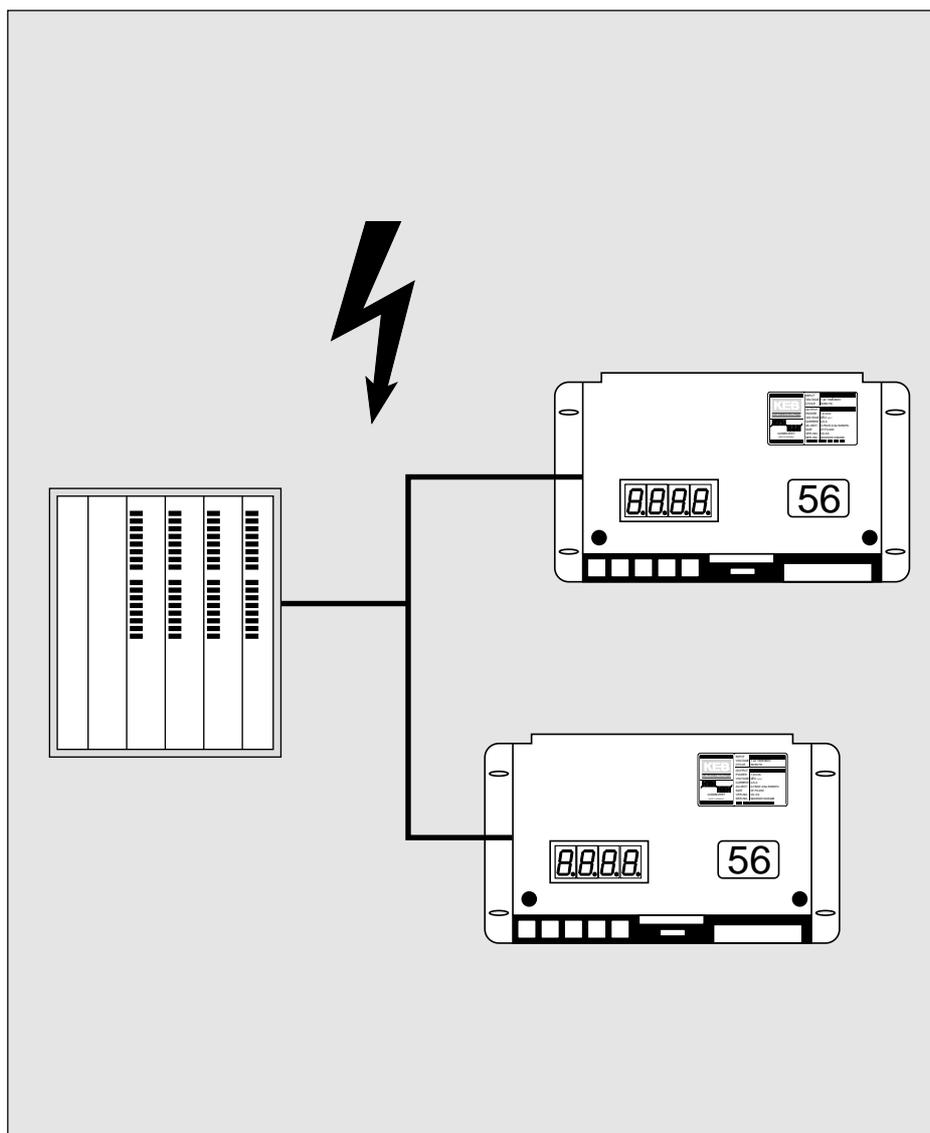


EMV-GERECHTE INSTALLATION



KURZSEMINAR

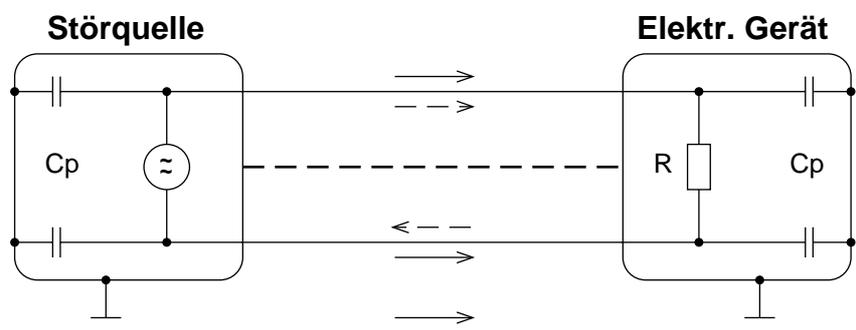
Inhaltsverzeichnis

EMV - Bereiche (Modell)	5
EMV Umgebungsklassen	6
KEB COMBIVERT Störspannungstest	8
Anschlußhinweise	10
Ausführungen von Abschirmungen	12
Erdung	15
Störschutz des Frequenzumrichters	17
Störschutz elektrischer Anlagen	17
Netzfilter	18
Funkentstörfilter	18
Schutzleiterdrossel	18
Motordrosseln	18
Ausgangfilter	19
Funkstörspannungsmessungen am Frequenzumrichter	20
Was kann ein externer Funkstörspannungsfiler leisten?	26
Berechnungsbeispiele	28

EMV - Bereiche (Modell)



- galvanisch
- induktiv
- kapazitiv
- gestrahlt



- > Symmetrischer Strom
- - - - -> Asymmetrischer Strom

EMV Umgebungsklassen

Prüfklassifizierung nach IEC 65 Publ. 801-4 (VDE 0843)

Klasse 1: Gut geschützte Umgebung

- Störschutzmaßnahmen in allen Schaltkreisen.
- Räumliche Trennung von Netz- und Datenleitungen, die aus höheren Umgebungsklassen eingeführt werden.
- Netzfilter und geschirmte Netzleitungen, wobei der Schirm beidseitig aufgelegt ist.

Eine repräsentative Umgebung stellt ein Computerraum dar. Die Anwendung der Prüfung ist auf Netz- und Erdleitungen beschränkt.

Klasse 2: Geschützte Umgebung

- Teilweise Störschutzmaßnahmen in Schaltkreisen.
- Räumliche Trennung aller Leitungen, die aus einer höheren Umgebungsklasse eingeführt werden.
- Räumliche Trennung von ungeschirmten Netz- und Steuerleitungen von allen anderen Leitungen.
- Fluoreszenzlampen.

Eine repräsentative Umgebung stellt der Kontrollraum einer Industrieanlage dar.

Klasse 3: Typische Industrieumgebung

- Keine Störschutzmaßnahmen in Schaltkreisen.
- Schlechte räumliche Trennung von Leitungen unterschiedlicher Umgebungsklassen.
- Kabelbündel; Netz-, Steuer-, Signal- und Datenkabel.
- Rohrleitungserdsystem, Erdkabel verbunden mit dem Schutzleiter.

Eine repräsentative Umgebung stellen Steuer- und Schalträume von Energieerzeugungs- und Freiluftschaltanlagen dar.

Klasse 4: Harte Industrieumgebung

- Keine Störschutzmaßnahmen in Schaltkreisen.
- Keine Trennung von Kabel unterschiedlicher Umgebungsklassen.
- Keine Trennung unterschiedlicher Leitungen.
- Kabelbündel; Netz-, Steuer-, Signal- und Datenkabel.

Eine repräsentative Umgebung stellen Freiluftinstallationen dar, z.B. Freiluftschaltanlagen, gekapselte Schaltanlagen bis 500 kV.

Klasse 5: Spezial

- Die unterschiedlichen Umgebungsbedingungen können es sinnvoll erscheinen lassen, Zwischenklassen zu definieren (größere oder kleinere).
- Es sollte angemerkt werden, daß Leitungen aus höheren Umgebungsklassen Leitungen aus tieferen Klassen beeinflussen können.

Prüfschärfegrade

Leerlaufausgangsspannung $\pm 10 \%$		
Klasse	Netzleitung	Signal-, Daten-, Steuerleitung
1	0.5 kV	0.25 kV
2	1.0 kV	0.5 kV
3	2.0 kV	1.0 kV
4	4.0 kV	2.0 kV
X	spezial	spezial

Fehlerkriterien

- Kein Verlust von Leistung oder Funktion.
- Zeitweiliger Verlust von Leistung oder Funktion (selbstheilend).
- Zeitweiliger Verlust von Leistung oder Funktion. Eingriff des Operators oder Systemreset wird notwendig.
- Funktionsverlust durch Zerstörung.

Im Fall von Abnahmeprüfungen ist die Definition der Prüfung und die Bewertung der Resultate von Hersteller und Anwender zu vereinbaren.

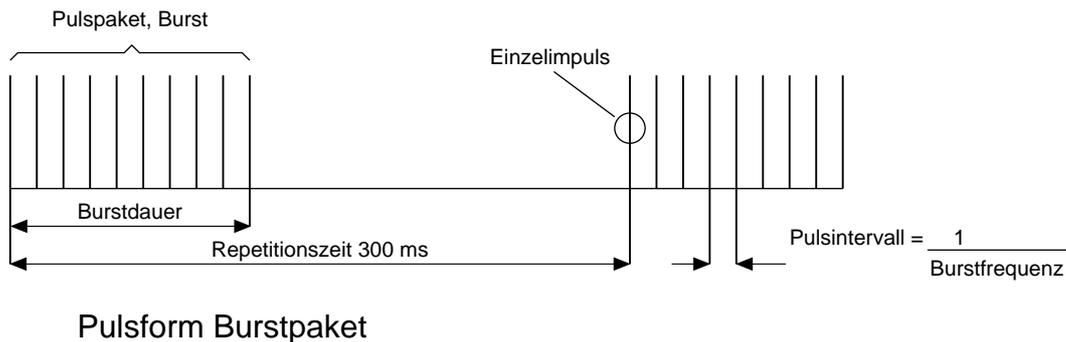
KEB COMBIVERT Störspannungstest

Allgemeines

Der Einschub NSG 225 des NSG 200 Netz-Störsimulatorsystems erzeugt Störimpulspakete (Bursts), wie sie durch induktiv belastete mechanische Schalter, Relais etc. produziert werden. Die Impulse haben eine kurze Anstiegszeit und somit ein umfassendes Störspektrum (bis über 200 MHz).

Pulsform, Amplitude und Repetitionsfrequenz entsprechen dem IEC-Normentwurf IC 65/WG 4 (Burst, showering arcs). Er definiert die notwendige Störimmunität von Mess- und Steuergeräten für industrielle Prozesse.

Diese Störimpulse bewirken durch die schnelle Anstiegszeit die meisten Fehlfunktionen in Digitalsystemen. Durch Summiereffekte innerhalb eines Burstpaketes können auch Analogschaltungen beeinflusst werden.

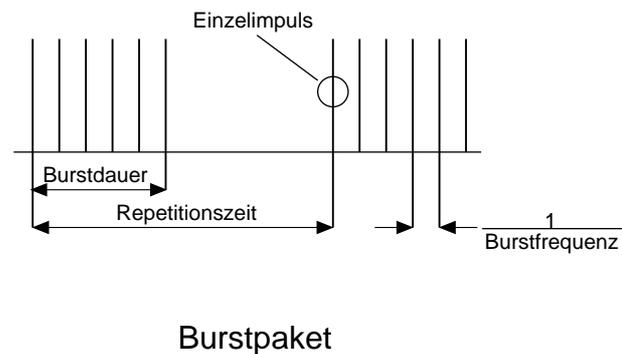
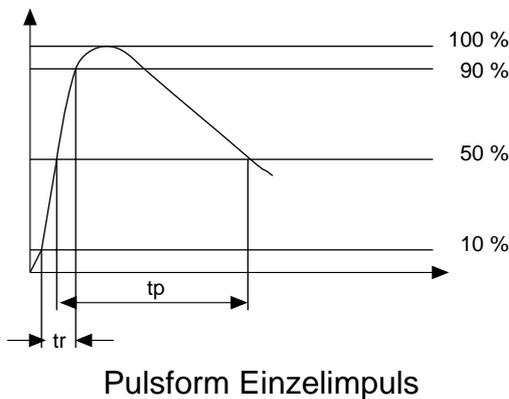


Ein einzelner Impuls hat eine dem NSG 222 (A) vergleichbare Form. Die Anstiegszeit beträgt ebenfalls 5 ns, die Pulsbreite ist 50 ns an 50 Ohm Last. Die unbelastete Pulsamplitude beträgt 300 V bis ca. 5000 V, kalibriert einstellbar auf 500 V, 1000 V, 2000 V und 4000 V (entsprechend TEST LEVEL I, II, III und IV des IEC-Normentwurfs).

Das NSG 225 wird vor allem verwendet als GO-NOGO Testgerät für Typenprüfung und Systemtest von gemischten Geräten (analog/digital) sowie Prüfungen nach der IEC-Norm.

Technische Daten

Aufbau:	System NSG 20 Einschub, abgestimmt auf NSG 200 E, ebenfalls kompatibel zu NSG 200 C/D.
Speisung:	Ab NSG 200, intern umsteckbar 110/220 V ± 20 % Frequenz 50 bis 60 Hz ohne Anpassung.
Leistungsaufnahme:	25 VA, Stromspitzen (10 ms) bis 4 A
Pulsdaten:	(OUTPUT, COUPLING OFF)



TEST LEVEL	I	II	III	IV
Nennwert Amplitude (100 %) unbelastet	500 V	1000 V	2000 V	4000 V
Burstfrequenz	5 kHz	5 kHz	5 KHz	2,5 kHz
Einstellbereich Amplitude ca. 0,3 bis 1,5 • Nennwert				

Anstiegszeit (tr)	5 ns ± 30 % an 50 Ohm Last
Pulsdauer (tp)	150 ns ± 20 % unbelastet 50 ns ± 20 % an 50 Ohm Last (TEST LEVEL III + IV)
Innenimpedanz	50 Ohm ± 10 %
Burstdauer	15 ms
Repetitionszeit	300 ms

Anschlußhinweise

- Motorleitungen sind grundsätzlich abzuschirmen, wenn elektronische Geräte durch induktive und kapazitive Einkopplung von Störimpulsen gestört werden können. Der Schirm wird immer auf der Umrichterseite an Erde angeschlossen. Der Anschluß des Schirmes auf Motorseite ist sinnvoll zur Verminderung des Störpegels bei induktiv wirkenden Störern. Hierbei dürfen weder unzulässige Netz-Ausgleichsströme über die Abschirmung fließen, noch durch Erdschleifen unzulässige Störspannungen auf dem Bezugsleiter entstehen. Gegebenenfalls ist eine Potentialausgleichsleitung vorzusehen (VDE 0160).

Anmerkung:

Der Anschluß der Abschirmung an beiden Enden kann bei symmetrischen Signalkreisen vorteilhaft sein, während bei unsymmetrischen Kreisen wegen einer eventuell möglichen störenden Erdschleifenbildung besondere Vorsicht geboten ist.

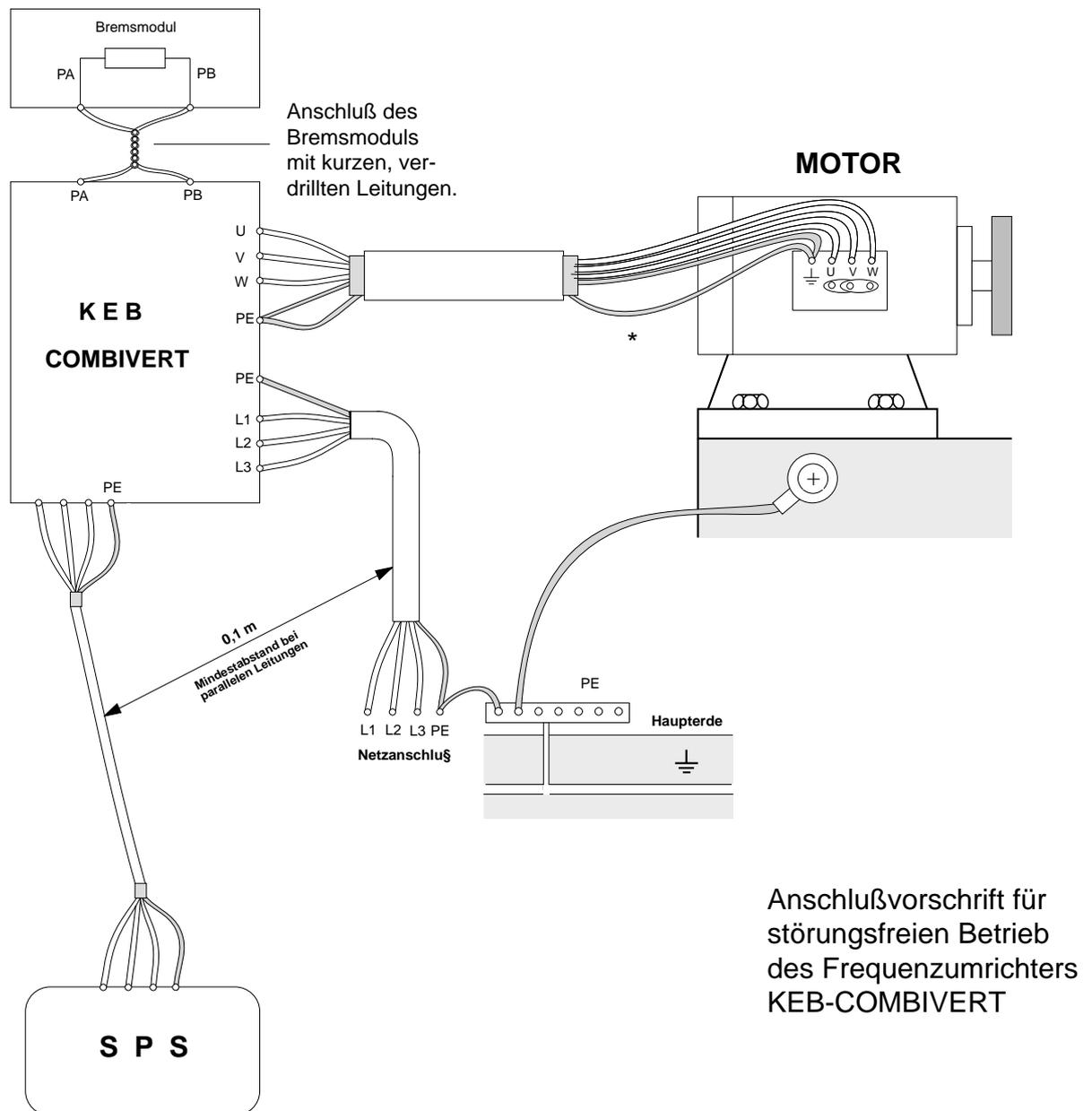
- Alle Leitungen der Steuerplatine und der Optionen sind abzuschirmen. Der Schirm ist auf Umrichterseite (Befestigungsschraube des Abschirmblechs für Steuerplatinenerde) zu befestigen. Der Schirm übernimmt zwei Aufgaben:
 1. Verminderung von Störeinkopplungen, die den Frequenzumrichter in der Funktion beeinflussen können.
 2. Verminderung von Störeinkopplungen, die die angeschlossene Steuerung beeinflussen können.

Allgemein kann man sagen, daß der Anschluß des Schirmes an dem Gerät erfolgen sollte, das besonders geschützt werden soll. Auch hier kann der Anschluß des Schirmes auf beiden Seiten vorteilhaft sein, jedoch nur, wenn oben erwähnte Bedingungen erfüllt werden.

- Frequenzumrichter gut erden, d.h. eine HF-mäßige, niederohmige Verbindung. Dies bedeutet:
 - a) möglichst kurze Verbindung zur Erde (Kabelinduktivität wird dadurch gering),
 - b) keine Kabelschlaufen verlegen (Induktionsspule),
 - c) möglichst großer Kabelquerschnitt (Skineneffekt); noch besser, Masseband verlegen,
 - d) großflächige Erdankopplung, d.h. z.B. Ringkabelschuh (besserer HF-Übergang),
 - e) fremdspannungsarme Erde verwenden.

Die gute Erdung des Frequenzumrichters ist besonders wichtig, da ohne diese Maßnahme die internen Funkentstörmaßnahmen nicht voll zur Wirkung kommen und die Abschirmung nur unzureichend wirkt.

Anschlußhinweise



* Bei störsicherer Verdrahtung gemäß VDE 0160 sind geschirmte Leitungen zu verwenden. Der Schirm wird **einseitig** angeschlossen. Bei hochfrequenten Störungen ist eine Verdrahtung gemäß VDE 0875 vorzunehmen. Bei dieser Funkentstörung muß der Schirm **beidseitig** großflächig aufgelegt werden.

Ausführungen von Abschirmungen

Schirmanschlußleiter sind isoliert und möglichst induktionsarm zu verlegen. Abschirmungen und Schirmanschlußleiter sollen nicht als Rückleiter verwendet werden (Ausnahme: Mantelleiter von Koaxialleitungen). Bei korrespondierenden Anlageteilen mit Potentialtrennung, ist das Abschirmsystem jeweils nur mit einem Bezugsleiter, der Masse oder dem Erdungssystem zu verbinden. Eine Doppelverbindung einer Abschirmung mit beiden Bezugsleitern ist zu vermeiden (VDE 0160).

Die Einkopplung von Störspannungen kann

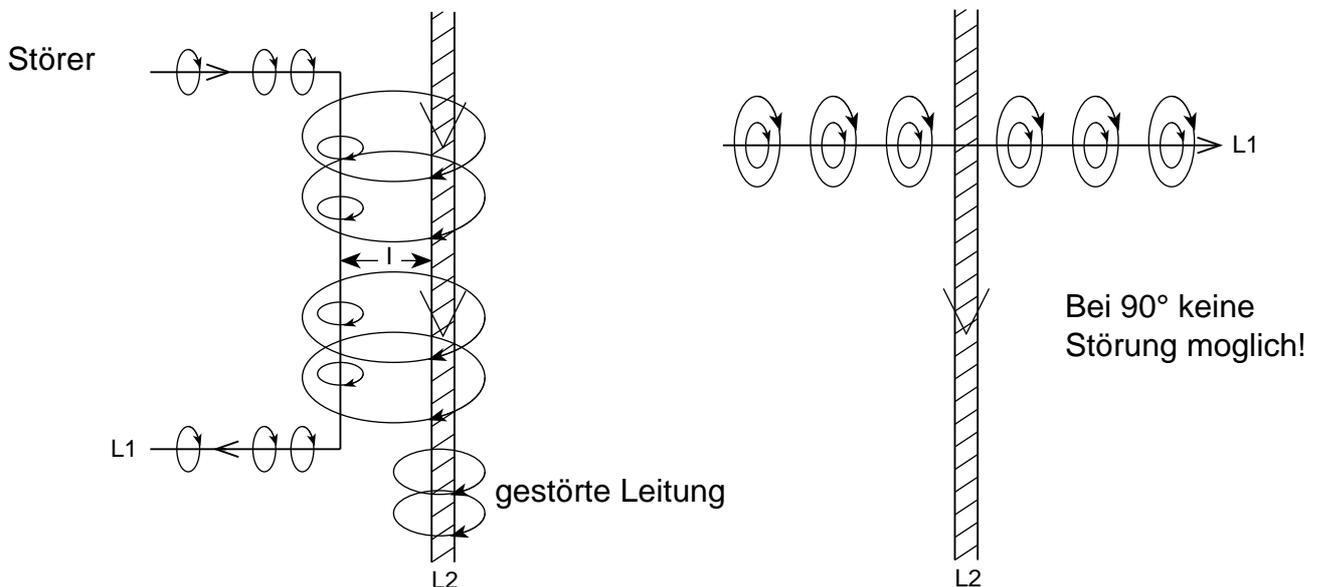
- a) induktiv erfolgen.
Sich ändernde Stromstärken in Starkstromleitungen (z.B. durch häufiges Schalten) erzeugen sich ändernde Magnetfelder, die in parallel verlegten Signalleitungen Störspannungen induzieren.
- b) kapazitiv erfolgen.
Große Spannungsänderungen in Starkstromleitungen erzeugen Änderungen des sie umgebenden elektrischen Feldes. Dadurch entstehen Störspannungen auf den Signalleitungen.

Maßnahmen gegen induktiv und kapazitiv eingekoppelte Störspannungen sind:

Möglichst großer Abstand zwischen Starkstrom- und Signalleitung. Signalleitungen und Starkstromleitungen dürfen nicht parallel verlegt werden.

Paarige Verdrillung schützt gegen induktiv eingekoppelte Störspannungen, Schirmung schützt gegen kapazitive Einkopplung. Verdrillte und abgeschirmte Leitungen ergeben in Verbindung mit getrennter Verlegung den bestmöglichen Schutz.

Parallele Leitungen



Störsicherer Anschluß von Befehls- und Signalleitungen

Maßnahmen für den störsicheren Anschluß von Befehls- und Signalleitungen beziehen sich hauptsächlich auf den Anschluß von analogen Signalleitungen, digitalen Signalleitungen, Initiatoren bzw. von Inkrementalgebern.

Gründe hierfür sind:

- kleine Signalleistungen,
- hohe Frequenzen von Zählimpulsen.

Einkopplung von Störspannungen

a) Induktive Einkopplung



Bild 1: Induktive Einkopplung von Störspannungen
Sich ändernde Stromstärken in Starkstromleitungen (z.B. durch häufiges Schalten) erzeugen sich ändernde Magnetfelder, die in parallel verlegten Signalleitungen Störspannungen induzieren.

b) Kapazitive Einkopplung

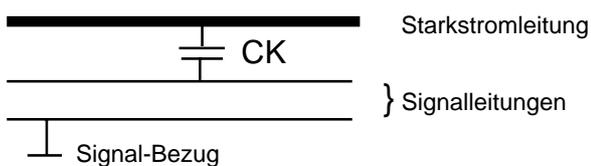


Bild 2: Kapazitive Einkopplung von Störspannungen
Große Spannungsänderungen in Starkstromleitungen erzeugen Änderungen des sie umgebenden elektrischen Feldes. Dadurch entstehen Störspannungen auf den Signalleitungen.

Maßnahmen gegen induktiv und kapazitiv eingekoppelte Störspannungen

Möglichst großer Abstand zwischen Starkstrom- und Signalleitungen.

Paarige Verdrillung von Signalleitungen schützt gegen induktiv eingekoppelte Störspannungen.

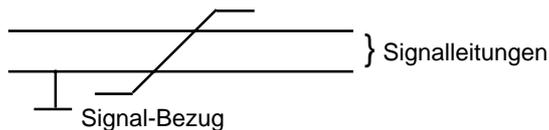


Bild 3: Verdrillte Verlegung von Signalleitungen.

Gemeinsame Schirmung der Signalleitungen schützt gegen kapazitiv eingekoppelte Störspannungen (abgeschirmte Leitungen).

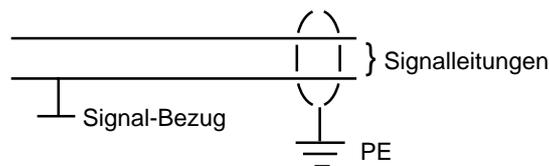


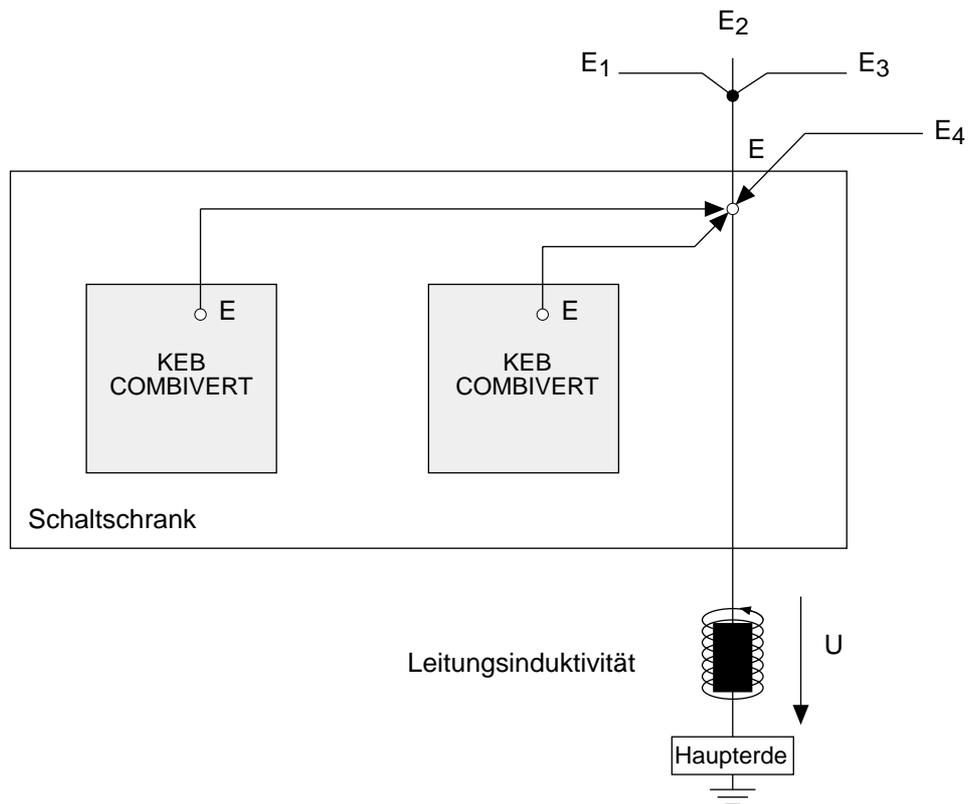
Bild 4: Abgeschirmte Verlegung von Signalleitungen.

Der Schirm wird niederohmig an einer Stelle an PE (Schirmerde) angeschlossen (Anwendung Potentialschiene). Kombinierte Verdrillung und Abschirmung bilden eine universelle Entstörmaßnahme.

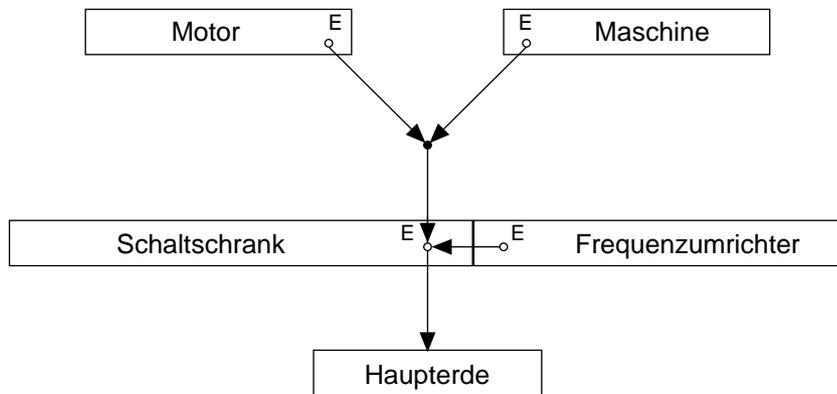
Hinweis:

Verdrillte und/oder abgeschirmte Verlegung von störenden Leitungen (z.B. Netzzuleitungen) verhindern sowie die Einkopplung von Störspannungen in benachbarte Elektronikkomponenten bzw. Signal- und Datenleitungen im Schaltschrank.

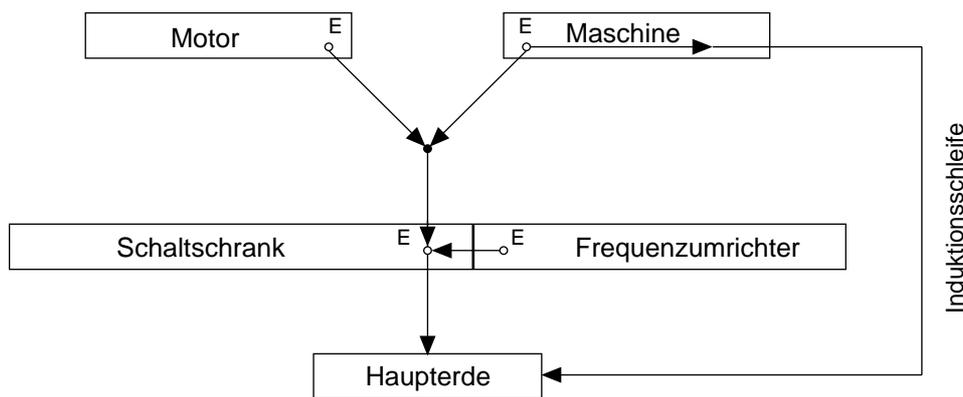
Erdung



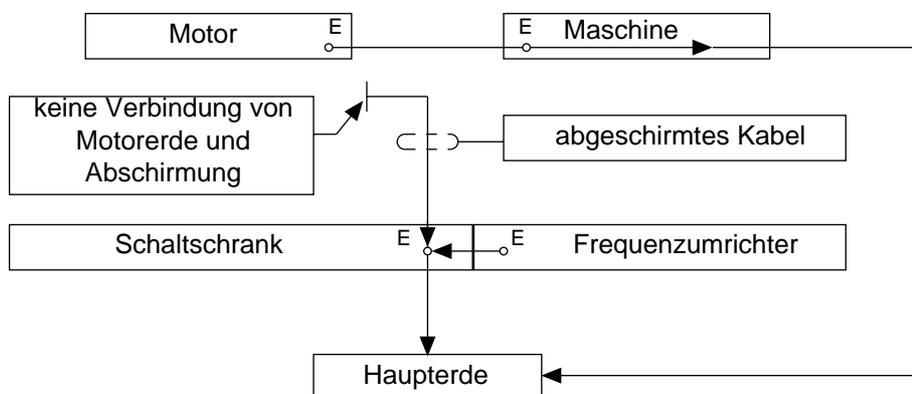
Richtig



Falsch



Abhilfe



Störschutz des Frequenzumrichters

Eine sichere Funktion des Frequenzumrichters kann bei verseuchter Umgebung nur gewährleistet werden, wenn die internen umfangreichen Schutzmaßnahmen extern unterstützt werden.

- Einsatz von Netzfiltern, wenn die Netzspannung durch das Zuschalten oder Abschalten großer Verbraucher beeinflusst wird (Kompensationsanlagen, Schweißgeräte, HF-Öfen, elektromagnetische Aufspannfutter, Motore).
- Zur Vermeidung von Störspannungen müssen induktive Verbraucher mit einer Schutzbeschaltung versehen werden. (Magnetventile, Relais, Schütze, Elektromagnete werden z.B. mit RC-Gliedern, Varistoren, Dioden beschaltet.)
- Befinden sich in der Nähe des Frequenzumrichters Erzeuger von elektrischen oder magnetischen Feldern (Transformatoren, Schütze etc.), sind diese Erzeuger möglichst weit entfernt zu platzieren, und Metallwände (gut geerdet) zur Abschirmung zu verwenden.

Störschutz elektrischer Anlagen

Der Frequenzumrichter erzeugt eine variable Ausgangsfrequenz mit einer variablen Spannung. Dies wird durch Pulsung einer Gleichspannung realisiert. Dabei entsteht eine Grundwelle und eine Vielzahl von Oberwellen, die sich als Störspannung galvanisch, induktiv und kapazitiv in andere Geräte oder Leitungen einkoppeln können, wenn keine geeigneten Gegenmaßnahmen erfolgen. Des weiteren entstehen elektromagnetische Wellen hoher Frequenz, die sich im Raum ausbreiten und abhängig von der Wellenlänge in Geräte und Leitungen (Antennenwirkung) einkoppeln.

Eine Reduzierung wird erreicht durch Verwendung:

- von abgeschirmten Motorleitungen,
- eines Funkentstörfilters vor dem Netzanschluß des Frequenzumrichters,
- einer Motordrossel oder eines Ausgangsfilters,
- guter HF-mäßiger Erdung des Frequenzumrichters, der Schirmung und der Filter.

Befinden sich in der Nähe des Frequenzumrichters Verbraucher, die durch elektrische oder magnetische Felder beeinflusst werden können, sind diese Verbraucher möglichst weit entfernt zu platzieren und Metallwände (gut geerdet) zur Abschirmung zu verwenden.

Netzfilter

Der Netzfilter wird am Eingang des Frequenzumrichters installiert und dient zur Unterdrückung von energiereichen Störspannungen aus dem Netz. Der Netzfilter besteht aus einer Drossel mit auf der Sekundärseite angebrachten X-Kondensatoren und Varistoren. Der Netzfilter reduziert auch im geringen Maße die vom Umrichter in das Netz gekoppelten Funkstörspannungen. Hierzu ist jedoch unbedingt eine abgeschirmte Netzleitung zwischen Netzfilter und Umrichter zu verwenden, wobei der Schirm auf Umrichterseite angeschlossen wird. Der Netzfilter ist nur in der Lage, niederfrequente Funkstörungen zu reduzieren, da die hohen Frequenzen durch die Streukapazität der Drossel ohne Dämpfung ins Netz gelangen.

Funkentstörfilter

Der Funkentstörfilter wird am Eingang des Frequenzumrichters installiert und dient zur Unterdrückung von Funkstörspannungen, die durch den Umrichter auf das Netz gekoppelt werden. Durch den Funkentstörfilter werden Störspannungen bis ca. 1 MHz recht gut gedämpft. Dagegen muß bei höheren Frequenzen der Entstöraufwand erheblich erweitert werden, da sich diese Frequenzen auch in Form von elektromagnetischen Wellen ausbreiten. Die Funktion des Funkentstörfilters ist nur gewährleistet, wenn dieser HF-mäßig gut geerdet ist und zwischen Filter und Umrichter ein abgeschirmtes Kabel verwendet wird.

Schutzleiterdrossel

Die Schutzleiterdrossel wird eingesetzt, wenn HF-mäßige Erdschleifen auftreten. Störströme, die sich entlang des Erdleiters ausbreiten und so von einem Gerät in das andere gelangen, werden mit der Erdleiterdrossel wirksam gedämpft.

Motordrosseln

Motordrosseln werden eingesetzt, um die am Umrichter angeschlossene Induktivität, die aus Motorinduktivität plus Drosselinduktivität besteht, zu erhöhen. Eine hohe Gesamtinduktivität ergibt einen besseren sinusförmigen Stromverlauf d.h., die Stromanstiegsgeschwindigkeit (speziell bei MF-Motoren) wird reduziert. Dadurch wird die in parallel verlegten Leitungen induzierte Störspannung reduziert. Zur Reduzierung der kapazitiven Einkopplung von Störspannungen trägt die Drossel nur indirekt bei. Durch die schnellen Spannungsänderungen fließt ein nadelimpulsförmiger Strom durch die parasitäre Kapazität in parallel verlegte Leitungen. Diese Ströme werden durch die Drossel reduziert. Da jedoch die Streukapazität einer Eisenkerndrossel mit großer Induktivität relativ hoch ist, besteht für kapazitive Störeinkopplung nur eine mäßige Dämpfung.

Ausgangsfiler

Motorzuleitungen haben je nach Länge, Ausführung und Verlegung Kapazitäten zwischen den Phasen und gegenüber der Abschirmung bzw. gegenüber Erde. Die durch diese Kapazität fließenden Ströme sind abhängig von der Größe der Kapazität, der Frequenz, der Taktfrequenz und der Spannungsanstiegsgeschwindigkeit. Diese Ströme fließen durch die Endstufentransistoren und können zur Abschaltung durch Überstrom (OC) oder Erdschluß (GF) führen.

Eine Reduzierung dieser Kommutierungsströme bzw. Ableitströme wird durch Einsatz eines Ausgangsfilters zwischen Umrichter und Motor erreicht. Dieser Ausgangsfiler besteht aus Spezial-HF-Drosseln mit Induktivitätswerten von nur einigen 100 μH . Die Streukapazitäten sind sehr gering, so daß eine gute Dämpfung der HF-mäßig auftretenden Ströme gewährleistet ist.

Normalerweise ist der Einsatz nur bei Umrichtern mit hoher Taktfrequenz, schnellschaltenden Transistoren, kleinen Umrichter-Nennströmen und langen Motorleitungen ($> 10\text{ m}$) erforderlich. Durch die HF-mäßig gute Filterwirkung wird der Ausgangsfiler jedoch auch zur Verringerung von EMV-Störungen verwendet. Diese Filter stehen für Störme bis ca. 6 A zur Verfügung.

KEB übernimmt keine Verantwortung für Fehler und Mißverständnisse im Zusammenhang mit Angaben in Katalogen, Handbüchern oder anderem gedruckten Material.

Funktörspannungsmessungen am Frequenzumrichter mit unterschiedlichen Maßnahmen zur Entstörung

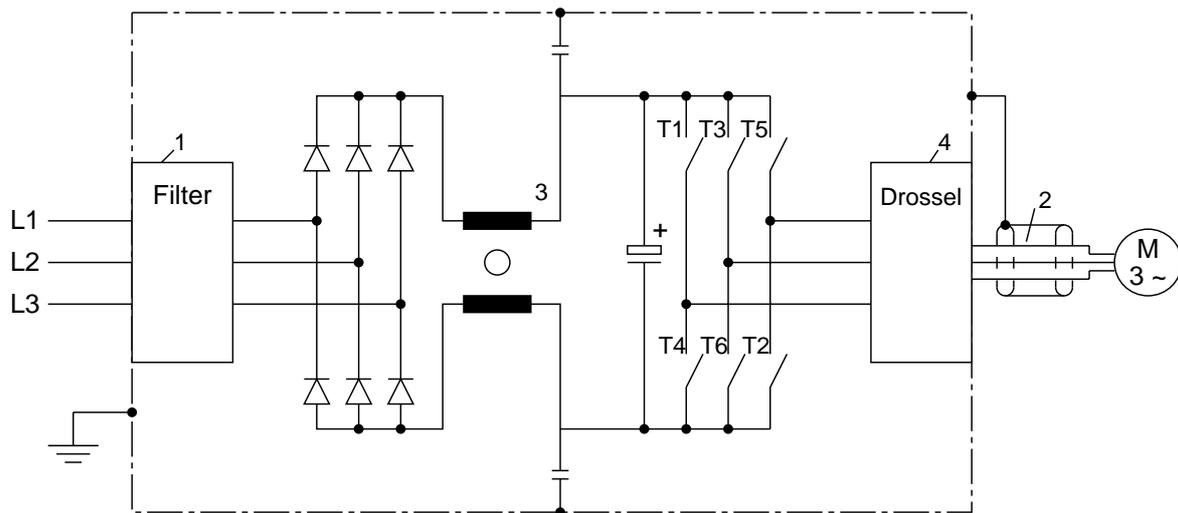


Bild 1

Prinzipschaltbild eines Frequenzumrichters mit unterschiedlichen Möglichkeiten zur Entstörung

Funkentstörmeßprotokoll mit ESH 3 nach VDE 0871 bzw. VDE 0875, Teil 3

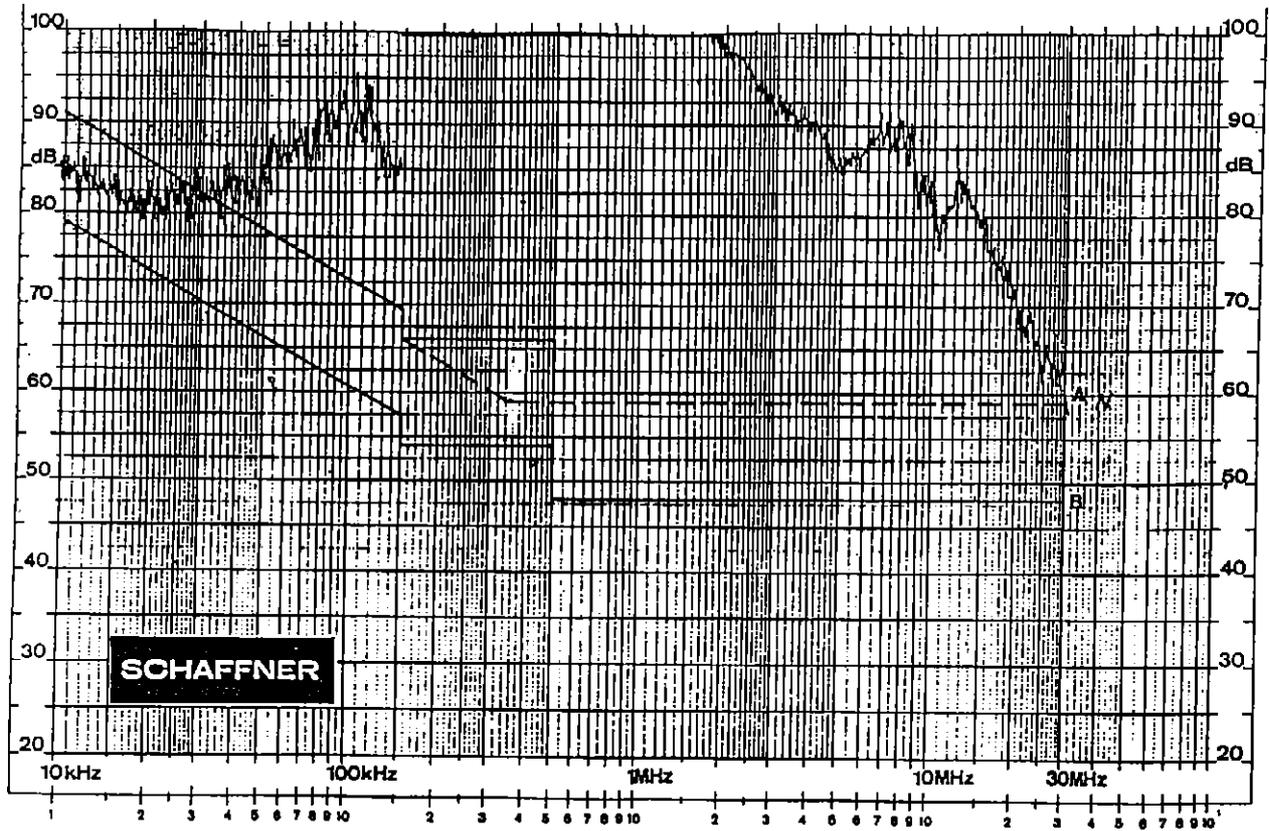
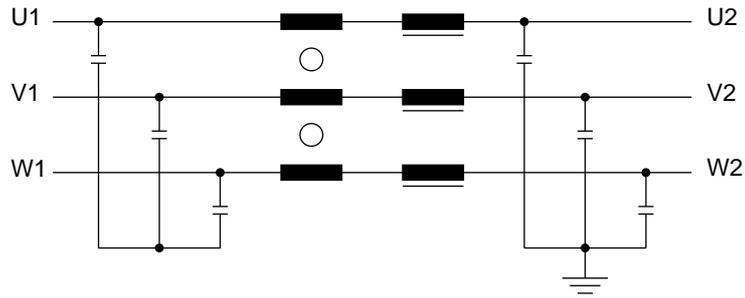


Bild 2
Störleistungsspektrum eines 15 kW-Umrichters



Schaltung Filter FS 3826 - 16/07

Funkentstörmeßprotokoll mit ESH 3 nach VDE 0871 bzw. VDE 0875, Teil 3

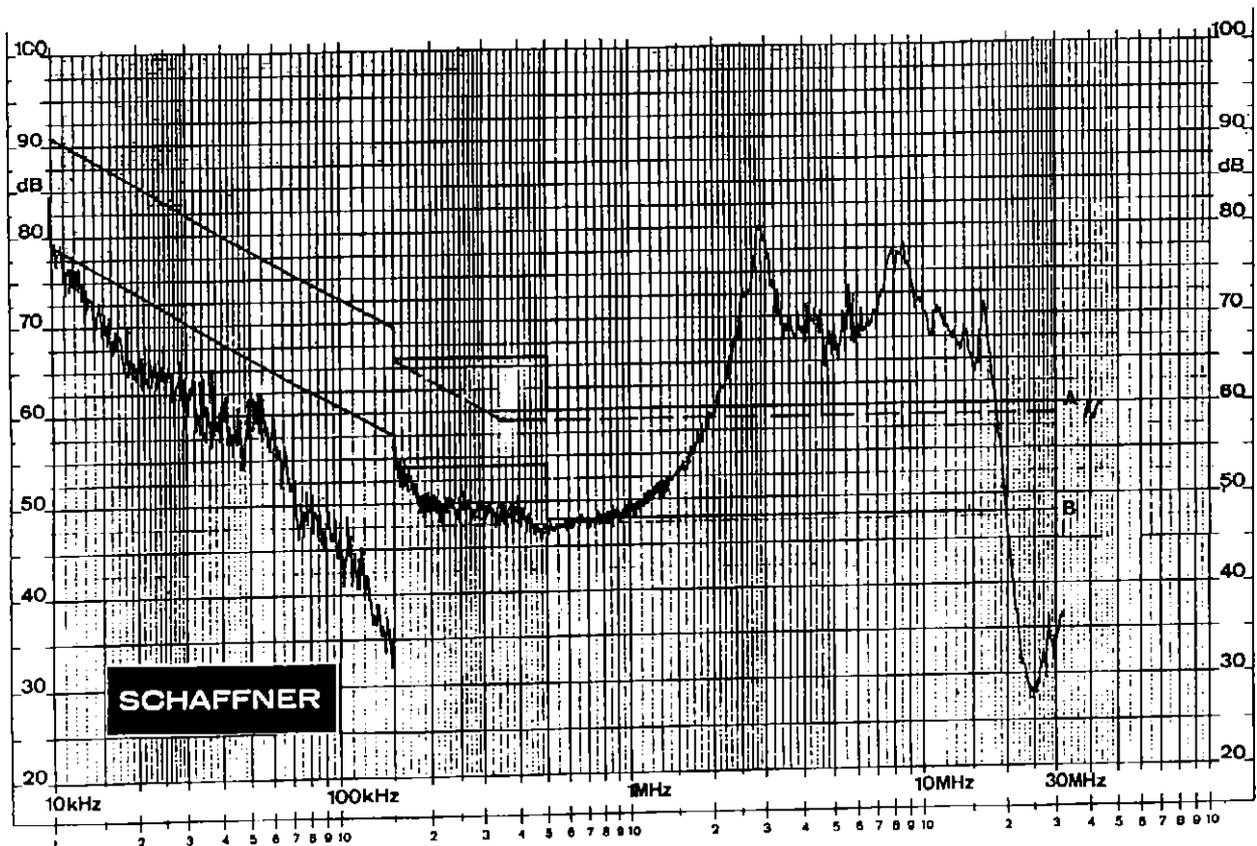


Bild 4
Störspektrum mit Filter FS 3826 ohne weitere Entstörmaßnahmen

Funkentstörmeßprotokoll mit ESH 3 nach VDE 0871 bzw. VDE 0875, Teil 3

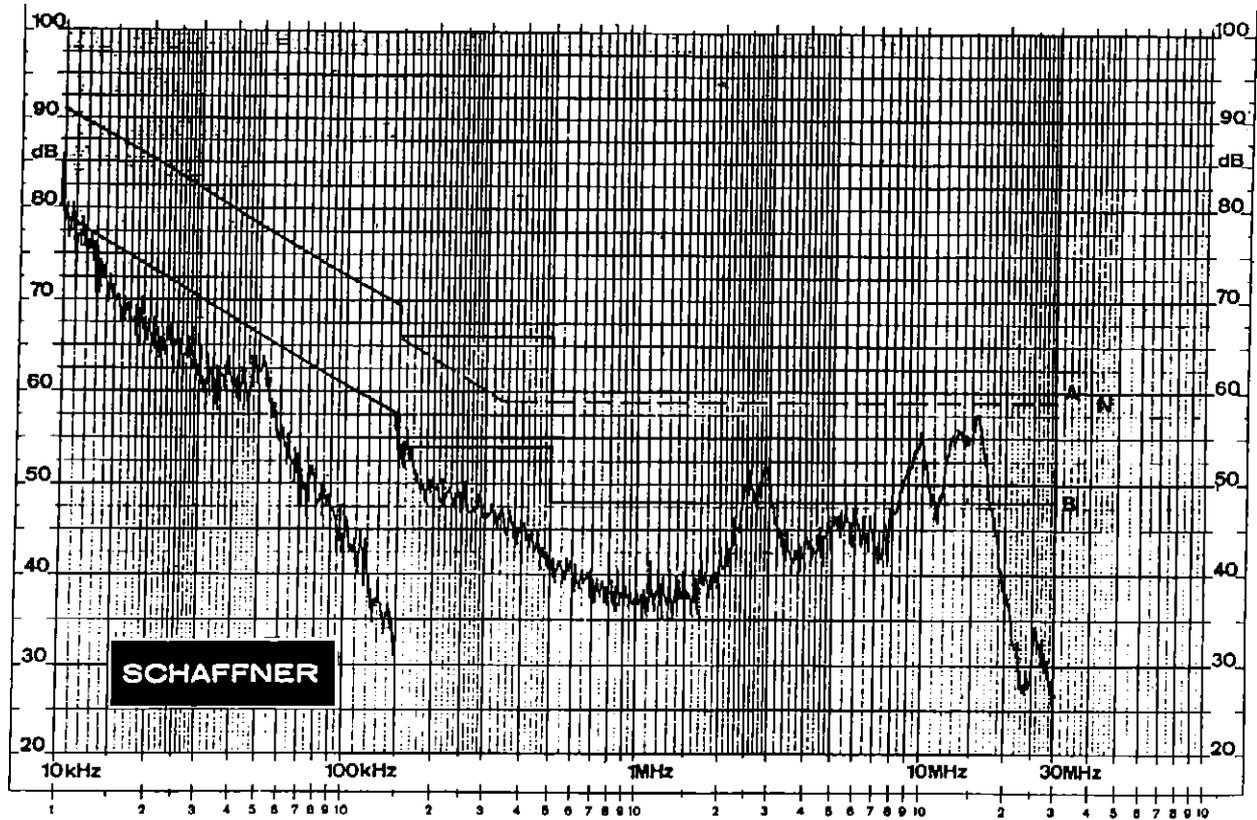


Bild 5

Störspektrum mit Filter und geschirmter Leitung zwischen Umrichter und Motor

Funkentstörmeßprotokoll mit ESH 3 nach VDE 0871 bzw. VDE 0875, Teil 3

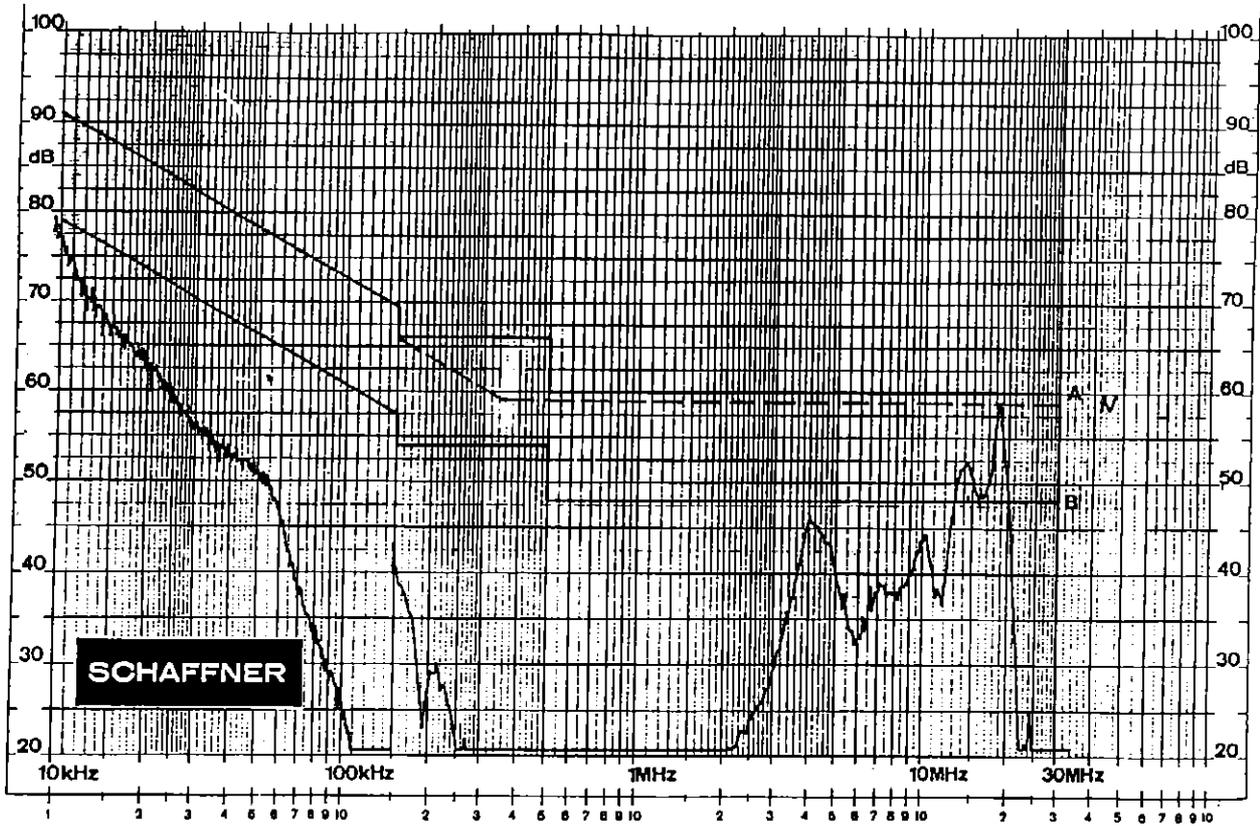


Bild 6

Wie in Bild 5, jedoch mit zusätzlichen Tiefpaß im GS-Zwischenkreis

Funkentstörmeßprotokoll mit ESH 3 nach VDE 0871 bzw. VDE 0875, Teil 3

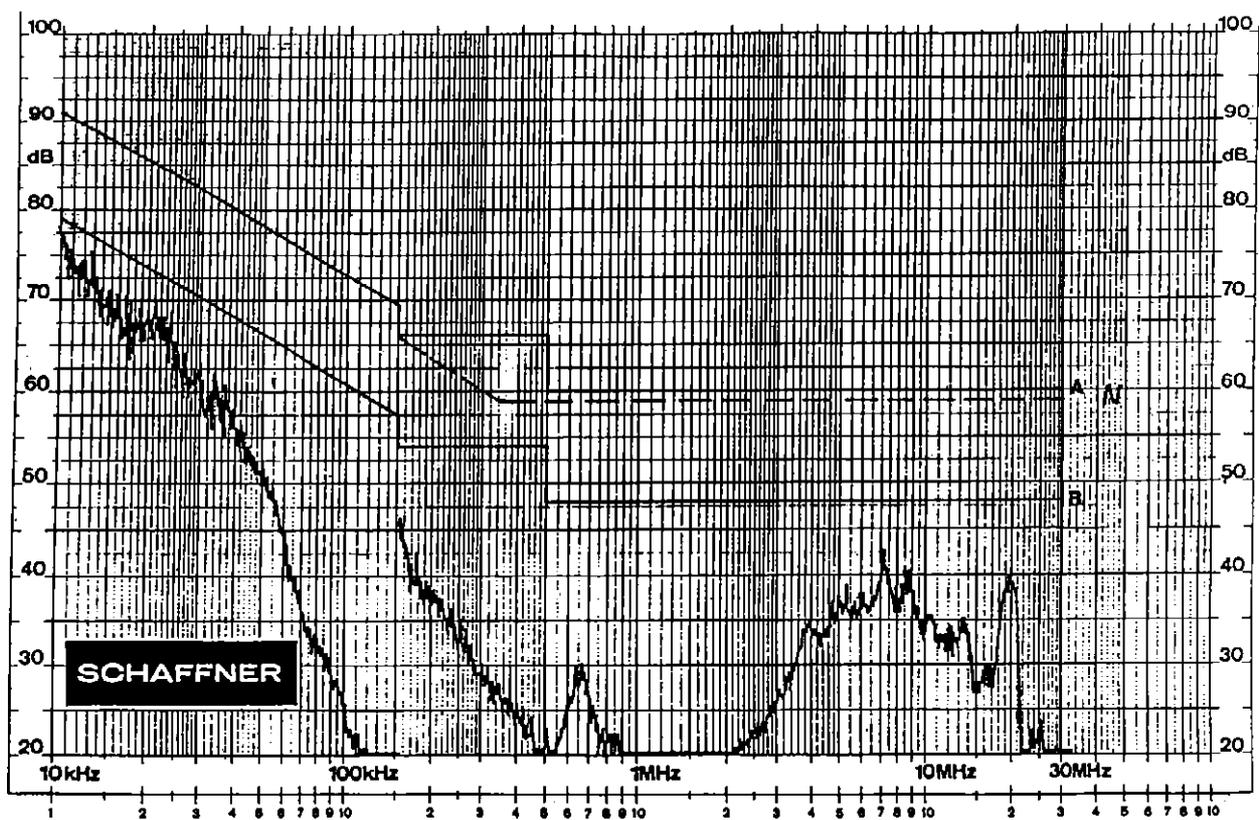


Bild 7

Tiefpaß im GS-Kreis und stromkompensierter Drossel in der Motorleitung

Was kann ein externer Funkstörspannungsfilter leisten?

Ein externer Funkstörspannungsfilter sitzt in der Versorgungsleitung zum Frequenzumrichter und sorgt dafür, daß die leitungsgebundenen Störungen von einigen 10 kHz bis zu einigen 10 MHz reflektiert und absorbiert werden.

Ab ca. 0,5 MHz Störfrequenz kommt es zu Abstrahlungen

- aus dem Frequenzumrichter,
- auf allen aus dem Frequenzumrichter herausführenden Leitungen,
- aus dem geschlossenen Motor.

Diese Störstrahlung umgeht den Filter und koppelt sich auf allen umliegenden Leitungen, d.h. auch auf die Versorgungsleitung, ein. Der Filter wird somit umgangen und kann nicht die gewünschte Wirkung zeigen.

Die abgestrahlte Leistung hängt u.a. davon ab, welcher HF-Strompfad zur Störstromquelle niederohmiger ist,

- der Pfad durch die Luft,
- der Pfad über eine metallische Oberfläche.

Je niederohmiger der metallische Strompfad ist, umso weniger wird abgestrahlt, d.h. der Filter wird weniger umgangen.

Daraus ergibt sich die Aufgabenstellung,

- Motor, Umrichter, Filter und Bremswiderstand über kurze Leitungen zu verbinden,
- abgeschirmte Leitungen, die beidseitig großflächig aufgelegt werden, zu verwenden,
- die Steuerleitungen (ohne Schirm, ohne evtl. vorhandene Erdleiter) gemeinsam durch Ferritkerne zu ziehen,
- evtl. Filter und Umrichter gemeinsam auf eine blanke Grundplatte zu montieren,
- Schützstrecken zwischen Umrichter und Motor metallisch abzudecken und den Schirm dort großflächig aufzulegen.

Werden diese Maßnahmen durchgeführt, so verringert das Filter die Störungen bis weit in den MHz-Bereich. Störungen im Bereich bis 1 GHz (VDE 0871), welche insbesondere von hochtaktenden Frequenzumrichtern verursacht werden, können nur durch eine vollständige Kapselung verringert werden.

Ohmscher Leitungswiderstand

$$R = \frac{l}{\gamma \cdot S} = \frac{4 \cdot l}{\gamma \cdot d^2 \cdot \pi}$$

$$S = \frac{d^2 \cdot \pi}{4}$$

R = Widerstand in Ω

l = Länge in m

γ = Leitfähigkeit $\frac{\text{m}}{\Omega \cdot \text{mm}^2}$ (56 bei Kupfer)

d = Durchmesser in mm

S = Leiterquerschnitt in mm^2

Skineffekt, Hauteffekt

$$R_{\text{HF}} = R \cdot n$$

$$n = k \cdot d \cdot \sqrt{f} \quad (f \cdot 10 \text{ MHz})$$

$$R_{\text{HF}} = R \cdot k \cdot d \cdot \sqrt{f}$$

R_{HF} = HF-Widerstand in Ω

R = Gleichstromwiderstand in Ω

n = Vergrößerungsfaktor

k = Konstante (3,75 bei Kupfer)

f = Frequenz in Hz

Beispiel: PE-Anschlußleiter

$$1 \times 1 \text{ mm}^2, 5 \text{ m}$$

$$S = 1,0 \text{ mm}^2$$

$$d = 1,13 \text{ mm}$$

$$R = \frac{5}{56 \cdot 1,0} = 89 \text{ m}\Omega$$

$$R_{\text{HF}} = 0,089 \cdot 3,75 \cdot 1,13 \cdot \sqrt{10 \cdot 10^6}$$

$$\underline{\underline{R_{\text{HF}} = 1193 \text{ }\mu\Omega}}$$

$$1 \times 10 \text{ mm}^2, 5 \text{ m}$$

$$S = 10 \text{ mm}^2$$

$$d = 3,57 \text{ mm}$$

$$R = \frac{5}{56 \cdot 10} = 8,9 \text{ m}\Omega$$

$$R_{\text{HF}} = 0,0089 \cdot 3,75 \cdot 3,57 \cdot \sqrt{10 \cdot 10^6}$$

$$\underline{\underline{R_{\text{HF}} = 377 \text{ }\mu\Omega}}$$

Beispiel: PE-Masseband

10 x 1 mm², 5 m

$$S_1 = 1,0 \text{ mm}^2$$

$$d_1 = 1,13 \text{ mm}$$

$$R_1 = \frac{5}{56 \cdot 1,0} = 89 \text{ m}\Omega$$

$$R_{\text{ges}} = \frac{1}{10} \cdot R_1$$

$$R_{\text{ges}} = 8,9 \text{ m}\Omega$$

=====

$$R_{\text{HF}} = 0,089 \cdot 3,75 \cdot 1,13 \cdot \sqrt{10 \cdot 10^6}$$

$$R_{1\text{HF}} = 1193 \text{ }\Omega$$

$$R_{\text{gesHF}} = \frac{1}{10} \cdot R_{1\text{HF}}$$

$$R_{\text{gesHF}} = 119,3 \text{ }\Omega$$

=====

Induktivität einer geraden Einzelleitung über Erde

$$L = 0,2 \cdot l \cdot \ln \frac{4000 h}{d}$$

- L = Induktivität in μH
- l = Länge in m
- d = Durchmesser in mm
- h = Abstand zur Erde in m

Beispiel: PE-Anschlußleiter

1 x 1 mm², 5 m, 2 cm Abstand zur Erde

$$S = 1,00 \text{ mm}^2$$

$$d = 1,13 \text{ mm}$$

$$L = 0,2 \cdot 5 \cdot \ln \frac{4000 \cdot 0,02}{1,13}$$

$$L = 4,26 \mu\text{H}$$

=====

Induktiver Widerstand

$$X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L$$

- X_L = Induktiver Blindwiderstand in Ω
- L = Induktivität in H
- f = Frequenz in Hz

Beispiel: PE-Anschlußleiter

$$L = 4,26 \mu\text{H}$$

$$X_L = 2 \cdot \pi \cdot 10 \cdot 10^6 \cdot 4,26 \cdot 10^{-6}$$

$$X_L = 268 \Omega$$

=====

Skineffekt und induktiver Widerstand

$$Z = \sqrt{R_{HF}^2 + X_L^2}$$

Z = Gesamtwiderstand in Ω

R_{HF} = HF-Widerstand in Ω

X_L = Induktiver Blindwiderstand in Ω

Beispiel: PE-Anschlußleiter

1 x 1 mm², 5 m, 2 cm Abstand zur Erde

$$S = 1,0 \text{ mm}^2$$

$$d = 1,13 \text{ mm}$$

$$X_L = 268 \Omega$$

$$R_{HF} = 1193 \Omega$$

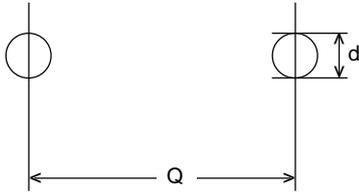
$$Z = \sqrt{1193^2 + 268^2}$$

$$Z = 1223 \Omega$$

=====

Störspannungseinkopplung

Induktivität einer Doppelleitung (parallele Leitung/Hin- und Rückleitung)



$$L = 0,4 \cdot l \cdot \ln \frac{2 \cdot a}{d}$$

- L = Leitungsinduktivität in μH
- l = Parallele Leitungslänge in m
- a = Leiterabstand in mm
- d = Durchmesser des Kabels in mm

Beispiel: Signalleitung $2 \times 1,5 \text{ mm}^2$ ist im Abstand von 4 mm auf einer Länge von 5 m parallel verlegt

$$L = 0,4 \cdot 5 \cdot \ln \frac{2 \cdot 4}{1,38}$$

$$L = 3,5 \mu\text{H}$$

=====

Selbstinduktionsspannung

$$u_L = -L \cdot \frac{di}{dt}$$

u_L = Induktionsspannung in V (Augenblickswert)

L = Induktivität in H

$\frac{di}{dt}$ = Stromanstiegsgeschwindigkeit in $\frac{\text{A}}{\text{s}}$

Beispiel: Das Signal hat eine Stromanstiegsgeschwindigkeit von 2,5 A pro μs .

$$u_L = -3,5 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{2,5}{1 \cdot 10^{-6}}$$

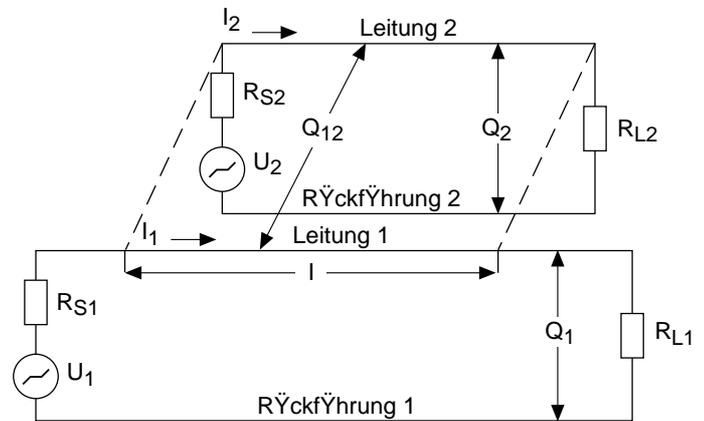
$$u_L = -8,75 \text{ V}$$

=====

Koppelinduktivität von zwei parallelen Doppelleitungen

$$L_{12} = 0,1 \cdot l \cdot \ln \left[\frac{(a_1 + a_2)^2 + a_{12}^2}{(a_1 - a_2)^2 + a_{12}^2} \right]$$

- L_{12} = Koppelinduktivität in μH
 l = Parallele Leitungslänge in m
 a_1 = Leiterabstand in mm
 a_2 = Leiterabstand in mm
 a_{12} = Leitungsabstand der Leiterschleifen in mm
 R_{S1}/R_{S2} = Impedanz der Quelle
 R_{L1}/R_{L2} = Impedanz der Last



Beispiel: Netzleitung ist im Abstand von 4 mm auf einer Länge von 5 m mit einer Steuerleitung parallel verlegt. Beide Leitungsschleifen haben einen Abstand von $a_1 = 50$ mm, $a_2 = 25$ mm.

$$L_{12} = 0,1 \cdot l \cdot \ln \left[\frac{(50 + 25)^2 + 4^2}{(50 - 25)^2 + 4^2} \right]$$

$$L_{12} = 0,22 \mu\text{H}$$

=====

Beispiel: Bei einer Stromanstiegsgeschwindigkeit von 2,5 A pro μs ergibt sich folgende Induktionsspannung.

$$u_L = - L_{12} \cdot \frac{di}{dt}$$

$$u_L = - 0,22 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{2,5}{1 \cdot 10^{-6}}$$

$$u_L = - 0,55 \text{ V}$$

=====

Kapazität einer Doppelleitung (parallele Leitung)

$$C = \frac{0,12 \cdot l \cdot \epsilon_r}{\lg \frac{a}{d} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1}{\frac{a}{d}}\right)^2} \right]}$$

- C = Kapazität in pF
- l = Parallele Leitungslänge in cm
- a = Abstand der beiden Drähte in cm
- d = Drahtdurchmesser in cm
- ϵ_r = Dielektrizitätszahl (Hardgummi ca. 3)

Beispiel: Motorleitung 1,5 mm² liegt auf 5 m parallel zu einer Steuerleitung 1,5 mm² im Abstand von 4 mm.

$$C = \frac{0,12 \cdot 500 \cdot 3}{\lg \frac{4}{1,38} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1}{\frac{4}{1,38}}\right)^2} \right]}$$

C = 240 pF
=====

Kapazitätsstrom

$$i_c = C \cdot \frac{du}{dt}$$

- i_c = Kapazitätsstrom in A (Augenblickswert)
- C = Kapazität in F
- $\frac{du}{dt}$ = Spannungsanstiegsgeschwindigkeit in $\frac{V}{S}$

Beispiel: Die Spannungsanstiegsgeschwindigkeit am Ausgang eines Frequenzumrichters beträgt 400 V pro μ s

$$i_c = 240 \cdot 10^{-12} \cdot \frac{400}{1 \cdot 10^{-6}}$$

$i_c = 96 \text{ mA}$
=====



Karl E. Brinkmann GmbH
Försterweg 36 - 38 • Postfach 11 09
D - 32677 Barntrop • Telefon 0 52 63 / 4 01-0
Teletex 5 263 811 keb • Telefax 4 01 - 116