führen und nicht im Gehäuse gefiltert werden können, werden mit einem Ringkern als Gleichtaktspule versehen.