

**SIEMENS**

# **Technische Mitteilung aus dem Bereich Bauelemente**



**Schaltnetzteile 3  
Funk-Entstörung**

**Technische Mitteilungen aus dem Bereich Bauelemente**

Redaktion: W. Ackermann

Für die Schaltungen wird keine Gewähr bezüglich Patentfreiheit übernommen.

Liefermöglichkeiten und technische Änderungen vorbehalten.

Nachdruck mit genauer Quellenangabe ist bei Einsendung von zwei Belegexemplaren gestattet.

Zuschriften zu den Technischen Mitteilungen sind zu richten an die nächstliegende Siemens-Geschäftsstelle oder an

SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT  
Bereich Bauelemente Vertrieb, Technisches Schrifttum  
Balanstraße 73, 8000 München 80

# Schaltnetzteile 3

# Funk-Entstörung

Rudolf Schaller

Ing. (grad.)  
Rudolf Schaller  
Siemens Aktiengesellschaft  
Bereich Bauelemente, Regensburg  
Technische Entwicklung  
Funk-Entstörung

1. Einleitung
2. Funk-Entstörbestimmungen
3. Störquellen
4. Ausbreitung von Funkstörungen und Störmeßtechnik
5. Funkstörgrenzwerte
6. Entstörmaßnahmen zur Verminderung leitungsgebundener Störungen
  - 6.1 Funk-Störspannungsmeßtechnik
  - 6.2 Symmetrische Störspannung des Wandler-Eingangs
  - 6.3 Asymmetrische Störspannung des Wandler-Eingangs
  - 6.4 Entstörschaltungen für den Wandler-Eingang
  - 6.5 Störspannung des Wandler-Ausgangs und Entstörschaltung
7. Maßnahmen zur Verminderung elektrischer und magnetischer Störfelder
8. Auswahl und Anordnung der Entstörbaulemente
9. Sicherheitsbestimmungen
10. Beispiele aus der Entstörpraxis
11. Literatur
12. Normen und Vorschriften

# 1. Einleitung

Bei getakteten Stromversorgungen entstehen durch die Taktung diskrete Frequenzen, durch die der Rundfunk- und Fernsehempfang sowie die Nachrichtenübertragung durch Funk gestört werden können.

Der Gesetzgeber verlangt für alle elektrischen Geräte und Anlagen, die hochfrequente Energie erzeugen, eine Begrenzung des Störpegels.

Grundlage hierfür ist das Gesetz über Fernmeldeanlagen vom 14. Januar 1928 und das Gesetz über den Betrieb von Hochfrequenzgeräten vom 9. August 1949. Bei getakteten Stromversorgungen (Schaltnetzteile) ist in der Regel das Hochfrequenzgesetz vom 9. August 1949 anzuwenden.

# 2. Funk-Entstörbestimmungen

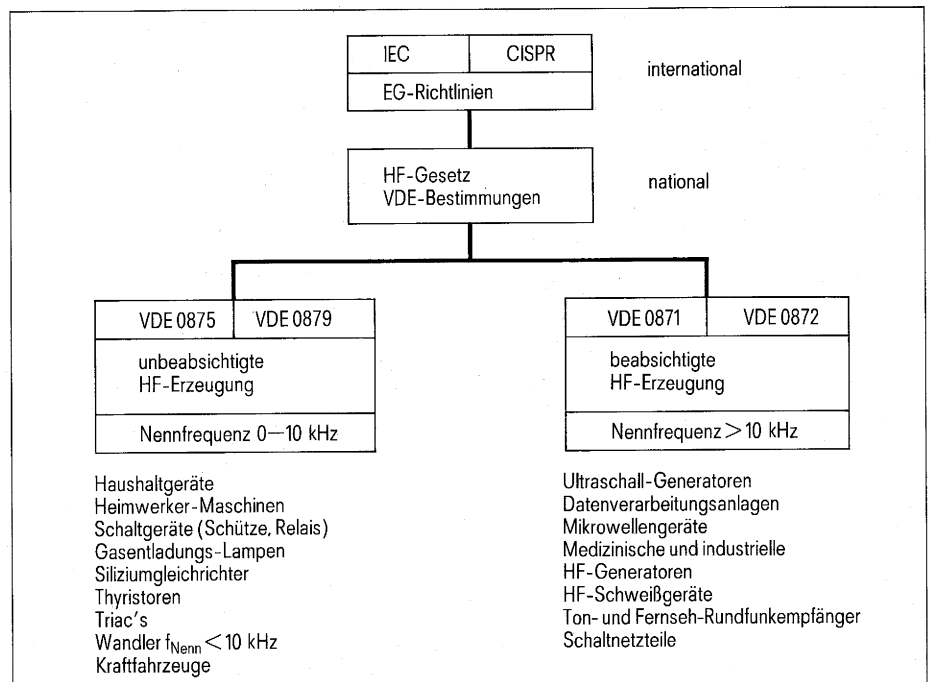
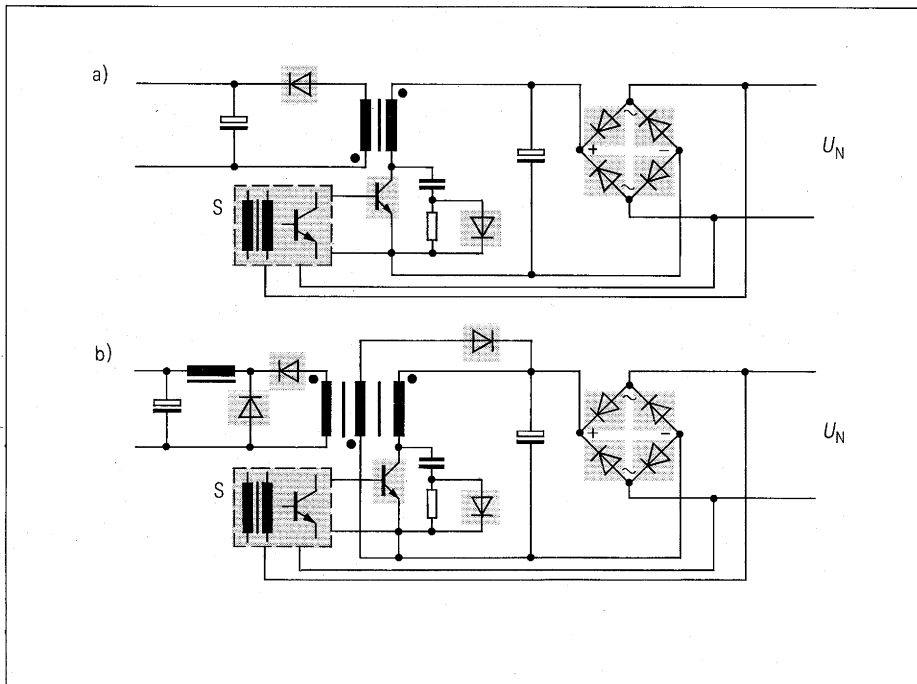


Bild 1 Funk-Entstörbestimmungen

Wie in der Einleitung dargelegt, ist der Betrieb von Schaltnetzteilen auf Grund des Hochfrequenzgeräte-Gesetzes (HFG) in der Bundesrepublik Deutschland genehmigungspflichtig. Der Gesetzgeber stützt sich dabei auf international und national gültige Funk-Entstörbestimmungen. Unter welche Entstörbestimmungen Schaltnetzteile in der BRD fallen, hängt von der Nenn- bzw. Betriebsfrequenz ab. Solange diese unter 10 kHz liegt, sind die VDE-Bestimmungen 0875 zu erfüllen. Beispiele: Haushaltgeräte, Heimwerkzeugmaschinen sowie elektronische Steuerungen, die mit Thyristoren oder Triac arbeiten.

Schaltnetzteile benutzen Betriebsfrequenzen, die meistens über 10 kHz liegen. Wie aus Bild 1 hervorgeht, sind deshalb für Schaltnetzteile die VDE-Bestimmungen 0871 anzuwenden. Ist das Schaltnetzteil in einem Fernsehgerät eingebaut, gilt noch zusätzlich die VDE-Bestimmung 0872. Teilweise sind diese Bestimmungen mit den internationalen Gesetzen und den EG-Richtlinien harmonisiert, so daß in absehbarer Zeit, evtl. noch handelshemmende nationale Genehmigungsverfahren wegfallen werden.

# 3. Störquellen



**Bild 2** Störquellen in Schaltnetzteilen  
a) Sperrwandler, b) Durchflußwandler,  
S Steuerkreis,  $U_N$  Netz

Obwohl sich die Schaltungen des Sperr- und Durchflußwandler-Netzteils bezüglich der Anordnung des Schalttransistors sehr ähnlich sehen, erzeugt ein Sperrwandler-Netzteil am Netzeingang bei hohen Frequenzen im MHz-Bereich geringere Funkstörungen als ein Durchflußwandler-Netzteil. Die Ursache liegt am unterschiedlichen Wandler-Prinzip.

Beim Sperrwandler zeigt der Wandler-eingangsstrom, wegen der im Stromkreis liegenden Primärinduktivität des Transformators dreieckförmigen Verlauf.

Der Stromverlauf am Eingang des Durchflußwandlers ist dagegen rechteckförmig. Hier hat die Primärinduktivität auf die Form des Eingangstromes keinen Einfluß, da die sekundärseitige Last in der Leitphase des Transistors den Strom bestimmt. Die Amplituden der Harmonischen des Rechteckstromes fallen nach Fourier mit 20 dB pro Dekade zu höheren Frequenzen hin ab, die eines dreieckförmigen Stromes mit 40 dB pro Dekade.

Bei beiden Wandlern wird der Eingangsstrom dem netzseitigen Elektrolytkondensator entnommen.

Die Vorteile im Gewicht, im Volumen und im Wirkungsgrad, die sich aus der hohen Schaltfrequenz und der steilen Flanken der Pulsspannung ergeben, wirken sich für die Funk-Entstörung nachteilig aus, da neben der Schaltfrequenz auch noch höhere Harmonische der Pulsspannung freigesetzt werden.

Als hauptsächliche Störquelle ist bei allen Schaltnetzteilen der Halbleiterschalter anzusehen. **Bild 2** zeigt daneben noch andere mögliche Störquellen am Beispiel des Sperr- und Durchflußwandlers.

Störquellen des Sperrwandlers:

- Schalttransistor
- Netzgleichrichter
- Ausgangsdiode
- Transistor-Schutzdiode
- Steuerung

Störquellen des Durchflußwandlers:

- Schalttransistor
- Netzgleichrichter
- Ausgangsdiode
- Freilaufdiode
- Entmagnetisierungsdiode
- Transistor-Schutzdiode
- Steuerung

Elektrolytkondensatoren sind wie auch andere Kondensatoren keine „idealen“ Bauelemente, d. h., sie können die gespeicherte Energie nicht beliebig schnell und restlos zur Verfügung stellen. Die Ursache liegt in den ohm'schen Widerständen des Elektrolyten und der Zuleitungen sowie im Blindwiderstand  $\omega L$  der Induktivität des Wickels und der Zuleitungen.

Wird aus dem Elektrolytkondensator vom Wandler Strom entnommen, so entsteht an den genannten Widerständen ein Spannungsabfall. Da der ohm'sche Widerstand des Elektrolyten überwiegt, ist der Spannungsabfall daran ein Abbild des Stromverlaufs (dreieck- bzw. rechteckförmig) mit dem gleichen Amplitudenverlauf der Harmonischen wie beim Strom.

Für die hochfrequenten Schwingungen ist der Netz-Innenwiderstand groß. Das über den Netzgleichrichter angeschlossene Netz kann daher diese hochfrequenten Störspannungen nicht unterdrücken. Es kommt zur Ausbreitung der Hochfrequenzstörungen über die Netzleiter.

Werden zur Gleichrichtung der Netzspannung Siliziumgleichrichter verwendet, so erzeugen auch diese wegen des „Träger-Speicher-Effektes“ breitbandige Funkstörungen, die proportional zu der Stromamplitude in Durchlaßrichtung sind.

Der Effekt kommt dadurch zustande, daß beim Übergang von der Durchlaß- in die Sperr-Richtung kurzzeitig ein Diodenstrom in Sperr-Richtung fließt, der nach dem Abbau der Ladungsträger in der Sperrschicht sehr plötzlich Null wird.

Das geschieht bei jedem Nulldurchgang des Stromes, am 50-Hz-Netz mit einer Wiederholungsfrequenz von 100 Hz. Bei Schaltnetzteilen können die vom Netzgleichrichter verursachten „breitbandigen“ Funkstörungen im Vergleich zu den Störungen des Schalttransistors vernachlässigt werden.

Ähnliches Verhalten zeigen die Ausgangs-, Freilauf-, Entmagnetisierungs- und Transistor-Schutz-Dioden. Da es sich hier um sogenannte „schnelle Dioden“ handelt, ist auch der Träger-Speicher-Effekt schärfer ausgeprägt.

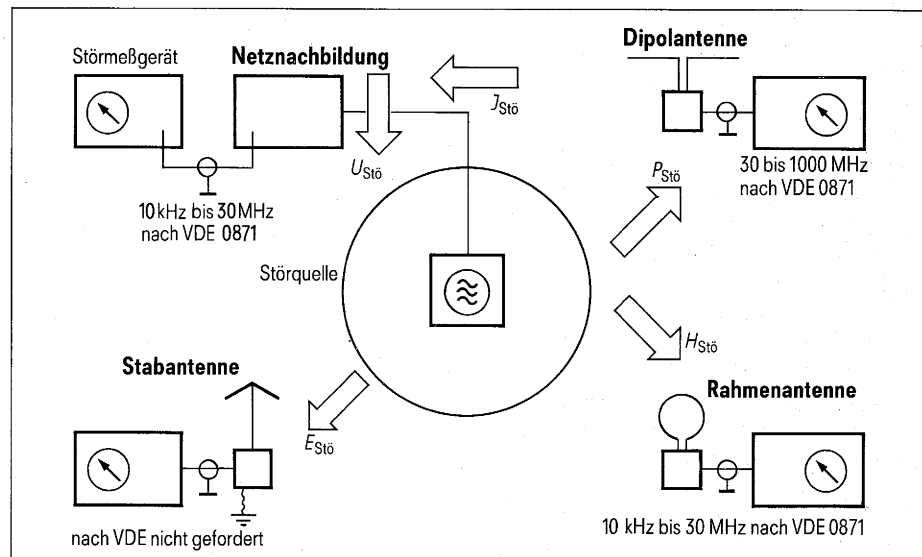
Es entstehen in diesem Fall „diskrete“ Funkstörungen, da die Wiederholungsfrequenz der Rückstromspitze gleich der Wandlerfrequenz oder ein Vielfaches davon ist. Die Störungen können so groß sein, daß sie die Vorteile des Sperrwandlers in bezug auf die Höhe der Funkstörungen im MHz-Bereich wieder aufheben. Deshalb empfehlen sich Dioden, bei denen die Rückstromspitze sanft („soft-recovery“) und nicht abrupt („step-recovery“) verläuft.

# 4. Ausbreitung von Funkstörungen und Störmeßtechnik

Allgemein gehen von einer Störquelle leitungsgebundene und nicht leitungsgebundene Funkstörungen aus. Die Ausbreitung über Leitungen kann durch Messung des Störstromes  $J_{Stö}$  und der Störspannung  $U_{Stö}$  nachgewiesen werden. Störströme erzeugen besonders in Leiterschleifen und Spulen auch magnetische Störfelder  $H_{Stö}$ . Plötzliche Spannungsänderungen gegenüber Erdpotential sind die Ursache für elektrische Störfelder  $E_{Stö}$ . Der Einfluß von magnetischen und elektrischen Störfeldern auf die nächste Umgebung wird auch als induktive bzw. kapazitive Kopplung bezeichnet. In genügend großer Entfernung von der Störquelle sind das magnetische und das elektrische Störfeld über den Wellenwiderstand des freien Raumes miteinander verknüpft. Man spricht dann vom elektromagnetischen Störfeld oder von der Störstrahlung  $P_{Stö}$ .

Die Störmeßtechnik mußte sich an diese Gegebenheiten anpassen (**Bild 3**). Die von der Störquelle ausgehenden Störströme rufen am Netz-Scheinwiderstand einen Spannungsabfall hervor, der als Störspannung bezeichnet wird. Um hier zu reproduzierbaren Meßergebnissen zu kommen, ist der Netz-Scheinwiderstand genormt und wird bei der Störmessung durch die sog. „Netznachbildung“ ersetzt.

Magnetische und elektrische Störfelder werden mit Hilfe von Rahmen- bzw. Stabantennen in Verbindung mit einem Störmeßgerät ermittelt. Nach den VDE-Bestimmungen ist die Messung des elektrischen Störfeldes im Gegensatz zu militärischen Vorschriften nicht erforderlich. Die Störstrahlung wird vorzugsweise mit Dipol-Antennen und Störmeßgeräten erfaßt.



**Bild 3** Störmeßtechnik

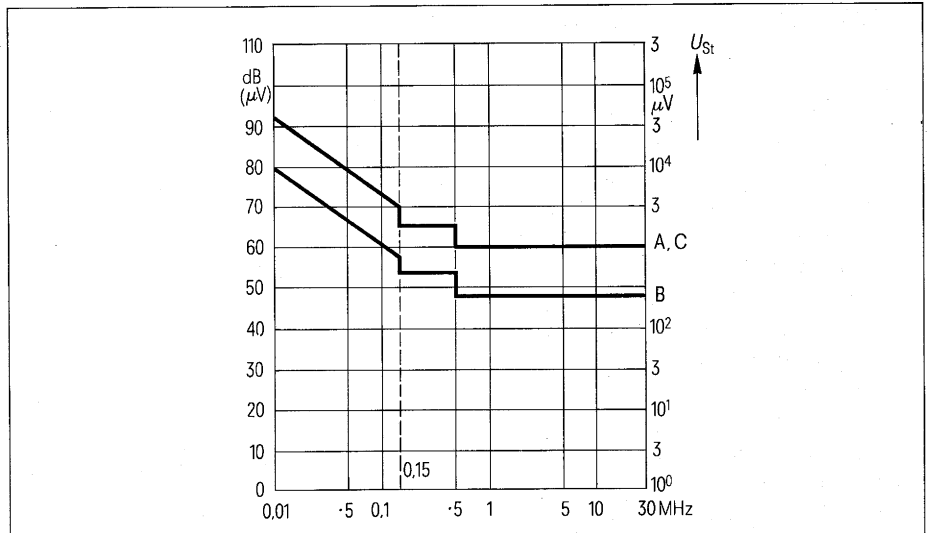
# 5. Funkstörgrenzwerte

Schaltnetzteile müssen im allgemeinen bezüglich der Funk-Entstörung der VDE-Bestimmung 0871 genügen. (Siehe auch Punkt 2.)

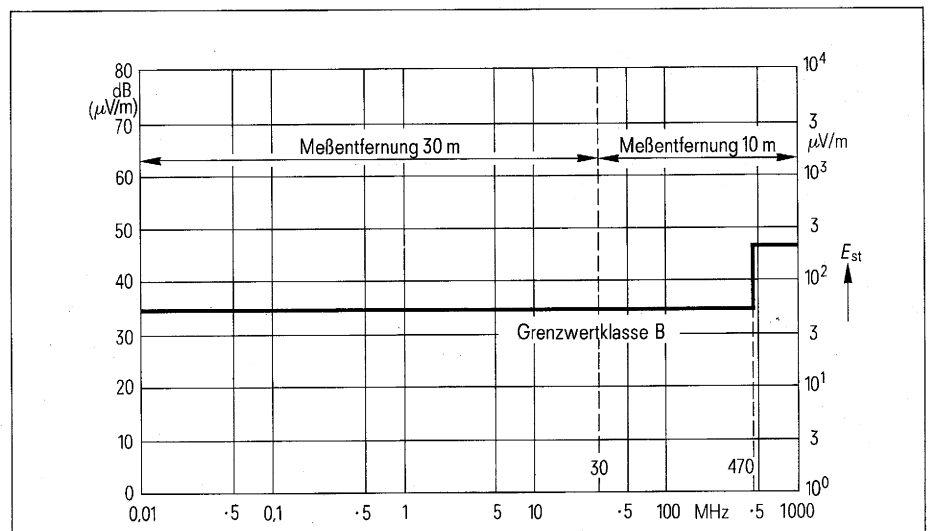
Die neu im Gelbdruck veröffentlichte VDE-Bestimmung 0871/... 75 bietet die drei Grenzwertklassen A, B und C zur Auswahl an. Für Schaltnetzteile kommt praktisch nur die Grenzwertklasse B in Betracht, da unter dieser Klasse das Fernmeldetechnische Zentralamt in Darmstadt (FTZ) eine „Allgemeine Genehmigung“ erteilt. Dies hat den Vorteil, daß eine „Einzelgenehmigung“ seitens der zuständigen Funkstörmeßstelle nicht notwendig ist.

Die **Bilder 4** und **5** geben die Grenzwertkurven der Funkstörspannung (10 kHz bis 30 MHz) und der Funkstörfeldstärke (10 kHz bis 1 GHz) nach VDE 0871/... 75 wieder.

Zum Vergleich ist im Diagramm für die Funkstörspannung auch die Grenzwertkurve für die Grenzwertklasse A und C eingetragen. Daraus ist ersichtlich, daß die Vorteile der „Allgemeinen Genehmigung“ (Grenzwertklasse B) mit einem strengeren Grenzwert „erkaufte“ werden müssen.



**Bild 4** Grenzwertklassen A, B, C für Funkstörspannungen  $U_{st}$  nach VDE 0871/... 75. Die Angaben in dB ( $\mu V$ ) sind bezogen auf 0 dB ( $\mu V$ ) entsprechend 1  $\mu V$



**Bild 5** Grenzwerte für Funkstörfeldstärken  $E_{st}$  nach VDE 0871/... 75. Die Angaben in dB ( $\mu V/m$ ) sind bezogen auf 0 dB ( $\mu V/m$ ) entsprechend 1  $\mu V/m$

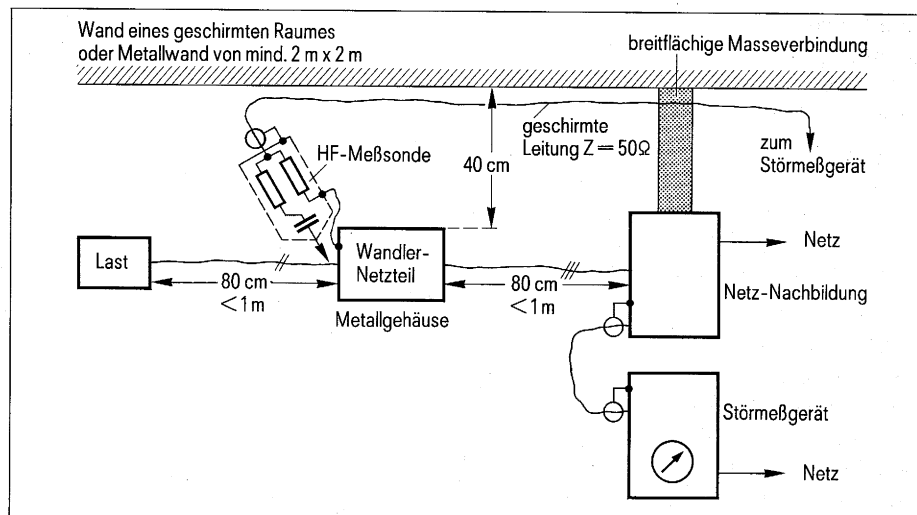


# 6. Entstörmaßnahmen zur Verminderung leitungsgebundener Störungen

## 6.1 Funk-Störspannungsmesstechnik

Beim Entwurf von Entstörschaltungen sind nicht nur die hochfrequenten Gegebenheiten der Störquelle, sondern auch die der Störmeßtechnik zu berücksichtigen. Die Verminderung der leitungsgebundenen Störungen, der Störströme und Störspannungen gelingt am besten, wenn die Entstörschaltung an den Innenwiderstand der Störquelle wie auch an den Netz-Scheinwiderstand fehlangepaßt ist. Der Netz-Scheinwiderstand wird bei der Störmessung durch die Netznachbildung ersetzt und ist deshalb bekannt, der Innenwiderstand der Störquelle dagegen unbekannt. Daher sind zur Entwicklung einer Funk-Entstörschaltung Entstörversuche unerlässlich.

In **Bild 6** ist die zukünftig in VDE 0877 Teil 1 genormte Meßanordnung zur Erfassung von Störspannungen im Frequenzbereich von 10 kHz bis 30 MHz dargestellt. Hiernach ist das Wandler-Netzteil auf einen nichtleitenden Tisch in 40 cm Entfernung von der Wand eines geschirmten Raumes oder einer Metallwand von mindestens 2 m × 2 m Größe aufzustellen.



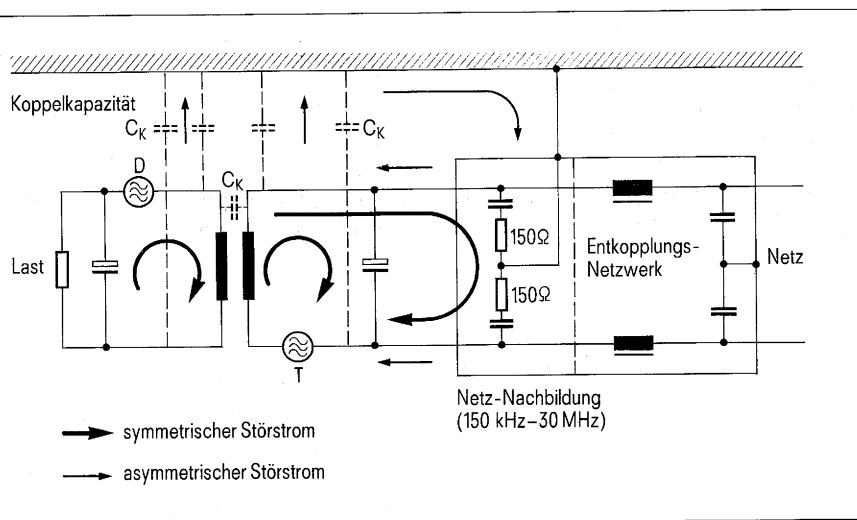
**Bild 6** Erfassung von Funk-Störspannungen im Frequenzbereich von 10 kHz bis 30 MHz. Typische Meßanordnung nach VDE 0877 Teil 1 (Vorentwurf)

Die Wand des geschirmten Raumes bzw. die Metallwand dient während der Messung als Bezugspotential. Über eine 80 cm lange, ungeschirmte Leitung wird der Netzeingang des Wandlers mit dem Netzausgang der Netznachbildung verbunden.

Falls am Wandler-Netzteil im praktischen Betrieb noch andere Leitungen mit einer Länge von mehr als 2 m angeschlossen werden können, wie z. B. zu einem externen Lastwiderstand, dann ist auch auf diesen Leitungen die Funkstörspannung mit einer in VDE 0877 Teil 1 festgelegten HF-Meßsonde (Tastkopf) zu messen.

Der Masseanschluß der Netznachbildung muß induktivitätsarm, z. B. über eine breitflächige Masseverbindung, mit dem Bezugspotential (Wand des geschirmten Raumes) verbunden sein. Wird hierauf nicht geachtet, so kann es im MHz-Bereich zu Fehlmessungen kommen.

Bevor Entstörmaßnahmen überlegt werden, muß man sich über die Ausbreitungswege der Störungen bei der Meßanordnung nach **Bild 6** im klaren sein.



**Bild 7** Störquelle und Störmeßtechnik

**Bild 7** gibt stark vereinfacht die Ersatzschaltung eines Sperrwandlers mit angeschlossener Netznachbildung wieder. Es sind nur die Hauptstörquellen, und zwar primärseitig der Schalttransistor T und sekundärseitig die Ausgangsdiode D als Ersatzstörquelle eingezeichnet. Der Wandler besitzt keinen Schutzleiteranschluß, ist also schutzisoliert.

Beide Störquellen, Schalttransistor und Ausgangsdiode treiben über die zugehörigen Wicklungen des Übertragers und die angeschlossenen Elektrolytkondensatoren einen symmetrischen Störstrom. Primärseitig fließt auch über die Netznachbildungswiderstände (150 Ohm) der Netznachbildung ein entsprechender Anteil des symmetrischen Störstromes. Er verursacht dort eine symmetrische Störspannung, da der Elektrolytkondensator auf Grund seines endlichen Scheinwiderstandes die hochfrequenten Störströme nur zum Teil führen kann.

Die Koppelkapazitäten  $C_K$  zwischen Primär- und Sekundärseite des Übertragers und zwischen der Bezugsmasse (Wand des geschirmten Raumes) bewirken auch einen asymmetrischen Störstrom. Dieser erzeugt an den Netznachbildungswiderständen (150 Ohm) ebenfalls einen Spannungsabfall, den man als asymmetrische Störspannung bezeichnet.

Hat das Wandler-Netzteil einen Schutzleiter (Schutzklasse I), so fließt auch über diesen entsprechend der Koppelkapazitäten im Innern des Netzteils (z. B. zwischen Schaltung und Metallgehäuse) ein asymmetrischer Störstrom zur Netznachbildung, der den über die äußeren Koppelkapazitäten fließenden Störstrom übersteigen kann.

Das Störmeßgerät, das beide Störspannungskomponenten gleichzeitig erfaßt, kann nicht zwischen symmetrischer und asymmetrischer Störspannung unterscheiden. Entstörversuche mit Entstörbauelementen, die vorzugsweise eine der beiden Störspannungen bedämpfen, lassen jedoch schnell erkennen, welche Komponente bei bestimmten Frequenzen vorherrscht.

Nach der VDE-Bestimmung 0876/... 75 (Entwurf 1) für Funkstörmeßgeräte sind derzeit zur Messung der Funkstörspannung zwei Netznachbildungen vorgeschrieben. Im Frequenzbereich von 10 bis 150 kHz ist eine Netznachbildung mit frequenzabhängigem Scheinwiderstand und im Frequenzbereich von 150 kHz bis 30 MHz mit konstantem Scheinwiderstand von 150 Ohm zu verwenden.

Geplant ist, zukünftig nur noch die Netznachbildung mit frequenzabhängigem Scheinwiderstand, erweitert bis 30 MHz, zuzulassen.

**Bild 8** zeigt die Schaltung und den Scheinwiderstandsverlauf beider Netznachbildungen.

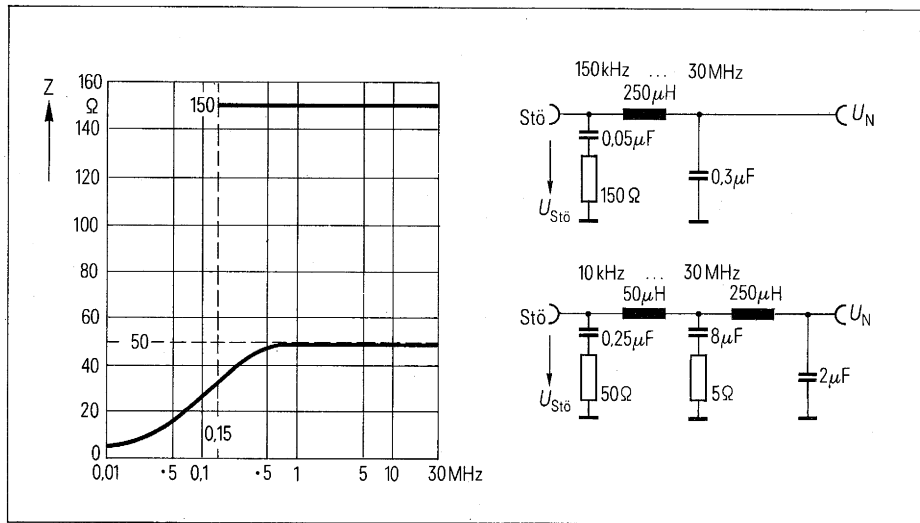
## 6.2 Symmetrische Störspannung des Wandler-Eingangs

Im nicht entstörten Zustand wird in der Regel die Höhe und der Verlauf der Störspannung bis etwa 1 MHz von ihrer symmetrischen Komponente bestimmt. Die Werte erstrecken sich in ungünstigen Fällen bis zum 1000fachen des gesetzlich geforderten Grenzwertes. Um den Entstöraufwand in Grenzen zu halten, ist es zweckmäßig, die Entstörwirkung der ohnehin benötigten Elektrolytkondensatoren durch eine Schaltung nach **Bild 9** zu ergänzen. Durch die Aufteilung des netzseitigen Elektrolytkondensators in zwei Kondensatoren mit jeweils halber Kapazität, kombiniert mit 2 Zylinderkern-Drosseln geringer Induktivität und damit kleinen Abmessungen, läßt sich eine gute Vorentstörung der Grundwelle und der 1. bis etwa 5. Harmonischen erreichen.

**Bild 10** zeigt die 60 Ohm-Einfügungsdämpfung eines derartigen  $\pi$ -Gliedes im Vergleich zu zwei parallel geschalteten Elektrolytkondensatoren.

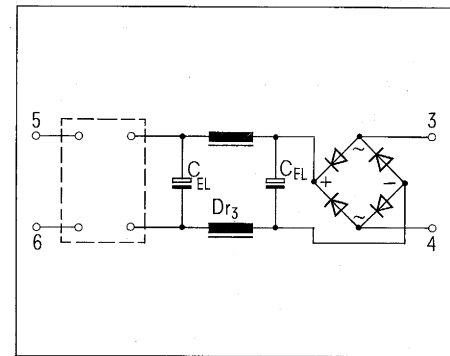
Der Dämpfungsgewinn (Schraffur) durch die beiden Zylinderkern-Drosseln ist beträchtlich. Selbst verglichen mit einem idealen 200  $\mu$ F-Kondensator erreicht das  $\pi$ -Glied bis 1,5 MHz höhere Dämpfungswerte.

Alternativ dazu oder zusätzlich läßt sich die symmetrische Störspannung auch am Netzeingang in Verbindung mit Entstörungsmaßnahmen zur Verminderung der asymmetrischen Störspannung absenken. Hierauf wird im weiteren noch eingegangen.



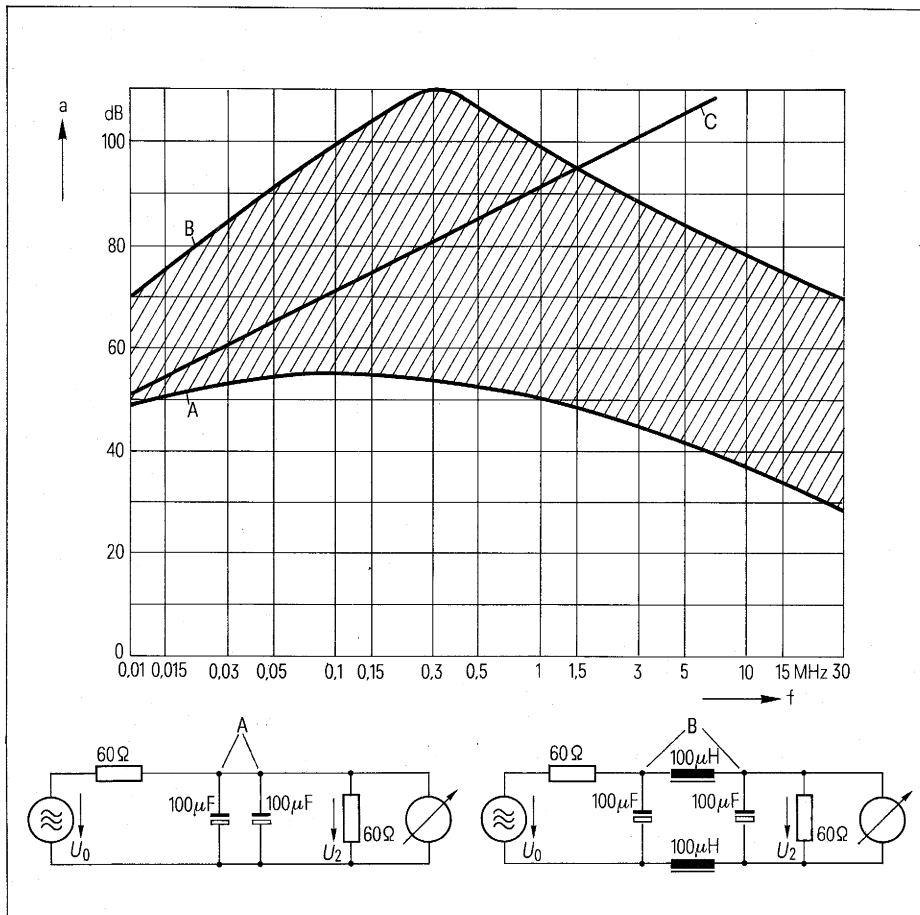
**Bild 8** Netzachbildungen nach VDE 0876/...75

Z Scheinwiderstand,  
Stö Störquelle,  
 $U_N$  Netz



**Bild 9** Vorentstörung durch Aufteilung des Eingangskondensators und Drosselbeschlaltung (Zylinderkerndrossel)

3, 4 Netzeingang,  
5, 6 Wandlerausgang



**Bild 10** 60 Ω-Einfügungsdämpfung

Kurve A Dämpfung von zwei parallel geschalteten Elektrolytkondensatoren

Kurve B Dämpfung eines  $\pi$ -Gliedes, bestehend aus zwei Elektrolytkondensatoren und zwei Zylinderkern-Drosseln

////// Dämpfungsgewinn durch 2 Zylinderkern-Drosseln 100  $\mu$ H

Kurve C Dämpfung eines idealen 200  $\mu$ F-Kondensators

Definition: Einfügungsdämpfung

$$a = 20 \cdot \lg \frac{U_0}{2 \cdot U_2}$$

### 6.3 Asymmetrische Störspannung des Wandler-Eingangs

Auf Grund der Koppelkapazitäten entstehen, wie im Abschnitt 6.1 beschrieben, auch asymmetrische Störspannungen. Vereinfacht ergibt sich ein Ersatzschaltbild nach **Bild 11**.

Der hochfrequente Innenwiderstand des Schaltnetztes wird praktisch durch die Koppelkapazität  $C_K$  gebildet.

Die Schaltung zeigt Hochpaß-Verhalten, d. h., der asymmetrische Störstrom  $I_{\text{asym}}$  und die asymmetrische Störspannung  $U_{\text{asym}}$  steigen mit wachsender Frequenz bei konstanter Quellenspannung  $U_o$ .

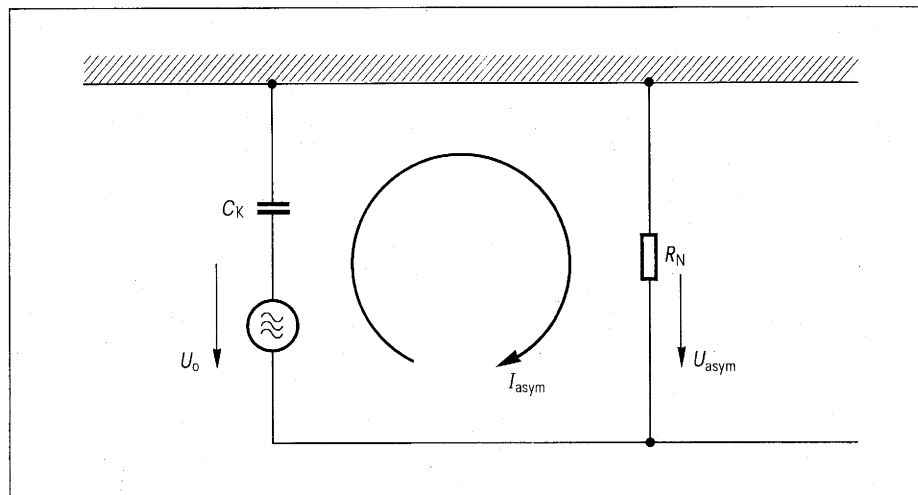
Deshalb konzentrieren sich die Entstörmaßnahmen auf einen möglichst geringen asymmetrischen Störstrom bei hohen Frequenzen.

Folgende Möglichkeiten bieten sich hierfür an:

- Verminderung der Quellenspannung  $U_o$
- Verkleinerung der Koppelkapazität  $C_K$
- Bedämpfung des asymmetrischen Störstroms durch Entstördrosseln
- Schirmung des Schaltnetztes und Filterung aller an- und abgehenden Leitungen.

**Bild 11** Ersatzschaltbild für asymmetrische Störspannung

$I_{\text{asym}}$  asymmetrischer Störstrom  
 $U_{\text{asym}}$  asymmetrische Störspannung  
 $R_N$  Netznachbildwiderstand



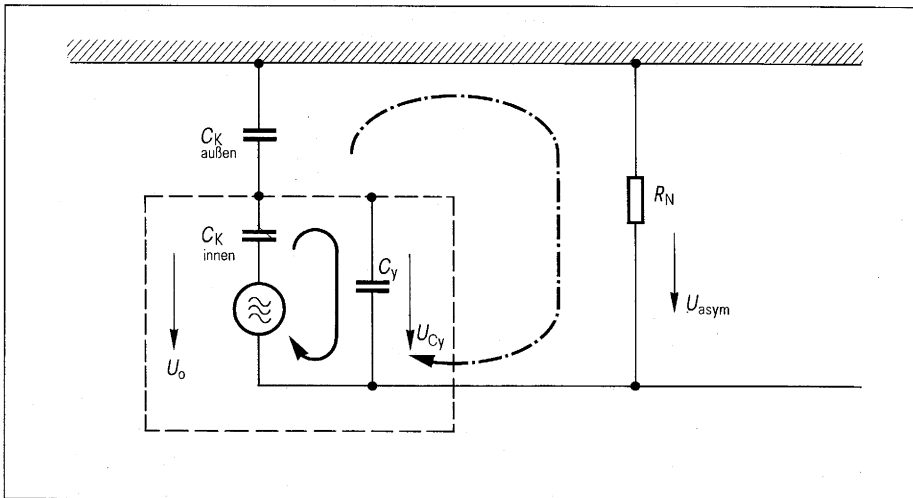
Die Verminderung der Quellenspannung ist nur begrenzt möglich. Maßnahmen, wie beispielsweise Verlängerung der Schaltzeiten des Schalttransistors verschlechtern den Wirkungsgrad des Schaltnetztes und erhöhen die Eigenenerwärmung des Transistors.

Die Koppelkapazität ist vom konstruktiven Aufbau des Schaltnetztes abhängig. Der Kapazitätswert wird bestimmt von der Größe des Netztes, der Fläche etwa vorhandener Metallteile z. B. Kühlkörper und der räumlichen Ausdehnung der Verdrahtung sowie der Kapazität zwischen Primär- und Sekundärwicklung des Übertragers. Sie bewegt sich zwischen einigen pF und ca. 100 pF.

Eine Verkleinerung der Koppelkapazität zwischen Bezugsmasse (Wand der geschirmten Kabine) und Schaltnetzteil kann durch kompaktere Bauweise erreicht werden, allerdings besteht dann die Gefahr, daß sich die Koppelkapazitäten zwischen der Primär- und Sekundärseite vergrößern.

Die Bedämpfung des asymmetrischen Störstroms erfordert Entstördrosseln hoher Induktivität. Der Scheinwiderstand der Drossel muß im interessierenden Frequenzbereich größer sein als der der Koppelkapazität. Bei z. B. 100 pF Koppelkapazität und einer Frequenz von 150 kHz müßte die Induktivität der Drossel weit über 15 mH liegen. Stromkompensierte Drosseln bieten diese Induktivitätswerte, doch sind bei tieferen Frequenzen auch in diesem Fall Grenzen gesetzt.

Die völlige Abschirmung des Schaltnetztes bei gleichzeitiger Filterung aller an- und abgehenden Leitungen führt immer zum Erfolg.



**Bild 12** Ersatzschaltbild für geschirmtes Schaltnetzteil

- ← asymmetrischer Störstrom im Innenraum der Schirmung
- ← - - - asymmetrischer Störstrom im Außenraum
- - - - Schirmung
- $R_N$  Netznachbildwiderstand

Das Prinzip läßt sich gut am vereinfachten Ersatzschaltbild nach **Bild 12** erklären. Mit Hilfe der Schirmung und dem gegen diese Schirmung geschalteten Kondensator  $C_y$  wird dem asymmetrischen Störstrom ein „Ersatzstromkreis“ angeboten. Im Idealfall ( $C_y \rightarrow \infty$ ) fließt nur noch im Innenraum der Schirmung ein Störstrom, so daß am Netznachbildwiderstand keine asymmetrische Störspannung  $U_{asym}$  mehr auftreten kann.

Wegen der elektrischen Sicherheit (Begrenzung des Ableitstroms) muß der Kondensator  $C_y$  in der Kapazität begrenzt sein. Der Störstrom verursacht deshalb am Blindwiderstand des Kondensators  $C_y$  einen Spannungsabfall  $U_{cy}$ . Diese Spannung treibt jetzt wieder einen asymmetrischen Störstrom über die äußere Koppelkapazität (zwischen Schirmung und Bezugspotential) und dem Netznachbildwiderstand.

Der asymmetrische Störstrom  $I_{asym}$  und damit auch die asymmetrische Störspannung  $U_{asym}$  im Außenraum ist um das Verhältnis der inneren Koppelkapazität  $C_K$  zur Kapazität des Kondensators  $C_y$  geringer als ohne  $C_y$  (Voraussetzung:  $C_{K\text{außen}} \ll C_{K\text{innen}}$ )

Beispiel:

$$\begin{aligned} C_{K\text{innen}} &= 100 \text{ pF} \\ C_y &= 5000 \text{ pF} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Entstörwirkung} &\approx \frac{100 \text{ pF}}{5000 \text{ pF}} = \\ &\frac{1}{50} \triangleq -34 \text{ dB} \end{aligned}$$

d. h., die asymmetrische Störspannung wurde durch diese Entstörmaßnahme auf ein Fünfzigstel oder um 34 dB abgesenkt.

Die Entstörung nur mit dem Kondensator  $C_y$  reicht häufig nicht aus, um den gesetzlich geforderten Störgrenzwert einzuhalten. Die Entstörschaltung muß durch Entstördrosseln, ggf. durch weitere Kondensatoren  $C_y$  ergänzt werden.

Im **Bild 13** ist die um eine Entstördrossel und einen zweiten Kondensator  $C_y$  zu einem  $\pi$ -Glied erweiterte Schaltung, **Bild 12**, wiedergegeben. Die Entstörwirkung läßt sich für den Sperrbereich des  $\pi$ -Gliedes und  $C_{K\text{außen}} \ll C_{K\text{innen}}$  überschlägig berechnen nach der Formel:

$$\text{Entstörwirkung} \approx \frac{C_{K\text{innen}}}{(2\pi \cdot f)^2 \cdot L \cdot C_{y1} \cdot C_{y2}}$$

$f$  = Frequenz

Beispiel:

$$f = 150 \text{ kHz} \quad C_{K\text{innen}} = 100 \text{ pF}$$

$$L = 15 \text{ mH} \quad C_{y1} = C_{y2} = 2500 \text{ pF}$$

Entstörwirkung

$$= \frac{100 \cdot 10^{-12}}{(2 \cdot 3,14 \cdot 150 \cdot 10^3)^2 \cdot 15 \cdot 10^{-3} \cdot 2,5 \cdot 10^{-9} \cdot 2,5 \cdot 10^{-9}}$$

$$= \frac{1}{833} \approx 1,2 \cdot 10^{-3} \triangle - 58 \text{ dB}$$

Durch die Erweiterung der Schaltung konnte die Entstörwirkung von 34 dB auf 58 dB erhöht werden ohne die Gesamtkapazität der Kondensatoren  $C_y$  erhöhen zu müssen.

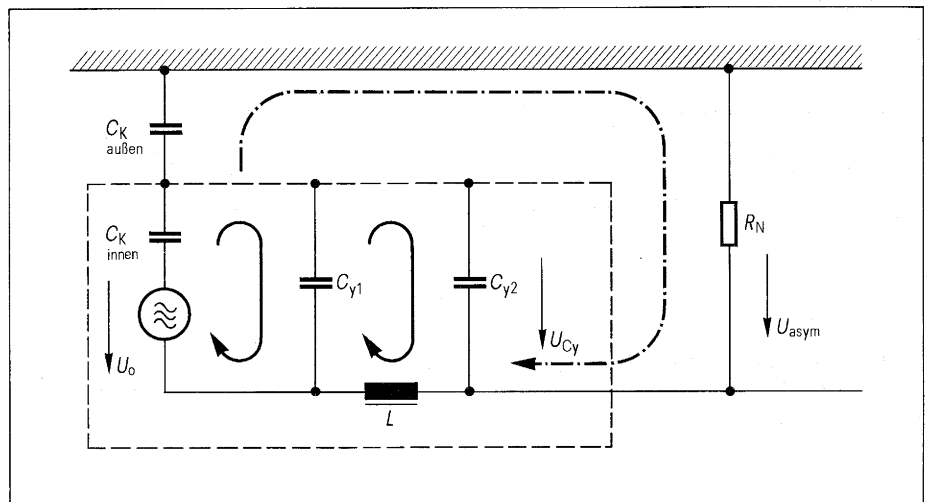
Ist ein Schutzleiter (Schutzklasse I) vorhanden, kann der Kondensator  $C_{y2}$  entfallen. Allerdings muß in diesem Fall die Kapazität  $C_{y1}$  um ein Vielfaches

$$\left( \sim \frac{C_{K\text{innen}}}{C_{K\text{außen}}} \right)$$

erhöht werden, da der asymmetrische Innenwiderstand jetzt von der inneren Koppelkapazität  $C_{K\text{innen}}$  alleine und nicht von der Reihenschaltung aus  $C_{K\text{innen}}$  und  $C_{K\text{außen}}$  gebildet wird.

Der Schutzleiter überbrückt die Kapazität  $C_{K\text{außen}}$ , was zur Folge hat, daß der asymmetrische Störstrom größer wird.

In den Ersatzschaltbildern ist zur Vereinfachung die Störquelle einpolig gegen das Bezugspotential (Wand des ge-



**Bild 13** Schaltnetzteil geschirmt und mit  $\pi$ -Glied-Entstörung

- ← asymmetrischer Störstrom im Innenraum der Schirmung
- ←--- asymmetrischer Störstrom im Außenraum
- Schirmung
- $R_N$  Netznachbildwiderstand

schirmten Raumes) gezeichnet. In der Praxis muß selbstverständlich jede an- und abgehende Leitung des Schaltnetztes so behandelt werden.

#### 6.4 Entstörschaltung für den Wandler-Eingang:

Die Standard-Entstörschaltung für Geräte der Schutzklasse I (Schutzleiter) nach **Bild 14** besteht aus einer stromkompensierten Drossel  $D_{r1}$  hoher Induktivität, zwei Kondensatoren  $C_1$  und  $C_2$  in symmetrischer Anschaltung sowie zwei gegen Masse geschaltete Kondensatoren  $C_4$  und  $C_5$ .  $R$  dient als Entladewiderstand.

Die Kapazität bzw. Induktivität der Bauelemente bewegt sich etwa zwischen folgenden Werten:

$$C_1, C_2: 0,1 \quad \dots 2 \mu\text{F} (x)$$

$$C_4, C_5: 2200 \text{ pF} \quad \dots 0,033 \mu\text{F} (y)$$

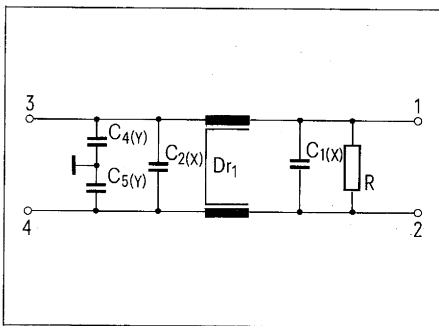
$$DR_1: 1,8 \text{ mH } 25 \text{ A} \quad \dots 47 \text{ mH } 0,3 \text{ A}$$

Geräte der Schutzklasse II (Schutzisolierung) benötigen aus den unter 6.3 beschriebenen Gründen die Kondensatoren  $C_4$  und  $C_5$  auch am Netzeingang.

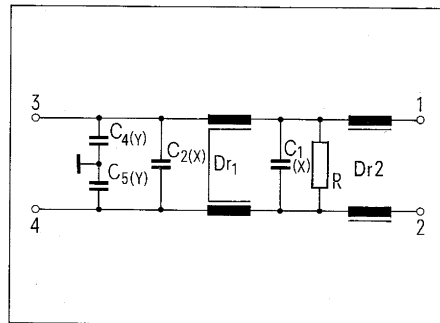
Bei der Auswahl der Entstörbau-elemente ist darauf zu achten, daß die Eigenresonanzfrequenz der Entstörschaltung unter der Wandlerfrequenz liegt.

Die Standard-Entstörschaltung kann durch die Drossel  $D_{r2}$  erweitert werden (**Bild 15**). Dadurch wird der Ladestrom des Kondensators  $C_1$  begrenzt. Von den Drosseln wird außerdem die symmetrische und asymmetrische Störspannung zusätzlich vermindert. Die Begrenzung des Einschaltstroms ist unter Umständen bei der Verwendung von Schaltnetzteilen in Datenverarbeitungs- und Übertragungsanlagen notwendig, um eine gegenseitige Störbeeinflussung der Elektronik beim Einschalten der Geräte zu verhindern.

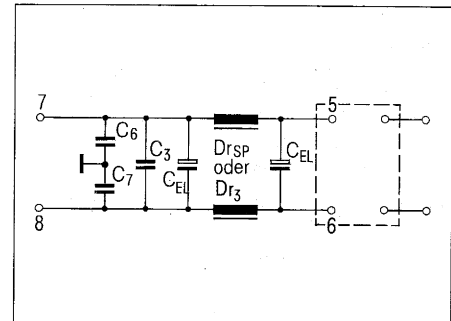
Für die Drossel  $D_{r2}$  sind je nach Stromstärke Induktivitätswerte von 0,5 ... 50 mH lieferbar.



**Bild 14** Standard-Entstörschaltung für Geräte der Schutzklasse I;  
1, 2 Netzeingang



**Bild 15** Erweiterte Standard-Entstörschaltung für Geräte der Schutzklasse I  
1, 2 Netzeingang



**Bild 16** Prinzipschaltung der Ausgangsentstörung  
 $Dr_{sp}$  Speicherdrossel oder  $Dr_3$  Zylinderkern-drossel  
5, 6 Wandler-Ausgang  
7, 8 entstörter Wandler-Ausgang

### 6.5 Störspannung des Wandler-Ausgangs und Entstörschaltung

Der Wandler-Ausgang muß nur dann entstört sein, wenn externe Verbraucher über ungeschirmte Leitungen von einer Länge von mehr als 2 m angeschlossen werden können. Ungeachtet dieser vom VDE aufgestellten Forderung ist es jedoch auch ratsam, diese Leitungen zu entstören, wenn das Wandler-Netzteil selbst Bestandteil eines anderen Gerätes ist. Dadurch wird die „Verseuchung“ von nicht störenden Teilen des betreffenden Gerätes durch Störungen aus dem Wandler-Netzteil verhindert.

Zu messen ist in diesem Fall die Störspannung mit dem in VDE 0877 Teil 1 festgelegten Tastkopf mit einem Eingangswiderstand von 1500 Ohm. Dieser Widerstand ist größer als der Netznachbildwiderstand, demzufolge ist die Störspannung am Ausgang höher als am Netzeingang. Dafür sind die Entstörungsmaßnahmen leichter durchzuführen, da z. B. die Kapazität von Kondensatoren, die gegen Masse geschaltet werden, wegen der kleinen Ausgangsspannungen aus sicherheitstechnischen Gründen nicht begrenzt ist.

**Bild 16** zeigt ein Beispiel für die Entstörung der Ausgangsseite. Ähnlich wie am Netzeingang können die Ausgangs-Elektrolytkondensatoren in Kombination mit etwa vorhandenen Speicherdrosseln oder einer Zylinderkern-Drossel (einige  $\mu\text{H}$ ) zur Bedämpfung der symmetrischen Störspannung ausgenutzt werden. Wegen des Oberwellengehalts des Ausgangsstromes kann es

auf Grund von Wirbelstromverlusten zu einer unzulässig hohen Erwärmung dieser Drossel kommen. Es wird deshalb empfohlen, Drosseln mit größerer Nennstromstärke als gleichstrommäßig notwendig zu verwenden. Eine Auswahl derartiger Drosseln ist in der Technischen Mitteilung „Schaltnetzteile“, Tabelle 44, wiedergegeben. Der Kondensator  $C_3$  dient zur Verbesserung der symmetrischen Entstörung im MHz-Bereich. Die Kondensatoren  $C_6$  und  $C_7$  vermindern die asymmetrische Störspannung. Wie hoch der Entstöraufwand für die Ausgangsleitungen getrieben werden muß, hängt vom Verwendungszweck des Wandler-Netzteils ab.

Übliche Werte für die Entstörkondensatoren:

$C_3$  : 1 ... 6,8  $\mu\text{F}$   
 $C_6, C_7$  : 2200 pF ... 6,8  $\mu\text{F}$

# 7. Maßnahmen zur Verminderung elektrischer und magnetischer Störfelder

Das elektrische Störfeld, welches durch plötzliche Spannungsänderungen zwischen Potentialen entsteht, läßt sich durch einfache Schirmungsmaßnahmen reduzieren. Auf Grund der Influenz ist es nicht notwendig, völlig geschlossene Schirmhüllen zu schaffen. Es genügt die Teilschirmung.

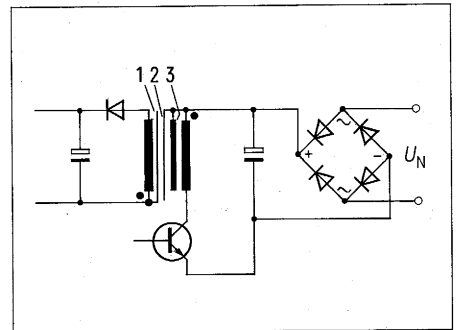
Diese Tatsache wird z. B. ausgenützt, um die Primär- und Sekundärseite des Wandlertransformators voneinander abzuschirmen.

**Bild 17** erklärt das Prinzip einer Schirmung des Transformators. Abgeschirmt sind die Primär- und die Sekundärwicklung mittels gefiederter Kupferfolie oder Leitvlies, um die Wirbelstromverluste so gering wie möglich zu halten. Schirmwicklungen sind wegen der hohen Frequenz unbrauchbar. Die Schirmung darf nicht geschlossen sein, da sonst eine Kurzschlußwindung entstehen würde. Die Schirme werden mit dem jeweiligen „kalten“ Ende der betreffenden Wicklung verbunden. Bei großen Transformator-kernen ist auch dieser mit der Schirmung der Primärwicklung zu verbinden, wenn die Primärwicklung zu-unterst aufgebracht ist.

Nachteilig ist, daß trotz sorgfältiger Ausführung der Schirmung immer noch Wirbelstromverluste auftreten. Außerdem erhöht sich die Streuinduktivität des Transformators, was sich ungünstig auf die Regelung und den Innenwiderstand des Wandlers auswirkt. Inwiefern diese Nachteile in Kauf genommen werden können, hängt vom Einzelfall ab. Ein Ausweg ist die Gesamtschirmung des Wandlernetz-teils. Sie führt immer zum Ziel, selbst dann noch, wenn auch von anderen Teilen des Wandlers, wie beispielsweise den Kühlkörpern der Schalttransistoren oder der Ausgangs-dioden, elektrische Störfelder ausgehen.

Magnetische Störfelder abzuschirmen erfordert wesentlich aufwendigere Konstruktionen als im vorgenannten Fall, da die Schirmungshüllen in sich geschlossen sein müssen. Hier ist es wichtig, daß in den Schirmungshüllen Wirbelströme fließen. Die Schirmungsteile müssen deshalb großflächig und elektrisch gut leitend miteinander verbunden sein.

Der Schirmungseffekt kommt dadurch zustande, daß bei hohen Frequenzen die Eindringtiefe des Feldes sehr gering ist. Die hochfrequenten Störströme breiten sich flächenhaft aus und schirmen so das Innere gegen das Störfeld ab. Bedingung ist, daß die Eindringtiefe der Störströme im Verhältnis zur Wandstärke der Schirmungshülle klein ist.

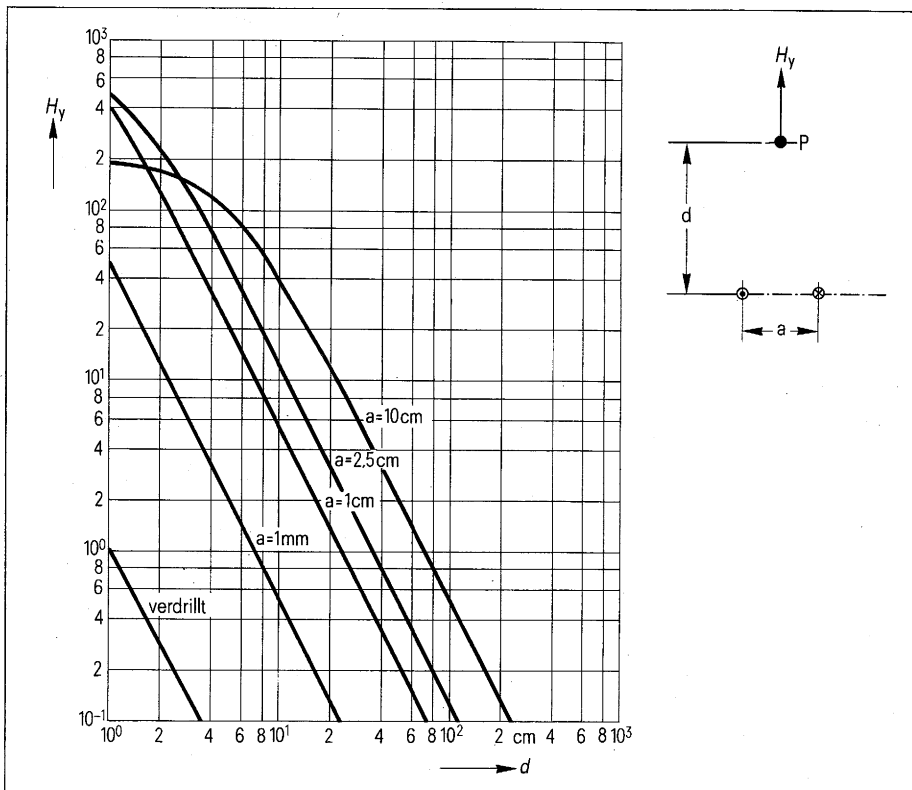


**Bild 17** Verminderung des Störpotentials durch elektrische Schirmung der Primär- und Sekundärwicklung.

- 1 Schirmung der Sekundärwicklung
  - 2 Schirmung der Primärwicklung
  - 3 Transformator-kern, mit der Schirmung der Primärwicklung verbunden
- $U_N$  Netz

Die Wirbelstromverluste müssen vom abzuschirmenden Stromkreis, der das magnetische Feld erzeugt, gedeckt werden. Eine große Leitfähigkeit des Schirmmaterials ergibt eine gute Schirmwirkung und ist hinsichtlich der Wirbelstromverluste günstig, während hohe Permeabilität des Schirmmaterials für die Schirmwirkung vorteilhaft ist, aber zu größeren Verlusten führt, was wiederum den Wirkungsgrad des Wandlernetz-teils verschlechtern kann.





**Bild 18** Magnetische Feldstärke  $H_y$  im Punkt  $P$  (normiert) in Abhängigkeit vom Leiterabstand  $a$  und vom Abstand  $d$  zum Leiterpaar. Störstrom in beiden Leitern gleich groß und entgegengesetzt gerichtet.

Die beste Lösung ist, hohe magnetische Störfelder erst gar nicht entstehen zu lassen. Man muß sich beim Entwurf des Schaltungsaufbaus zuerst fragen, von welchen elektrischen Stromkreisen hohe magnetische Störfelder ausgehen können. Die Antwort ist einfach, nämlich überall dort, wo hohe Störströme fließen. Als Beispiele seien die Stromkreise „Schalttransistor – Netz-Elektrolytkondensator – Primärwicklung“ oder Ausgangsdiode – Sieb-Elektrolytkondensator – Sekundärwicklung genannt.

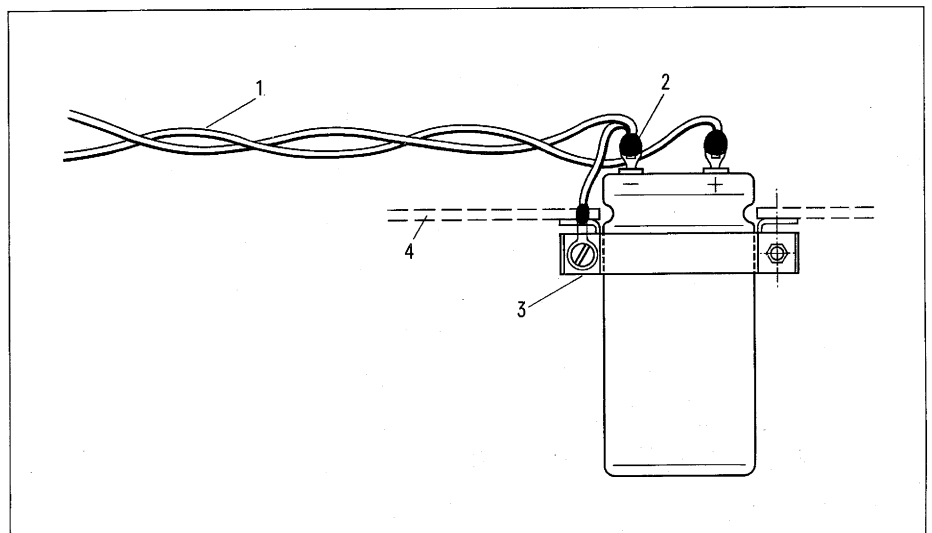
Das magnetische Feld ist nicht nur vom Störstrom, sondern auch von der Fläche der aufgespannten Leiterschleifen abhängig. Je kleiner diese Flächen sind, um so geringer ist das magnetische Feld. Am besten hat sich das Verdrillen von Leitungen bewährt. Bei gedruckten Schaltungen muß durch dicht beieinanderliegende korrespondierende Streifenleiter dafür gesorgt werden, daß die aufgespannte Fläche klein bleibt. Das **Bild 18** gibt den Zusammenhang der magnetischen Feldstärke in Abhängigkeit vom Leiterabstand und vom Abstand zum Leiterpaar wieder, wobei vorausgesetzt wird, daß der Störstrom in beiden Leitern gleich groß und entgegengesetzt gerichtet ist.

Die Zahlenwerte der magnetischen Feldstärke geben nicht den Absolutwert an, sondern sind auf eine verdrillte Leitung bezogen. So ist beispielsweise die magnetische Feldstärke eines Leiterpaares mit 1 mm Leiterabstand 50mal größer als die einer verdrillten Leitung.

Weiterhin ist aus Diagramm **Bild 18** zu ersehen, daß das magnetische Feld mit dem Quadrat des Abstands zum Leiterpaar abnimmt. Der Leiterabstand geht proportional ein.

Mit der Wahl des Abstandes zum Leiterpaar ist eine sehr wirksame Entstörmaßnahme gegeben. Das gilt besonders für die magnetische Verkopplung zwischen unentstörten und entstörten Leitungspaaren. Hier kann oft durch das Verdrillen und die Vergrößerung des Abstandes zwischen den unentstörten und entstörten Leitungspaaren mehr erreicht werden, als durch aufwendige Schirmung.

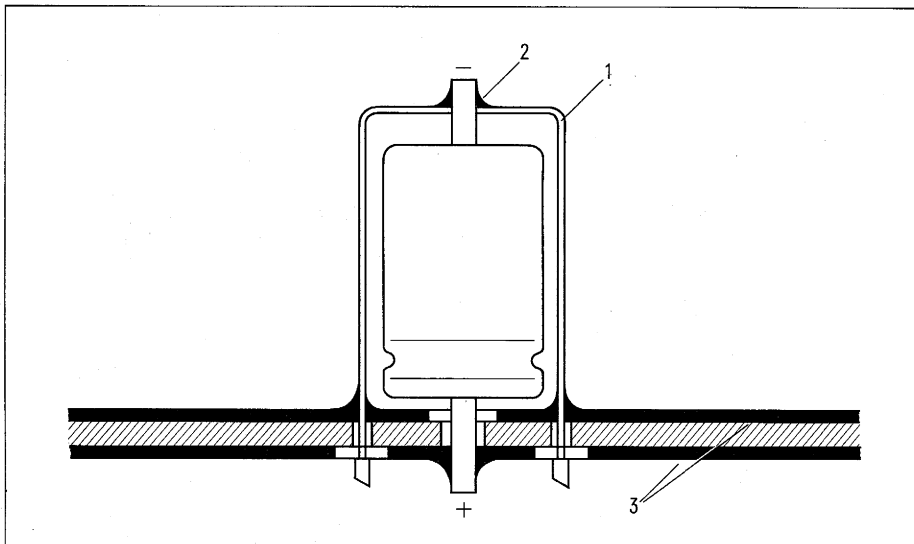
Gleiches gilt auch für die Bauelementeanordnung bei konventioneller Verdrahtung bzw. bei Montage auf Leiterplatten. Besonders beim Anschluß großvolumiger Bauelemente, wie Elektrolytkondensatoren in Becherbauform oder Übertrager und Speicherdrosseln großer Leistung, werden unbedachterweise Leiterschleifen gebildet. Dadurch wird der Vorteil der verdrillten Anschlußleitung wieder ganz oder teilweise aufgehoben. **Bild 19** und **20** zeigt die entstörwirksame Montage von Elektrolytkondensatoren. Die Montage nach **Bild 20** eignet sich besonders für ein Parallelschalten von Kondensatoren gleicher Bauhöhe, da über den Winkel ein gemeinsamer Kathodenanschluß mit sehr kurzer Zuleitung gegeben ist. Diese kurze Zuleitung ergibt sehr kleine Ersatz-Serien-Induktivitäten und die Schirmwirkung des Metallwinkels eine Verminderung der magnetischen Feldstärke.



**Bild 19** Elektrolytkondensator für Ring-schellenbefestigung entstörwirksam montiert. Zur Verminderung der magnetischen Feldstärke ist die Anschlußleitung (1) verdrillt und der Minuspol (2) über die Ringschelle (3) mit dem Kondensatorgehäuse verbunden. (4) Montageplatte.

Hohe magnetische Störfelder gehen auch von Spulen und Transformatoren aus. Die Spulen- und Transformatorenkerne sollten deshalb nur kleine Luftspalte haben, die in der Mitte der Kerne innerhalb des Wickelkörpers angeordnet sind. Am besten haben sich Schalenkerne mit innenliegendem Luftspalt bewährt. U- oder E-Kerne mit einem Luftspalt über alle Schenkel stellen bezüglich der magnetischen Störfelder die ungünstigste Lösung dar. In diesem Fall ist für die Abschirmung des Schaltnetzteils ein größerer Aufwand notwendig. Um das Streufeld der Wicklungen klein zu halten, sind große Wicklungshöhen zu vermeiden.

Bei Stromkreisen, die nur geringe Störströme führen, ist ein streufeldarmer Aufbau der Schaltung nicht so wichtig. Als Beispiel sei die nach **Bild 9** vorgeschlagene Zylinderkerndrossel zur Verringerung der symmetrischen Störspannung genannt. Der Störstrom, der durch diese Drossel fließt, ist um einige Größenordnungen geringer als im wandlerseitigen Elektrolytkondensator. Falls sich das Streufeld trotzdem störend auswirkt, wird die Verwendung von Ringkerndrosseln mit Karbonyleisen- bzw. Pulverkernen empfohlen.



**Bild 20** Elektrolytkondensator mit axialen Anschlußdrähten entstörwirksam montiert. (1) Winkel oder Becher aus Metall; (2) Minusanschluß des Elektrolytkondensators durch Lötung oder Schweißung mit (1) verbunden; (3) Leiterplatte mit beidseitiger Kaschierung.

# 8. Auswahl und Anordnung der Entstörbauelemente

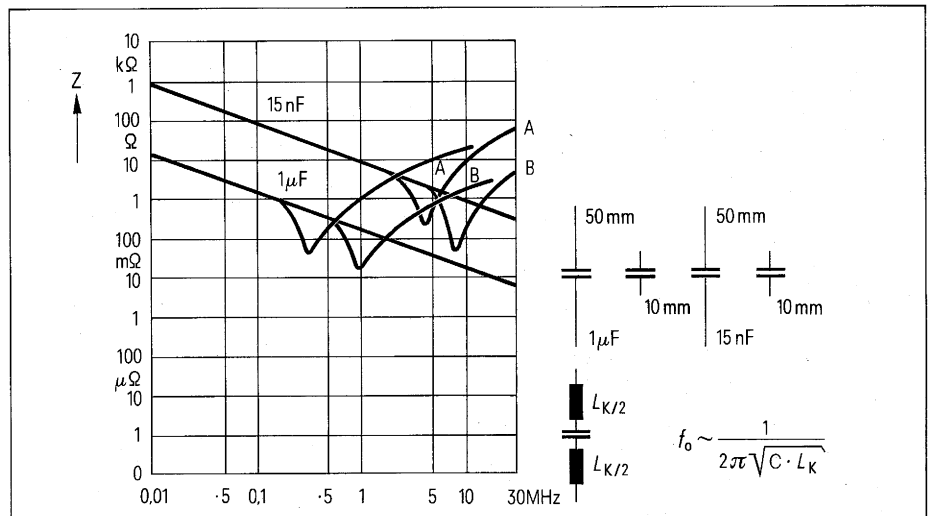
Die Wirksamkeit der Entstörschaltung hängt unter anderem von der richtigen Auswahl und Anordnung der Entstörbauelemente ab. Eine ungeschickte Anordnung der Entstörkomponenten setzt die Hochfrequenzdämpfung einer Entstörschaltung beträchtlich herab. Lange Anschlußleitungen von Kondensatoren verschlechtern durch die Induktivität in Reihe zur Kapazität die Entstörschaltung bei hohen Frequenzen. Bei Drosseln bewirkt die zur Induktivität parallel liegende Eigenkapazität eine Minderung der Hochfrequenzeigenschaften.

Für die richtige Auswahl der Entstörbauelemente ist deshalb nicht nur der Induktivitäts- bzw. Kapazitätswert, sondern auch der Scheinwiderstandsverlauf des betreffenden Bauelements maßgebend.

Bei Funk-Entstördrosseln wird deshalb in den Datenblättern neben der Stromstärke und der Induktivität auch der Scheinwiderstand in Abhängigkeit von der Frequenz angegeben.

Für Funk-Entstörkondensatoren ist die Angabe des Scheinwiderstandes seitens des Herstellers nicht sinnvoll, da hier die Anschluß-Drahtlänge eingeht. In **Bild 21** ist am Beispiel eines 1- $\mu$ F- und eines 15-nF-Kondensators der Einfluß der Anschluß-Drahtlänge gezeigt. Je kürzer die Anschlußdrähte gehalten werden, um so höher liegt die Eigenresonanzfrequenz und um so weiter erstreckt sich die Entstörschaltung des Kondensators.

Daraus folgt, daß Kondensatoren grundsätzlich so kurz wie möglich angeschlossen werden sollen.



**Bild 21** Scheinwiderstandsverlauf  $Z$  von Kondensatoren mit unterschiedlichen Anschlußdrahtlängen.

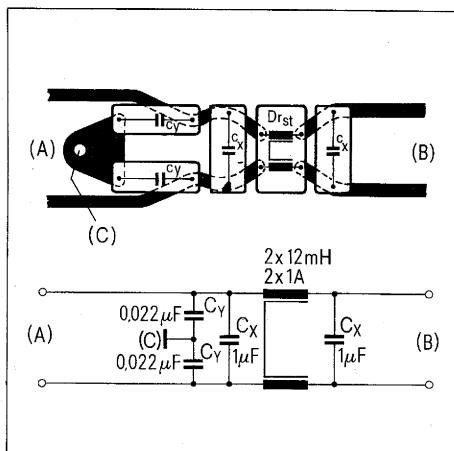
A  $2 \times 50$  mm Drahtlänge; B  $2 \times 10$  mm Drahtlänge. Faustregel: 1 cm Draht ca. 14 nH.

Ebenso wichtig ist die räumliche Anordnung der Entstörbauelemente. Um kapazitive und induktive Verkoppelungen zu vermeiden, sind die Bauelemente im Zuge der Leitung zu platzieren. **Bild 22** gibt ein Beispiel, wie Entstörbauelemente auf einer Leiterplatte im Zuge der Leitung angeordnet werden können.

Die Dämpfung einer Entstörschaltung im Kurzwellenbereich wird in erster Linie von den gegen Masse geschalteten Kondensatoren  $C_y$  bestimmt. Daher ist außer kurzen Kondensatoranschlüssen auch eine induktivitätsarme Verbindung zwischen dem Masseanschluß der Entstörschaltung und der Schirmung des Wandlers (z. B. Metallgehäuse) erforderlich. Diese Verbindung kann z. B. über eine ohnehin notwendige mechanische Befestigung mit Hilfe von metallischen Abstandsbolzen erfolgen.

Die Entstörschaltung sollte so weit entfernt wie nur möglich vom Wandlertransformator untergebracht werden, um magnetische Einstreuungen auf die Funk-Entstördrosseln zu vermeiden.

# 9. Sicherheitsbestimmungen



**Bild 22** Beispiel einer Entstörerschaltung mit Anordnung der Bauelemente auf der Leiterplatte.

(A) Wandlerseite; (B) Netzseite; (C) Bohrung zum induktivitätsarmen Anschluß der Masse über Stehbolzen.

$C_x$  X-Kondensatoren;  $C_y$  Y-Kondensatoren;  $D_{rst}$  stromkompensierte Drossel

Ist die letztgenannte Empfehlung bei kompakter Bauweise des Schaltnetzteils nicht durchführbar, so ist eine allseitige Abschirmung der Entstörerschaltung notwendig. Zur Abschirmung geeignet sind dicke, gut elektrisch oder magnetisch leitende Bleche, die breitflächig mittels Schrauben oder durch Lötung miteinander verbunden sind. Die Praxis hat ergeben, daß eine Schirmdämpfung von 30 dB bei der Wandler-Taktfrequenz von z.B. 35 kHz ausreichend ist. Die Blechdicke muß in diesem Fall etwa 1 mm bei Messing und 0,3 mm bei Stahl sein. Bei höheren Frequenzen kann die Blechstärke geringer sein, z. B. bei vierfacher Frequenz genügt bei Eisen halbe Blechstärke.

Neben guten Hochfrequenzeigenschaften müssen Entstörbauelemente auch den starkstrommäßigen Forderungen genügen. Die Erfüllung dieser Bedingung unterscheidet sie von anderen passiven Bauelementen.

Für Funk-Entstörmittel galten bisher die VDE-Bestimmungen 0550 Teil 6 (Entstördrosseln) und 0560 Teil 7 (Entstörkondensatoren).

Zukünftig gelten die VDE-Bestimmungen 0565.

- Teil 1 Funk-Entstörkondensatoren
- Teil 2 Funk-Entstördrosseln
- Teil 3 Funk-Entstörfilter bis 16 A

Bei der Auswahl der Entstörmittel müssen auch die Sicherheitsbestimmungen des zu entstörenden Gerätes beachtet werden. Durch die Beschaltung der Netzleitungen mit Kondensatoren gegen Gerätemasse fließt bei Berührung der Gerätemasse ein kapazitiver Ableitstrom zwischen Gerätegehäuse – Mensch – Erde. Dieser Strom muß begrenzt oder aber so abgeleitet werden, daß im Fehlerfall keine für den Menschen gefährlichen Spannungen an berührbaren Metallteilen auftreten können.

Für ortsveränderliche Geräte der Schutzklasse I (Schutzleiteranschluß) ist der Ableitstrom in der Regel auf 0,75 mA, für ortsfeste Geräte auf 3,5 mA begrenzt.

Auch bei Geräten der Schutzklasse II (Schutzisolierung) ist der Ableitstrom in bezug auf die innere Gerätemasse auf 3,5 mA begrenzt.

Kondensatoren, die gegen Gehäusemasse geschaltet werden dürfen, heißen Y-Kondensatoren. Sie haben eine besonders große Sicherheit gegen Durch- und Überschläge im Dielektrikum. Durch die richtige Auswahl der Kapazität wird der Ableitstrom unter 0,75 mA bzw. 3,5 mA gehalten.

Kondensatoren, die zwischen die Netzanschlußleitungen geschaltet sind, werden X-Kondensatoren genannt. Die Kapazität ist hier nicht begrenzt. Lediglich unter bestimmten Bedingungen (siehe VDE 0160 Teil 1/7.71, § 10c 3 und VDE 0760/... 75, Entwurf 2 § 8) kann ein Entladewiderstand erforderlich sein.

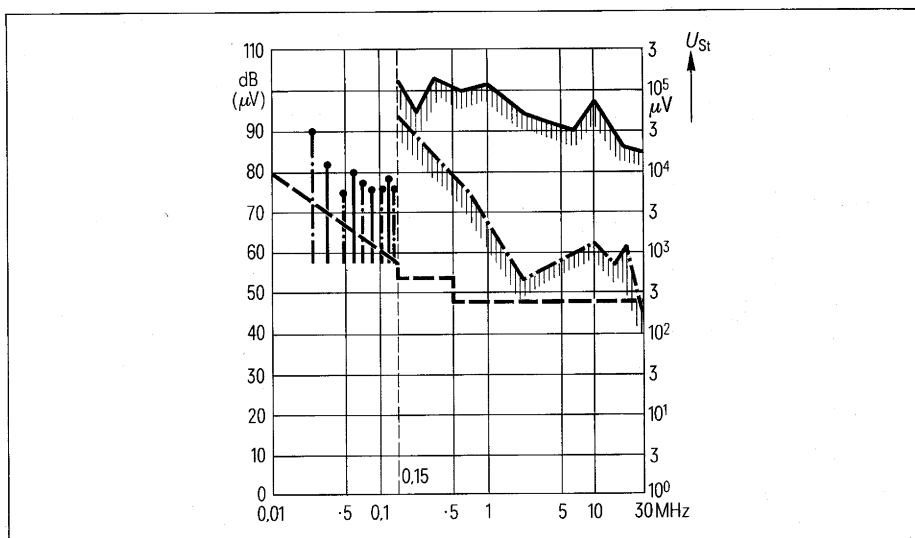
# 10. Beispiele aus der Entstörpraxis

Das **Bild 23** gibt die Störspannung eines Durchflußwandlers im Vergleich zu einem Sperrwandler für den Frequenzbereich von 10 kHz bis 30 MHz wieder.

Der Sperrwandler verursacht im Mittel- und Kurzwellenbereich wesentlich geringere Störspannungen als der Durchflußwandler. (Siehe Abschnitt 3 Störquellen.)

Anmerkung:

Der Störspannungs-Sprung im **Bild 23** bei 150 kHz ist durch den unterschiedlichen Scheinwiderstand der beiden Netznachbildungen (siehe Bild 8) begründet.

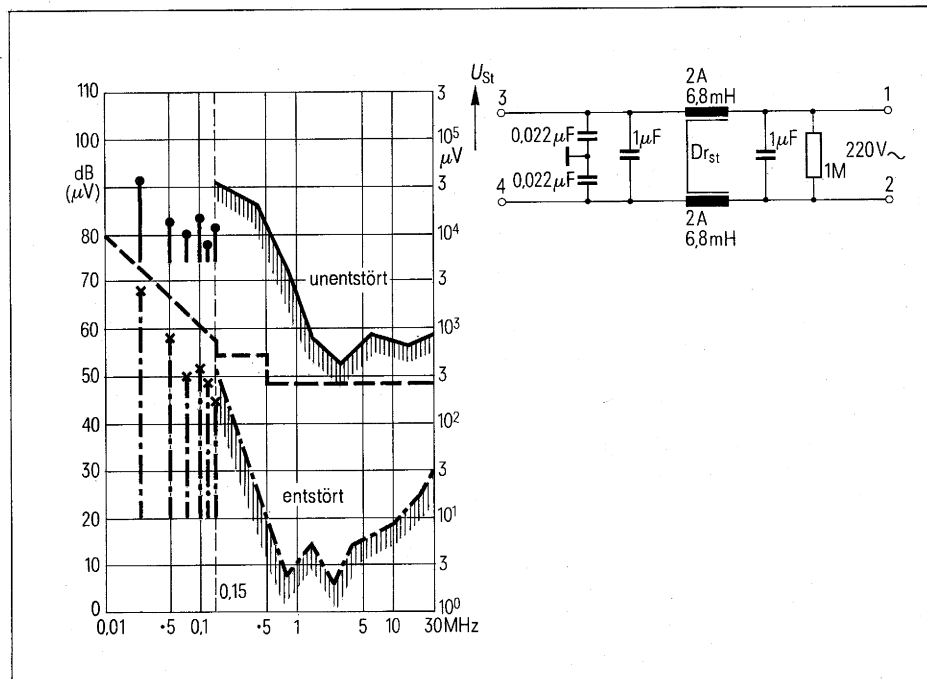


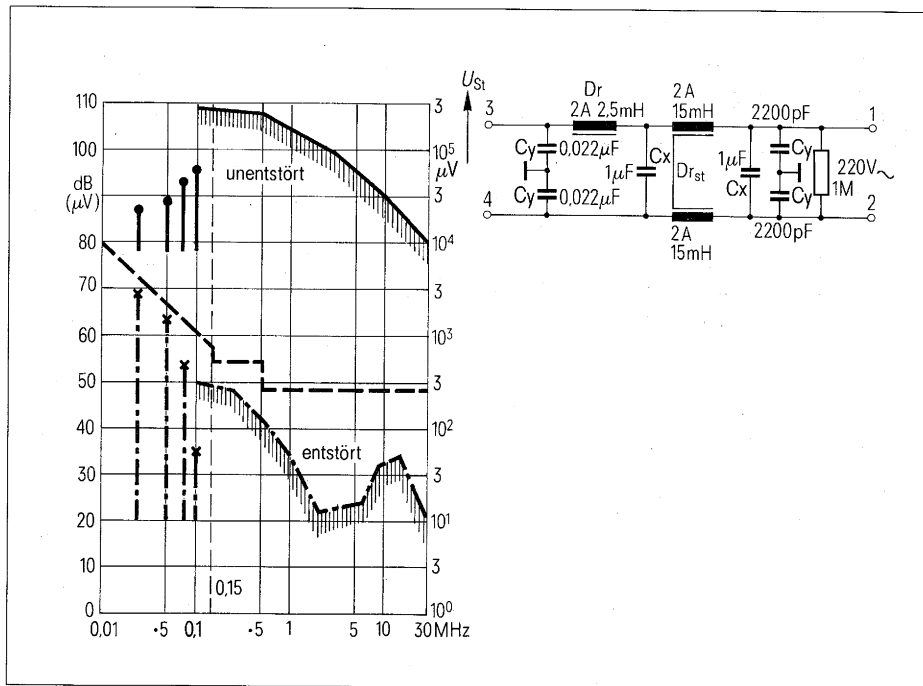
**Bild 23** Vergleich der Funkstörspannung  $U_{st}$  zwischen einem Durchflußwandler (— Kurve) und einem Sperrwandler (--- Kurve). Beide Wandler unentstört, Schutzklasse I (Schutzleiter, 250 VA Nennleistung). ---- Grenzwertklasse B nach VDE 0871/... 75. Im Bereich von 10 bis 150 kHz sind die einzelnen Spektrallinien, über 150 kHz die Einhüllende der Spektrallinien gezeichnet.

**Bild 24** Entstörschaltung und Funkstörspannung  $U_{st}$  eines Sperrwandlers, 250 VA, Schutzklasse I (Schutzleiter)

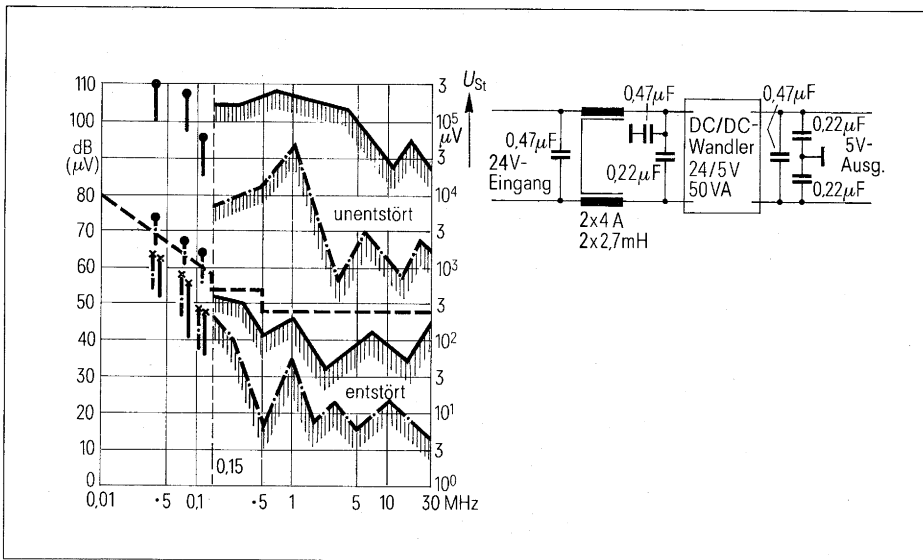
1, 2 Netzeingang; 3, 4 Wandler-Eingang;  $D_{rst}$  stromkompensierte Ringkern-Zweifachdrossel.

— unentstört  
 --- entstört  
 ---- Grenzwertklasse B nach VDE 0871/... 75





**Bild 25** Entstör-schaltung und Funkentstörspannung  $U_{st}$  eines Eintakt-Durchflußwandlers, 250 VA, Schutzklasse I (Schutzleiter)  
 1, 2 Netzeingang; 3, 4 Wandlereingang;  
 $D_r$  Ringkerndrossel mit Karbonyleisen- bzw. Pulverkern;  $D_{rst}$  stromkompensierte Ringkern-Zweifachdrossel.  
 — unentstört  
 - - - - - entstört  
 - - - - - Grenzwertklasse B nach VDE 0871/... 75



**Bild 26** Entstör-schaltung und Funkentstörspannung  $U_{st}$  eines DC/DC-Sperrwandlers 24 V/5 V, 50 VA.  
 - - - - - Kurven 24 V Eingang, Anschluß über V-Netznachbildung  
 — Kurven 5 V Ausgang, mit 1500-Ω-Tastkopf gemessen  
 - - - - - Grenzwertklasse B nach VDE 0871/... 75

Die höheren Funkstörungen des Durchflußwandlers erfordern auch einen höheren Entstöraufwand. Entstör-Beispiele zeigen **Bild 24** und **25**. Beide Wandler haben die gleiche Leistung und sind in Geräten mit Schutzleiteranschluß (Schutzklasse I) eingebaut. Die Ringkerndrossel mit Karbonyleisen- bzw. Pulverkern in der Entstör-schaltung des Durchflußwandlers dient zur zusätzlichen Bedämpfung der symmetrischen Störspannung. Beim Sperrwandler dagegen reicht die Streuinduktivität der stromkompensierten Drossel zusammen mit den beiden 1- $\mu$ F-Kondensatoren aus, um die symmetrische Störspannung unter dem Störgrenzwert zu halten.

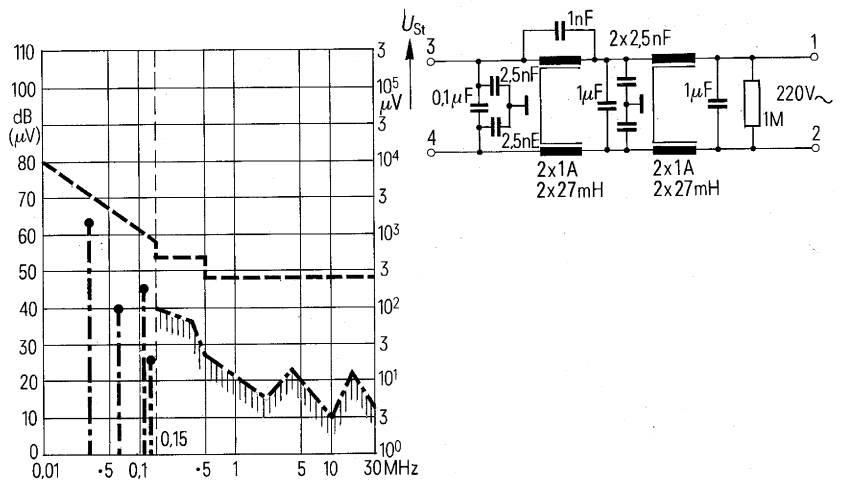
Um die höhere asymmetrische Störspannungskomponente des Durchflußwandlers ausreichend zu verringern, ist eine stromkompensierte Drossel mit etwa doppelter Induktivität gegenüber dem Sperrwandler notwendig. Die beiden 2200-pF-Kondensatoren ( $y$ ) am Netzeingang des Durchflußwandlers sind wegen der höheren asymmetrischen Störspannung im Kurzwellenbereich erforderlich.

Einfacher ist die Entstörung eines 24-V-/5-V-DC/DC-Sperr-Wandlers nach **Bild 26**. Der Vorteil ergibt sich aus der niedrigen Ein- und Ausgangsspannung. Da beide Spannungswerte als Kleinspannung einzustufen sind, ist es möglich, Kondensatoren mit großer Kapazität gegen Gerätemasse zu schalten.

**Bild 27** Entstörschaltung mit Sperrkreis und Funkstörspannung  $U_{st}$  eines Sperrwandlers 150 VA, 220 V~, entstört, Schutzklasse I (Schutzleiter)

1, 2 Netzeingang; 3, 4 Wandlereingang

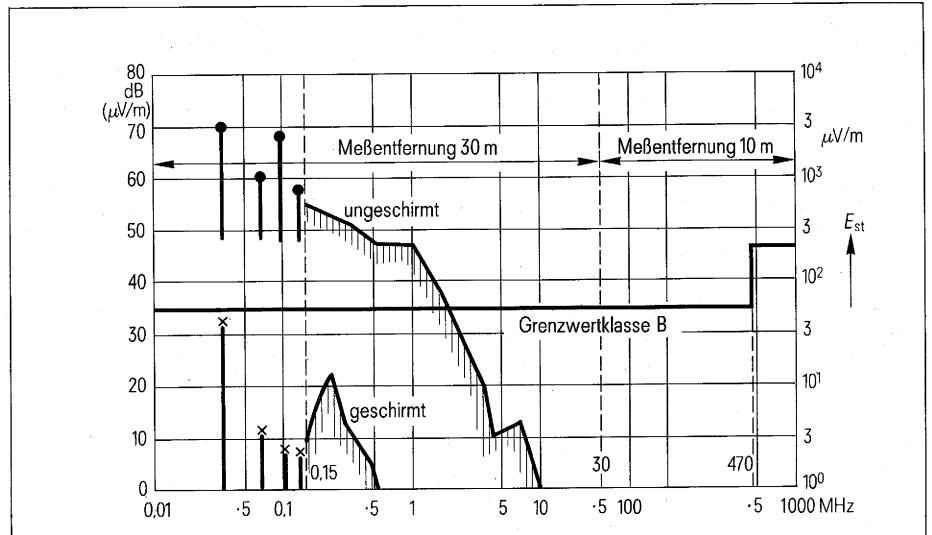
----- Grenzwertklasse B nach VDE 0871/... 75



Das Beispiel einer „Sonder-Entstörung“ eines Sperrwandler-Netzteils zeigt **Bild 27**. Da das Netzteil für einen speziellen Einsatz konzipiert war, mußte der Störpegel weit unter den gesetzlich geforderten Grenzwert reduziert werden. Erschwerend kam noch hinzu, daß die Y-Kapazität den Maximalwert von  $2 \times 5000$  pF nicht überschreiten durfte, da der Ableitstrom entsprechend der Forderung für ortsveränderliche Geräte unter 0,5 mA liegen mußte.

Die zulässige Y-Kapazität wurde auf zwei Y-Kondensatoren von  $2 \times 2500$  pF aufgeteilt. Neben den üblichen X-Kondensatoren war man gezwungen, zwei stromkompensierte Drosseln einzusetzen, wobei die eine durch Parallelschaltung mit einem 1-nF-Kondensator als Sperrkreis für die Grundwelle (ca. 30 kHz) wirkt.

Als weiteres Beispiel zeigt **Bild 28** den Verlauf der magnetischen Störfeldstärke eines Sperrwandler-Netzteils im ungeschirmten und geschirmten Zustand. An dem Sperrwandler waren keine besonderen Maßnahmen zur Verminderung elektrischer und magnetischer Störfelder getroffen. Noch in 30 m Entfernung werden im ungeschirmten Zustand magnetische Störfelder von einem Vielfachen des zulässigen Grenzwertes abgegeben.



**Bild 28** Magnetische Störfeldstärke  $E_{st}$  eines Sperrwandlers im ungeschirmten und geschirmten Zustand

Da die Konstruktion des Wandlers zum Zeitpunkt der Entstörversuche bereits unabänderlich abgeschlossen war, konnten die unter Abschnitt 7 empfohlenen Maßnahmen nicht mehr durchgeführt werden. Als Alternative blieb nur noch die Gesamtschirmung des Wandlers übrig. Als Schirmmaterial wurde vernickeltes 0,8 mm starkes Stahlblech verwendet. Das Schirmgehäuse war allseitig geschlossen, die Einzelteile waren großflächig miteinander kontaktiert. Für den nötigen Kontaktdruck sorgten im Abstand von 70 mm angebrachte Schrauben. Etwa 30 % der Schirmoberfläche waren mit runden Lüftungsöffnungen von 5 mm Durchmesser versehen.

Die Entstörung der Netzleitungen entsprach der in **Bild 24** dargestellten Schaltung.

Trotz der aufwendigen Abschirmung wird der Störfeldstärkegrenzwert von der Grundwelle (ca. 25 kHz) nur knapp eingehalten.

Spätere Verbesserungen an dem Sperrwandler-Netzteil nach Abschnitt 7 haben die magnetische Störfeldstärke der Grundwelle und der Harmonischen bis 150 kHz um etwa 30 dB vermindert. Dadurch war nur noch eine Teilschirmung des Wandlertransformators und der Entstörschaltung erforderlich.



# 11. Literatur

Seiler, V., und Wimmer, J.: Schnittstellenfilter für Daten- und Signalleitungen. Siemens-Zeitschrift 51, 1977, Heft 8.

Stoll, D.: EMC, elektromagnetische Verträglichkeit. Berlin: Elitera-Verlag 1976.

Schaller, R.: Die Funk-Entstörung von elektrischen Spielzeugetriebenen. Siemens-Bauteile-Report 1974, Heft 4.

Seiler, V.: Funk-Entstörung eines Hochfrequenz-Schleudergußgerätes. Siemens-Bauteile-Information 1973, Heft 2.

Kaiserswerth, H.-P., und Schaller, R.: Bedämpfte UKW-Drossel (R-L-Glied) – ein neues Bauelement für die UKW-Entstörung. Siemens-Bauteile-Information 1972, Heft 4.

Kaiserswerth, H.-P.: Ringkern-Funk-Entstördrosseln für Thyristorgeräte. Siemens-Bauteile-Information 1972, Heft 2, S. 25 bis 28.

Schulz, H.-W.: Funk-Entstörung mit stromkompensierten Drosseln. Siemens-Bauteile-Information 1972, Heft 2.

Benedikter, S.: Musterentstörung elektrischer Geräte, Maschinen und Anlagen. Siemens-Bauteile-Information 1971, Heft 3.

Wimmer, J.: Störleistungsmessung mit der absorbierenden Stromwandlerzange. Elektrotechnische Zeitschrift 1971, Heft 26.

Benedikter, S.: Funk-Entstörung elektrischer Geräte, Maschinen und Anlagen in Deutschland. Siemens-Bauteile-Information 1970, Sonderheft Funk-Entstörung.

Kübel, V.: Der Ableitstrom in der Funk-Entstörtechnik. Siemens-Bauteile-Information 1970, Sonderheft Funk-Entstörung.

Kaiserswerth, H.-P., und Wagner, H.: Eigenschaften von Funk-Entstörmitteln unter Betriebsbelastung. Siemens-Bauteile-Information 1970, Sonderheft Funk-Entstörung.

Schaller, R.: Funk-Entstörung einer Phasenanschnittsteuerung für Glühlampen. Siemens-Bauteile-Information, 1970, Sonderheft Funk-Entstörung.

Kaiserswerth, H.-P., und Ristig, E.: Hochfrequenzeigenschaften von geschirmten Kabinen und Raumabschirmungen. Siemens-Bauteile-Information 1970, Sonderheft, Funk-Entstörung.

Göbl, G.: Stromkompensierte Siferrit-Drosseln zur Funk-Entstörung. Siemens-Bauteile-Information 1970, Sonderheft Funk-Entstörung.

Schaller, R.: Funk-Entstörung von steuerbaren Silizium-Gleichrichterzellen (Thyristoren), Wechselrichter. Siemens-Bauteile-Information 1968, Heft 1.

Schaller, R.: Funk-Entstörung von steuerbaren Silizium-Gleichrichterzellen (Thyristoren), Batterieladegeräte, Siemens-Bauteile-Information 1967, Heft 4.

Schaller, R.: Funk-Entstörung von Silizium-Gleichrichterdiolen. Siemens-Bauteile-Information 1967, Heft 3.

Kaiserswerth, H.-P.: Funk-Entstörung, Funk-Entstörkondensatoren und -drosseln. Siemens-Bauteile-Information 1967, Heft 1, S. 4 bis 7.

Schulz, E.: Der Reduktionsfaktor von Schirmen. Frequenz, Band 21, 1967, Heft 9.

Ortloff, M.: Technische Grenzen der Bemessung von Filterketten zur Funk-Entstörung von Starkstromanlagen. Siemens-Zeitschrift 1966, Heft 3.

Kunath, H.: Praxis der Funk-Entstörung. Heidelberg. A. Hüthig-Verlag.

Warner, A.: Taschenbuch der Funk-Entstörung. Berlin. VDE-Verlag GmbH.

Seelemann, F.: Funk-Entstörung. Herausgegeben im Auftrag des Bundesministeriums für das Post- und Fernmeldewesen unter Mitwirkung von F. Rück und G. Use, Darmstadt. Berlin. O. Elsner Verlag 1954.

# 12. Normen und Vorschriften

DIN EN 50006, Juli 1973,  
zugleich VDE 0838,  
VDE-Bestimmungen zur Begrenzung  
von störenden Rückwirkungen in Strom-  
versorgungsnetzen, die durch Elektro-  
geräte für den Hausgebrauch und ähn-  
liche Zwecke mit elektronischen Steue-  
rungen verursacht werden.

VDE 0871/. . . 75, Entwurf 1,  
VDE-Bestimmungen für die Funk-Ent-  
störung von elektrischen Betriebsmit-  
teln und Anlagen mit beabsichtigter  
Hochfrequenz-Erzeugung.

VDE 0872/7.72,  
Bestimmungen für die Funk-Entstörung  
von Ton- und Fernseh-Rundfunkemp-  
fängern.

VDE 0874/10.73,

VDE-Leitsätze für Maßnahmen zur  
Funk-Entstörung

VDE 0875/6.77,  
VDE-Bestimmungen für die Funk-Ent-  
störung von elektrischen Betriebsmit-  
teln und Anlagen.

VDE 0876,  
VDE-Bestimmungen für Funkstörmeß-  
geräte.

VDE 0877,  
Bestimmungen für das Messen von  
Funkstörungen, Teil 1: Das Messen von  
Funkstörspannungen, Teil 2: Das Mes-  
sen von Funkstörfeldstärken.



