



EMV Filter

Technische Informationen

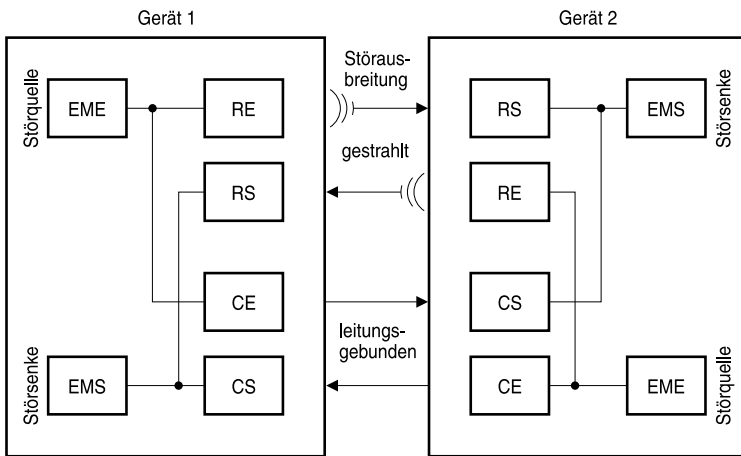
Datum: Februar 2021

© TDK Electronics AG 2021. Vervielfältigung, Verbreitung und Verwertung dieser Publikation, der Anlagen hierzu und ihres Inhalts ohne ausdrückliche Genehmigung der TDK Electronics AG nicht gestattet.

1 Warum elektromagnetische Verträglichkeit?

Unser Alltag ist heute ohne elektrische Geräte nicht mehr vorstellbar. Das gilt für alle Bereiche des Lebens, für den Haushaltsbereich ebenso wie für industrielle Anwendungen. Wir nehmen die ordnungsgemäße Funktion von elektrischen Geräten und Anlagen als selbstverständlich hin; sie basiert aber auf dem Prinzip der elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV). Elektromagnetische Verträglichkeit heißt, dass ein Gerät andere Geräte in der Umgebung nicht durch unerwünschte Störaussendung beeinflusst und gleichzeitig nicht durch Störaussendungen anderer Geräte beeinflusst wird. Die Widerstandsfähigkeit eines Gerätes gegen elektromagnetische Störungen wird auch Störfestigkeit genannt.

Nachstehendes Bild stellt das Prinzip der EMV zwischen zwei Geräten dar. Jedes elektronische Gerät fungiert dabei immer gleichzeitig als Störquelle durch Aussendung der Störsignale und als Störsenke bei deren Empfang. Die von einer Störquelle ausgehenden elektromagnetischen Energien können leitungsgebunden oder gestrahlt sein. Bei niedrigen Frequenzen kann man davon ausgehen, dass sich Störungen nur entlang von leitenden Strukturen ausbreiten, bei hohen Frequenzen im MHz-Bereich zunehmend über elektrische und magnetische Felder sowie elektromagnetische Strahlung.



SSB3114-F-D

Bild 1 Prinzip der elektromagnetischen Verträglichkeit

EME:	electromagnetic emission	elektromagnetische Störaussendung
EMS:	electromagnetic susceptibility	elektromagnetische Störfestigkeit
CE:	conducted emission	geleitete Störaussendung
CS:	conducted susceptibility	geleitete Störfestigkeit
RE:	radiated emission	gestrahlte Störaussendung
RS:	radiated susceptibility	gestrahlte Störfestigkeit

Die europäische Richtlinie 2014/30/EU über die elektromagnetische Verträglichkeit definiert die elektromagnetische Verträglichkeit als *"die Fähigkeit eines Betriebsmittels, in seiner elektromagnetischen Umgebung zufriedenstellend zu arbeiten, ohne dabei selbst elektromagnetische Störungen zu verursachen, die für andere Betriebsmittel in derselben Umgebung unannehmbar wären"*.

Um dieses Ziel zu erreichen, werden zur Begrenzung von leitungsgebundenen elektromagnetischen Störungen die folgenden, in diesem Datenbuch beschriebenen, Bauelemente verwendet:

- EMV-Filter
- Ausgangsfilter
- Drosseln für die Leistungselektronik

Dabei ist das Ziel, die in Normen festgelegten Grenzwerte für Störaussendung und Störfestigkeit für das jeweilige Gerät oder die Anlage einzuhalten.

2 Gesetzliche Anforderungen

Um die elektromagnetische Verträglichkeit sicherzustellen, gibt es diverse Normen, die beim Inverkehrbringen von Geräten beachtet werden müssen. Vom europäischen Gesetzgeber wurde 1996 die erste europaweite EMV-Richtlinie herausgegeben (89/336/EWG). Aktuell gilt die am 20. April 2016 in Kraft getretene EMV-Richtlinie 2014/30/EU. Die Umsetzung in nationales Recht ist zum Beispiel in Deutschland durch das "Gesetz über die elektromagnetische Verträglichkeit von Betriebsmitteln (EMVG)" erfolgt.

Diese Richtlinie gibt vor, wie elektrisch betriebene Geräte bezüglich der elektromagnetischen Verträglichkeit beschaffen sein sollen. Die einzuhaltenden Grenzwerte zur Sicherstellung der EMV werden in Fachgrundnormen, Produktnormen und Produktfamiliennormen gesondert festgeschrieben.

Beispiele für Fachgrundnormen sind die EN 61000-6-3 für Störaussendung für Wohnbereich, Geschäfts- und Gewerbebereiche sowie Kleinbetriebe sowie die EN 61000-6-4 für Störaussendung für Industriegebiete. In den beiden genannten Normen werden unter anderem die Grenzwerte für leitungsgebundene Störungen festgeschrieben.

Als Beispiel für eine wichtige Produktnorm kann die EN 61800-3 genannt werden: Drehzahlveränderbare elektrische Antriebe – Teil 3: EMV-Anforderungen einschließlich spezieller Prüfverfahren. Für Produktfamiliennormen wird hier stellvertretend die EN 55011 als Beispiel genannt: Industrielle, wissenschaftliche und medizinische Geräte – Funkstörungen – Grenzwerte und Messverfahren.

Technische Informationen

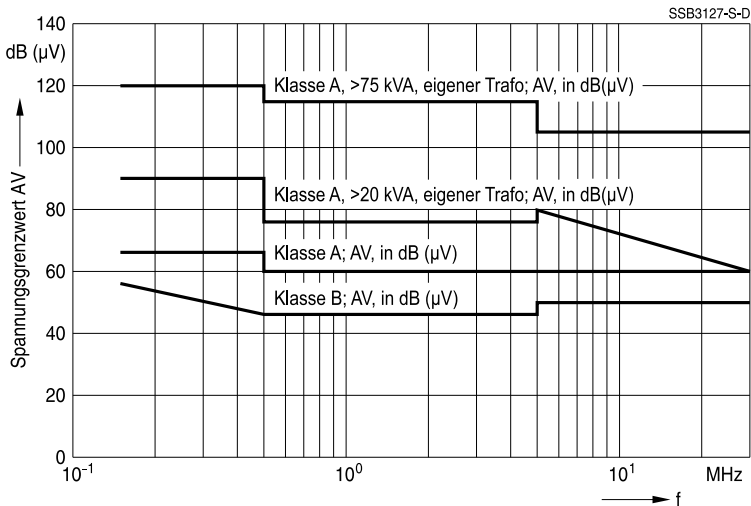


Bild 2 Grenzwerte Störspannung nach EN 55011 für Geräte der Gruppe 1 (nur AV-Detektor)

Die Grenzwertbeispiele für den Mittelwert der Störspannung aus der Norm EN 55011 zeigen, dass für die Geräte und Einrichtungen unterschiedliche Klassen, Gruppen und Nennleistungsbereich unterschieden werden.

■ **Klassen:**

- Entsprechend der vorgesehenen Verwendung der Geräte und Einrichtungen
- Klasse A: Gebrauch nicht im Wohngebiet und Versorgungsnetzen, von denen Wohngebäude versorgt werden (z.B. eigener Mittelspannungstransformator)
- Klasse B: Betrieb im Wohngebiet und an Versorgungsnetzen, die auch Wohngebäude versorgen

■ **Gruppen:**

- Unterteilung in Anwendungsbereiche
- Gruppe 1: alle Geräte, die nicht zu Gruppe 2 gehören
- Gruppe 2: Alle ISM-HF-Geräte¹⁾, die HF-Energie im Frequenzbereich 9 kHz ... 400 GHz absichtlich erzeugen oder verwenden.

■ **Nennleistung:**

- Maßgeblich ist die Nenneingangsleistung des Betriebsmittels, des Gerätes oder der Einrichtung
- Nennleistungsbereich ≤ 20 kVA (20 kVA entsprechen etwa einer 3-Phasen-Versorgung mit 400 V und 29 A)
- Nennleistungsbereich > 20 kVA und ≤ 75 kVA
- Nennleistungsbereich > 75 kVA (75 kVA entsprechen etwa einer 3-Phasen-Versorgung mit 400 V und 109 A)

1) Hochfrequenzgeräte in Industrie, Wissenschaft und Medizin, welche freigegebene Frequenzen benutzen. ISM: engl. Industrial, Scientific and Medical

Technische Informationen

Die genannten Einteilungen werden jedoch in der Produktnorm EN 61800-3 "Drehzahlveränderbare elektrische Antriebe ..." abweichend vorgenommen:

- **Vorgesehener Einsatz:**
 - Erste Umgebung: im wesentlichen Wohn-, Geschäfts- und Gewerbebereiche, Kleinbetriebe, die direkt am öffentlichen Niederspannungsnetz angeschlossen sind
 - Zweite Umgebung: im wesentlichen Industriebereiche, die einen eigenen Mittelspannungs-transformator besitzen
- **Kategorie:**
 - C1: erste Umgebung; $U_R < 1000 \text{ V}$ (ähnlich Klasse B, Gruppe 1 nach EN 55011)
 - C2: erste Umgebung; $U_R < 1000 \text{ V}$; Errichtung und Inbetriebnahme durch Fachmann
 - C3: zweite Umgebung; $U_R < 1000 \text{ V}$
(Grenzwerte werden unterschieden in $\leq 100 \text{ A}$ und $> 100 \text{ A}$)
 - C4: zweite Umgebung; $U_R \geq 1000 \text{ V}$; $I_R \geq 400 \text{ A}$; Einsatz in komplexen Systemen

Die genauen Definitionen und Grenzwerte sind den entsprechenden Normen zu entnehmen.

Der Hersteller muss beim Inverkehrbringen von Geräten durch eine Konformitätserklärung nachweisen, dass diese den Anforderungen in den geltenden EMV-Richtlinien entsprechen. Hierfür sind in der Regel EMV-Messungen notwendig. Siehe hierzu auch Kapitel "Dienstleistungen und EMV-Messlabor".

3 Ausbreitung von Störungen

Zur richtigen Auswahl von EMV-Bauelementen ist es notwendig, die Ausbreitungsverhältnisse der geleiteten Störungen zu kennen.

Von einer erdfreien Störquelle gehen zunächst nur Gegentakt-Störungen aus, die sich längs der angeschlossenen Leitungen ausbreiten (symmetrische Störung, engl.: differential mode), siehe Bild 3. Wie der Netzstrom, so fließt auch der Störstrom auf dem einen Leiter zur Störsenke hin und auf dem anderen Leiter zur Störquelle zurück.

Symmetrische Störungen liegen vorwiegend im Bereich niedriger Frequenzen vor (bis zu einigen 100 kHz).

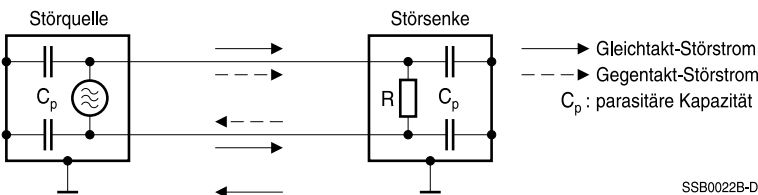


Bild 3 Gleichtakt- und Gegentakt-Störung

Parasitäre Kapazitäten in der Störquelle und Störsenke oder beabsichtigte Masseverbindungen rufen jedoch auch einen Störstrom im Erdkreis hervor. Dieser Gleichtakt-Störstrom fließt auf den beiden Anschlussleitungen zur Störsenke hin und über Erdleitungen zurück (asymmetrische Störung, engl.: common mode).

Da die parasitären Kapazitäten mit steigender Frequenz immer mehr in einen Kurzschluss übergehen und die Kopplungen auf den Anschlussleitungen und im Geräteaufbau ebenfalls ungünstiger werden, treten die asymmetrischen Störungen bei Frequenzen oberhalb einiger MHz in den Vordergrund.

Zusätzlich zu den beiden oben genannten Anteilen wird noch der Begriff der unsymmetrischen Störung (engl.: normal mode) verwendet. Dieser Anteil kennzeichnet die Störspannung zwischen einer Leitung und Bezugsmasse bei definierter Impedanz und besteht aus symmetrischen und asymmetrischen Anteilen.

4 Charakteristik von Störungen

Die korrekte Auswahl von EMV-Maßnahmen setzt die Kenntnis der Eigenschaften der Störungen, Ausbreitungsarten und Kopplungsmechanismen voraus. Grundsätzlich lassen sich die Störungen bezüglich ihrer Ausbreitung einteilen (Bild 4). Bei niedrigen Frequenzen kann man davon ausgehen, dass sich Störungen nur entlang von leitenden Strukturen ausbreiten, bei hohen Frequenzen praktisch nur über elektromagnetische Strahlung. Im unmittelbaren Nahfeldbereich spricht man von Kopplung (kapazitiv oder induktiv).

Analog dazu sind geleitete Störungen bis zu einigen 100 kHz meist symmetrisch (differential mode), darüber häufig eher asymmetrisch (common mode). Der Grund dafür liegt in der mit wachsender Frequenz zunehmenden Verkopplung der Leitungen und dem Einfluss parasitärer Kapazitäten und Induktivitäten.

Als Abhilfemaßnahmen eignen sich bei symmetrischen Störungen X-Kondensatoren und Längsinduktivitäten. X-Kondensatoren sind Kondensatoren, die zwischen Phase und Neutralleiter oder zwischen zwei Phasen geschaltet sind. Im Bereich der asymmetrischen Störungen verwendet man hauptsächlich stromkompensierte Drosseln und Y-Kondensatoren, wobei eine gute EMV-gerechte Masseanbindung und Verkabelung vorausgesetzt wird.

Y-Kondensatoren sind Kondensatoren, die zwischen Phase oder Neutralleiter und Erde geschaltet sind. Eine Übersicht über die möglichen Abhilfemaßnahmen ist in der Tabelle "Übersicht der Störungen und Abhilfemaßnahmen" auf Seite 7 gegeben.

Das Prinzip der genannten Bauelemente wird zudem ausführlicher im Kapitel "Was ist ein EMV-Filter" erläutert.

Technische Informationen

Die Zuordnung der Störungsarten und der Maßnahmen zu den Frequenzbereichen findet sich in den Frequenzgrenzen für die Messung der Störspannung und der Störfeldstärke wieder. Typisch wird die Störspannung im Bereich von 150 kHz bis 30 MHz gemessen; eine zukünftige Erweiterung des Bereiches mit Beginn bei 9 kHz bzw. sogar bis 2 kHz ist wahrscheinlich. Feldstärkemessungen beginnen üblicherweise ab 30 MHz.

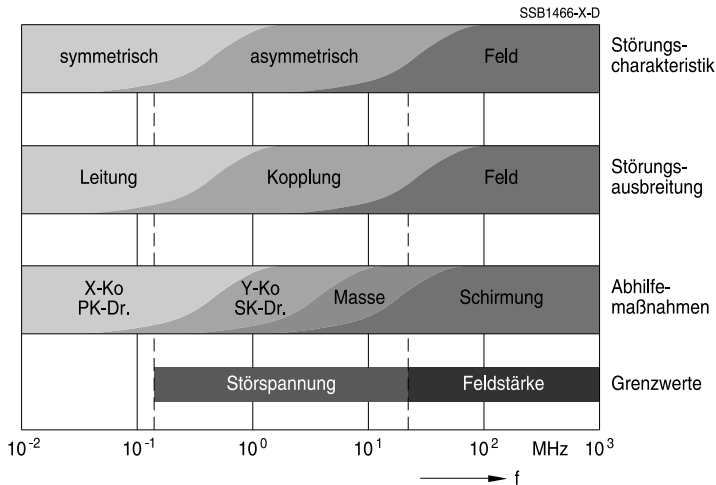


Bild 4 Ausbreitung von Störungen

PK-Dr. = Pulverkern-Drossel, aber auch alle Einfach-Drosseln

X-Ko = X-Kondensatoren

SK-Dr. = Stromkompensierte Drossel

Y-Ko = Y-Kondensatoren

Übersicht der Störungen und Abhilfemaßnahmen:

Art der Störung		Frequenzbereich	Mögliche Abhilfemaßnahmen
Leitungsgebunden	Symmetrische (Gegentakt-) Störung	Typ. < 1 MHz	X-Kondensatoren (C_x) Längsdrosseln
	Asymmetrische (Gleichtakt-) Störung	Typ. > 1 MHz	Y-Kondensatoren (C_y) Stromkompensierte Drosseln
Gestrahlt	Störfeldstärke	Typ. > 30 MHz	Schirmung Gute, flächige Masseanbindung

5 Filter und Drosseln für die Leistungselektronik

In Industrieanlagen und Gebäudetechnik werden zum Großteil drehzahlvariable Antriebe verwendet. Durch die flexible Drehzahlsteuerung wird die Gesamteffizienz des Systems verbessert, beispielsweise in Hinblick auf Verschleiß und Energieverbrauch. Zur Drehzahlsteuerung der Antriebe werden Frequenzumrichter eingesetzt, die eine Ausgangsspannung mit variabler Frequenz erzeugen. Neben der Grundschwingung entstehen durch Taktfrequenz und Spannungspulse Störungen, die sich dem Grundsignal überlagern und das Netz stören können.

Dadurch wird in vielen Fällen der Einsatz von EMV-Bauelementen zur Entstörung notwendig. Das Blockschaltbild in Bild 5 stellt den Einsatz von EMV-Bauelementen in Verbindung mit einem Frequenzumrichter dar.

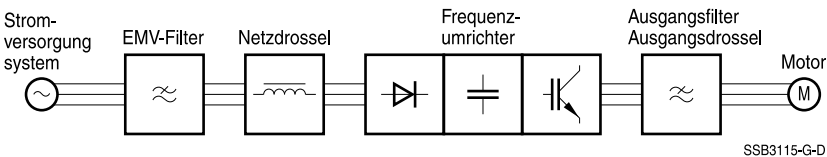


Bild 5 Filter und Drosseln für die Leistungselektronik

Auch bei elektrischen Geräten und Anlagen außerhalb des Industriebereiches kommen EMV-Bauelemente zum Einsatz. Zum Beispiel benötigen viele Haushaltsgeräte, Geräte der Unterhaltungselektronik und medizinische Geräte eine wirkungsvolle Entstörung, um die normativen Grenzwerte einzuhalten.

Neben elektronisch gesteuerten Antrieben, elektronischen Leistungssteuerungen und Schaltnetzteilen sind oft auch Mikroprozessorsysteme als Steuereinheit oder in Displays vorhanden. Taktfrequenzen im Megahertz-Bereich koppeln nicht selten in den Netzanschluss des Gerätes und sind somit relevant für die normative Bewertung der Störspannung.

Häufig wird das Zusammenspiel verschiedener elektrischer Geräte und Anlagen unterschätzt. Antriebe größerer Leistung stehen oft in geringer Entfernung von komplexer und sensibler Messtechnik. Bei missachteter elektromagnetischer Verträglichkeit kann dies trotz teurer Messtechnik zu falschen Messresultaten führen. Selbst wenn Antrieb und Messgerät den normativen Anforderungen entsprechen, kann es zu einer Beeinflussung kommen.

Auch bei Bussystemen in komplexen elektronischen Leistungssteuerungen kann EMV zu Problemen führen. Ist die Leistungselektronik schlecht entstört, kann dies beispielsweise zu erhöhten Bitfehlerraten führen.

Dies sind nur einige Beispiele, bei denen der Einsatz von EMV-Filtern und -Drosseln essentiell ist. Als Fazit gilt: Investitionen in die EMV rechnen sich in einer Gesamtbetrachtung. In Bereichen, wo eine hohe Anlagenverfügbarkeit und Zuverlässigkeit erforderlich ist, ist elektromagnetische Verträglichkeit – und somit der Einsatz von EMV-Bauelementen – ein Muss.

5.1 Was ist ein EMV-Filter?

Der Begriff EMV-Filter wird für unterschiedliche Komponenten gleichermaßen verwendet. In diesem Datenbuch bezeichnen EMV-Filter eine elektrische Schaltung bestehend aus Induktivitäten, Kondensatoren und Widerständen, die elektrische Störungen in Leitungsnetzen begrenzt. Ausgenommen von diesem Begriff werden Ausgangsfilter, welche im nachfolgenden Kapitel besprochen werden.

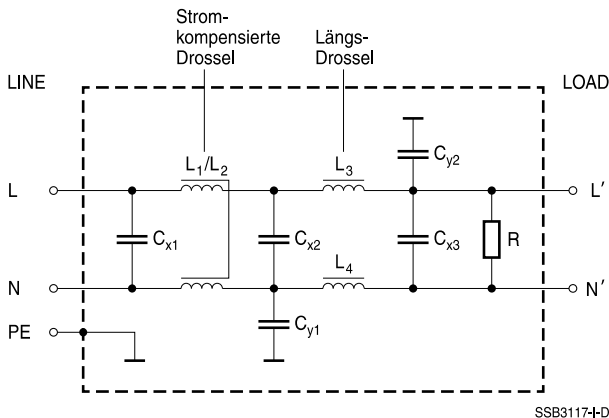
EMV-Filter wirken überwiegend im Bereich leitungsgebundener Störungen. Mit entsprechenden Schaltungen werden jedoch auch feldgebundene Störungen beeinflusst. Die Filterart ist fast immer ein Tiefpass, der die Nutzfrequenz (typisch DC bis 60 Hz) weitestgehend unbeeinflusst durchlässt, Störfrequenzen jedoch abschwächt.

Analog zu den in Kapitel "Charakteristik von Störungen" (siehe Seite 6) vorgestellten Entstörmaßnahmen sind die wichtigsten Komponenten eines EMV-Filters typischerweise:

- X-Kondensatoren (C_x)
- Längsdrosseln
- Y-Kondensatoren (C_y)
- Stromkompensierte Drosseln
- Entladewiderstände

Je nach Art des Netzes bzw. der Anwendung werden EMV-Filter mit einer unterschiedlichen Anzahl an Leitungen realisiert. Für DC bzw. einphasige Anwendungen werden 2-Leiter-Filter verwendet. Bei Dreiphasenwechselstrom-Anwendungen kommen 3-Leiter-Filter (kein Neutralleiter) oder 4-Leiter-Filter (mit Neutralleiter) zum Einsatz.

Der Aufbau eines 2-Leiter-Filters ist in untenstehendem Ersatzschaltbild beispielhaft dargestellt.



SSB31174-D

Bild 6 Ersatzschaltbild eines 2-Leiter Filters

Das nachfolgende Bild zeigt exemplarisch den Innenaufbau eines 2-Leiter-Filters mit den vorher genannten Komponenten. In der Regel werden die Filter nach der Montage noch (teil)vergossen. Die Vergussmasse dient dabei zur verbesserten Wärmeableitung und Stabilität der Filter.

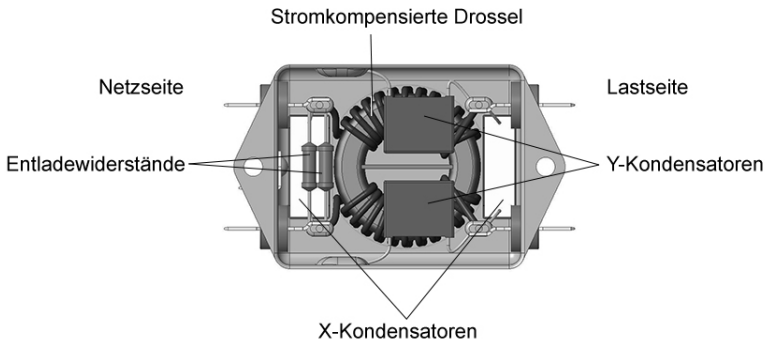


Bild 7 Innenaufbau eines EMV-Filters

Die Induktivitäten stellen gemeinsam mit den Kondensatoren die Bauelementekombination zur Erzielung der Filterwirkung dar. Die dabei in EMV-Filtern eingesetzten Kondensatoren sind fast ausschließlich Entstörkondensatoren oder Kondensatoren mit Sonderprüfung.

Bei der Klassifizierung der Entstörkondensatoren wird zwischen der Klasse X für die Verschaltung zwischen den Phasen bzw. zwischen Phase und Neutralleiter (2-Leiter-Filter) und der Klasse Y für die Verschaltung zwischen spannungsführenden Leiter (Phase oder Neutralleiter) und Bezugsmasse unterschieden. Somit dämpfen X-Kondensatoren mehr symmetrische Störungen im unteren Frequenzbereich, Y-Kondensatoren dämpfen mehr asymmetrische Störungen im höheren Frequenzbereich.

Für dreiphasige Anwendungen wird die sogenannte ableitstromarme Verschaltung der Kondensatoren von der Phase auf einen virtuellen Sternpunkt ausgeführt. Vom virtuellen Sternpunkt kann dann eine weitere Kapazität gegen Bezugsmasse verschaltet werden. Da die Spannung vom virtuellen Sternpunkt zur Bezugsmasse in einem symmetrisch geerdeten Drehstromnetz sehr niedrig ist, ist der Ableitstrom durch den gegen Bezugsmasse geschalteten Kondensator auch entsprechend niedrig.

Die Wirkungsweise der stromkompensierten Drossel basiert auf ihrem Wicklungssinn. Durch den gegenläufigen Wicklungssinn kompensieren sich die vom Betriebsstrom erzeugten magnetischen Flüsse des Nutzsignals im Kern. Die Induktivität ist somit für die Gegentaktsignale (Nutzsignal) theoretisch gleich null. Durch die Streufelder der Drossel entsteht jedoch praktisch eine geringe Induktivität, die sogenannte Streuinduktivität. Für die Gleichtaktstörungen (Störsignal) hingegen bildet die stromkompensierte Drossel eine hohe Induktivität. Dieses Prinzip ist in Bild 8 dargestellt.

Technische Informationen

Zur Verbesserung der Filterwirkung kann ein Filter mit mehreren Stufen aufgebaut werden. Damit werden eine höhere Dämpfungswirkung und ein steilerer Anstieg der Dämpfungskurve erreicht.

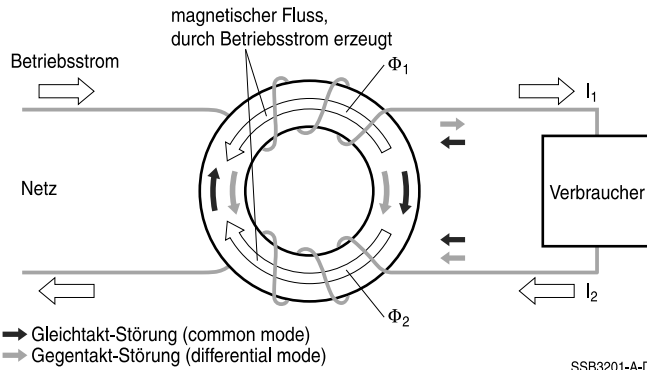


Bild 8 Prinzip einer stromkompensierten Drossel

Eine Reduzierung der leitungsgebundenen Störungen lässt sich generell mit zwei Arten von Filtern erreichen: reflektierenden oder absorbierenden Filtern.

Die Mehrzahl der eingesetzten Filter basiert auf dem Prinzip der Reflexion der Störenergie. Dies geschieht durch die oben beschriebenen Querkondensatoren (C_y), die bei höheren Frequenzen als Kurzschluss wirken und durch Längsinduktivitäten, die bei hohen Frequenzen eine hohe Impedanz darstellen. Die Filterwirkung kommt durch eine möglichst große Fehlanpassung des Filters an die Störquelle und Störsenke zustande.

Bei absorbierenden Filtern wird die Störenergie im Filter in Wärme umgesetzt und so dem System entzogen. Diese Art von Filtern hat jedoch in der Praxis eine untergeordnete Bedeutung.

5.2 Was ist ein Ausgangsfilter?

TDK fasst unter dem Begriff Ausgangsfilter folgende EMV-Bauelemente zusammen:



- **du/dt-Filter/-Drossel:** du/dt-Filter bzw. -Drosseln sind als LC-Tiefpass aufgebaut, dessen Grenzfrequenz höher als die Taktfrequenz ist. Dadurch wird die Spannungsanstiegsgeschwindigkeit zwischen den Phasen begrenzt. du/dt-Filter bestehen aus Längsinduktivität und Kondensatoren, bei der du/dt-Drossel dient die Kabelkapazität als Filterkapazität.
- **Sinus-Ausgangsfilter:** Beim Sinusfilter sind die Hauptkomponenten ebenfalls eine Längsinduktivität und Kondensatoren. Die Dimensionierung erfolgt jedoch so, dass die Grenzfrequenz des Tiefpasses zwischen Ausgangs- und Taktfrequenz liegt. Die Glättungswirkung zwischen den Phasen ist somit deutlich größer als beim du/dt-Filter.
- **Sinus-EMV-Ausgangsfilter:** Ein Sinus-EMV-Filter besteht aus einem Sinusfilter mit motorseitig geschalteter stromkompensierter Drossel und Kapazitäten gegen Bezugsmasse. Damit werden Störungen zwischen Phasen und Bezugsmasse reduziert. Dadurch wird in vielen Anwendungen die Verwendung von ungeschirmten Motorkabeln möglich, was eine erhebliche Kosteneinsparung bedeuten kann.

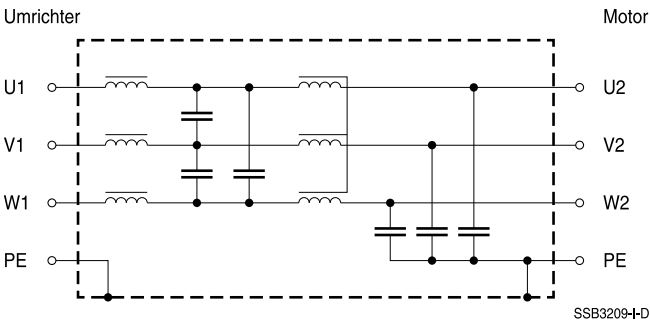


Bild 9 Prinzip eines Sinus-EMV-Filters

Der Begriff Ausgangsfilter wird in der Mehrzahl der Fälle für Filterapplikationen an der Umrücker-Ausgangsseite in Verbindung mit den daran betriebenen Motoren verwendet. Die Ausgangsfilter werden in dieser Applikation mit folgenden Zielen eingesetzt:

- Schutz der Isolation des Motors
- Reduzierung der EMV-Störungen
- Reduzierung der parasitären Ströme durch die Kapazität der Kabelschirmung
- Verwendung von ungeschirmten Motorkabeln
- Reduzierung der Motorgeräusche

5.3 Was ist ein aktives Filter?

EMV-Filter für den Netzeingang werden meist als passive Filter ausgeführt, das heißt, ihre Schaltung wird mit passiven Bauelementen wie Induktivitäten, Kondensatoren und Widerstände realisiert.

Im Unterschied dazu bestehen aktive Filter neben den passiven Bauelementen auch aus aktiven Bauelementen wie beispielsweise Transistoren, Operationsverstärkern, Prozessoren, Spannungswandlern usw.

Bei der Beseitigung von Netzurückwirkungen sind aktuell zwei Anwendungsmöglichkeiten von aktiven Filtern auf dem Markt vertreten:

1. Verringerung von Ableitströmen mit Hilfe des Ableitstromfilters LeaXield™

In Umrichter-basierten Antrieben verursachen die einzelnen Komponenten Ableitströme, die in Summe zum Auslösen der Fehlerstrom-Schutzeinrichtung (RCD; engl.: residual current device) führen können, obwohl kein Fehlerfall vorliegt.

Dies kann dazu führen, dass ein RCD nicht oder nur mit sehr großem Zusatzaufwand eingesetzt werden kann. Der Einsatz eines aktiven Filters zur Verringerung von Ableitströmen kann hier Abhilfe schaffen. TDK bietet dafür das Ableitstromfilter LeaXield™.

LeaXield™ kann Ableitströme von bis zu 1 A kompensieren. Die Kompensationswirkung erstreckt sich über einen breiten Frequenzbereich von von etwa 150 Hz bis 30 kHz.

Aufgrund seiner geringen Abmessungen eignet sich LeaXield™ auch sehr gut zur Nachrüstung in bestehenden Anlagen. Das Ableitstromfilter LeaXield™ wird zwischen Fehlerstromschalter und EMV-Eingangsfiler des Umrichters geschaltet und kann ohne externe Spannungsversorgung betrieben werden, was den Installationsaufwand gering hält.

Somit bietet LeaXield™ eine kompakte und kostengünstige Lösung zur Kompensation von Ableitströmen in einem breiten Frequenzbereich. Dadurch wird der Einsatz eines Fehlerstromschutzschalters ermöglicht und die Anlagenverfügbarkeit erhöht.



Ableitstromfilter
LeaXield

Ausführliche Informationen zum Ableitstromfilter LeaXield™ sind zu finden im Kapitel "Datenblätter – Aktive Filter" und im Internet unter www.tdk-electronics.tdk.com/de/2487720/produkte/produktkatalog/emv-bauelemente/leaxield.

2. **Verringerung von Oberschwingungen bis 2500 Hz bzw. 3000 Hz mit Hilfe des PQSine™**
 Zur Minimierung von harmonischen Oberschwingungen bis zur 50. Ordnung (2500 Hz im 50 Hz-Netz bzw. 3000 Hz im 60 Hz-Netz) bietet TDK die PQSine™ S-Serie an.

Diese aktiven Oberschwingungsfilter bewirken neben der Reduzierung von Oberschwingungen bei Bedarf auch eine Blindleistungskompensation induktiver wie kapazitiver Lasten, Lastsymmetrierung zwischen den Phasen und Reduzierung der Neutralleiterströme (beim 3P4W-Gerät). Sie sorgen für eine Verbesserung der Netzqualität, Einhaltung etwaiger Normengrenzwerte (wie zum Beispiel EN 50160, IEEE 519, etc.) und somit für eine effiziente und zuverlässige Nutzung der Energie.

Die PQSine™ S-Serie ist modular aufgebaut und für verschiedene Nennspannungen bis 690 V erhältlich (Nenn-Filterströme von 25 A bis 150 A pro Modul; es können mehrere Module parallelgeschaltet werden, um höhere Filterströme zu realisieren). Die Geräte für Wandmontage verfügen über einen eingebauten 4,3" Farb-LCD-Touchscreen. Für die Module zum Schaltschrankeinbau ist ein 7" Farb-LCD-Touchscreen mit Bediensoftware verfügbar.



PQSine™ Wandgerät



PQSine™ Modul für Schaltschrankeinbau

Weitere Informationen zum PQSine™ sind zu finden unter www.tdk-electronics.tdk.com/de/pqsine_presentation.

Kontakt über die Produktanfragemaske auf unserer Homepage: www.tdk-electronics.tdk.com/de/192962/kontakt/produktanfrage

5.4 Was ist eine Drossel für die Leistungselektronik?



Der Begriff "Drossel" wird in der Elektrotechnik analog zum Begriff "Induktivität" verwendet.

Der in diesem Datenbuch verwendete Begriff "Drosseln für die Leistungselektronik" beschreibt Drosseln für Leistungsanwendungen, das heißt für Ströme ab einigen Ampere.

Drosseln für die Leistungselektronik werden zu einem großen Teil als geblechte Drosseln gebaut. Die Eigenschaften der Drossel werden durch die Art des Kernmaterials bestimmt. Bei den Kernblechen sind es, dessen Materialstärke, das Schnittverfahren und die Aufbauprinzipien des Kernes. In Abhängigkeit der Anforderungen können auch spezielle Materialien wie beispielsweise kernorientiertes oder amorphes Elektrolech, Eisenpulver oder Ferrite zur Anwendung kommen.

Die wichtigsten Arten von Drosseln für die Leistungselektronik sind:

- Netzdrosseln
- Glättungsdrosseln
- Filterkreisdrosseln für Blindstromkompensation
- Filterdrosseln
- Rückspeisedrossel

Netzdrosseln werden auch Kommutierungsdrosseln genannt, da sie die Spannungseinbrüche in der Kommutierungsphase auf die zulässigen Werte begrenzen können. Sie begrenzen außerdem die Spitzenströme. Weiterhin werden durch Netzdrosseln die Strom-Oberschwingungen verringert, um die Sinusform der Netzspannung möglichst wenig zu verfälschen.

Glättungsdrosseln sind in DC-Anwendungen zu finden und reduzieren dort den Oberschwingungsanteil und die Stromanstiegsgeschwindigkeit.

Filterkreisdrosseln werden zur Reihenschaltung mit den Kompensationskondensatoren von Kompensationsanlagen eingesetzt, um Resonanzen im Energieversorgungsnetz zu vermeiden. Zur gezielten Dämpfung von einzelnen Harmonischen können auch Drosseln für Saugkreisanwendungen hergestellt werden.

Filterdrosseln sind Bestandteil der oben erwähnten Sinusfilter und LCL-Filter, finden aber auch als Saugkreisdrosseln für höhere Frequenzen Anwendung.

Um den Eingang rückspeisender, pulsweitenmodulierter Frequenzumrichter vom Netz zu entkoppeln und die Oberwellen zu glätten, werden spezielle Netzdrosseln verwendet, die hier Rückspeisedrosseln oder auch AFE-Drosseln genannt werden.

Durch die Energierückspeisung ist nun der Netzanschluss eigentlich der Ausgang des Umrichters. Zwar sind die LCL-Filter den Sinusfiltern sehr ähnlich, werden aber wegen der besseren Vergleichbarkeit mit den Netzdrösseln zusammen behandelt. Das Prinzip eines LCL-Filters ist in Bild 10 dargestellt.

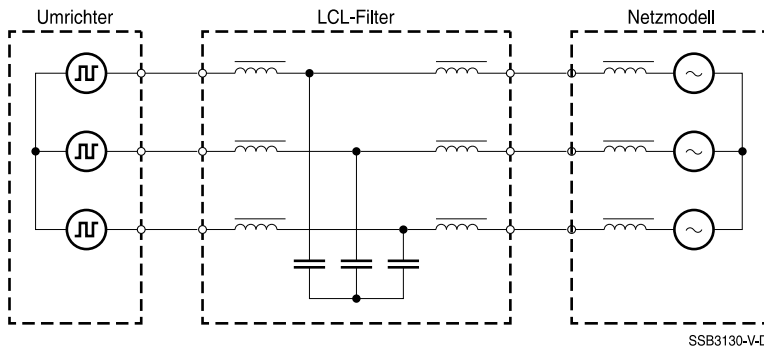


Bild 10 Prinzip eines LCL-Filters

6 EMV-Messtechnik

Die Einhaltung der durch Normen und Bestimmungen festgelegten EMV-Grenzwerte wird durch geeignete Mess- und Prüfverfahren abgebildet.

Generell ist bei der Konformitätsprüfung zwischen Störfestigkeitsprüfung und Störaussendungsmessung zu unterscheiden. Je nach Art des zu überprüfenden Geräts oder der Anlage können Produktnormen unterschiedliche Prüfbedingungen festlegen. Da das gesamte Thema sehr komplex ist, kann nachstehend nur ein kurzer Überblick gegeben werden, der keinen Anspruch auf Vollständigkeit hat.

Beispiele für Störfestigkeitsprüfungen

- Elektrostatische Entladungen (ESD)
- Hochfrequente elektromagnetische Felder
- Schnelle transiente Störungen (Burst)
- Stoßspannungen (Surge)
- Leitungsgeführte hochfrequente Störungen
- Magnetfelder mit energietechnischen Frequenzen und sonstige Magnetfelder (z.B. impulsförmig, ...)
- Spannungseinbrüche, kurzzeitige Unterbrechungen, Spannungsänderungen
- Oberschwingungen, Zwischenharmonische, gedämpfte Schwingungen

Beispiele für Störaussendungsmessungen

Grundsätzlich wird die Messung von geleiteter und gestrahlter Störaussendung unterschieden:

■ Messung geleiteter Störaussendung

- Um die Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten, wird die Messung an Stromversorgungsschnittstellen üblicherweise mit einer genormten Netznachbildung (engl. Artificial mains network - AMN) angestrebt. Für AC-Stromversorgungen findet die V-Netznachbildung (engl.: Line impedance stabilisation network – LISN) Anwendung, die die Impedanz zwischen jedem Leiter und Bezugsmasse "V-förmig" festlegt. Bei sonstigen Schnittstellen (z.B. Kommunikation) spricht man von Impedanzstabilisierungsnetzwerken (ISN), die die Impedanz in einem festgelegten Frequenzbereich definieren.
- Bei Störspannungsmessungen wird das Störsignal U_S in der Regel über einen Koppelkondensator an der Netznachbildung ausgekoppelt und auf einen Funkstörmessempfänger nach CISPR 16-1-1 gemessen. In speziellen Fällen findet zur Messung der Störspannung ein Tastkopf nach CISPR 16-1-2 Verwendung. Es ist aber auch möglich, den Störstrom I_S mit einem HF-Stromwandler zu messen.
- Grenzwertanforderungen für leitungsgeführte Störungen gibt es üblicherweise von 150 kHz bis 30 MHz, für manche Produkte oder bestimmte Kundenanforderungen auch zusätzlich im Frequenzbereich von 9 kHz bis 150 kHz.
- Generell sind für den Prüfaufbau genaue Regeln zu befolgen, um die Messergebnisse reproduzierbar zu messen.

Nachstehende Messkurven zeigen beispielhaft das Ergebnis einer leitungsgebundenen Störspannungsmessung. Dabei stellt die obere Linie den Grenzwert für Quasipeak dar; die darunterliegende Linie markiert den Grenzwert für Average. Die Grenzwertlinien weisen über weite Frequenzbereiche einen linearen Verlauf auf.

Deutlich dynamischer zeigen sich die darunterliegenden beiden Messkurven, wobei die obere den Peak-Wert (PK) darstellt, darunterliegend die Kurve mit dem Average-Wert (AV). Die Definition der Messverfahren erfolgt in der CISPR 16, die Grenzwertlinien folgen entsprechenden Festlegungen in Standards und sind produktabhängig. Die unter der Peakkurve liegenden Kreuze stellen die Nachmessung mit dem Quasipeakdetektor dar.

Zur kurzen Erläuterung der Messverfahren ist folgendes zu ergänzen: Der höchste Messwert jeder Frequenz ist der Peak-Wert (PK; deutsch: Spitzenwert). Der zur Bewertung festgelegte Quasipeakwert (QP; deutsch: Quasispitzenwert) liefert einen bewerteten Spitzenwert der Einhüllenden der ZF-Spannung des Funkstörmessempfängers.

Die zweite Bewertungsgröße Average (AV; deutsch: Mittelwert) ist das Ausgangssignal des Mittelwert-Detektors (engl.: average detector) und liefert den arithmetischen Mittelwert der Einhüllenden der ZF-Spannung des Störmessverstärkers.

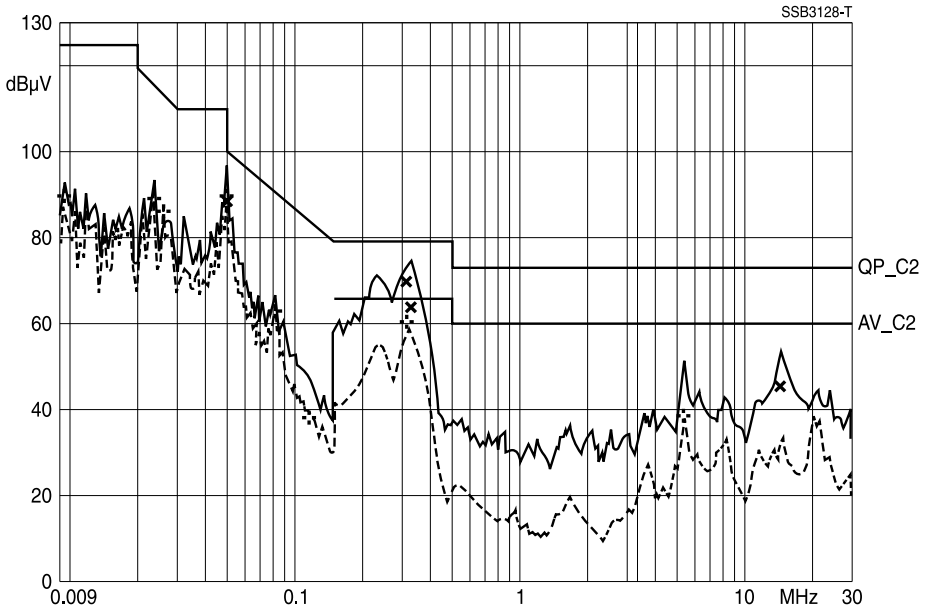
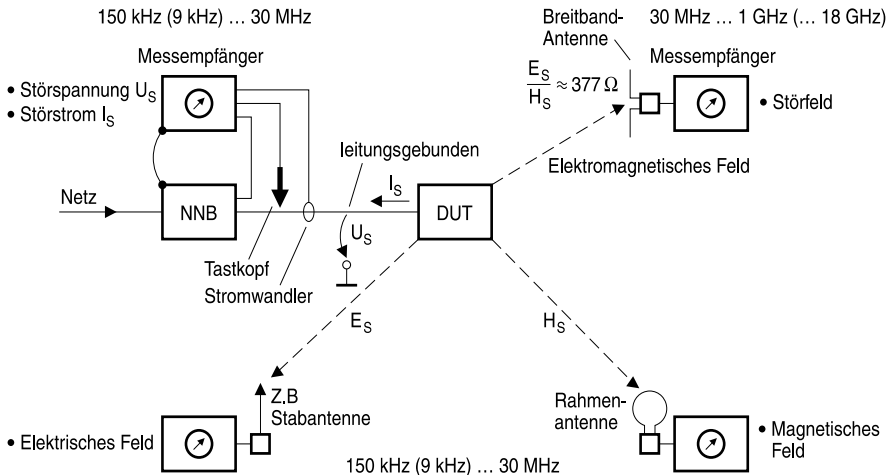


Bild 11 Messergebnisse geleitete Störaussendung an einem Umrichter mit EPCOS EMV-Filter; obere Kurve Messung mit Peak-Detektor (Nachmessungen mit Quasi-Peak-Detektor = Kreuze), untere Kurve Messung mit Average-Detektor mit Nachmesspunkten; Messbereich 9 kHz bis 30 MHz, Grenzwert unterhalb 150 kHz kundenspezifisch

Technische Informationen

■ Messung elektromagnetische Störstrahlung

- Das am häufigsten angewandte Verfahren ist hier die Messung des elektromagnetischen Störfeldes im Messabstand von 10 m oder 3 m, je nach Anwendung und Technologie von 30 MHz bis 1 GHz oder auch darüber hinaus.
- Die Messung der gestrahlten Störaussendung wird in einem Vollabsorberraum oder einer Halbabsorberrammer nach CISPR 16-1-4 durchgeführt. Die Komponenten des abgestrahlten Feldes werden in horizontaler und vertikaler Richtung getrennt gemessen.



H_S = magnetische Störfelder

E_S = elektrische Störfelder

$E_S/H_S = Z_0 \approx 377 \Omega$ = Wellenwiderstand

NNB = Netznachbildung

DUT = Prüfling (Device under test)

SSB3119-K-D

Bild 12 Ausbreitung elektromagnetischer Störungen und EMV-Messtechnik

7 Kenngrößen von Filtern und Drosseln

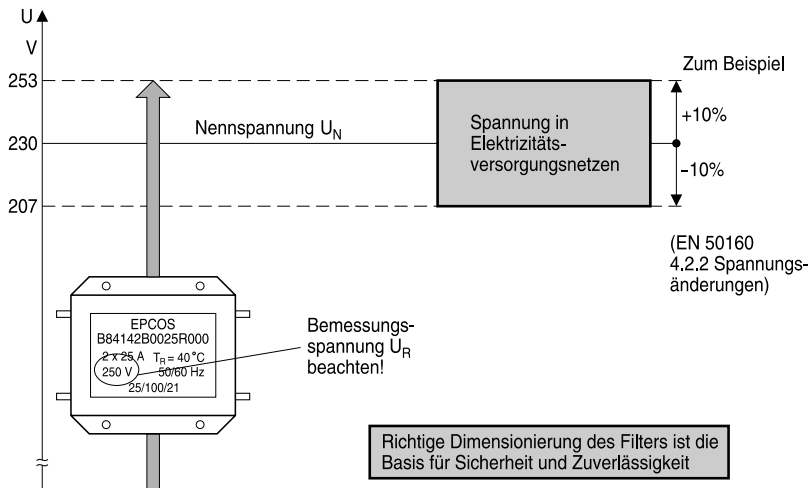
7.1 Nennspannung U_N

Die Nennspannung oder auch Nominalspannung ist die vom Hersteller oder Lieferanten spezifizierte Spannung für den Normalbetrieb. Diese Spannung wird mit einer zulässigen Toleranz angegeben. So beträgt die Nennspannung in vielen europäischen Dreiphasennetzen 230/440 V +/- 10%. Details beschreibt die IEC 60038 "CENELEC-Normspannungen" für Nennspannungen eines Netzes.

7.2 Bemessungsspannung U_R

Die Bemessungsspannung U_R ist entweder die höchste effektive Betriebsspannung oder die höchste Betriebsgleichspannung, die dauerhaft an dem Filter oder an der Drossel im Temperaturbereich zwischen unterer und oberer Kategorietemperatur anliegen darf. Filter, die für die Bemessungsfrequenz 50/60 Hz festgelegt sind, dürfen auch bei Gleichspannung eingesetzt werden.

Die Bemessungsspannung darf nicht überschritten werden, da sonst Schäden auftreten können. Toleriert sind nur kleine Abweichungen, wie z.B. ein Bauelement mit einer Bemessungsspannung U_R von 250 V an einem Netz 230 V +/- 10% (230 V +10% = 253 V). Der Unterschied zwischen U_N und U_R wird in Bild 13 verdeutlicht.



SSB3203-C-D

Bild 13 Unterschied Bemessungsspannung / Nennspannung

7.3 Bemessungsstrom I_R

Der Bemessungsstrom I_R ist der höchste Gleich- oder Wechselstrom, mit dem das Filter oder die Drossel dauerhaft bei Nennbedingungen betrieben werden darf. Oberhalb der Bemessungstemperatur T_R ist der Betriebsstrom gemäß den Deratingkurven zu reduzieren (siehe Abschnitt "Stromderating in Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur").

Der Bemessungsstrom bezieht sich bei 2- und 3-Leiter-Filtern und Drosseln auf die gleichzeitige Belastung aller Leiter mit dem spezifizierten Wert. Bei 4-Leiter-Filtern wird ein Summenstrom des Neutralleiters nahe Null unterstellt.

Bei Betrieb mit nichtsinusförmigen Wechselströmen können höhere thermische Belastungen auftreten, die zu berücksichtigen sind. Die Prüfung der Temperaturerhöhung der Filter und Drosseln erfolgt bei Bemessungsstrom und Bemessungstemperatur. Dabei sind die Anschlüsse in Anlehnung an UL 508 "Industrial Control Equipment" (ähnlich IEC 60947-1) mit definierten Querschnitten und Längen auszuführen.

7.4 Filter-Ableitstrom I_{LK}

Als Filterableitstrom wird der Strom bezeichnet, der im fehlerfreien Zustand bei Nennfrequenz über das Gehäuse zur Bezugsmasse fließt. In den meisten Fällen wird dieser Strom durch gegen Bezugsmasse verschaltete Kondensatoren beeinflusst. Ausführliche Erläuterungen zum Thema Ableitstrom finden sie im Abschnitt "Ableitstrom".

7.5 Bemessungstemperatur T_R

Die Bemessungstemperatur T_R ist die höchste Umgebungstemperatur, bei der das Bauelement seinen Bemessungsstrom führen kann.

7.6 Bemessungsfrequenz f_R

Die Bemessungsfrequenz f_R ist die höchste Frequenz, bei der die Betriebswechselspannung an den Klemmen anliegen darf.

7.7 Einfügungsdämpfung α

Die Einfügungsdämpfung α ist ein Maß für die Wirksamkeit von Filtern und Bauelementen. Je höher die Einfügungsdämpfung, desto besser die Dämpfungswirkung des Bauelements. Die Einfügungsdämpfung wird in der Regel als Verlauf über der Frequenz dargestellt und ist in den Datenblättern als Grafik abgebildet.

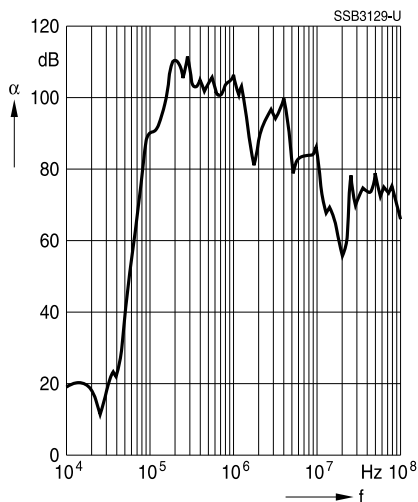


Bild 14 Beispiel für symmetrische Einfügungsdämpfung

Das Messverfahren zur Ermittlung der Entstöreeigenschaften wurde in der IEC-Publikation CISPR 17 im Jahr 2011 aktualisiert und als Norm EN 55017 veröffentlicht. Darin wird die Einfügungsdämpfung bei einem Filter als das Verhältnis der Spannungen vor und nach dem zu prüfenden Filter definiert. Analog dazu erfolgt die Messung wie in Bild 16 dargestellt. Die in Bild 15 dargestellte Kurzschlussmessung dient zur Veranschaulichung der Formelherleitung. Ausführliche Informationen zur Einfügungsdämpfung sind im Abschnitt "Einfügungsdämpfung" ab Seite 49 gegeben.

Messprinzip:

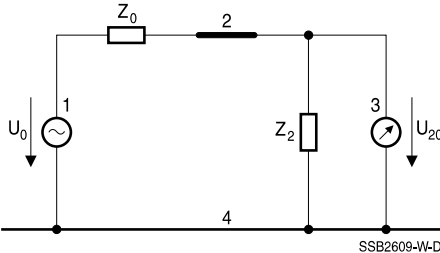


Bild 15 Prüfschaltung Einfügungsdämpfung; Filter durch Kurzschluss ersetzt

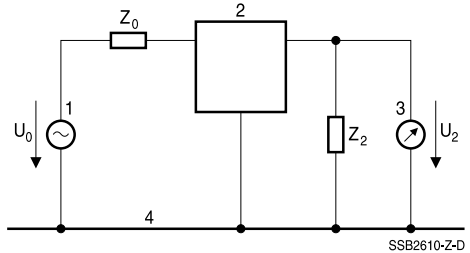


Bild 16 Prüfschaltung Einfügungsdämpfung; Messung des EMV-Filters

Legende

- 1 Signalgenerator
- 2 EMV-Filter (Prüfling)
- 3 Messempfänger
- 4 Bezugspotential (metallische Messfläche)
- U_0 Leerlauf-Generatorspannung
- U_2 Ausgangsspannung
- U_{20} Ausgangsspannung (mit Kurzschluss)
- Z_0 Generatorimpedanz
- Z_2 Impedanz des Empfängers

Definition der Einfügungsdämpfung in dB:

$$\alpha = 20 \log \frac{U_{20}}{U_2} = 20 \log \frac{U_0}{2U_2}$$

Mit folgender Vereinfachung:

$$Z_0 = Z_2 = 50 \Omega \text{ und somit } U_{20} = \frac{U_0}{2}$$

7.8 Nenninduktivität L_N

Die Nenninduktivität L_N ist der Induktivitätswert, für den eine Drossel ausgelegt ist. Die angegebenen Messbedingungen sind dabei zu beachten. Die Induktivität variiert in Abhängigkeit der Messfrequenz, des Messstroms und der Temperatur.

7.9 Prüfspannung U_{test}

Die Prüfspannung U_{test} ist die Gleich- oder Wechselspannung, mit der das Filter oder die Drossel bei der Fertigungsendprüfung für die angegebene Prüfdauer belastet wird. Nur bei Notwendigkeit empfehlen wir eine einmalige Wiederholung der Spannungsprüfung mit max. 80% der angegebenen Höhe.

Dabei sollte die Spannungsanstiegs- bzw. Spannungsabfallgeschwindigkeit ca. 500 V/s betragen. Die Zeit ist zu messen, sobald 90% der für die Nachprüfung zulässigen Prüfspannung anliegen. Während der Prüfung darf es zu keinem Durchschlag kommen. Ausheileffekte der Kondensatoren sind zulässig.

7.10 Spannungsabfall einer Drossel u_k

Der bezogene Spannungsabfall u_k einer Drossel in % wird wie folgt definiert:

$$u_k = \frac{U_k}{U_N} \cdot 100 \% \quad \text{mit} \quad \begin{array}{l} U_k = \text{Spannungsabfall der Drossel} \\ U_N = \text{Nennspannung} \end{array}$$

Der Spannungsabfall einer Drossel lässt sich überschlägig wie folgt berechnen:

$$X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L \quad \text{mit} \quad \begin{array}{l} f = \text{Frequenz (für Datenbuchangabe 50 Hz)} \\ L = \text{Bemessungsinduktivität der Drossel} \end{array}$$

$$U_R = \rho \cdot U_N \quad \text{mit} \quad \begin{array}{l} U_R = \text{Bemessungsspannung} \\ \rho = \text{Faktor für Spannungstoleranz 1.1 (z.B. typische Toleranz } \pm 10\%) \end{array}$$

Für 1-phasige Drosseln:

$$U_k = I_R \cdot X_L \quad \text{mit} \quad I_R = \text{Bemessungsstrom}$$

Für 3-phasige Drosseln im symmetrischen Drehstromnetz:

$$U_k = I_R \cdot X_L \cdot \sqrt{3}$$

Beispiel für 3-phasige Netzdrossel B86305L0230S000:

$$L = 0.15 \text{ mH} \quad \Rightarrow \quad X_L = 2 \cdot \pi \cdot 50 \text{ Hz} \cdot 0.15 \cdot 10^{-3} \text{ H} = 47.1 \text{ m}\Omega$$

$$I_R = 230 \text{ A} \quad \Rightarrow \quad U_k = 230 \text{ A} \cdot 47.1 \cdot 10^{-3} \Omega \cdot \sqrt{3} = 18.8 \text{ V}$$

Für eine Nennspannung von 400 V AC ergibt sich somit im Beispiel:

$$u_k = 18.8 \text{ V} / 400 \text{ V} = 4.7\%$$

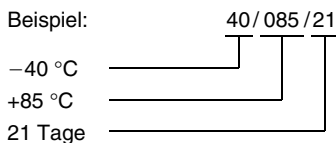
7.11 Gleichstromwiderstand R_{typ}

Der Gleichstromwiderstand R_{typ} ist der typische Widerstand eines Filters oder einer Drossel bei 20 °C. Der Wert ist ein Richtwert mit einer üblichen Toleranz. Der Wert bezieht sich auf die Messung zwischen den Anschlüssen zwischen Ein- und Ausgang des gleichen Strompfads.

7.12 Klimakategorie

Die klimatische Anwendbarkeit von Bauelementen ist durch die Klimakategorie nach IEC 60068-1, Anhang A festgelegt. Sie wird durch drei Bestimmungsgrößen gebildet, die durch Schrägstriche getrennt sind. Diese Bestimmungsgrößen sind:

1. Beanspruchungstemperatur für die Prüfung mit Kälte
2. Beanspruchungstemperatur für die Prüfung mit trockener Wärme
3. Beanspruchungsdauer in Tagen mit feuchter, konstanter Wärme



- Erste Bestimmungsgröße:
Absolutbetrag der unteren Kategorietemperatur T_{\min} als Prüftemperatur für Prüfung Ab (Kälte) nach IEC 60068-2-1 für 16 h.
- Zweite Bestimmungsgröße:
Absolutbetrag der oberen Kategorietemperatur T_{\max} als Prüftemperatur für Prüfung Bd (trockene Wärme) nach IEC 60068-2-2 für 16 h.
- Dritte Bestimmungsgröße:
Beanspruchungsdauer in Tagen für Prüfung Cab (Feuchte Wärme, konstant) nach IEC 60068-2-78 bei 40 °C; Prüfschärfe relative Luftfeuchte 85% rF oder 93% rF in Abhängigkeit der Spezifikation.

7.13 Überlastbarkeit

Der Bemessungsstrom darf kurzzeitig überschritten werden. Die thermische Überlastbarkeit und die Häufigkeit per Zeiteinheit werden im Datenblatt angegeben. Durch eine Überschreitung des Bemessungsstroms können Sättigungseffekte auftreten, was zu einer Veränderung der Eigenschaften des Bauelements führen kann.

7.14 Fingersicherheit

Fingersicherheit beschreibt den Schutzgrad im Bereich der Anschlussklemmen. In Abhängigkeit geltender Normen und Vorschriften wird dieser Schutzgrad gefordert, um zufälliges Berühren gefährlicher aktiver Teile zu verhindern. Fingersicherheit bedeutet, dass die Prüfsonde 11 (starrer Prüffinger) nach EN 61032 nicht an spannungsführende Teile gelangen kann. Im Datenblatt wird dies durch die Angabe "fingersichere Klemmen" gekennzeichnet

7.15 Zuverlässigkeit und MTBF



Mit Zuverlässigkeit im technischen Sinn verbindet man die Eigenschaften von Produkten bezüglich ihrer Verlässlichkeit beziehungsweise ihrer Fehlerhäufigkeit. In Abhängigkeit der Anwendung wird die funktionelle Sicherheit von Geräten und Anlagen auch durch Normen oder geltenden Richtlinien gefordert.

Auf Basis von gesammelten Erfahrungswerten werden Ausfallraten für die entsprechenden Teile und Komponenten unter Referenzbedingungen angenommen.

Diese sind durch Rechenmodelle an die tatsächlichen Umgebungs- und Betriebsbedingungen anzupassen. Die Rechnungen basieren auf der Norm IEC 61709 "Elektrische Bauelemente – Zuverlässigkeit – Referenzbedingungen für Ausfallraten und Beanspruchungsmodelle zur Umrechnung".

Eine typische Kenngröße zur Beschreibung der Produktzuverlässigkeit ist die MTBF (engl.: Mean Time Between Failures). Sie ist in der IEC 60050 definiert als der Erwartungswert der Betriebsdauer eines Produkts zwischen zwei aufeinanderfolgenden Ausfällen. Der Wert wird in den im Datenbuch enthaltenen Datenblättern nicht angegeben, kann jedoch bei Bedarf angefragt werden. Die Werte sind als Erwartungswerte für die Gesamtheit aller Lose zu verstehen. Im Rahmen der Wertestreuung können in Einzelfällen auch deutliche Abweichungen von den Erwartungswerten auftreten.

7.16 Isolierstoffklasse

Mit der Isolierstoffklasse wird die elektrische Isolierung bezüglich ihrer Eigenschaft unter dem Einflussfaktor von Temperaturen charakterisiert. Ein elektrisches Isoliermaterial (EIM) hat die Aufgabe, leitende Materialien unterschiedlicher elektrischer Potentiale zu trennen. Die Norm EN 60085 benutzt den Begriff "thermische Klasse". Sie bezeichnet mit dem Zahlenwert die maximale Dauergebrauchstemperatur in Grad Celsius.

Dem Zahlenwert der thermischen Klasse in Stufen ist eine Buchstabenbezeichnung zugeordnet. Gebräuchliche thermische Klassen sind in nachstehender Tabelle aufgeführt.

Thermische Klasse in °C	Buchstabenbezeichnung
90	Y
105	A
120	E
130	B
155	F
180	H

Mit der thermischen Klasse werden besonders auch Isoliersysteme von Drosseln für die Leistungselektronik gekennzeichnet. Ein elektrische Isoliersystem (EIS) charakterisiert ein oder mehrere elektrische Isoliermaterialien im Zusammenhang mit den dazugehörigen leitenden Teilen.

7.17 du/dt-Wert

Die Spannungsanstiegsgeschwindigkeit du/dt beschreibt die Flankensteilheit des Spannungsanstiegs in einem System nach einer Systemänderung, beispielweise einem Schaltvorgang. Die mittlere Anstiegsgeschwindigkeit ergibt sich aus der Spannungsänderung von 10% bis 90% der Sprunghöhe und der zugehörigen Zeitänderung wie in Bild 17 dargestellt.

Die Spannungsanstiegsgeschwindigkeit spielt in vielen Bereichen der Elektrotechnik eine Rolle. Nachstehend einige Beispiele:

- Hohe du/dt-Werte stressen die Isolation von Wickelgütern (Drosseln und Transformatoren), aber auch von Kabeln und Motoren. Deshalb werden in vielen Fällen von den Herstellern Grenzwerte angegeben.
- Bei Kondensatoren und somit auch bei Filtern bedeutet ein Anstieg der Spannungsanstiegsgeschwindigkeit einen proportionalen Anstieg des Stroms: $I = C \cdot du/dt$
- Bei an Umrichtern betriebenen Motoren kommt es in Abhängigkeit von Motorleitungslängen, Anstiegsgeschwindigkeiten und Reflexionsfaktoren zu Spannungsüberhöhungen (U_{peak}). Normen oder Datenblattangaben der Motoren begrenzen die Spitzenspannung U_{peak} und die Anstiegszeit t_r . Die im Datenbuch beschriebenen Ausgangsfilter können als wirkungsvolle Maßnahme bei Überschreitung der Grenzwerte eingesetzt werden.

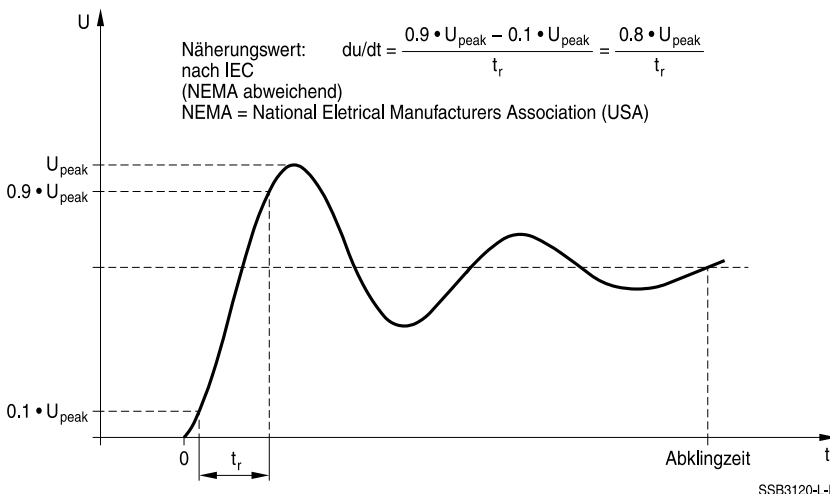


Bild 17 Spannungsanstiegsgeschwindigkeit du/dt; NEMA = National Eletrical Manufacturers Association (USA)


8 Energieversorgungsnetze



8.1 Funktion der Netze

- | | |
|--|--|
| A) Übertragungsnetz: | Höchstspannung (220 kV, 380 kV ... ca. 1200 kV)
Hochspannung (60 kV ... 150 kV) |
| B) Verteilung an regionale Trafostationen: | Mittelspannung (1 kV ... 20 kV ...30 kV) |
| C) Feinverteilung (z.B. Haushalte, Gewerbe): | Niederspannung (z.B. 230 V, 400 V, 690 V) |

Für dieses Datenbuch haben ausschließlich Stromversorgungssysteme mit Niederspannung eine Bedeutung. Die Spannungsgrenze ist hier mit 1000 V AC bzw. 1500 V DC definiert.

 Die für Drehstromsysteme angegebenen Bemessungsspannungen gelten für die in Europa üblichen TN-S-Netze mit symmetrisch geerdetem Sternpunkt! Bitte prüfen Sie bei abweichenden Netzarten die Eignung der Filter und die Einhaltung der zulässigen Spannungen einschließlich der möglichen Fehlerfälle wie Erdschluss oder nicht allpoliger Auslösung von Überstromschiefeinrichtungen. In Zweifelsfällen wenden Sie sich bitte an Ihren zuständigen Ansprechpartner bei TDK, welcher Sie in Ihrer konkreten Filterapplikation berät.

8.2 Benennung der Verteilungssysteme (IEC 60364-1)

Die nachstehenden Ausführungen zu Niederspannungsanlagen werden in Deutschland in der Norm DIN VDE 0100-100 erläutert.

T N – S

Dritter Buchstabe: Anordnung von Neutralleiter und Schutzleiter (wenn vorhanden)

S = die Schutzfunktion erfolgt durch einen Leiter, der vom Neutralleiter oder geerdeten Außenleiter getrennt ist.

C = Neutral- und Schutzleiter sind in einem Leiter zusammengefasst (PEN-Leiter)

Zweiter Buchstabe: Erdung des Betriebsmittels

T = direkte Verbindung des Betriebsmittels mit Erde

N = direkte Verbindung des Betriebsmittels mit dem geerdeten Punkt des Stromversorgungssystems (gewöhnlich Sternpunkt oder geerdeter Außenleiter)

Erster Buchstabe:

Bezug des Stromversorgungssystems zur Erde

T = direkte Verbindung eines Pols mit Erde

I = System ist von Erde getrennt oder über Impedanz geerdet

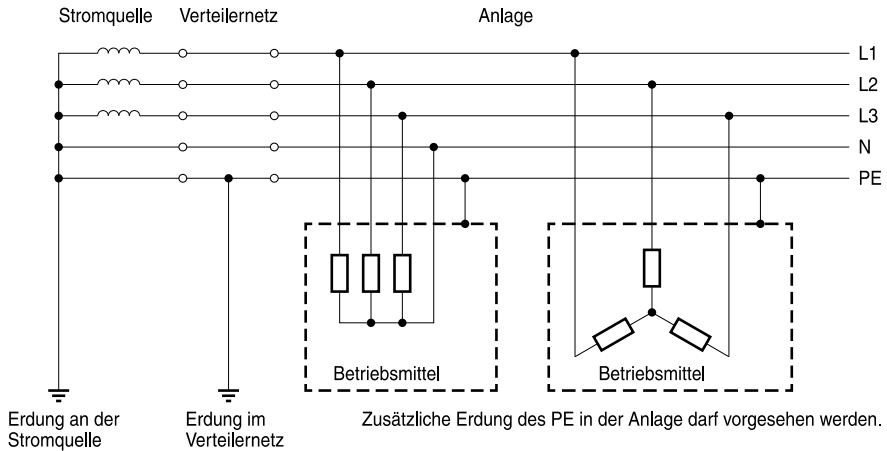
8.3 TN-System

TN-Systeme sind direkt geerdet; die zu erdenden Teile der Betriebsmittel sind mit diesem Punkt über Schutzleiter verbunden.

Es sind drei Arten von TN-Systemen zu unterscheiden:

- TN-S-System: Im gesamten System wird ein getrennter Schutzleiter verwendet.
- TN-C-System: In einem Teil des Systems wird die Funktion des Neutral- und des Schutzleiters in einem Leiter (PEN) zusammengefasst.
- TN-C-S-System: Im gesamten System sind die Funktion des Neutral- und Schutzleiters in einem Leiter (PEN) zusammengefasst.

8.3.1 TN-S-System mit Stern-Stromquelle und getrennte Neutral- und Schutzleiter

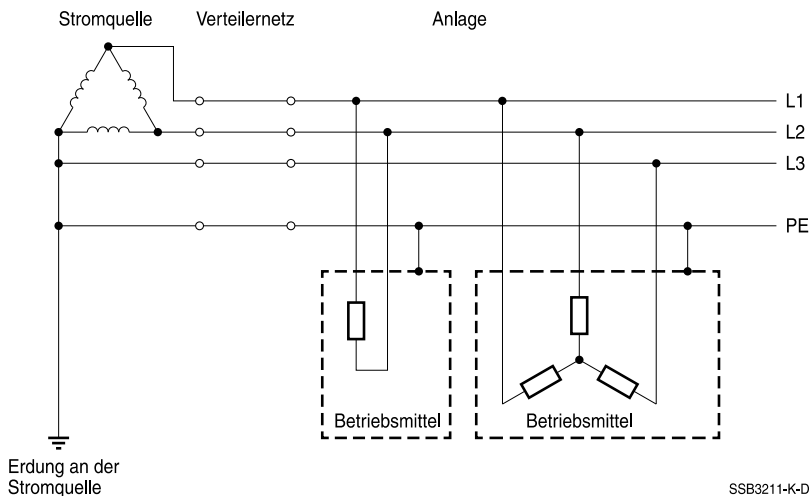


Erdung des Stromversorgungssystems mit einem oder mehreren Erdern

SSB3210-J-D

Bild 18 TN-S-System Stern mit getrenntem Schutzleiter

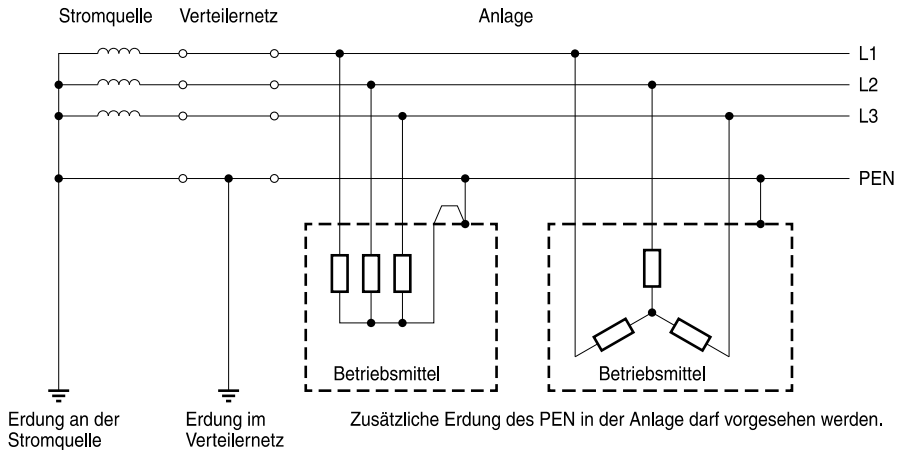
8.3.2 TN-S-System mit Dreieck-Stromquelle und geerdetem Außenleiter



SSB3211-K-D

Bild 19 TN-S-System Dreieck mit geerdetem Außenleiter

8.3.3 TN-C-System mit Stern-Stromquelle; Neutral- und Schutzleiterfunktion vereinigt (PEN)



Erdung des Stromversorgungssystems mit einem oder mehreren Erden

SSB3212-L-D

Bild 20 TN-C-System mit Stern-Stromquelle; Neutral- und Schutzleiterfunktion vereinigt (PEN)

8.3.4 TT-Systeme

TT-Systeme sind in einem Punkt direkt geerdet. Die zu erdenden Teile der Betriebsmittel sind am Ort des Verbrauchers mit Erde verbunden, die von den Erden des Stromversorgungsnetzes elektrisch unabhängig sind.

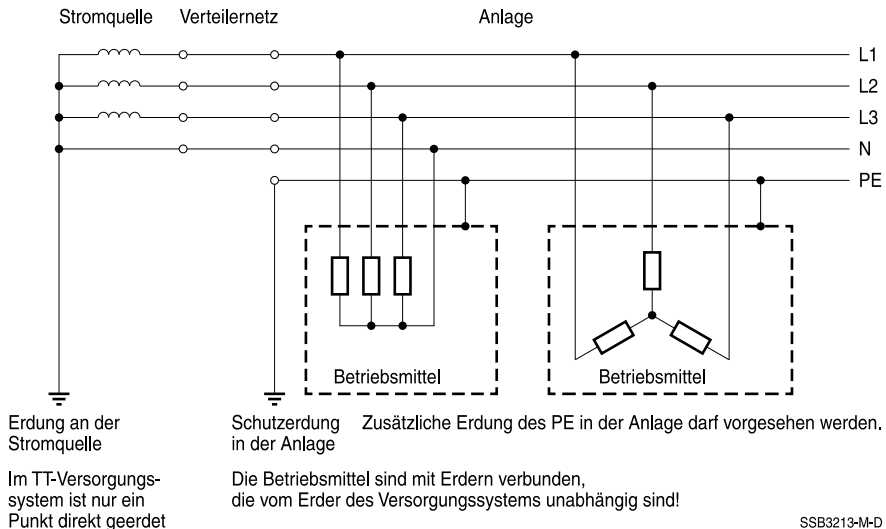
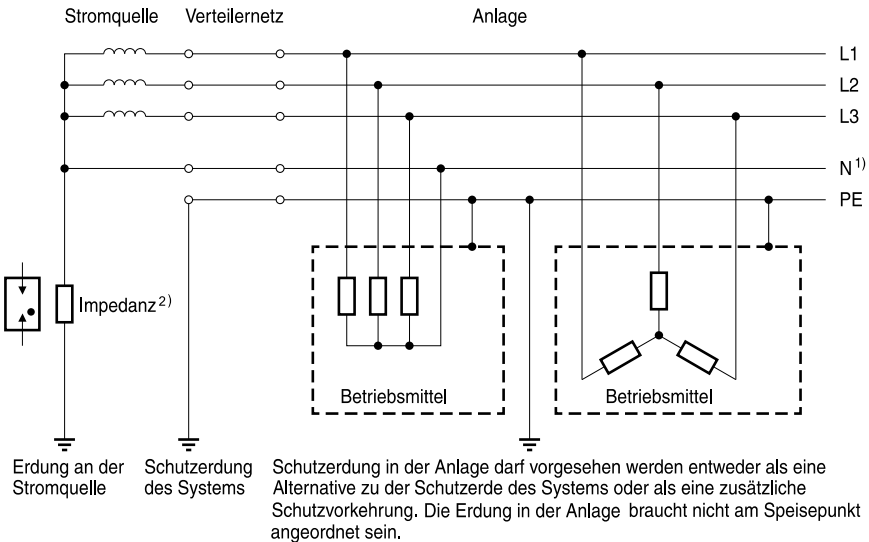


Bild 21 TT-System

8.4 IT-Systeme

IT-Systeme sind von der Erde getrennt, jedoch kann ein Punkt über eine Impedanz oder einen Spannungsbegrenzer geerdet sein. Die zu erdenden Betriebsmittel sind am Ort des Verbrauchers mit Erdern verbunden.

8.4.1 IT-System mit Stern-Stromquelle und Neutralleiter



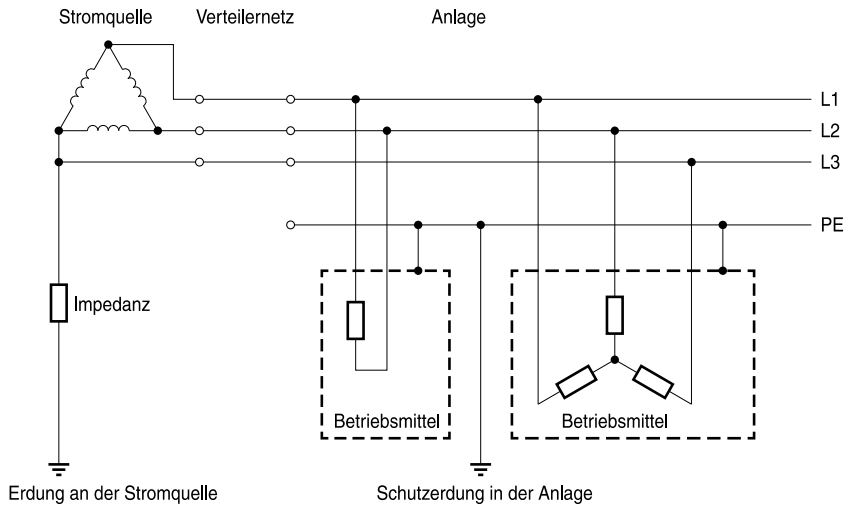
1) Der Neutralleiter darf, aber muss nicht verteilt sein.

2) Das System darf mit Erde über eine ausreichend hohe Impedanz verbunden sein. Diese Verbindung darf gemacht werden, z. B. am Mittelpunkt oder künstlichen Mittelpunkt oder an einem Außenleiter. Erdung des IT-Systems über eine ausreichend hohe Impedanz wird in Deutschland nur für Mess- und Funktionszwecke angewendet.

SSB3214-N-D

Bild 22 IT-System Stern mit Neutralleiter

8.4.2 IT-System mit Dreieck-Stromquelle



SSB3215-O-D

Bild 23 IT-System Dreieck

Es gelten prinzipiell die Anmerkungen und Kommentare aus Bild 22. Das System kann an der Stromquelle ungeerdet sein.

8.5 Besonderheiten im IT-System

Die wichtigste Besonderheit beim IT-Netz ist die Art der Erdverbindung am speisenden System (zum Beispiel Transformator) und den elektrischen Betriebsmitteln. Im IT-Netz besteht keine galvanische Verbindung zwischen den aktiven Leitern und der Erdverbindung. Ein erster Fehler im Stromversorgungssystem führt nicht zur Abschaltung.

Bei IT-Netzen wird eine geringe räumliche Ausdehnung vorausgesetzt. Das Netz besitzt eine separate Stromversorgung, zum Beispiel einen eigenen speisenden Transformator. Das IT-Netz hat gute EMV-Eigenschaften und bietet die höchste Ausfallsicherheit. Das "klassische" Beispiel sind Operationssäle in Krankenhäusern. Aber es gibt auch in der Industrie sehr viele Beispiele, wo die Unterbrechung der Stromversorgung zu großen wirtschaftlichen Schäden führen würde. Solche Anwendungen sind zum Beispiel chemische Industrie, Glasproduktion, Hüttenwerke, Bergbau, Grundwasserkontrolle und Bordstromversorgungen auf Schiffen.

Beim sogenannten ersten Fehlerfall (Körper- oder Erdschluss) entstehen keine nennenswerte Rückstrompfade und somit auch keine gefährliche Berührungsspannung. Der geringe Fehlerstrom in diesem Fehlerfall wird durch die Isolationswiderstände und die Kapazitäten Leiter gegen Erde bestimmt.

In Deutschland muss der erste Fehler zwingend mit einem Isolationsüberwachungsgerät IMD (engl.: Insulation Monitoring Device) gemeldet werden.

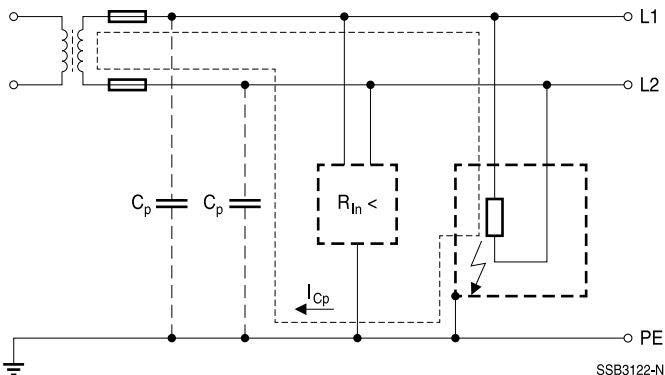


Bild 24 IT-Netz mit Isolationsüberwachung und erstem Fehlerfall

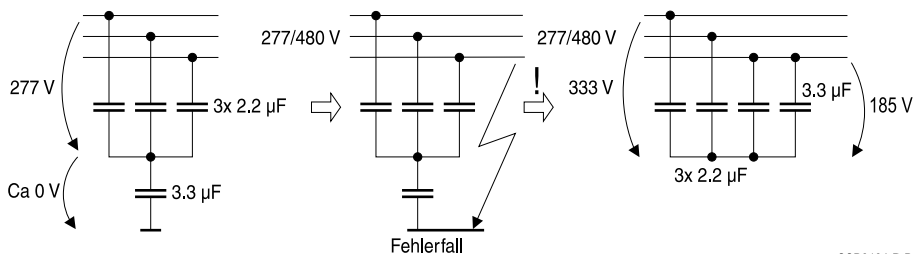
8.6 IT-Systemtauglichkeit von Filtern

EMV-Filter von TDK können im IT-Netzbetrieb eingesetzt werden, wenn die nachfolgenden Bedingungen beachtet werden.

⚠ Wie in der nachfolgenden Darstellung angedeutet wird, verändern sich die Spannungen an den Kondensatoren der Filter im IT-Netz-Fehlerfall. **Aus diesem Grund sind die in den Datenblättern für geerdete Netze angegebenen Bemessungsspannungen nicht anwendbar.**

Bitte achten sie auf die Angabe im Datenblatt "Bemessungsspannung für IT-Netzanwendung", die für diese Anwendung zutrifft. Sollten sie keine passende Angabe finden, wenden sie sich bitte an Ihren zuständigen Ansprechpartner bei TDK oder Ihren Distributor.

Beispiel: Kondensatorengruppe im EMV-Filter



SSB3124-P-D

Bild 25 Fehlerfall im IT-Netz verändert die Spannung der Kondensatoren

Die angegebene Bemessungsspannung im IT-Netz erlaubt den Betrieb bei einem netzseitigen Erd- oder Körperschluss. Eine Ausnahme stellen drehzahlvariable Antriebe dar. Im Fall eines Erdschlusses auf der Ausgangsseite des Umrichters oder eines Erdschlusses auf der Eingangsseite eines rückspeisefähigen Umrichters ohne Ausgangsfilter können unzulässige Belastungssituationen an den EMV-Filtern auftreten.

In beiden Fällen können die höherfrequenten Schaltfrequenzen zu einem unzulässig hohen Strom durch die gegen Masse verschalteten Kondensatoren des EMV-Filters führen. Das gilt auch für andere Geräte, die durch höherfrequente Anteile hohe Ströme im Filter verursachen. Eine Überlastung der Kondensatoren kann zu starken Erwärmungen und Ausfall der Kondensatoren führen.

Nachstehend ein Beispiel für einen Erdschluss der Motorleitung am Umrichter Ausgang. Durch den Erdschluss entsteht ein hoher Strom I_C durch den Kondensator C_Y , der zu einer Überlastung des Kondensators führen kann.

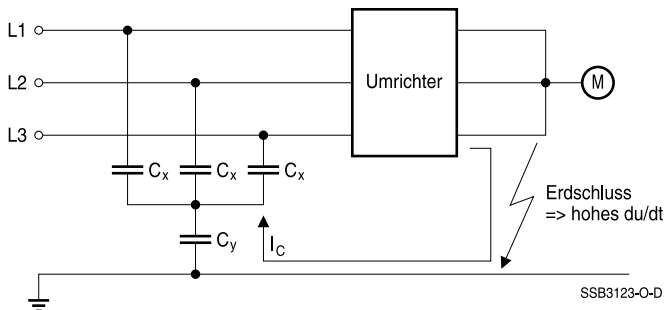


Bild 26 Erdschluss am Umrichter Ausgang im IT-Netz

Für Aussagen über die Funktionssicherheit der EMV-Filter in einem speziellen Anwendungsfall mit IT-Netzversorgung müssen die Bedingungen des normalen Betriebs und der Fehlerfälle genau bekannt sein. Bei speziellen Anforderungen sind wir gern bereit, unsere Kunden beratend zu unterstützen.

8.7 Beispiele für abweichende Netzformen

Der Beginn der Elektrifizierung reicht bis in die 1880er Jahre zurück. Zu diesem Zeitpunkt gab es keine internationale Harmonisierung von Normen, so dass sich in der Welt sehr unterschiedliche Stromversorgungssysteme entwickelt haben. Trotz deutlicher Angleichung der Systeme weltweit gibt es doch noch viele nationale Besonderheiten. Manche Besonderheiten sind auch durch geografische Eigenschaften wie trockene Böden oder große Entfernungen zwischen Einspeisung und Endverbraucher bedingt.

Bei der Konstruktion von Geräten und Anlagen sollten die für die Einsatzorte möglichen Netzarten und Besonderheiten sorgfältig geprüft werden. Die Unterschiede in der Frequenz mit 50 und 60 Hz haben meist keine große Bedeutung, beeinflussen jedoch den Ableit- bzw. Berührungstrom. Zum Beispiel liefert die offene Dreieck- oder V-Schaltung (engl.: open delta connection) zwar 3 um 120° versetzte Phasenspannungen, jedoch ist mit einem größeren Spannungsungleichgewicht zu rechnen.

Entscheidend ist bei der Bewertung, dass die höchsten im System vorkommenden Spannungen Leiter-Leiter und Leiter-Erde nicht größer sind als die Angaben der Bemessungsspannung im Datenblatt des Filters oder der Drossel. So bedeutet die Angabe der Bemessungsspannung von 305/530 V AC, dass die Leiter-Erde-Spannung mit 305 V und die Leiter-Leiter-Spannung mit 530 V begrenzt ist.

Nachstehendes Beispiel eines Dreiecknetzes mit geerdeter Mittelanzapfung (engl.: high leg delta) soll die Hersteller elektrischer Betriebsmittel für das Thema sensibilisieren. Durch die Globalisierung wird ein großer Anteil der Geräte und Anlagen auch weltweit vertrieben und benutzt. Das hier beschriebene Versorgungsnetz wird teilweise auch als "red leg delta"-Schaltung bezeichnet, da NEC (National Electric Code) die rote oder orange Markierung des Leiters L3 mit der höchsten Leiter-Erde-Spannung fordert.

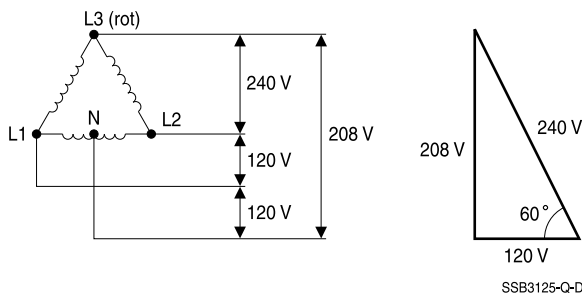


Bild 27 High leg delta-Schaltung

9 Deratingfaktoren

Die in den Datenblättern angegebenen Spezifikationswerte beziehen sich auf definierte Bedingungen. Diese Bedingungen sind:

- Umgebungstemperatur des Bauelements $\leq T_R$ (Bemessungstemperatur)
- Der Anteil von höherfrequenten Spannungsanteilen ($> f_R = 50/60$ Hz) entspricht der normativen Festlegung der Netzqualität für öffentliche Versorgungsnetze EN 50160
- Die Aufstellungshöhe des elektrischen Betriebsmittels mit den verwendeten Bauelementen beträgt ≤ 2000 m über Normalhöhennull (NHN)

Sollten eine oder mehrere dieser oben genannten Bedingungen überschritten werden, berücksichtigen Sie bitte bei der Auswahl der Bauelemente die nachstehend beschriebenen Deratingfaktoren.

9.1 Stromderating in Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur

Die Filter von TDK sind für Dauerbetrieb bei Bemessungsspannung und Bemessungsfrequenz dimensioniert. Sie sind so ausgelegt, dass sie bei vollem Bemessungsstrom bis zur angegebenen Bemessungstemperatur (in der Regel 40 °C) betrieben werden können.

Bei einem Betrieb bei höheren Umgebungstemperaturen T_A als der angegebenen Bemessungstemperatur T_R ergibt sich der maximal zulässige Dauer-Betriebsstrom aus der Multiplikation des Bemessungsstroms mit dem entsprechenden Stromderatingfaktor k_{ct} (Bild 28 und Bild 29, Indizes "ct"; engl.: "current derating depending on temperature").

Die Nichtbeachtung des Stromderatingfaktors kann zu Überhitzung und somit zur Brandgefährdung führen.

Maximaler Strom bei erhöhter Umgebungstemperatur:

$$I_{\max}(T_A) = I_R \times k_{ct}$$

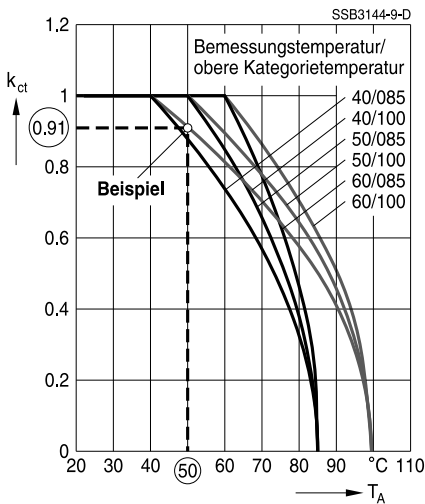


Bild 28

Stromderatingfaktor k_{ct} in Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur T_A für EMV-Filter

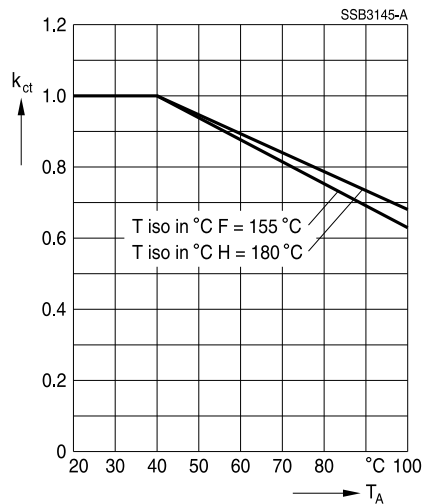


Bild 29

Stromderatingfaktor k_{ct} in Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur T_A für Drosseln

Technische Informationen

Folgende Kurven gelten für die angegebenen Bedingungen:

Kurve	Bemessungstemperatur T_R	Obere Kategorietemperatur $T_{UC}^{(2)}$
40/085	40 °C	85 °C
40/100	40 °C	100 °C
50/085	50 °C	85 °C
50/100	50 °C	100 °C
60/085	60 °C	85 °C
60/100	60 °C	100 °C

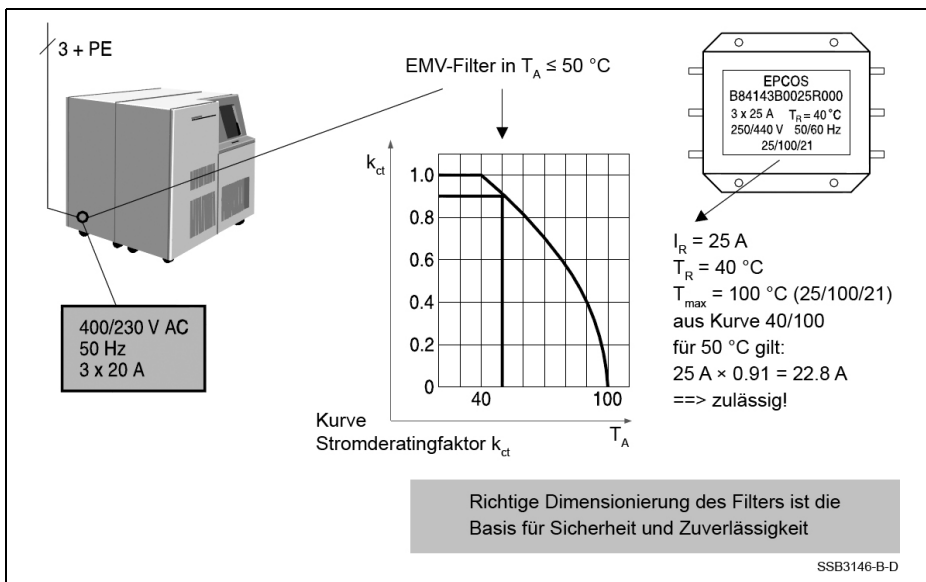


Bild 30 Anwendung der Stromderating-Kurven

Gegeben:

- Filter B84143A0025R105 ($I_R = 25\text{ A}$)
- Schaltschrank mit Innentemperatur max. 50 °C
- Dauerstrom (effektiv) am Umrichtereingang max. 20 A

Lösung:

Aus dem Datenblatt des Filters B84143A0025R105:

- Bemessungsstrom 25 A bei einer
- Bemessungstemperatur von 40 °C
- Obere Kategorietemperatur 100 °C (Klimakategorie 25/100/21)

2) UC = engl. "upper category"; mittlere Zahlengruppe in der Klimakategorieangabe (z. B. 25/085/21; 25/100/21) siehe Kapitel "Klimakategorie"

Technische Informationen

Aus Stromderatingkurven:

- zutreffende Kurve 40/100 auswählen
 - bei der Umgebungstemperatur 50 °C den entsprechenden Strombelastungsfaktor $k_{ct} = 0.91$ ablesen
 - $25 \text{ A} \times 0.91 = 22.8 \text{ A}$ (maximal zulässiger Dauerstrom bei 50 °C)
- **Dauerstrom (20 A) < max. zulässiger Strom (22.8 A)**

Damit ist der Einsatz im konkreten Beispiel mit einem Dauerstrom von max. 20 A zulässig und somit richtig dimensioniert.

9.2 Stromderating von 4-Leiter-Filtern bei Neutralleiterbelastung

Bei 4-Leiter-Filtern (3 Außenleiter + 1 Neutralleiter) bezieht sich die Angabe des Bemessungsstroms auf eine dreiphasige Belastung mit einem Summenstrom des Neutralleiters nahe Null. Speziell bei Applikationen mit getakteten Stromversorgungen wie Computern, elektronischen Vorschaltgeräten usw. ist mit einer deutlichen Belastung des Nullleiters zu rechnen, die im ungünstigsten Fall die Größe der Phasenströme überschreiten kann.

Das 4-Leiter-Filter ist hier auf einen Bemessungsstrom größer dem zu erwartenden Betriebsstrom auszulegen. Bei gleichem Stromwert des Neutralleiters und des Außenleiters ergibt sich z. B. ein Deratingfaktor von $k_{cc} = 0.86$ (Indizes "cc" = engl. "current derating depending on conductors"). Bei gleichzeitig auftretender Umgebungstemperatur größer der Bemessungstemperatur sind beide Deratingfaktoren k_{ct} und k_{cc} zu multiplizieren.

Beispiel

Gegeben:

- $I_{L1} = I_{L2} = I_{L3} = I_N = 36 \text{ A}$
- Filter B84144A0050R000 ($I_R = 50 \text{ A}$)

I_{Lx} = Strom durch Leiter L1 ... L3

I_N = Strom durch Neutralleiter

Lösung:

Zulässige Belastung (3-phasig + N-Leiter):

$$I_{\max(c)} = k_{cc} \times I_R = 0.86 \times I_R = 0.86 \times 50 \text{ A} = 43 \text{ A} \Rightarrow 43 \text{ A} \geq 36 \text{ A} \Rightarrow \text{zulässige Belastung}$$

Damit ist der Einsatz des 4-Leiterfilters mit $I_R = 50 \text{ A}$ mit 3 x 36 A Phasenbelastung + 36 A Neutralleiterbelastung zulässig.

9.3 Spannungsderating in Abhängigkeit von höherfrequenter Belastung

9.3.1 Theoretische Zusammenhänge

EMV-Filter sind für den Betrieb bei der jeweils im Datenblatt spezifizierten Bemessungsspannung und Bemessungsfrequenz ausgelegt. Dabei ist unterstellt, dass es sich um eine nahezu sinusförmige Netzspannung handelt, deren Oberschwingungsanteile im Rahmen der für Elektrizitätsversorgungsnetze zugelassenen Grenzwerte liegen.

Eventuell im Betrieb auftretende Spannungsanteile bei höheren Frequenzen als der Bemessungsfrequenz müssen gegebenenfalls durch ein Spannungsderating berücksichtigt werden. Ursachen für die höherfrequenten Spannungsanteile können zum Beispiel niederfrequente Netzrückwirkungen oder Spannungsüberhöhungen durch Resonanzen im System sein oder durch die Taktfrequenz eines Umrichters im Netz verursacht werden.

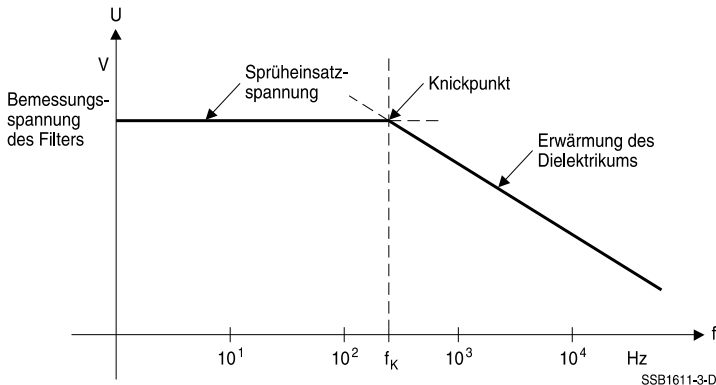


Bild 31 Theoretische Zusammenhänge des Spannungsderatings bei Filtern

Die maximal zugelassene Spannung am Filter ist vor allem auf zwei begrenzende Phänomene zurückzuführen:

- Die horizontale Linie im Bereich bis zur Knickpunktfrequenz f_k stellt die Begrenzung aufgrund der Sprüheinsatzspannung dar.
- Oberhalb von f_k nimmt die zugelassene Spannung mit der Frequenz ab; die Kurve ist für jede singuläre Frequenz das Maximum der zugelassenen Spannung. Liegt die Spannung genau auf der Kurve, wird die maximal erlaubte Eigenerwärmung von 10 K erreicht.

Der oben beschriebene Kurvenverlauf basiert auf den physikalischen Grundlagen von Folienkondensatoren.

In der Praxis liegen am Filter mehrere Frequenzen an (z. B. Oberschwingungen der Schaltfrequenz). Um die Gesamterwärmung berechnen und damit ableiten zu können, ob das Filter noch im zugelassenen Arbeitsbereich betrieben wird, sind alle Spannungsamplituden bei den einzelnen Frequenzen in die unten beschriebene Berechnung einzubeziehen.

⚠ Die gesamte zusätzliche Erwärmung des Dielektrikums darf 10 K nicht überschreiten.

Technische Informationen

Für einen Frequenzpunkt berechnet sich die zusätzliche Erwärmung nach folgender Formel:

$$\Delta T_n = \frac{10 \cdot (U_{Mn})^2}{(U_{Gn})^2} [\text{K}] \quad \text{Formel 1}$$

- U_{Mn} = Spannung gemessen bei Frequenz f_n
- U_{Gn} = Spannungs-Grenzwert für Frequenz f_n
- ΔT_n = berechnete Erwärmung des Dielektrikums für Frequenz f_n
- f_n = ausgewählte Frequenz

Dies ist für alle auftretenden $f_n \geq f_k$ zu berechnen und aufzusummieren.

$$\Delta T_{\text{ges}} = \sum_{v=1}^m \Delta T_v = \sum_{v=1}^m \frac{10 \cdot (U_{Mv})^2}{(U_{Gv})^2} [\text{K}] \leq 10 \text{ K} \quad \text{Formel 2}$$

- U_{Mv} = Wert gemessen bei Frequenz f_v
- U_{Gv} = Grenzwert für Frequenz f_v
- ΔT_{ges} = berechnete Erwärmung des Dielektrikums für alle Frequenzen
- f_v = Frequenz (mit Index v 1 ... m)

9.3.2 Beurteilung der zulässigen Belastung

Die tatsächliche Belastung eines Filters mit höherfrequenten Spannungen kann durch die Berechnung der Temperaturerhöhung nach dem zuvor erläuterten Verfahren auf Basis der gemessenen Spannungen ermittelt werden.

Dazu ist der Effektivwert der Spannung an der Netz- und Lastseite des Filters in Abhängigkeit von der Frequenz zu messen. Das erfolgt typischerweise mit einem Netzanalysator, der die Anteile bei den einzelnen Frequenzen direkt anzeigen kann, oder durch Messung der Zeitfunktion mit anschließender Fourier-Transformation.

Diese Messung ist für alle Kombinationen Leitung/Leitung und Leitung/PE durchzuführen und für alle diese Fälle in die Temperaturerhöhung umzurechnen. Dabei werden die Grenzwerte aus dem entsprechenden Diagramm des Kapitels "Deratingkurven" bei der entsprechenden Frequenz abgelesen und mit dem gemessenen Wert in die Formel eingesetzt. Anschließend werden alle Temperaturwerte je Fall aufsummiert. Wenn dieser Summenwert unter 10 K liegt, besteht keine Gefahr. Liegt er darüber, müssen geeignete Maßnahmen ergriffen werden, um die Spannungsanteile entsprechend zu reduzieren. Eine andere Möglichkeit ist die Auswahl eines EMV-Filters mit höherer Bemessungsspannung.

Wichtig:

Die Spannungen müssen immer mit eingebautem Filter unter Betriebsbedingungen gemessen werden. Geräte in der Nachbarschaft sind ebenfalls zu berücksichtigen. Messungen ohne Filter sind bestenfalls als grobe Orientierungshilfe brauchbar. So können sich z. B. Resonanzen, die sich durch die Netzbeschaltung (Kompensationskondensatoren, Vorschaltdrosseln, Transformatoren, Leitungen) ergeben, durch den Einbau des Filters erheblich verändern.

Technische Informationen

9.3.3 Berechnungsbeispiel

Beispiel für zulässige Belastung

Belastung eines Filters B84143B*S021 mit einer effektiven Spannung Leiter-Leiter von 760 V AC (Nennspannung 690 V AC +10%) und maximal zulässigen Harmonischen bis zur 25. Ordnung entsprechend DIN EN 50160.

Belastung Leitung/Leitung

Für dieses Beispiel sind die maximal zugelassenen Werte für Oberschwingungen nach DIN EN 50160 angesetzt, d. h. eine Art "Worst-Case"-Bedingung für Niederspannungsnetze.

n	U _{Mn} V	Frequenz Hz	ΔT K
2	8.8	100	0.0040
3	21.9	150	0.0270
4	4.4	200	0.0013
5	26.3	250	0.0582
7	21.9	350	0.0538
9	6.6	450	0.0065
11	15.4	550	0.0470
13	13.2	650	0.0433
17	8.8	850	0.0325
15, 21	2.2	750 ... 1050	0.0043
19, 23, 25	6.6	950 ... 1250	0.0844
6, 8, 10, ... 24	2.2	300 ... 1200	0.0172
Summe 2 ... 25			0.3795

Aus der Berechnung für die Temperaturerhöhung nach Formel 2 ergibt sich eine Erhöhung um rund 0.4 K (zulässig 10 K), verursacht durch alle maximal zulässigen Oberschwingungen (DIN EN 50160). Angemerkt sei, dass laut Norm der Gesamtwert des Oberschwingungsgehaltes 8% nicht überschreiten darf. Für das obige Beispiel mit allen Maximalwerten ergibt sich ein THD von über 11% (engl.: total harmonic distortion; Gesamtoberschwingungsanteil).

Das Beispiel zeigt, dass EMV-Filter von TDK sicher dimensioniert sind und unter normalen Einsatzbedingungen bei typischen Störaspekten ausreichenden Abstand zu den zulässigen Grenzwerten bieten.

Bitte denken Sie daran, dass jedes, auch mit viel Sicherheit dimensionierte Bauelement physikalische Grenzen hat, welche z. B. bei großen höherfrequenten Spannungsanteilen oder Resonanzen erreicht werden können.

9.3.4 Deratingkurven

Die nachfolgend gezeigten Deratingkurven sind typisch für viele Filter und sind als Orientierungshilfe für die einzelnen Filtergruppen (2-, 3- und 4-Leiter-Filter) zu verstehen. Die Werte für konkrete Filter können von diesen Daten abweichen. Der Grund dafür ist, dass die Spannungsbelastbarkeit bei höheren Frequenzen von mehreren Parametern abhängt:

- Dem Spannungsderating der eingesetzten Kondensatoren
- Der Anordnung der Kondensatoren im Filter z. B. mehrere Kondensatoren in Serie, in Sternschaltung, in Dreieckschaltung
- Der Bemessungsspannung des Filters (Leitung/Leitung und Leitung/PE)

Falls die Berechnung der Eigenerwärmung der Kondensatoren bei Benutzung der oben angegebenen Formeln sich knapp an der Grenze der zugelassenen Werte bewegt, sollten Sie die genauen Daten für das betreffende Filter anfordern.

2-Leiter-Filter

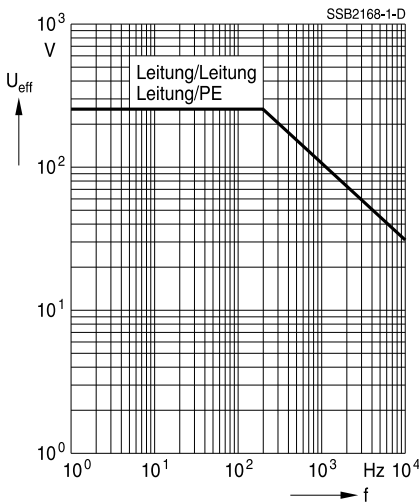


Bild 32 Deratingkurven für 2-Leiter-Filter 250 V

3- und 4-Leiter-Filter

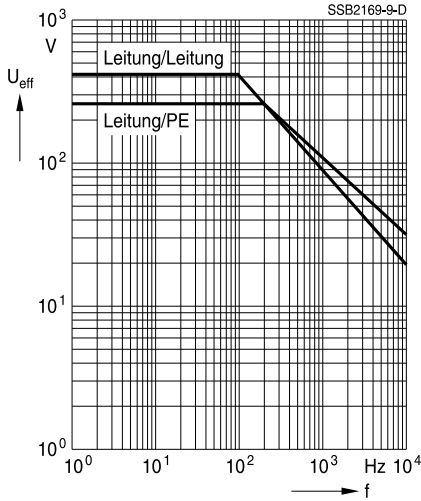


Bild 33 Deratingkurven für 3- und 4-Leiter-Filter 440/250 V

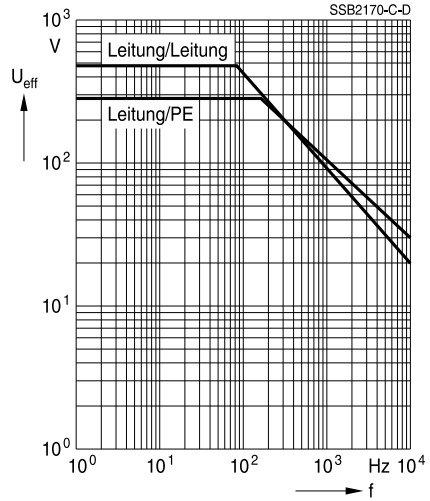


Bild 34 Deratingkurven für 3- und 4-Leiter-Filter 480/275 V

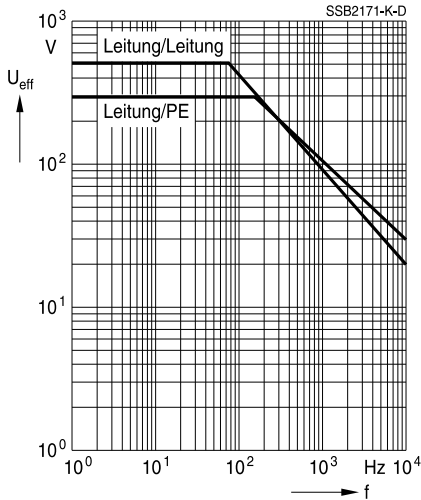


Bild 35 Deratingkurven für 3- und 4-Leiter-Filter 500/290 V

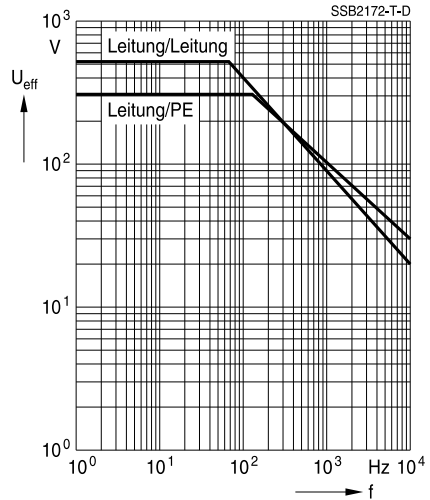


Bild 36 Deratingkurven für 3- und 4-Leiter-Filter 520/300 V

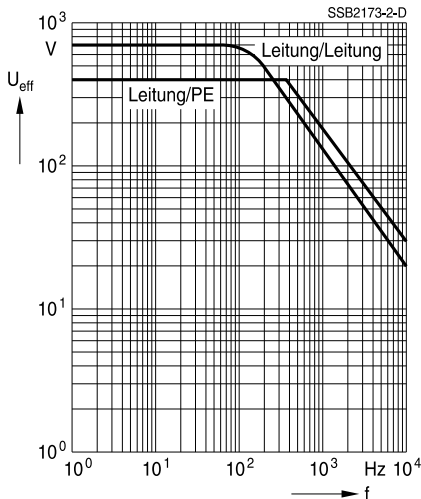


Bild 37 Deratingkurven für
3- und 4-Leiter-Filter 690/400 V

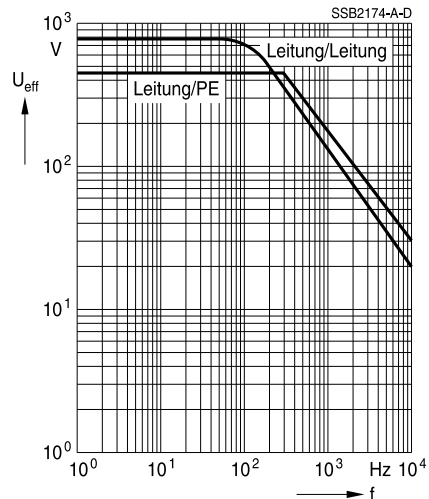


Bild 38 Deratingkurven für
3- und 4-Leiter-Filter 760/440 V

9.3.5 Gefahr bei Überlastung von Bauelementen

Erfahrungsgemäß sind in europäischen Niederspannungsnetzen selten kritische höherfrequente Anteile enthalten. Als eine Grenze können die in der Norm DIN EN 50160 genannten maximal zulässigen Werte für die 2. bis 25. Oberschwingung angesehen werden.

- Es soll jedoch darauf geachtet werden, dass keine resonanzfähigen Kreise entstehen, z. B. durch nicht aufeinander abgestimmte Kompensationskondensatoren, Transformatoren, kapazitive Anteile der Filter oder Leitungen.
- Insbesondere ist bei der Verwendung von Frequenzumrichtern darauf zu achten, dass mögliche Resonanzfrequenzen nicht mit der Taktfrequenz des Umrichters oder deren Harmonischen zusammenfallen.
- Eine Überschreitung der zugelassenen Grenzwerte für die höherfrequenten Spannungsanteile am Filter kann zu Beschädigungen oder zur Zerstörung führen.

9.4 Derating in Abhängigkeit der Aufstellungshöhe

Werden Filter oder Drosseln in Aufstellungshöhen >2000 m über NHN³⁾ betrieben, ist aufgrund physikalischer Zusammenhänge die Entwärmung der Filter und Drosseln nicht mehr im vollen Umfang gewährleistet. Aus diesem Grund sind beim Einsatz in Höhen >2000 m die nachstehenden Deratingfaktoren zu berücksichtigen. Die Werte zwischen den Tabellenangaben dürfen interpoliert werden.

Stromderating als Funktion der Aufstellungshöhe

Aufstellungshöhe über NHN ³⁾ m	Stromderating-Faktor
0 ... 2000	1.000
2250	0.981
2500	0.963
2750	0.944
3000	0.925
3250	0.906
3500	0.888
3750	0.869
4000	0.850

Beispielrechnung:

Bei Einsatz eines Filters oder einer Drossel mit Bemessungsstrom 600 A in einer Höhe von 2500 m über HNH³⁾ beträgt der maximale Dauerstrom 577 A; $600 \text{ A} \times 0.963 = 577 \text{ A}$.

Spannungsderating als Funktion der Aufstellungshöhe

Aufstellungshöhe über NHN ³⁾ m	Spannungsderating-Faktor
0 ... 2000	1.000
2250	0.970
2500	0.940
2750	0.910
3000	0.880
3250	0.850
3500	0.820
3750	0.790
4000	0.760

Beispielrechnung:

Bei Einsatz eines Filters oder einer Drossel mit Bemessungsspannung 760 V in einer Höhe von 2500 m über HNH³⁾ beträgt die maximale effektive Betriebsspannung 714 V; $760 \text{ V} \times 0.94 = 714 \text{ V}$.

3) m über NHN = Meter über Normalhöhennull; Normalhöhennull (NHN) ist die Höhenbezugsfläche

10 Einfügedämpfung

10.1 Messschaltungen

Störspannungen und Störströme breiten sich auf unterschiedlichen Wegen aus:

- Störungen zwischen allen Leitungen und Bezugsmasse sind asymmetrische Störungen, auch Gleichtaktstörungen genannt (engl.: common mode). Meist bei Frequenzen ab 1 MHz
- Störungen zwischen zwei Leitungen sind symmetrische Störungen, auch Gegentaktstörungen genannt (engl.: differential mode). Meist im Bereich von einigen 100 kHz
- Störungen zwischen einer einzelnen Leitung und Bezugsmasse werden unsymmetrische Störungen genannt (engl.: normal mode).

Entsprechend der unterschiedlichen Ausbreitungsart wird im Datenteil die Einfügedämpfung als symmetrische, asymmetrische und unsymmetrische Messung angegeben. Nachstehende Messschaltungen sollen das Messprinzip veranschaulichen.

Der linke Schaltungsteil 1 ist der Signalgenerator mit der Leerlauf-Generatorspannung U_0 und der Generatorimpedanz Z_0 . Der mittlere Schaltungsteil ist der Prüfling, in diesem Fall ein 4-Leiter-Filter. Mit 3 ist rechts der Messempfänger gekennzeichnet, wo die Ausgangsspannung U_2 über der Impedanz des Empfängers Z_2 gemessen wird.

a) Symmetrische Messung (*differential mode*) am Beispiel eines 4-Leiter-Filters

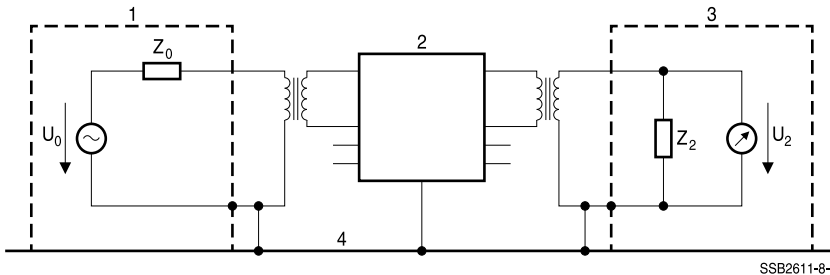


Bild 39 Symmetrische Messung (nach EN 55017, Bild 6)

SSB2611-8-D

Jedes mögliche Leitungspaar wird über Trennübertrager (Verhältnis 1:1) angeschlossen, wobei die nicht benutzten Leitungen unbeschaltet bleiben.

b) Asymmetrische Messung (*common mode*) am Beispiel eines 4-Leiter-Filters

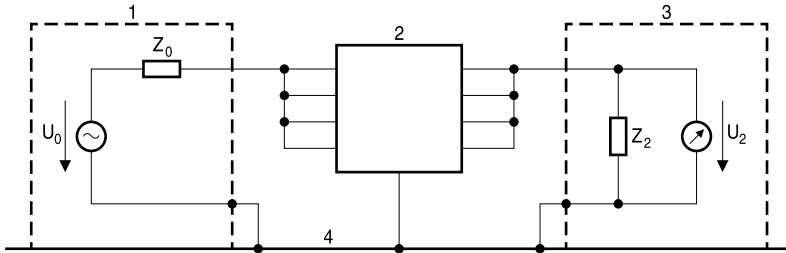


Bild 40 Asymmetrische Messung (nach EN 55017, Bild 5)

SSB2612-G-D

Alle Ein- und Ausgangsleiter werden zur Messung miteinander verbunden.

c) Unsymmetrische Messung (*normal mode*) am Beispiel eines 4-Leiter-Filters

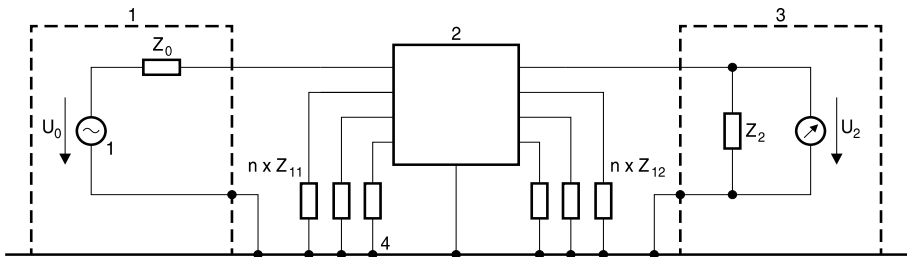


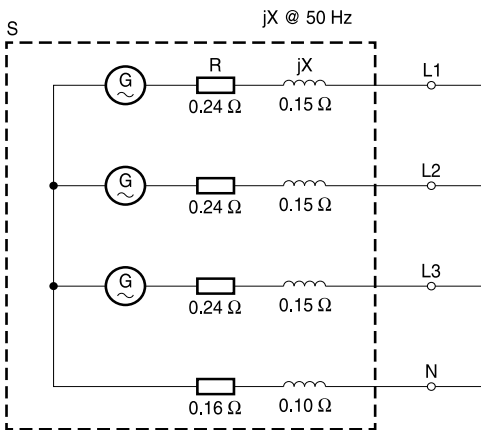
Bild 41 Unsymmetrische Messung (nach EN 55017, Bild 7)

SSB2613-P-D

Jedes Leitungspaar wird gemessen, wobei die nicht benutzten Leiter mit definierter Impedanz (meist 50 Ω) abgeschlossen werden.

10.2 Einfügungsdämpfung in Applikationen

Die zuvor erläuterten Messschaltungen benutzen in den meisten Fällen Impedanzwiderstände von 50 Ω. In wenigen Fällen werden die Messungen auch mit Impedanzen von 0.1 Ω und 100 Ω angegeben. Das nachstehende Bild zeigt die in der Norm EN 61000-3-3 definierten Netzimpedanzen, wobei die tatsächlichen in der Applikation auftretenden Impedanzen von den angenommenen Werten abweichen.



SSB3126-R

Bild 42 Bezugsnetz nach EN 61000-3-3

Somit haben die im Datenbuch angegebenen Einfügungsdämpfungskurven einen informativen Charakter zur Abschätzung der Wirkung und Vergleich von verschiedenen Filtern untereinander. Eine präzise Bewertung ist durch Messung der Störspannung in der aktiven Applikation möglich.

Technische Informationen

Bild 43 soll den Unterschied verdeutlichen. In der linken Kurve wird die Störspannung ohne EMV-Filter dargestellt. Die mittlere Kurve stellt die Dämpfungscharakteristik des Filters dar. Von der Störspannung (links) wird die Einfügungsdämpfung (Mitte) abgezogen und ergibt die rechnerisch ermittelte Strich-Strich-Linie rechts. Die reale Messung der Störspannung (Volllinie rechtes Diagramm) zeigt jedoch deutliche Abweichungen von der rechnerisch ermittelten Störspannung, maßgeblich beeinflusst durch unterschiedliche Impedanzen.

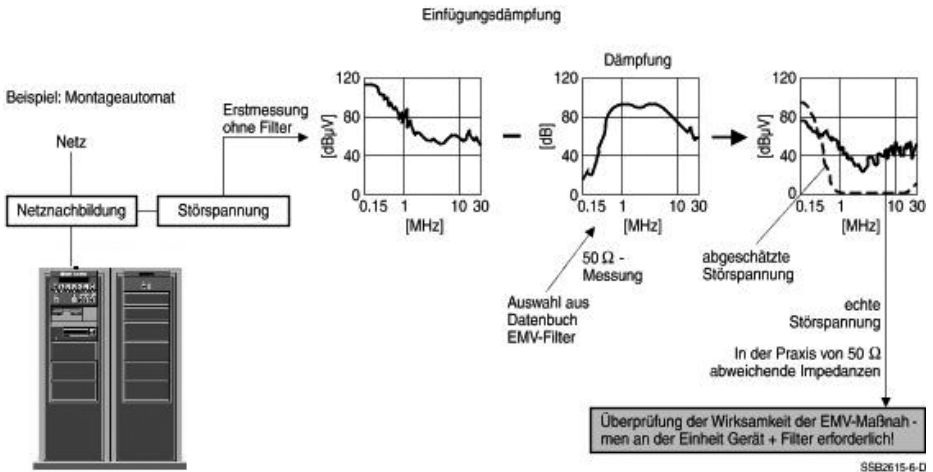


Bild 43 Einfügungsdämpfung in der Praxis

11 Ableitstrom

11.1 Definition des Ableitstroms

Als Ableitstrom bezeichnet man einen Strom, der in einem fehlerfreien Stromkreis direkt über die Schutzerdung oder indirekt über leitfähige Teile zur Erde fließt. Ableitströme fließen in der Regel in einem Gerät oder einer Anlage unabhängig von einem Fehlerfall und sind betriebsbedingt. Sie werden durch verschiedene elektrische Bauteile oder Schaltungen hervorgerufen, beispielsweise durch parasitäre Effekte von Leitungen, Mänteln etc. oder durch die Schaltung von Kondensatoren gegen Erde, wie es bei Y-Kondensatoren in EMV-Filtern der Fall ist. Der Gesamtableitstrom eines Systems ergibt sich aus der Summe aller Ableitströme.

Nach dem Internationalen Elektrotechnischen Wörterbuch (engl.: International Electrotechnical Vocabulary, IEC) ist der Ableitstrom definiert als elektrischer Strom, der in einem unerwünschten Störpfad unter üblichen Betriebsbedingungen fließt [IEC 195-05-15].

Ströme, die im Gegensatz dazu durch einen Isolationsfehler entstehen und nicht bei normalen Betriebsbedingungen, werden als Fehlerströme bezeichnet.

Die zur Messung von Ableitströmen angewandte Norm EN 60990 definiert "Verfahren zur Messung von Berührungsstrom und Schutzleiterstrom" und vermeidet bewusst den Begriff Ableitstrom, da dieser in unterschiedlichen Zusammenhängen nicht eindeutig verwendet wird. Wie in der Einleitung der deutschen Ausgabe geschrieben wird, ist die Norm für Prüffestlegungen zur Messung von Ableitströmen gedacht. Statt von einem Ableitstrom zu sprechen, wird in dieser Norm zwischen zwei Arten von Strömen unterschieden:

- Berührungsstrom

Elektrischer Strom durch den Körper eines Menschen oder Tieres, wenn dieser Körper ein oder mehrere berührbare Teile einer Anlage oder eines Betriebsmittels berührt. Ein Berührungsstrom kommt ausschließlich zustande, wenn der Strompfad über einen Körper oder eine Körpernachbildung verläuft.

- Schutzleiterstrom

Strom, der in einem Schutzleiter fließt.

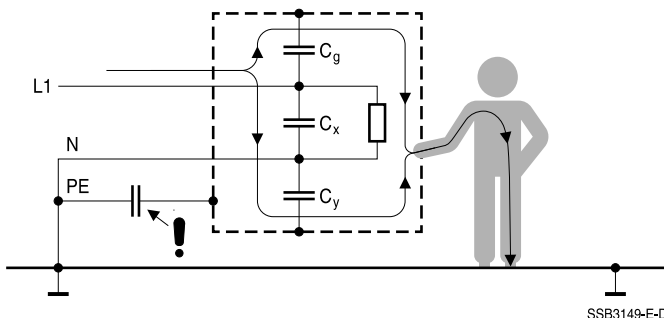


Bild 44 Prinzip des Berührungsstroms

Das Prinzip des Berührungsstroms ist in Bild 44 dargestellt: Im hier dargestellten Fehlerfall einer Schutzleiterunterbrechung bei Berührung des Gerätes durch eine Person kann ein Berührungsstrom durch diese Person abfließen.

Beide Begriffe, Berührungsstrom und Schutzleiterstrom, waren früher in der Normung als Ableitstrom erfasst. Für das Verständnis der heutigen Normungsanforderungen ist es somit wichtig, die Begriffe eindeutig zu unterscheiden. In beiden Fällen sind in der Norm abweichend zur ursprünglichen Definition des Ableitstroms bestimmte Fehlerbedingungen unterstellt.

11.2 Definition und Berechnung des Ableitstroms von EMV-Filtern

Da in der Vergangenheit unterschiedlichen Filterhersteller abweichende Rechenmodelle oder Messverfahren zur Angabe des Ableitstroms des EMV-Filters genutzt haben, hat man sich zu einer einheitlichen Angabe auf Basis eines Rechenmodells geeinigt und dieses Modell in den Normen für EMV-Filter EN 60939 veröffentlicht.

11.2.1 Definition des Ableitstroms von EMV-Filtern

Nach der DIN EN 60939-3 (VDE 0565-3-4):2016-09; 1.4.27 ist der **Ableitstrom** I_{LK} definiert als Strom bei der Nennfrequenz, der zur Erde oder zu einem äußeren leitfähigen Teil in einem fehlerfreien Stromkreis fließt.

Anmerkung 1 laut Norm zum Begriff: Dieser Strom kann eine kapazitive Komponente besitzen, die vor allem durch den Einsatz von Kondensatoren verursacht wird. Es handelt sich dabei um einen theoretisch berechneten Wert für einheitliche Angaben beispielsweise in Katalogen. Die Berechnung beruht auf den in Anhang A angegebenen Bestimmungen. Der tatsächliche Ableitstrom kann für Einzelfälle nicht angegeben werden.

Anmerkung 2 laut Norm zum Begriff: Weitere Ableitströme, wie z. B. Berührungsströme und Schutzleiterströme, müssen nach der zutreffenden Norm bestimmt werden (z. B. IEC 60990).

Aus der Definition ergibt sich: Die im Datenblatt von EMV-Filtern angegebenen Werte von Ableitströmen sind theoretisch berechnete Werte und dienen in erster Linie der Vergleichbarkeit unterschiedlicher Filtertypen. In der Realität gibt es viele Einflussfaktoren, so dass ein gemessener Wert nach IEC 60990 in der Regel nicht dem theoretisch berechneten Wert entsprechen wird.

11.2.2 Rechenverfahren für den Filter-Ableitstrom I_{LK}

Die nachfolgenden Berechnungsformeln für den Filter-Ableitstrom I_{LK} sind der Norm IEC 60939-3 Anlage A entnommen. Die Berechnung erfolgt ohne am Filterausgang angeschlossene Verbraucher. In der Norm DIN EN 60939-3 wird wörtlich ausgeführt: **"Der tatsächliche Ableitstrom für jede Anwendung kann nicht angegeben werden, da er von vielen Parametern abhängt."**

Damit handelt es sich beim rechnerisch ermittelten Wert I_{LK} um eine Richtgröße zur qualitativen Unterscheidung von verschiedenen EMV-Filtern in Bezug auf den Ableitstrom, ähnlich wie bei der Einfügungsdämpfung, vgl. Kapitel "Einfügungsdämpfung" auf Seite 22.

Bitte beachten Sie:

Der Filter-Ableitstrom I_{LK} addiert sich zu den Ableitströmen anderer Verbraucher, z. B. Ableitströmen durch Motorwicklungen, Umrichter und parasitäre Kapazitäten von Kabeln.

Berechnung des Filter-Ableitstroms für 1-Leiter-Filter

Der Filter-Ableitstrom ergibt sich aus dem Quotienten von Bemessungsspannung und kapazitivem Scheinwiderstand gegen Erde.

$$I_{LK} = 2 \cdot \pi \cdot f_R \cdot U_R \cdot C_Y$$

- I_{LK} Filter-Ableitstrom
- f_R Bemessungsfrequenz
- U_R Bemessungsspannung
- C_Y Nennkapazität gegen Erde

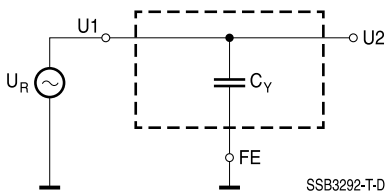


Bild 45 Ableitstrom für 1-Leiter-Filter

Berechnung des Filter-Ableitstroms für 2-Leiter-Filter

Der Filter-Ableitstrom ergibt sich aus dem Quotienten von Bemessungsspannung und kapazitivem Scheinwiderstand eines Y-Kondensators.

$$I_{LK} = 2 \cdot \pi \cdot f_R \cdot U_R \cdot C_Y$$

- I_{LK} Filter-Ableitstrom
- f_R Bemessungsfrequenz
- U_R Bemessungsspannung
- C_Y Nennkapazität gegen Erde

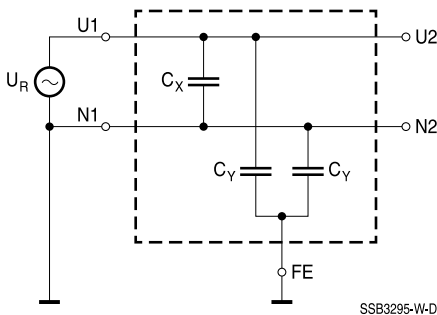


Bild 46 Ableitstrom für 2-Leiter-Filter

Berechnung des Filter-Ableitstroms für 3-Leiter-Filter

Der Filter-Ableitstrom ergibt sich aus dem Quotienten der Spannung Kondensatorsternpunkt zu Bezugsmasse und dem kapazitiven Scheinwiderstand des Y-Kondensators. In der Norm wurde ein Spannungsunterschied zwischen den Phasen von 6% festgelegt, was etwa einer Spannungs-unsymmetrie von 2% entspricht.

$$I_{LK} = 2 \cdot \pi \cdot f_R \cdot U_{NM} \cdot C_Y = 2 \cdot \pi \cdot f_R \cdot \frac{0.06 \cdot U_R \cdot C_X}{3 \cdot C_X + C_Y} \cdot C_Y$$

$$C_X = C_{X1} = C_{X2} = C_{X3}$$

- I_{LK} Filter-Ableitstrom
- f_R Bemessungsfrequenz
- U_R Bemessungsspannung
Phase gegen Erde
- U_{NM} Resultierende Spannung
Sternpunkt gegen Erde
- C_X Nennkapazität gegen
Sternpunkt
- C_Y Nennkapazität gegen Erde

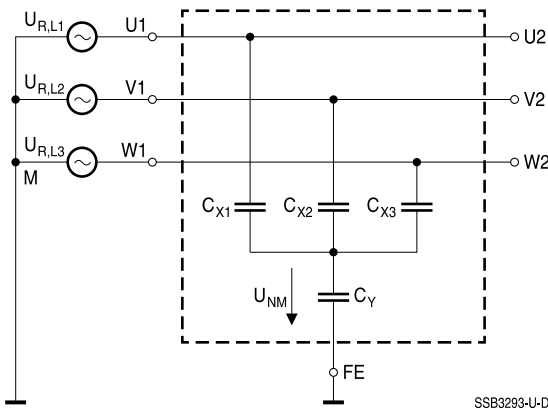


Bild 47 Ableitstrom für 3-Leiter-Filter

Berechnung des Filter-Ableitstroms für 4-Leiter-Filter

Der Filter-Ableitstrom ergibt sich aus dem Quotienten der Spannung Neutralleiter zu Erde und dem kapazitiven Scheinwiderstand des Y-Kondensators. Da Neutralleiter und Bezugsmasse am speisenden Transformator verbunden sind, sind die zu erwartenden Potentialdifferenzen zwischen Neutralleiter und Erde gering; in der Norm wird einheitlich ein Wert von 10 V definiert.

$$I_{LK} = 2 \cdot \pi \cdot f_R \cdot U_{NM} \cdot C_Y$$

$$U_{NM} = 10 \text{ V}$$

- I_{LK} Filter-Ableitstrom
- f_R Bemessungsfrequenz
- U_{NM} Spannung Neutral gegen Erde
- C_Y Nominalkapazität gegen Erde

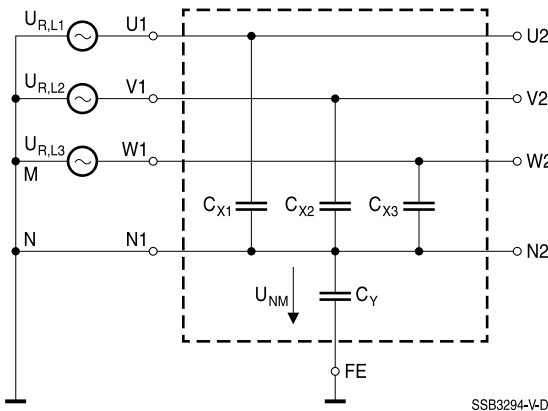


Bild 48 Ableitstrom für 4-Leiter-Filter

11.3 Aktive Reduzierung von Ableitströmen

In zahlreichen Anwendungen sollen Frequenzrichter zur variablen und energieoptimierten Drehzahlsteuerung zusammen mit einem FI-Schutzschalter (engl.: Residual current device, RCD) für entsprechende Schutzfunktionen eingesetzt werden. Bei drehzahlveränderlichen Antrieben sind Ableitströme von dem vorgeschalteten EMV-Filter, vom Umrichter selbst, vom geschirmten Motorkabel und auch vom Motor selbst zu erwarten. Die Summe der auftretenden Ableitströme übersteigt oft die untere Toleranzuntergrenze (typischerweise 50 % des Nennwertes) für das Auslösen des FI-Schutzschalters. In Folge tritt ein ungewolltes Abschalten der Einrichtung und somit eine erhebliche Störung im Ablauf ein. Dieses Prinzip ist in Bild 49 verdeutlicht.

Technische Informationen

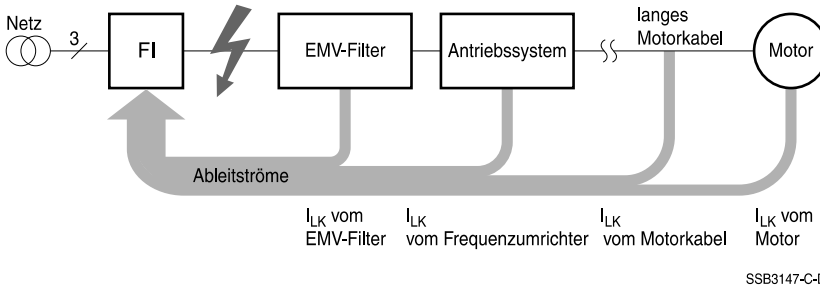


Bild 49 Ableitströme einzelner Komponenten in einer Umrichteranwendung

Der daraus resultierende Wunsch ist die Reduzierung der Ableitströme. Als Abhilfe können verschiedene konventionelle Möglichkeiten, wie zum Beispiel die Verwendung eines hochwertigen kapazitätsarmen Kabels oder eines Trenntransformators, versucht werden. Diese Möglichkeiten sind teuer bzw. benötigen im Fall des Trenntransformators zusätzliches Einbauvolumen bei gleichzeitigen Energieverlusten.

TDK bietet eine elektronische Lösung mit dem aktiven Ableitstromfilter LeaXield™ an, bei der der Ableitstrom gemessen und anschließend ein gegenphasiges Signal gleicher Amplitude erzeugt wird. Wie in Bild 50 schematisch dargestellt, führt dieses Verfahren zur Reduzierung der Ableitströme für den verwendeten FI-Schutzschalter, womit die Anlagenverfügbarkeit erhöht wird.

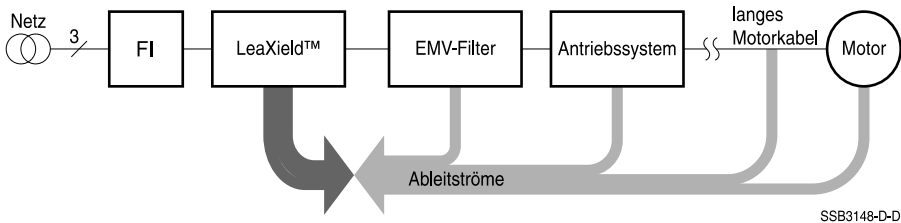



Bild 50 Ableitströme einzelner Komponenten in einer Umrichteranwendung unter Einsatz des Ableitstromfilters LeaXield™

Das Ableitstromfilter LeaXield™ kann eine ökonomische Lösung zur Beseitigung von den beschriebenen Problemen darstellen, da ein Einfügen in ein bestehendes System ohne Maßnahmen wie Motorkabelwechsel und ähnliches möglich ist. Eine externe Stromversorgung ist nicht erforderlich. Weitere Hinweise zum Ableitstromfilter LeaXield™ sind in diesem Datenbuch im Datenblätter-Abschnitt "Aktive Filter" sowie auf der TDK Website zu finden.

11.4 Sicherheitshinweise zu Ableitströmen

 Beachten Sie, dass der maximale Ableitstrom des gesamten elektrischen Gerätes oder der Einrichtung aus Sicherheitsgründen begrenzt ist. Bitte entnehmen Sie die gültigen Grenzwerte für Ihre Anwendung den entsprechenden Vorschriften, Bestimmungen und Normen. In der Regel gelten die nachfolgenden Grundsätze, die aber durch bestimmte Gerätevorschriften auch abweichende Anforderungen haben können und teilweise länderspezifisch unterschiedlich geregelt sind. Bitte informieren Sie sich konkret bezüglich Ihrer Anwendung.


- Vor der Inbetriebnahme der Einrichtung den Schutzleiter zuerst mit dem Filtergehäuse verbinden.
- Den Schutzleiteranschluss gemäß DIN VDE 0100-540 (IEC 60364-5-54) ausführen.
- Bei Ableitströmen $I_{LK}^{4)} > 10 \text{ mA}$ ist ein Festanschluss des Schutzleiters an das Verbrauchernetz erforderlich. Das heißt, ein Anschluss über Steckverbinder ist unzulässig. Der Schutzleiter muss einen Mindestquerschnitt von $10 \text{ mm}^2 \text{ Cu}$ oder $16 \text{ mm}^2 \text{ Al}$ über seine gesamte Länge haben. Alternativ können auch zwei separate Schutzleiter mit dem jeweils vorgeschriebenen Mindestquerschnitt angeschlossen werden.
- Anschlussart und Verlegung muss den Anforderungen für PEN-Leiter nach DIN VDE 0100-540 (IEC 60364-5-54) entsprechen.
- Bei Ableitströmen $3,5 \text{ mA} < I_{LK}^{4)} \leq 10 \text{ mA}$ sind folgende Lösungen möglich:
 - Ortsfeste Einrichtung mit Festanschluss
 - Ortsfeste Einrichtung mit Steckanschluss Typ B (industrielle Steckverbindung nach IEC 60309) und Querschnitt $\geq 2,5 \text{ mm}^2$
 - Ortsfeste Einrichtung mit Steckanschluss Typ A (nicht-industrielle Steckvorrichtung) und zusätzlicher zweiter Schutzleiterverbindung
 - Bewegbare Einrichtungen mit Steckanschluss Typ A und zusätzlicher zweiter Schutzleiterverbindung in Betriebsstätten mit beschränktem Zutritt
- Bei Verwendung von Fehlerstromschutzschaltern darf der Ableitstrom des gesamten Gerätes oder der Anlage maximal die Hälfte des Nennauslösestroms der Schutzeinrichtung betragen.

4) I_{LK} = Ableitstrom (engl.: leakage current)

Technische Informationen

11.5 Grenzwerte für Ableitströme

Nachfolgend werden zwei Beispiele aus Standards mit Grenzwerten des Ableitstroms dargestellt.

 In allen Fällen sind die für die Anwendung gültigen Normen und Vorschriften zu beachten. So beinhalten z. B. Standards für Medizingeräte oft niedrigere Grenzwertpegel.

Elektrische Geräte für den Hausgebrauch und ähnliche Zwecke nach EN 60335-1, Kapitel 16

Schutzklasse Klasse	Erläuterung	Geräteart; Anschlussart	Ableitstrom ⁵⁾
0 ⁶⁾	Geräte mit Basisisolierung ohne Schutzleiter	–	0.5 mA
0I ⁷⁾	Geräte mit Basisisolierung ohne Schutzleiter, jedoch mit Schutzleiter-Anschlussklemme	–	0.5 mA
I	Geräte mit Schutzleiter	Ortsveränderlich	0.75 mA
		Ortsfeste Motorgeräte	3.5 mA
		Ortsfeste Wärmegeräte	0.75 mA oder 0.75 mA/kW Bemessungsstrom, Höchstwert 5 mA
II	Geräte mit doppelter oder verstärkter Isolierung ohne Schutzleiter	–	0.25 mA
III	Geräte mit Sicherheitskleinspannung (SELV)	–	0.5 mA

5) Messstromkreis nach Bild 4 IEC 60990: Berührungsstrom bewertet für Spürbarkeit oder Schreckreaktion

6) Die Schutzklassen 0 und 0I sind in Europa nicht zulässig.

Technische Informationen

Der "Schutz gegen elektrischen Schlag – Gemeinsame Anforderungen für Anlagen und Betriebsmittel" wird in der IEC 61140 definiert. Die Grenzen bei **Begrenzung von Beharrungsberührungsstrom und Ladung** werden hier wie folgt angegeben (Kapitel 5.2.7):

- a) Für einen Berührungsstrom werden folgende Werte vorgeschlagen
 - Ein Beharrungsstrom, der zwischen gleichzeitig berührbaren leitfähigen Teilen fließt und nicht die Wahrnehmbarkeitsgrenzen von AC 0,5 mA oder DC 2 mA überschreitet;
 - Werte, die nicht die Schmerzschwelle von AC 3,5 mA oder DC 10 mA erreichen, müssen als abweichende Bedingungen oder Fehlerbedingungen festgelegt werden.
- b) Für eine gespeicherte Ladung zwischen gleichzeitig berührbaren leitfähigen Teilen werden nach IEC/TS 60479-2:2007, Bild 19, folgende Werte vorgeschlagen:
 - 0,5 mJ, die der Schmerzschwelle entsprechen, und
 - 5 μ J, die der Wahrnehmbarkeitsschwelle entsprechen.

Anmerkung: Für medizinische elektrische Geräte, die in den Anwendungsbereich der Reihe IEC 60601 fallen, können andere Grenzwerte notwendig sein.

Die Stromgrenzwerte basieren auf den Grenzwertlinien a für die Bereiche AC-1 bzw. DC-1 Bilder 20 und 22 der IEC/TS 60479-1: "Wirkungen des elektrischen Stromes auf Menschen und Nutztiere – Teil 1: Allgemeine Aspekte".

Schutzleiterstrom für Anlagen und Betriebsmittel mit einer Bemessungsfrequenz von 50 Hz oder 60 Hz nach EN 61140

Maximaler Wechselstromanteil des Schutzleiterstroms für Frequenzen bis 1 kHz

Bemessungsstrom des elektrischen Verbrauchsmittels AC	Maximaler Schutzleiterstrom für Frequenzen bis 1 kHz
$I \leq 2 \text{ A}$	1 mA
$2 \text{ A} < I \leq 20 \text{ A}$	0,5 mA/A
$I > 20 \text{ A}$	10 mA
	$\leq 5\%$ des Bemessungsstroms je Außenleiter, wenn in Produktnorm definiert

Maximaler DC-Anteil des Schutzleiterstroms

Bemessungsstrom für Stromverbrauchsmittel AC	Maximaler Schutzleiterstrom DC
$I \leq 2 \text{ A}$	5 mA
$2 \text{ A} < I \leq 20 \text{ A}$	2,5 mA/A
$I > 20 \text{ A}$	50 mA

In dieser Norm EN 61140 wird auch der Begriff Schutzleiterstrom klarer definiert und ist in dieser Formulierung auch Bestandteil des "Internationalen Elektrotechnischen Wörterbuchs", Begriffsnummer 826-11-21: **Schutzleiterstrom**, *Strom, der als Ableitstrom oder als elektrischer Strom in-folge eines Isolationsfehlers im Schutzleiter auftritt.*

11.6 Praktische Handhabung des Themas Ableitstrom

⚠ Die Datenbuchangabe des Filter-Ableitstroms hat für den Anwender informativen Charakter. Die konkrete Applikation ist entsprechend gültigen Normen auf die Einhaltung der Grenzwerte im Zusammenspiel aller Komponenten zu prüfen!

Bei dauerhaft angeschlossenen Betriebsmitteln mit Schutzleiterströmen >10 mA ist ein fester Schutzleiteranschluss mit mindestens 10 mm² Cu bzw. 16 mm² Al oder zwei an separaten Klemmstellen angeschlossene Schutzleiter mit jeweils vorgeschriebenen Querschnitt notwendig.

Wichtige Unterscheidung:

- Der Rechenwert des Ableitstroms für EMV-Filter dient dem Anwender als Orientierungsgröße und als Vergleich unterschiedlicher Filter.
- Für das Gerät oder die Anlage ist der Ableitstrom als Summe aller Ableitstromkomponenten mit einer Messschaltung nach IEC 60990 zu messen.

Was muss man über das Ergebnis der Ableitstrommessung wissen?

- Das Ergebnis gilt für den Zeitpunkt der Messung unter den vorliegenden Umgebungsbedingungen. Messungen zu einem anderen Zeitpunkt können abweichende Ergebnisse ergeben.
- Das Ergebnis der Ableitstrommessung wird unter anderem durch folgende Einflüsse beeinflusst:
 - Oberschwingungsanteil und Spannungssymmetrie der Netzversorgung
 - Kapazitäten und parasitäre Kapazitäten in Geräten/Anlagen
 - Pulsfrequenz und Pulsmuster von drehzahlvariablen Antrieben, Schaltnetzteilen usw.
 - Parasitäre Kapazitäten von Motorleitungen mit Schirmung
 - Parasitäre Kapazitäten von Motoren

Technische Informationen

Nachstehend wird ein Beispiel für ermittelte Messwerte von drei EMV-Filtern aus verschiedenen Fertigungsreihen des Typs B84143B0050R110 im Industrie-TN-S-Netz 400V/230V, 50 Hz als auch im synthetischen Netz gegeben. Nebenstehend befindet sich die Angabe über den rechnerisch ermittelten Wert I_{LK} , vgl. Kapitel "Berechnung des Filter-Ableitstroms für 3-Leiter-Filter".

Netzspeisung und Zeitpunkt der Messung	Messung von 3 Filtern unterschiedlicher Fertigungslose ⁷⁾				Datenbuch	
	Berührungsstrom gemäß EN 60990			Differenz- strom ⁸⁾		Filter-Ableit- strom I_{LK} laut Daten- blatt mA
	Unbewertet	Spürbarkeit und Reaktion	Loslassen			
mA	mA	mA	mA			
Industrienetz Zeitpunkt 1	2.14 ... 2.22	1.82 ... 1.86	1.56 ... 1.58	12.05 ... 12.50	3.1	
Industrienetz Zeitpunkt 2	2.14 ... 2.18	1.76 ... 1.82	1.44 ... 1.50	11.82 ... 12.27		
Industrienetz Zeitpunkt 3	2.06 ... 2.10	1.72 ... 1.76	1.40 ... 1.44	11.36		
Synthetisches Netz	0.22 ... 0.28	0.20 ... 0.27	0.20 ... 0.27	0.30 ... 0.41		

Das Beispiel zeigt, dass die Toleranz der Messwerte der Filter aus drei Fertigungslosen sehr gering ist, was für die gleichbleibend sehr hohe Fertigungsqualität der EPCOS-Filter spricht. Bedingt durch den Oberschwingungsanteil im Industrienetz werden Unterschiede zum synthetischen Netz in der Größenordnung einer Zehnerpotenz sichtbar. Die Angabe des Filter-Ableitstroms im Datenbuch für das Beispielfilter entspricht in der Größenordnung etwa den Messwerten im Industrienetz und bietet mit der Angabe einen ausreichenden Sicherheitsabstand.

12 Systeme mit Fehlerstromschutzeinrichtungen

12.1 Begriff Fehlerstromschutzschalter

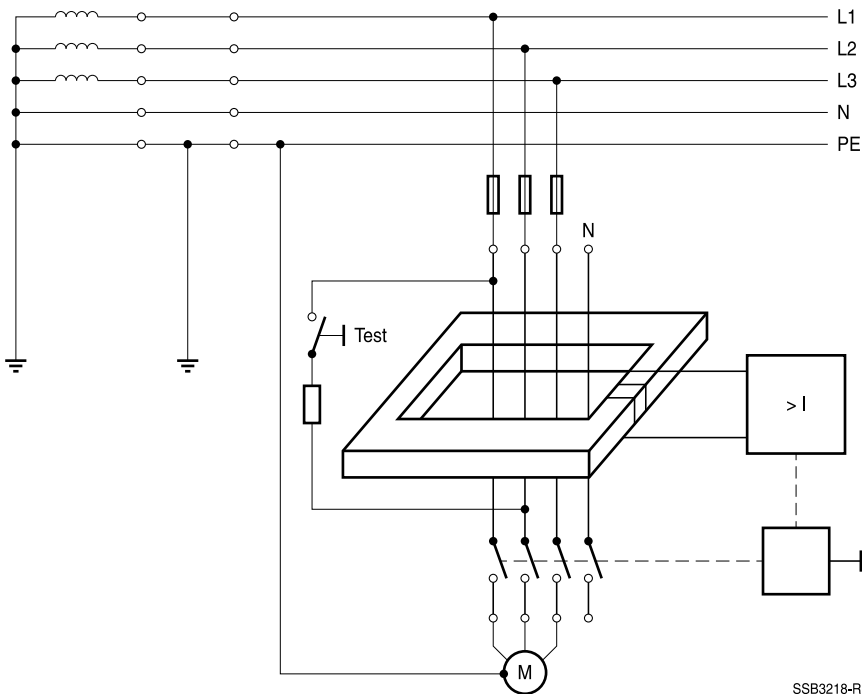
Ein Fehlerstromschutzschalter trennt beim Überschreiten eines definierten Differenzstroms den überwachten Stromkreis allpolig (mit Ausnahme des Schutzleiters). Oft wird die englischsprachige Kurzbezeichnung RCD (engl.: residual current device) für Fehlerstromschutzeinrichtung bzw. RCCB (engl.: residual current operated circuit-breaker) für Fehlerstromschutzschalter bzw. FI-Schutzschalter auch im deutschen Sprachraum verwendet. Genaue Definitionen sind in der Normengruppe IEC 61008 festgelegt. Darüber hinaus gibt es Differenzstrom-Überwachungsgeräte RCM (engl.: residual current monitor), die jedoch keine eigene Abschalteneinheit des Laststromkreises besitzen.

⁷⁾ Messung durch Prüflabor

⁸⁾ Vektorielle Summe der Momentanwerte der Ströme, die am netzseitigen Filtereingang durch alle aktiven Leiter (L1, L2, L3) fließen; frequenzabhängig bewertet (gemessen mit Ableitstrom-Messgerät 5S29 300 Siemens).

12.2 Prinzip der Fehlerstromschutzeinrichtung

Das Funktionsprinzip nutzt die Eigenschaft, dass im idealen Stromkreis die Summe der hin- und zurückfließenden Ströme Null ist. Ein Summenstromwandler über den Leitungen von Phase und Null erfasst den Differenzstrom, bei dem es sich um einen betriebsbedingten Ableitstrom wie auch um einen Fehlerstrom handeln kann. Die Definitionen der Stromarten finden Sie im Kapitel "Ableitstrom". Eine zusätzliche Wicklung auf dem Wandler gehört zum Auslösekreis und bewirkt bei Erreichen des Grenzwertes die mechanische Öffnung des Schaltschlusses mit den Kontakten. Nachstehende Skizze zeigt das Prinzip.



SSB3218-R

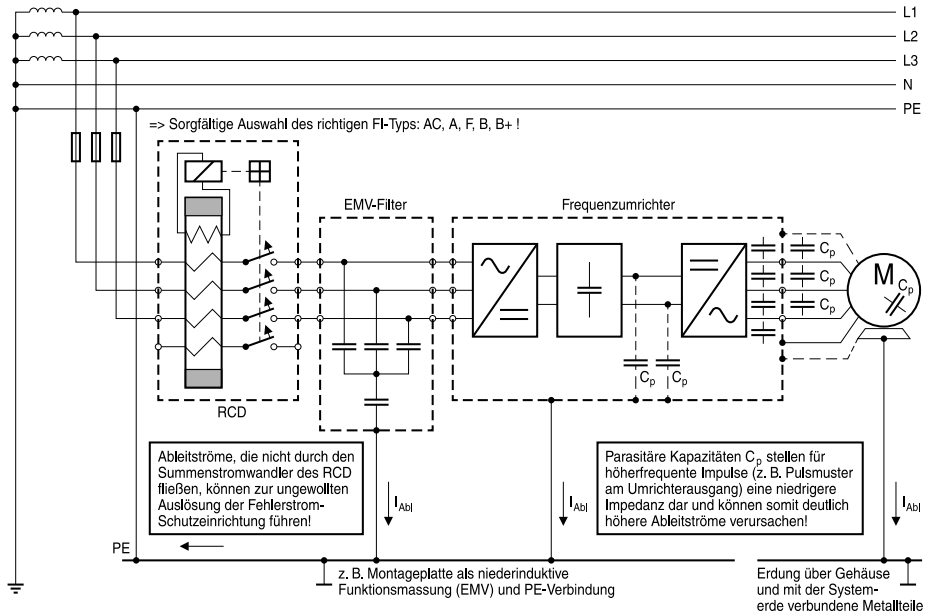
Bild 51 Prinzip FI-Schutzschalter

12.3 Beispiel eines elektrischen Antriebssystems

Um Energie effektiv zu nutzen, werden in zunehmender Zahl elektrische Antriebssysteme (engl.: PDS = power drive system) verwendet. Diese besitzen die Möglichkeit, die Motordrehzahl stufenlos zu verändern. Im Prinzip wird eine Wechselspannung gleichgerichtet, im Zwischenkreis geglättet und über elektronische Schaltelemente bezüglich der Pulsform und Frequenz umgeformt.

Technische Informationen

Damit verbunden ist unter anderem eine leitungsgebundene Störaussendung. Entsprechend internationalen Normen sind die Störpegel zu begrenzen, was in der Regel die Verwendung von EMV-Filtern bedingt. Bild 52 zeigt das Prinzipschaltbild eines ein solches Antriebssystems.



SSB3219-S-D

Bild 52 Prinzipschaltbild Antriebssystem

Die Betrachtung des Prinzipschaltbildes zeigt, dass die Ableitströme in diesem Antriebssystem nicht identisch sind mit der Angabe des Ableitstromes im Datenblatt des EMV-Filters. Diese Angabe wurde in der Norm IEC 60939 im Jahr 2010 als Rechenverfahren vereinheitlicht, berücksichtigt aber nur den Ableitstrom mit Bezug auf die Netzfrequenz beim Anschließen des Filters an das Versorgungsnetz. Hinzu kommen die Ableitströme durch die zusätzlichen Komponenten wie Umrichter, Kabel und Motor. Somit ist der Ableitstrom des Gesamtsystems höher als der durch das EMV-Filter verursachte Ableitstrom.

In Abhängigkeit des Gleichrichtungsverfahrens beinhalten diese Ableitströme Frequenzanteile als Mehrfaches der Netzfrequenz; zum Beispiel eine dreiphasige B6-Schaltung bewirkt typische Anteile von 150 Hz, 450 Hz und 750 Hz. Diese werden als stationäre Ableitströme bezeichnet, da sie unabhängig vom Betriebszustand der Anlage annähernd konstant bleiben. Die oft im Bereich von 1 kHz ... 16 kHz liegenden Taktfrequenzen verursachen besonders in den Leitungs- und Motorkapazitäten deutlich höherfrequente Ableitströme. Dabei spricht man von variablen Ableitströmen, welche in Abhängigkeit von der Taktfrequenz des Umrichters variieren.

12.4 Schutzziele der FI-Schutzschalter

Der Einsatz von FI-Schutzschaltern⁹⁾ hat zwei wesentliche Ziele:

1. Schutz gegen elektrischen Schlag (Personenschutz)
2. Brandverhütung

Der Personenschutz (Schutz gegen elektrischen Schlag) bei elektrischen Betriebsmitteln und Anlagen besteht in der Regel aus einer Kombination von zwei unabhängigen Schutzvorkehrungen, dem Basisschutz und dem Fehlerschutz. Der Basisschutz (Schutz gegen direktes Berühren) verhindert das Berühren unter Spannung stehender Teile z. B. durch Isolation. Der Fehlerschutz (zusätzlicher Schutz bei indirektem Berühren) soll im Fehlerfall eine gefährliche Berührungsspannung an berührbaren leitfähigen Teilen innerhalb festgelegter Zeiten verhindern, z. B. durch Abschaltung der Versorgungsspannung.

Die Grenzwerte in Bezug auf Personenschutz für den maximal zulässigen Strom ergeben sich aus den Angaben der IEC TS 60479 "Wirkung des elektrischen Stromes auf Menschen und Nutztiere". Hierbei werden in Abhängigkeit von der Frequenz unterschiedliche hohe Stromstärken angegeben, die jedoch einen gleich hohen Schutzpegel darstellen. Diese Differenzierung ermöglichen FI-Schutzschalter mit definierten Auslösecharakteristiken in Abhängigkeit von der Frequenz des Fehlerstromes.

Typischerweise werden drei Bereiche unterschieden:

- 0,1 Hz ... 100 Hz mit z. B. 30 mA-Grenze
- 100 Hz ... 1000 Hz mit z. B. ansteigender Grenze von 30 mA ... 300 mA
- 1 kHz ... 100 kHz mit z. B. 300 mA-Grenze

Zur Verhütung von Bränden ist in verschiedenen Vorschriften der Grenzwert 300 mA genannt. Unter Nutzung dieser Grenze können auch Systeme mit Taktfrequenzen im kHz-Bereich über FI-Schutzschalter geschützt werden.

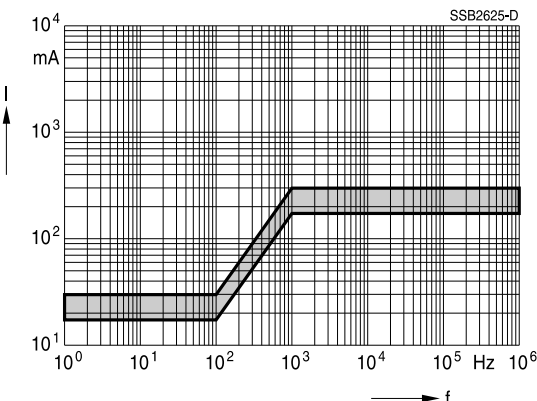


Bild 53 Beispiel Auslösecharakteristik RCCB

9) FI = Fehlerstrom

12.5 Typenspektrum FI-Schutzschalter

- Typ AC = wechselstromsensitiv: Erfasst nur sinusförmige Wechselfehlerströme!
ACHTUNG! In einigen Ländern nicht für die FI-Schutzmaßnahme zugelassen!
- Typ A = pulsstromsensitiv: Erfasst sinusförmige Wechselfehlerströme + pulsierende Gleichfehlerströme
Anwendung: einphasige Gleichrichter, einphasige Thyristorsteller (ohne glatte Fehlerströme)
- Typ B = allstromsensitiv: Fehlerströme wie Typ A + glatte Gleichfehlerströme
Anwendung: mehrphasige Systeme und Gleichrichterschaltungen
- Typ B+ = allstromsensitiv: Eigenschaften des Typs B + Auslösebedingungen bis 20 kHz
- Kurzzeitverzögerte Typen: Abschaltzeit geringfügig verzögert (ca. 10 ms)
Anwendung: bei kurzzeitigen Impulsströmen im Rahmen des normalen Betriebs
- Selektive Typen /S/: Definierte Abschaltzeitverzögerung
Anwendung: Reihenschaltung mehrerer Schutzeinrichtungen, um selektive Abschaltreihenfolge zu gewährleisten

12.6 Praxislösungen

Da beim Einsatz von Frequenzumrichtern die Unterscheidung von Fehlerströmen und betriebsbedingten Ableitströmen schwierig ist, kann es zum ungewollten Auslösen der Schutzeinrichtung kommen und somit die Anlagenverfügbarkeit verringert bzw. das Ausfallrisiko erhöht werden.

Lösungsvorschläge:

- Reduzierung von betriebsbedingten Ableitströmen durch Verwendung des Ableitstromfilters **LeaXield™** von TDK
- Messen Sie die Ableitströme im System; Ursachenermittlung erleichtert die Auswahl der Maßnahmen. Benutzen Sie dazu geeignete Messmittel. Die obere Grenzfrequenz der Messeinrichtung sollte für die zu erwartenden nennenswerten Ableitstromanteile ausreichend bemessen sein.
- Wählen Sie einen geeigneten Typ des FI-Schutzschalters für Ihre Applikation.
- Schaltvorgänge in Mehrphasensystemen können durch mechanische Kontakte zeitlich versetzt sein und dadurch transiente Ableitströme verursachen. Nutzen Sie in diesem Fall kurzzeitverzögerte Fehlerstromschutzschaltungen.
- Klären Sie mit Ihrem EMV-Experten die richtige Auswahl der EMV-Filter. Bitte beachten Sie, dass ableitstromarme Filter bei gleichen Dämpfungseigenschaften aufwändiger aufgebaut und in der Regel teurer sind.
- Vergleichen Sie die technischen Daten der eingesetzten Motorkabel besonders bezüglich der Kapazitäten. Kostengünstigere, aber mit höherem Kapazitätsbelag behaftete Kabel müssen unter Umständen mit teuren Maßnahmen kompensiert werden.

Technische Informationen

- Soweit möglich, sollten Sie eine optimale Schaltfrequenz am Umrichter wählen. Induktivitäten am Umrichterausgang (Ausgangsdrosseln und Ausgangsfilter) können den Ableitstrom reduzieren; besonders die EPCOS SineFormer®-Filterreihe B84143V*R127 hat sich in der Praxis bereits vielfach bewährt. Bitte beachten Sie die besonderen Anforderungen Ihrer Applikation z. B. hinsichtlich der Motordynamik.
- Vermeiden Sie unnötige Motorleitungslängen. Legen Sie den Schirm der Motorleitung großflächig und beidseitig auf die Masse von Umrichter und Motor. Halten Sie Einschaltströme mit technischen Maßnahmen gering (Einschaltstrombegrenzung).

13 Kurzschlussstromfestigkeit

13.1 Ursachen, Auswirkungen und Arten von Kurzschlüssen

Ein elektrischer Kurzschluss ist eine niederohmige Verbindung zwischen zwei elektrisch leitenden Teilen mit unterschiedlichem Potential. Bei der nachfolgenden Betrachtung geht es ausschließlich um unbeabsichtigte Kurzschlüsse als Folge eines Fehlers.



Was sind Ursachen für Kurzschlüsse?

- Beschädigte Isolation, z. B. durch Alterung, thermische Beanspruchung, mechanische Fremdeinwirkungen
- Einfluss von Feuchtigkeit oder leitfähigen Verunreinigungen mit Kriechwegen zum Beginn
- Dauerbeanspruchung von Isolationsmaterialien nach beginnender Teilentladung im Wirkungsfeld elektrischer Felder
- Menschliches Versagen wie Fehlschaltungen, leitfähige Werkzeuge und Nichtbeachtung der Sicherheitsregeln

Mögliche Auswirkungen eines Kurzschlusses:

- Thermische Wirkung durch Erhitzung der betroffenen Leiter mit Brandgefahr
- Mechanische Kraftwirkung auf die Leiter durch die mit dem hohen Stromfluss verbundenen Magnetfelder
- Auftretende Störlichtbögen mit Verdampfen von Metallen und Ionisierung der Umgebungsluft

Arten des Kurzschlusses:

- Einpoliger Kurzschluss: Tritt zwischen Leiter und Erde auf und wird somit auch als Erdkurzschluss bezeichnet.
- Zweipoliger Kurzschluss: In der Regel zwischen zwei Leitern, es ist aber auch zusätzlich (z. B. als Folge) ein Erdschluss möglich.
- Dreipoliger Kurzschluss: Der Kurzschluss zwischen drei Leitern des Systems stellt die höchste Belastung für das Versorgungsnetz und die Überstromschutzeinrichtungen dar. Bei Prüfungen der Kurzschlussstromfestigkeit wird in der Regel dieser Fall geprüft.

13.2 Schutz gegen die Auswirkungen von Kurzschlüssen

Um Auswirkungen von Kurzschlüssen zu begrenzen, sind Überstromschutzeinrichtungen zum Schutz der EMV-Leistungsbau-elemente erforderlich. Typische Überstromschutz-einrichtungen sind:

- Sicherungen, hier meist Schmelzsicherungen
- Leitungsschutzschalter (elektromechanische Überstrom-einrichtungen)
- Leistungsschalter mit entsprechenden Überwachungsfunktionen des Stroms.

Diese begrenzen zeitlich die Einwirkung der hohen Kurzschlussströme und damit die thermische Beanspruchung sowie die durch die elektromagnetische Wirkung verursachten Kräfte. Ziel ist es, im Falle eines Kurzschlusses die Anlagenteile möglichst vor einer Schädigung zu schützen und einen gefahrlosen Zustand herzustellen.

13.3 Berechnung der Kurzschlussstromfestigkeit

Die Abschätzung der Kurzschlussströme verlangt Detailkenntnisse der Stromversorgungseinrichtung, der Kabel und Leitungssysteme sowie Wissen über die verwendeten Überstromschutz-einrichtungen. Die Normenreihe IEC 60909 beinhaltet "Kurzschlussströme in Drehstromnetzen" und gibt Hinweise zu deren Berechnung. Ziel ist die Beurteilung der Beanspruchungssituation. Dabei ist das Verhalten bei den zwei Beanspruchungen

- größter zu erwartender Kurzschlussstrom
- kleinster zu erwartender Kurzschlussstrom

zu klären.

Technische Informationen

Für die Abschätzung der Kurzschlussbeanspruchung spielen der Querschnitt und die Länge der Leiter eine entscheidende Rolle, wie nachfolgende Zeichnung andeutet.

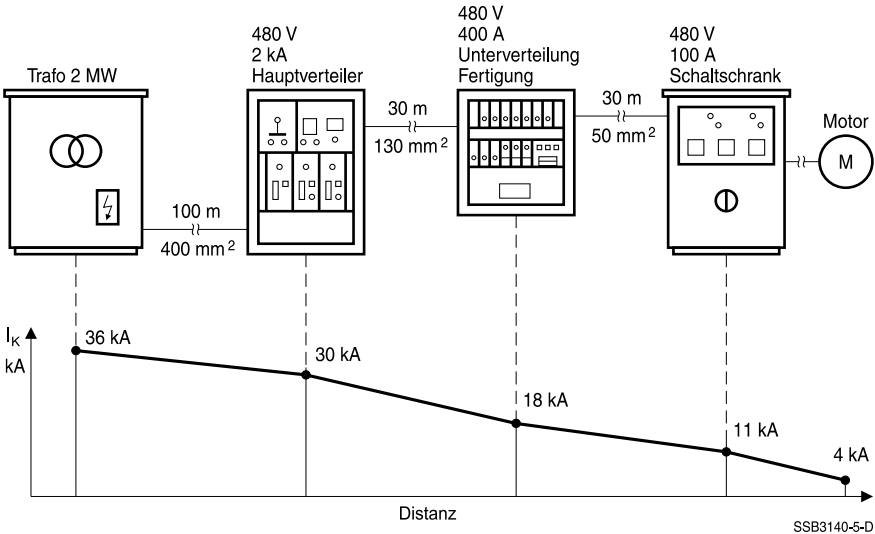


Bild 54 Abschätzung der Kurzschlussbeanspruchung

Für die Planung ist die Angabe des **Kurzschlussstroms** I_k (unbeeinflusster Kurzschlusswechselstrom) an der Einspeisung notwendig; alternativ kann der Wert auch aus der Trafoleistung bzw. der Generatorleistung berechnet werden.

13.4 Unterschiedliche Definition der Kurzschlussströme in der weltweiten Normung

IEC-Angabe:

Hier werden die Ströme durch das betreffende Gerät gemessen.

Die beiden Stromangaben

- **Bemessungskurzzeitstromfestigkeit** I_{cw} (berücksichtigt die thermischen Auswirkungen des Kurzschlussstromes)
- **Bemessungsstoßstromfestigkeit** I_{pk} (berücksichtigt die dynamische Auswirkung des Kurzschlussstromes)

müssen größer oder gleich dem Kurzschlussstrom I_k sein.

Die Definitionen sind detailliert in der EN 61439-1 "Niederspannungs-Schaltgerätekombinationen – Teil 1: Allgemeine Festlegungen" Abschnitt 3.8 "Merkmale" zu finden.

Technische Informationen

UL¹⁰⁾-Angabe:

Hier wird mittels Kurzschlussbrücke der Strom und Leistungsfaktor am Generator eingestellt. Bedingt durch die Leitungs- und Geräteimpedanz ist der Strom durch das Gerät geringer.

Im US-amerikanischen Markt wird die Kurzschlussstromfestigkeit als SCCR-Wert spezifiziert:

SCCR (engl.: short circuit current rating), ist eine Kenngröße der Kurzschlussstromfestigkeit von Komponenten, die den maximalen Kurzschlussstrom angibt, dem die Komponente widerstehen kann.

Die Prüfung des SCCR-Wertes erfolgt nach der Norm UL 508 "Industrie-Steuergeräte, (engl.: "Industrial Control Equipment") Abschnitt 52. Dieser Wert gewinnt an Bedeutung, da die US-Gesetzgebung mit NFPA¹¹⁾ 70 NEC¹²⁾ Abschnitt 409.11 die SCCR-Kennzeichnung (Kurzschlussstromfestigkeit) für alle Schaltschränke vorgeschrieben hat.

Für Frequenzumrichter werden nach der nordamerikanischen Richtlinie UL 508C (Power Conversion Equipment) folgende Mindestwerte für die SCCR-Werte gefordert:

Leistung ¹³⁾		Motorstrom dreiphasig bei Spannung ¹⁴⁾			SCCR ¹³⁾
		360 ... 380 V A	440 ... 480 V A	550 ... 600 V A	
hp	kW				kA
15 ... 50	1.1 ... 37.3	3.3 ... 83	3.0 ... 65	2.4 ... 52	5
51 ... 200	39 ... 149	... 320	... 240	... 192	10
201 ... 400	150 ... 298	... 636	... 477	... 382 ...	18
401 ... 600	299 ... 447	... 786 ... ¹⁵⁾	... 590 ... ¹⁴⁾	... 472 ... ¹⁴⁾	30
601 ... 900	448 ... 671	... 1290	... 1060	... 850	42
901 ... 1600	672 ... 1193	.. 2300	... 1880	... 1500	85
1601	1194 ...	2301 ...	1881 ...	1501 ...	100
					125
					200

10) UL = (engl.: Underwriters Laboratories)

11) NFPA = US-Organisation für Brandschutz mit Regelwerk (engl.: National Fire Protection Association)

12) NEC = US-Vorschriften für elektrische Installation und Geräte (engl.: National Electric Code)

13) Entsprechend UL 508C Tabelle 45.1

14) Entsprechend UL 508C Tabelle 42.1

15) Angabe Motorstrom für 500 hp

13.5 SCCR-Spezifikationswerte für EMV-Filter

Als Grundlage zur Spezifikation der SCCR-Werte von EMV-Filtern dienen Beispielmessungen der Kurzschlusseigenschaften einzelner Filter verschiedener Baureihen in akkreditierten Prüflaboratorien. Auf Basis dieser Prüfungen wurden Simulationsmodelle für die Kurzschlussbeanspruchung der EMV-Filter erstellt und durch Vergleich mit den gemessenen Ergebnissen verifiziert. Diese Simulationsergebnisse sind in der nachfolgenden Tabelle dargestellt und können auf alle EMV-Filter angewendet werden, für die kein SCCR-Wert im Datenblatt spezifiziert ist.

Darüber hinaus gibt es speziell auf SCCR geprüfte Filter, bei denen der SCCR-Wert explizit im Datenblatt angegeben wird, wie beispielsweise die Filterbaureihen B84243A*000 und B84243A*N107.

SCCR-Werte

Bemessungsstrom	SCCR-Wert
$2 \text{ A} \leq I_R < 6 \text{ A}$	10 kA
$6 \text{ A} \leq I_R < 16 \text{ A}$	18 kA
$16 \text{ A} \leq I_R < 32 \text{ A}$	30 kA
$32 \text{ A} \leq I_R < 600 \text{ A}$	42 kA
$600 \text{ A} \leq I_R < 1000 \text{ A}$	85 kA
$1000 \text{ A} \leq I_R < 1200 \text{ A}$	100 kA
$1200 \text{ A} \leq I_R < 1600 \text{ A}$	125 kA
$1600 \text{ A} \leq I_R < 2500 \text{ A}$	150 kA
$2500 \text{ A} \leq I_R$	200 kA

14 Schutz vor Restspannungen

Bei der Herstellung unserer Bauelemente verfolgen wir stets das Ziel, höchste Sicherheitsansprüche zu erfüllen. Durch die unterschiedlichsten Einsatzfälle unserer Kunden schließen sich bestimmte Forderungen jedoch gegenseitig aus. So sind für bestimmte Anwendungen hohe Isolationswiderstände notwendig (z. B. Isolationsüberwachung), in anderen Fällen jedoch zulässige Restspannungen zu beachten.

14.1 Normative Vorgaben

Die IEC 60204-1 "Sicherheit von Maschinen – Elektrische Ausrüstung von Maschinen – Teil 1: Allgemeine Anforderungen" macht im Abschnitt 6.2.4 "Schutz gegen Restspannungen" folgende Vorgaben:

- 5 s nach Ausschalten Restspannung < 60 V; Ausnahme Ladungsmenge $C \leq 60 \mu\text{C}$.
- Reduzierung der Entladezeit auf 1 s bei freiliegenden Leitern, zum Beispiel beim Ziehen von Steckern.
- Bei funktionell bedingten höheren Entladezeiten ist durch entsprechenden Warnhinweis auf die Gefährdung hinzuweisen.

Die EN 50178 "Ausrüstung von Starkstromanlagen mit elektronischen Betriebsmitteln" beinhaltet im Abschnitt 5.2.5 "Entladung von Kondensatoren" die gleiche Forderung, jedoch wird die Ladungsmenge hier auf 50 μC begrenzt.

14.2 Entladewiderstände in EMV-Filtern

Die von TDK hergestellten EMV-Filter werden mit internen hochohmigen Entladewiderständen ausgeliefert (Ausnahme ausdrücklicher Kundenwunsch). Diese Beschaltung allein erfüllt in der Regel jedoch nicht die Forderungen aller Normen, Bestimmungen und Vorschriften, sondern dient zum Abbau von Ladungen der Kapazität innerhalb einer bestimmten Zeitdauer.

Beim Einsatz der EMV-Filter oder zusätzlichen Prüfungen kann es notwendig sein, eine zusätzliche Entladung durchzuführen. Zur Optimierung der Schaltungen der EMV-Filter gibt es auch Reihenschaltungen von Kondensatoren mit dem Effekt von Ladungsverschiebungen. Diese können nach der Entladung auch zum Wiederanstieg der Spannung über die zulässigen Grenzen führen. Um dies zu vermeiden, sollte unmittelbar nach der Entladung eine niederohmige Verbindung beginnend beim Gehäuse- bzw. PE-Anschluss zu den betriebsmäßig spannungsführenden Anschlüssen des Filters erfolgen. Dabei sind die Sicherheitsvorschriften zu beachten.

Eine Information zu der Anordnung der Entladewiderstände finden sie im typischen Schaltbild des Datenblatts. Die Werte der Entladewiderstände können sie bei Bedarf über ihren TDK Ansprechpartner oder Distributor erfragen.

Zudem sind spezifische Filter mit optimierten Entladezeiten erhältlich, die eine Restspannung $<60\text{ V}$ in 1 s erreichen, wie beispielsweise die Baureihen B84243A*000, B84243A*N107 und B84143A*R107. Bei diesen Filtern wird die Entladezeit explizit im Datenblatt angegeben.

15 Überspannungsschutz

15.1 Ursachen für Überspannung

Überspannungen können elektrische Anlagen und Geräte beschädigen und ihre Funktion beeinträchtigen. Die Ursachen dafür können sein:

- Blitz, Blitzstrom- und Überspannungswanderwelle
- Induktion bedingt durch induktive Kopplung (Einfluss Magnetfelder)
- Influenz bedingt durch kapazitive Kopplung (Einfluss elektrischer Felder)
- Elektrostatische Ladungen
- Spannungsänderungen aufgrund von Schaltvorgängen

15.2 Überspannungskategorien und Bemessungsstoßspannungen

Zur Auswahl von Komponenten wird in der Norm IEC 60664-1 dem Hersteller eine Information über zu erwartende Beanspruchungen mit Angabe der Höhe der Bemessungsstoßspannung in Abhängigkeit des Stromversorgungssystems und dem Einbauort gegeben. Die Einbauorte werden in Abhängigkeit der Gefährdung in Überspannungskategorien zusammengefasst.

Überspannungskategorie	Beschreibung	Beispiele
IV	An oder in der Nähe der elektrischen Einspeisung; vor der Hauptverteilung (in Stromrichtung gesehen)	Elektrizitätszähler; Überstromschutzschalter; Rundsteuergeräte
III	Geräte, die Bestandteil der festen Installation sind oder Geräte, bei denen eine erhöhte Verfügbarkeit erwartet wird	Verteilertafeln; Leistungsschalter; Verteilerkästen; Geräte für den industriellen Einsatz; stationäre Motoren
II	Geräte, die zum Anschluss an die feste Installation eines Gebäudes bestimmt sind	Haushaltsgeräte; tragbare Werkzeuge
I	Betriebsmittel, die an Stromkreise angeschlossen werden, für die bereits Maßnahmen zur Begrenzung der transienten Überspannungen getroffen wurden	Elektrische Steuergeräte, die intern keine Maßnahmen zum Überspannungsschutz beinhalten

Den Überspannungskategorien wird in der nachstehenden Tabelle entsprechend dem Stromversorgungssystem eine zu erwartende Bemessungsstoßspannung zugeordnet (Auszug in Anlehnung an IEC 60664-1)

Technische Informationen

Überspannungsbegrenzung durch systemeigene oder gleichwertige schützende Begrenzung:

Sternschaltung 4-Leitersystem mit geerdetem Neutralleiter	Dreieckschaltung 3-Leitersystem ungeerdet	Einphasen- 2-Leitersystem	Bemessungs-Stoßspannung für Betriebsmittel			
			Überspannungskategorie			
V	V	V	I	II	III	IV
120/208 127/220	115 120 127	100 110 220	800	1500	2500	4000
220/380 230/400 240/415 260/440 277/480	200 220 230 240 380 400 440 480	220	1500	2500	4000	6000
347/600 380/660 400/690	500 577 600	480	2500	4000	6000	8000
	660 690 1000	1000	4000	6000	8000	12000

Spannungsangaben in Fettdruck: CENELE¹⁶⁾-Normspannungen nach IEC 60038

15.3 Überspannung an EMV-Filtern

Mit Ausnahme weniger Sonderapplikationen entsprechen die von TDK hergestellten EMV-Filter dem Standard IEC 60939. Somit ist die Verwendung von geeigneten Entstörkondensatoren vorgeschrieben. Diese Art der Kondensatoren wird für Impulsspannungen im Netz konzipiert und entsprechend IEC 60384-14 einer Impulsprüfung bei der Bauartzulassung unterzogen (siehe nachstehende Tabelle; in Anlehnung an den Standard). Die Impulsfestigkeit des gesamten EMV-Filtern ist durch den Aufbau des Filters in der Regel deutlich höher.

C/µF	Spitzenwert Stoßspannung Up/kV			
	X1	X2	Y1	Y2
1	4.00	2.50	8.00	5.00
2.2	2.70	1.69		
3.3	2.20	1.38		
4.7	1.85	1.15		
6.8	1.53	0.96		
8.2		0.87		
10		0.79		

16) CCENELEC = franz.: Comité Européen de Normalisation Électrotechnique, Europäische Komitee für elektrotechnische Normung)

15.4 Normative Vorschriften zum Überspannungsschutz

Wann sind Überspannungs-Schutzeinrichtungen (SPD, engl.: surge protection device) einzubauen?

Die Norm IEC 60364-4-44 "Errichten von Niederspannungsanlagen – Teil 4-44: Schutzmaßnahmen – Schutz bei Störspannungen und elektromagnetischen Störgrößen – Abschnitt 443: Schutz bei transienten Überspannungen infolge atmosphärischer Einflüsse oder von Schaltvorgängen" beschreibt im Abschnitt 443.4 die "Vorkehrungen zur Beherrschung der Überspannung".

Der Schutz bei transienten Überspannungen **muss** vorgesehen werden, wenn die Folgen der Überspannungen Auswirkungen haben auf:

- Menschenleben, z.B. Anlagen für Sicherheitszwecke, medizinische genutzte Bereiche
- Öffentliche Einrichtungen und Kulturbesitz, z.B. Ausfall von öffentlichen Diensten, Telekommunikationszentren, Museen
- Gewerbe- oder Industrieaktivitäten, z.B. Hotels, Banken, Industriebetriebe, Gewerbemärkte, landwirtschaftliche Betriebe
- Ansammlungen von Personen, z.B. in großen Gebäuden, Büros, Schulen
- Einzelpersonen z.B. in Wohngebäuden und kleinen Büros, wenn in diesen Gebäuden Betriebsmittel der Überspannungskategorie I oder II errichtet sind. (Es ist davon auszugehen, dass in Wohngebäuden grundsätzlich Betriebsmittel der Überspannungskategorie I oder II an die feste Installation angeschlossen werden).
- Der Schutz bei transienten Überspannungen sollte auch bei feuergefährdeten Betriebsstätten berücksichtigt werden. (Feuergefährdete Betriebsstätten siehe DIN VDE 0100-420).
- Ein Schutz bei Schaltüberspannungen sollte berücksichtigt werden, wenn die Möglichkeit besteht, dass Betriebsmittel Schaltüberspannungen oder Störungen erzeugen, die die zugeordnete Überspannungskategorie der elektrischen Anlage übersteigen.

Auswahl und Errichtung von Überspannungs-Schutzeinrichtungen (SPDs)

Details zu diesem Thema werden in der Norm IEC 60364-5-53 "Errichten von Niederspannungsanlagen – Teil 5-53: Auswahl und Errichtung elektrischer Betriebsmittel – Trennen, Schalten und Steuern – Abschnitt 534: Überspannungs-Schutzeinrichtungen (SPDs)" Kapitel 534.4 beschrieben.

16 Ausgangsfilter

16.1 Drehzahlvariable Antriebe



Drehzahlvariable Antriebe sind wegen der verbesserten Funktionseigenschaften und der Energieeffizienz in weiten Bereichen der Industrie, aber auch in anderen Applikationen wie Haushaltsgeräten und in der Medizintechnik eingesetzt.

Bei einigen Anwendungen wie Pumpen oder Klimaanlage amortisieren sich die Investitionskosten in sehr kurzer Zeit.

16.2 Nachteile der drehzahlvariablen Antriebe

Die Hersteller von Umrichtern bringen Geräte mit hoher Energieeffizienz auf den Markt. Dazu werden schnell schaltende Halbleiterbauelemente in den Umrichtern verwendet. Damit sind oft folgende Probleme verbunden:

- Die Ausgangsspannungen der Umrichter sind nicht mehr sinusförmig, sondern eine Reihe von Impulsen unterschiedlicher Breite. Damit ist die Spannungsanstiegsgeschwindigkeit du/dt deutlich höher und stresst die Isolation von Motorkabel und Motor.
- Die Schaltfrequenz für die Pulsweitenmodulation (PWM) liegt typischerweise im Bereich von einigen kHz. Damit erhöhen sich die parasitären Erdströme im Motorkabel gegen den Kabelschirm sowie im Motor selbst. Neben einigen anderen Effekten können diese Ableitströme auch zum Auslösen von Fehlerstrom-Schutzschaltern führen.
- Ableitströme fließen auch durch die Lager der Motoren und können zur erheblichen Schädigung der Motorlager führen.
- Oft werden Teile des Systems durch die Ausgangsimpulse elektroakustisch angeregt und erzeugen so störende Geräusche im hörbaren Bereich.
- Die steilen Impulsflanken am Umrichter Ausgang erzeugen ein entsprechend breitbandiges Störspektrum. In den meisten Fällen ist ein Betrieb nur mit teureren geschirmten Motorleitungen möglich. Eine Alternative bietet das Sinus-EMV-Filter SineFormer®.
- In Abhängigkeit von der Motorleitungslänge kann es zu Überspannungsspitzen am Motor bis zur doppelten Zwischenkreisspannung kommen.
- Im Motor nehmen die Wirbelstromverluste zu.

16.3 Auswahl von Ausgangsfiltern

Folgende Merkmale sollten bei der Wahl der Ausgangsfilterlösung beachtet werden:

- Die du/dt-Drossel verringert die Flankensteilheit der Ausgangsspannung (Leiter/Leiter). Damit wird die Belastung der Isolation gesenkt.
- Das du/dt-Filter verringert die Flankensteilheit der Ausgangsspannung (Leiter/Leiter) stärker als die Drossel. Damit wird die Ausfallwahrscheinlichkeit der Motoren gesenkt. Die Frequenz des Überschwingens wird typischerweise unter 150 kHz gesenkt.
- Das Sinusfilter bietet bei geringem Mehraufwand eine sinusförmige Phasenspannung. Das Überschwingen wird vollständig beseitigt. Gleichzeitig wird die erdbezogene hochfrequente Störspannung etwas reduziert.
- Was die Gesamtperformance angeht, so bietet das Sinus-EMV-Filter SineFormer® die beste Lösung. Werden ausschließlich die Komponentenpreise der verschiedenen Ausgangsfilterlösungen verglichen, so scheint es auch die teuerste zu sein. Bei Betrachtung der gesamten Systemkosten (Leitung, Filter, Motor) ergeben sich jedoch die eindeutigen Kostenvorteile für die SineFormer®-Technologie: Die SineFormer® Filterreihe B84143V*R127 hat in vielen Fällen das beste Preis-Leistungs-Verhältnis aller Ausgangsfilter- und Drossellösungen.

Ausgangsfiltertyp	Spannung Leiter-Leiter	Spannung Leiter-Erde	Gestrahlte Störungen	Reduzierung Motorlagerströme	Reduzierung Geräusch
du/dt-Drossel	verringert die Flankensteilheit	unbeeinflusst	kaum Verbesserung (nur parasitäre Einflüsse)	keine	kaum
du/dt-Filter	verringert die Flankensteilheit deutlich	unbeeinflusst	kaum Verbesserung (nur parasitäre Einflüsse)	keine	kaum
Sinusfilter	nahezu sinusförmige Ausgangsspannung	geringe Verbesserung	kaum Verbesserung (nur parasitäre Einflüsse)	gering	deutlich
Sinus-EMV-Filter SineFormer®	nahezu sinusförmige Ausgangsspannung	deutliche Verbesserung	deutliche Verbesserung	deutlich	deutlich

Ausgangsfilter sind besonders wichtig, wenn die verwendeten Motoren die Technische Spezifikation IEC TS 60034-25 "Rotierende elektrische Maschinen" – Teil 25: "Leitfadn für Design und Leistung von Käfiginduktionsmotoren" speziell entwickelt für Umrichter-Versorgung" nicht einhalten. Das betrifft vor allem vorhandene Anlagen oder verwendete Universalmotoren.

Technische Informationen

du/dt-Filter verringern mit zunehmender Kabellänge die Anstiegszeit, die Spitzenspannung nimmt jedoch durch das Tiefpassverhalten des Kabels zu. Aus diesem Grund ist die Kabellänge im System zu prüfen (typischerweise maximal 100 m).

Bei Applikationen mit Motorleitungslängen >100 m empfehlen wir Sinusfilter oder Sinus-EMV-Filter SineFormer®. Diese reduzieren deutlich die Taktfrequenzgeräusche des Antriebs. Sie können zur Erhöhung der Lebensdauer des Antriebs beitragen, indem sie die Motorisolation schönen, Wirbelstromverluste im Motor reduzieren (geringere Temperatur) und Lagerströme reduzieren.

16.4 du/dt-Drosseln

Die du/dt-Drossel ist eine Längsdrossel auf der Motorseite des Frequenzumrichters. Der prinzipielle Aufbau einer du/dt-Drossel ist in Bild 55 dargestellt. Durch sie fließt der gesamte Motorstrom. Steile Spannungs- und Stromflanken werden durch die Induktivität etwas abgeflacht. Die parasitären Kapazitäten des angeschlossenen Kabels werden weniger stark be- und entladen. Gegenüber der Bezugsmasse hat die Drossel praktisch keine Wirkung. Der Ableitstrom und die gestrahlten Störungen werden nicht verringert.

- In der Regel sind Motorleitungen bis 50 m möglich
- Eine Abschirmung der Motorleitung ist notwendig
- Kaum Verbesserung der EMV-Störungen

Datenblätter zu du/dt Drosseln finden Sie im Kapitel "Ausgangsfilter", Seite.

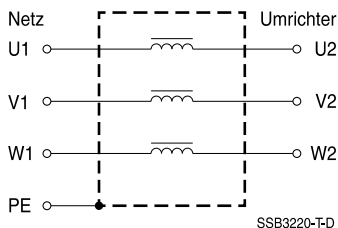


Bild 55 Prinzipschaltbild einer du/dt-Drossel

16.5 du/dt-Filter

Das du/dt-Filter besteht, wie in Prinzipschaltbild Bild 56 dargestellt, im Wesentlichen aus einem LC-Tiefpass, dessen Grenzfrequenz größer ist als die Taktfrequenz des Umrichters. Das Filter vergrößert die Anstiegszeit der Spannungsimpulse auf der Leitung, die Spannungsspitzen am Motor werden kleiner, das du/dt der Ausgangsspannung sinkt.

Die Wirkung des Filters beschränkt sich auf die Spannungssteilheit zwischen den Leitern. Gegenüber der Bezugsmasse hat das Filter praktisch keine Wirkung, der Ableitstrom und die gestrahlten Störungen werden nicht verringert.

- Typischerweise sind Motorleitungen bis 100 m Länge möglich
- Eine Abschirmung der Motorleitung ist notwendig

Technische Informationen

■ Kaum Verbesserung der EMV-Störungen

du/dt-Filter müssen in der Regel an den Umrichter bzw. die Applikation angepasst werden. TDK bietet auf Wunsch kundenspezifische Lösungen an.

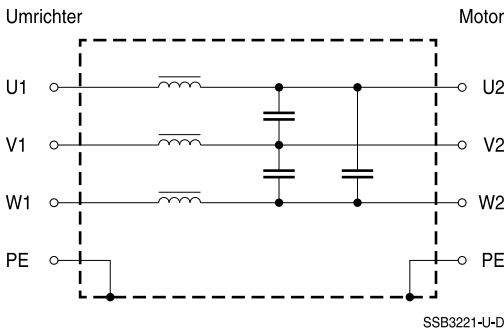


Bild 56 Prinzipschaltbild eines du/dt-Filters

16.6 Sinusfilter

Das Sinusfilter hat die gleiche Prinzipschaltung wie das du/dt-Filter in Bild 56, jedoch wird die Grenzfrequenz zwischen Ausgangs- und Umrichtertaktfrequenz gelegt. Dadurch werden die Werte für die Induktivitäten und Kapazitäten größer, das Filter hat aber auch eine bessere Wirkung. Der Anteil der Schaltfrequenz an der Leiterspannung ist deutlich reduziert (Bild 57).

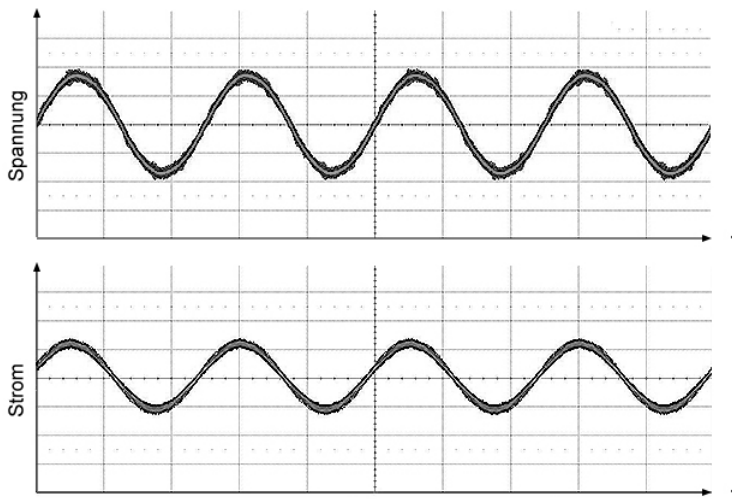


Bild 57 Leiterspannung und -strom nach dem Sinusfilter

Da das Sinusfilter hauptsächlich auf symmetrische Störungen zwischen den Leitungen wirkt, werden den Störungen gegen den Schutzleiter kaum verringert (Bild 58).

- Motorleitungen von mehr als 100 m Länge sind möglich
- Auf eine Abschirmung der Motorleitung kann nicht verzichtet werden
- Die Motorgeräusche und Wirbelstromverluste werden reduziert
- Eine Reduzierung des netzseitigen Filteraufwands ist möglich

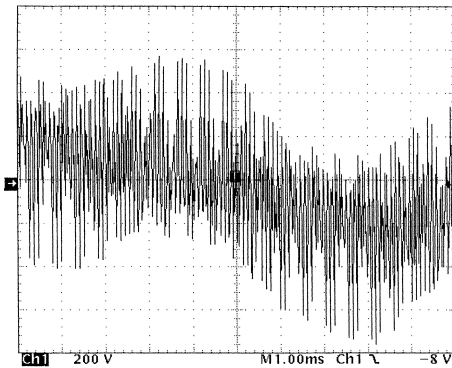


Bild 58 Spannung Leiter gegen Erde nach dem Sinusfilter

Datenblätter für Sinusfilter siehe Kapitel "Ausgangfilter".

16.7 Sinus-EMV-Filter SineFormer®

Um die asymmetrischen Störungen auf der Motorleitung soweit zu reduzieren, dass auf die Schirmung der Motorleitung verzichtet werden kann, muss ein Sinus-EMV-Filter verwendet werden. Dabei wird das Sinusfilter um eine stromkompensierte Drossel und Kondensatoren gegen Masse ergänzt.

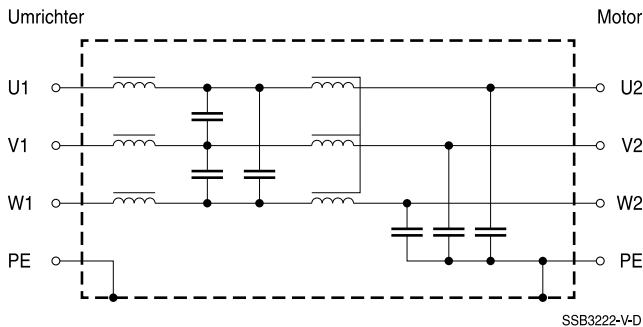


Bild 59 Prinzipschaltbild des Sinus-EMV-Filters SineFormer®

Weitere technische Daten der SineFormer®-Filter siehe Datenblatt B84143V*R127.

Technische Vorteile des EMV-Konzepts mit SineFormer®:

- Verringerung des du/dt auf <math><500\text{ V}/\mu\text{s}</math>
- Reduzierung der Geräusentwicklung des Motors
- Deutliche Verminderung der Wirbelstromverluste
- Wesentliche Verringerung der Motorlagerströme
- Vermeidung von Kopplungen der Störungen von der Motorleitung zu anderen Netz- und Signalleitungen
- Funkstörstrahlung ausgehend von der Motorleitung innerhalb der üblichen normativen Grenzen
- Bestmögliche Reduzierung der Störungen (leitungsgebunden und abgestrahlt) im Vergleich zu anderen Ausgangsfilterlösungen
- Keine Rückführung zum Umrichterzwischenkreis notwendig

Wirtschaftliche Vorteile des EMV-Konzepts mit SineFormer®:

- Ungeschirmte Motorleitungen können eingesetzt werden, wodurch sich der Montageaufwand verringert und niedrigere Kabelkosten entstehen
- Motorgröße kann reduziert werden
- Motorlebensdauer kann deutlich erhöht werden
- Längere Motorkabel sind möglich (bis 1000 m ungeschirmt gemessen)
- Kein Wartungsaufwand, da die SineFormer® ohne Zwangskühlung aufgebaut sind
- Kompaktfilter (kein Baukastensystem), dadurch geringeres Volumen und Gewicht
- Reduzierte Anforderungen an Netzfilter
- Erhöhung der Anlagenverfügbarkeit
- Auch als Nachrüstatz geeignet

SineFormer® entstören optimal und senken Systemkosten

Gerade der mögliche Verzicht auf geschirmte Leitungen hat einen besonderen Vorteil, denn abhängig von Querschnitt und Länge der Leitung ist der Einsatz der SineFormer® kostengünstiger als die Verwendung geschirmter Leitungen.

Häufig sind die Kosten für das Filter bereits ab einer Leitungslänge von rund 100 m mit der Verwendung eines ungeschirmten Kabels kompensiert. Werden allein die Preise des SineFormer® und der ungeschirmten Leitungen mit den Kosten eines Sinusfilters und geschirmter Leitungen verglichen, kann der Break-even bereits bei Leitungslängen von weniger als 50 m erreicht werden, wobei der höhere Montageaufwand für geschirmte Leitungen noch nicht berücksichtigt ist.

Technische Informationen

Bild 60 zeigt die netzseitige Störspannungsmessung an einem Frequenzumrichter mit EMV-Netzfilter und 100 m ungeschirmter Motorleitung ohne Ausgangsfilter. (Messergebnisse abhängig von der Lage der Motorleitung, Bezug auf Grenzwerte nach EN 55011 Klasse A/Gruppe 1 bzw. EN 61800-3 Kategorie C2.)

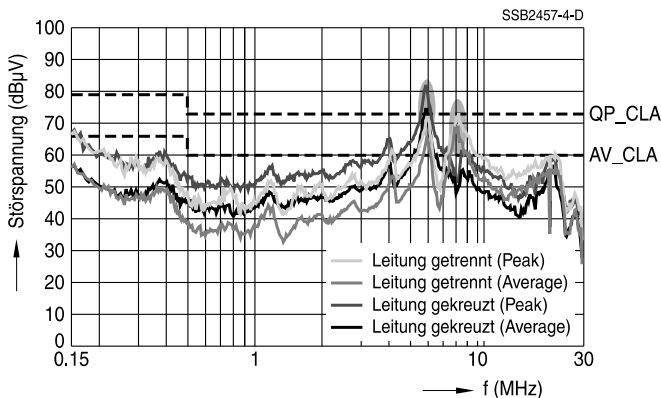


Bild 60 Störspannungsmessung mit ungeschirmter Leitung

Bild 61 zeigt im Vergleich zu Bild 60 die Wirkungsweise der SineFormer®-Technologie. Im Beispiel wurden auch bei gekreuzter Verlegung von Netzleitung, ungeschirmter Motorleitung und selbst bei Parallelführung über 80 cm entsprechend den Vorgaben der EN 61800-3 die Grenzwerte sicher eingehalten (hier nach EN 55011, Klasse A/Gruppe 1 beziehungsweise EN 61800-3 Kategorie C2). Dass so gut wie keine Kopplungen auftreten, zeigt die optimale Wirksamkeit dieser Filtertechnologie. Durch die Verwendung von SineFormer®-Filtern kann auf den Einsatz von geschirmten Leitungen oft verzichtet werden. Somit lassen sich die Systemkosten senken und die Anlagenverfügbarkeit erhöhen.

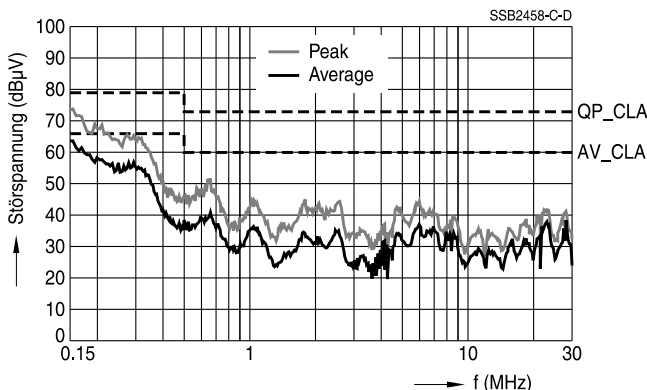


Bild 61 Störspannungsmessung am Netzanschluss mit SineFormer® am Umrichteranschluss. Trotz ungeschirmter Kabel werden die zulässigen Grenzwerte eingehalten.

Technische Informationen

Gleichtaktstörungen erzeugen durch die parasitären Kapazitäten im Motor Lagerströme. Diese Lagerströme können die Motorlebensdauer deutlich reduzieren. Durch die SineFormer®-Technologie werden die Gleichtaktstörungen verringert und dadurch die Lagerströme im Motor minimiert. Dies führt zu einer Erhöhung der Motorlebensdauer.

Bild 62 zeigt typische Messwerte an dem Ausgang eines Frequenzumrichters im Zeitbereich und im Frequenzbereich. Deutlich sind die hohen asymmetrischen Ströme erkennbar, die hier als Lagerströme gemessen werden.

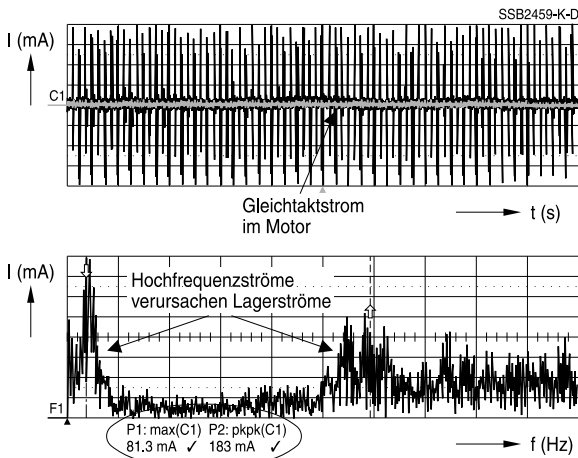


Bild 62 Lagerströme ohne Ausgangsfilter

Technische Informationen

Bild 63 zeigt die asymmetrischen Ströme bei Einsatz eines Sinusfilters. Die Lagerströme werden nur teilweise reduziert und können zu keiner wesentlichen Lebensdauererhöhung des Motors beitragen. Siehe vergleichend Bild 62.

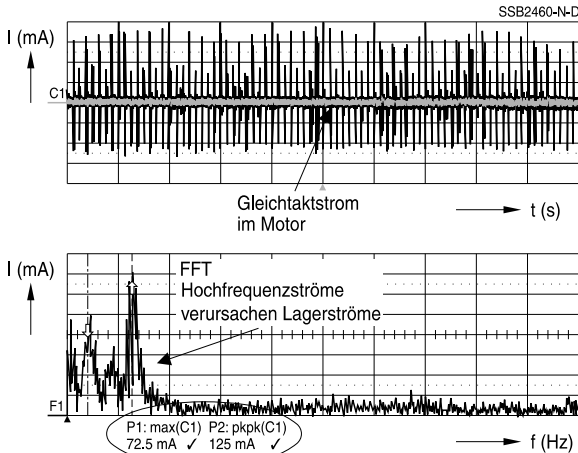


Bild 63 Reduzierung der Lagerströme mit Sinusfilter

Bild 64 zeigt nun typische Werte der Lagerströme bei Einsatz eines Sinus-EMV-Filters SineFormer®. Im Vergleich mit den Bildern 62 und 63 sind die deutlichen Verbesserungen erkennbar: Nur Sinus-EMV-Filter wie die SineFormer® Reihe können die Motorlagerströme drastisch reduzieren.

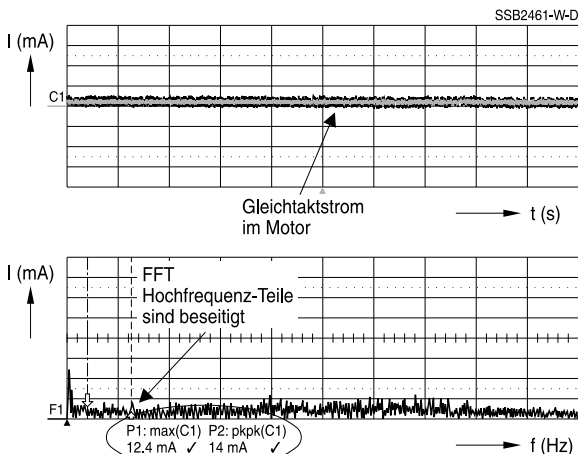


Bild 64 Minimierung der Lagerströme mit Sinus-EMV-Filter SineFormer®

17 Drosseln für die Leistungselektronik

Drosseln sind Induktivitäten mit der Funktion der Strombegrenzung, der Zwischenspeicherung von Energie, der Filterung oder Impedanzanpassung. Die Bezeichnung "Drossel für die Leistungselektronik" wird zur Abgrenzung von Induktivitäten für EMV-Anwendungen (ab 9 kHz) benutzt.



Bild 65
Beispiel für eine 3-Phasen-Drossel

Nachstehend werden typische Bezeichnungen für Drosselkonstruktionen erläutert, wobei die Anwendung oft die Namensgebung der Drossel beeinflusst.

17.1 Netzdrosseln

Netzdrosseln werden zur Strombegrenzung und zur Begrenzung der Netzurückwirkungen durch nichtlineare Verbraucher eingesetzt.

Nichtlineare Verbraucher (z.B. Leistungshalbleiter am Umrichtereingang) verursachen einen nichtsinusförmigen Strom, was einer Verzerrungsblindleistung entspricht die die Spannungsqualität für andere Verbraucher negativ beeinflusst. Die Anforderungen an die Spannungsqualität ist in Europa durch die Norm EN 50160 geregelt. Um eine gute Spannungsqualität mit vertretbarem Aufwand sicherstellen zu können, ist die Verzerrungsblindleistung auf ein Minimum zu reduzieren.

Für Geräte mit einer Stromaufnahme zwischen 16 und 75 A sind beispielsweise in der Norm EN 61000-3-12 die Grenzwerte für die jeweils einzelnen Oberschwingungen (z.B. 5. Oberschwingung: 250 Hz bei Grundfrequenz 50 Hz) aber auch für die Summe der Oberschwingungen für den Anschluss an öffentliche Netze vorgegeben.

Abhängig von dem Verhältnis der Anschlussleistung zur Netzkurzschlussleistung und der Art der Geräte werden verschiedene Grenzwerte definiert. Für den größten Teil der Anwendungen genügt die Beschaltung eines ungesteuerten Netzgleichrichters mit einer Netzdrossel mit uk-Werten von ca. 4%.

Mit $u_k = 2\%$ wird der THDi-Wert zwar von über 130% unter 80% gedrückt, was im Einzelfall den Gesamtwert der Störungen einer Maschine deutlich reduziert, aber alleine zur Erfüllung der geltenden Normen nicht ausreicht.

Neben der Funktion zur Unterdrückung der Verzerrungsblindleistung werden Netzdrosseln auch als Kommutierungsdrosseln verwendet. Diese Funktion reduziert Spannungseinbrüche (Flicker) beim langsamen Stromübergang zwischen zwei Leistungshalbleitern (Kommutierung). Mit der Entwicklung schneller Gleichrichterioden ist diese Funktion nur noch für Thyristoren und Gleichrichter für sehr hohe Ströme notwendig.

Netzdrosseln für rückspeisende Umrichter sind von den Anforderungen an Sättigungsfestigkeit und Verlustleistung eher mit den Filterdrosseln vergleichbar und werden gesondert im Abschnitt 17.5 behandelt.

17.2 Glättungsdrosseln

In der Begriffserläuterung der Norm IEC 60076-6 heißt es:

Glättungsdrosselspule: Drosselspule, die in Reihe in ein Gleichstromnetz geschaltet ist, um Oberschwingungsströme und transiente Schaltüberströme zu verringern. Die Frequenz der Oberwellen ist hier für die Bauform und Auswahl des Kernmaterials ausschlaggebend. Weiterhin ist die Begrenzung von Kurzschlussströmen, durch die Begrenzung der Stromanstiegsgeschwindigkeit eine weitere Aufgabe der Glättungsdrosseln.

Anstelle der Netzdrossel können auch Glättungsdrosseln eingesetzt werden um netzseitig den Stromoberschwingungsanteil THDI zu verringern, dazu werden diese in Frequenzumrichtern im Gleichstromzwischenkreis verwendet.

17.3 Filterkreisdrosseln für Blindstromkompensation

Zur verlustarmen Übertragung der Energie in öffentlichen Netzen ist die Sinusform der Versorgungsspannung möglichst genau einzuhalten und die Gleichzeitigkeit der Spannungs- und Stromkurve möglichst gut einzuhalten. Um diese Anforderungen einzuhalten, werden bei Großverbrauchern Kompensationsanlagen eingebaut, die die induktive Phasenverschiebung und teilweise die Oberwellen beim Verbraucher kompensieren.

Um die negativen Auswirkungen für die Netzstabilität zu durch hohe Kapazitäten zu minimieren, bestehen die einzelnen Zweige der Kompensationsanlagen aus einer Reihenschaltung von Kondensator und Filterkreisdrossel. Sie werden als Resonanzkreis mit definierten Frequenzen aufgebaut, die nicht mit den Netzharmonischen in Resonanz sein dürfen. Deshalb ist für diese Anwendung eine konstante Induktivität in einem definierten Strombereich sehr wichtig.

17.4 Filterdrosseln

Diese Art der Drossel deckt einen weiten Einsatzbereich ab. Eigentlich ist eine Netzdrossel ebenfalls eine Filterdrossel, aber als Filterdrossel sollen hier diese gelten, bei denen die Frequenzen der Grundwelle und die herauszufilternden Frequenzen sich um mindestens zwei Zehnerpotenzen unterscheiden.

Sofern diese Drosseln mit Kondensatoren kombiniert sind, werden sie im Kapitel 16 Ausgangsfilter bzw. Abschnitt 17.6 "LCL-Filter" näher beschrieben.

17.5 Netzdrosseln für Energierückspeisung (Rückspeisedrossel, AFE-Drossel)

Sofern die Energierückspeisung mit ein oder zwei Kommutierungen pro Netzhalbwellen erfolgen, bestehen keine höheren Anforderungen an die Netzdrosseln als bei ungesteuerten Eingangsgleichrichtern.

Sobald der Netzanschluss über einen Pulswechselrichter erfolgt, kommen spezielle Rückspeisedrosseln oder Rückspeisefilter, auch LCL-Filter genannt, zum Einsatz.

Das Netz und der Frequenzumrichter haben sehr geringe Innenwiderstände und erzeugen bei direkter Verbindung hohe Ausgleichströme, die die Sinusform der Netzspannung stark verändern und durch Störströme im Netz das Verhalten der anderen Verbraucher beeinflussen können. Durch den Einsatz einer Drossel, die die Energie der Spannungsdifferenzen speichert und den Stromanstieg begrenzt, werden die Störungen im Netz deutlich vermindert.

Sind die Anforderungen an den Oberschwingungsanteil sehr hoch, z. B. THDI < 5%, dann ist die notwendige Rückspeisedrossel unwirtschaftlich groß. Außerdem erzeugt diese auch für die Nutzleistung bei Netzfrequenz einen induktiven Spannungsabfall, den der Frequenzrichter als Blindleistung ausgleichen muss. Um diese Nachteile zu umgehen sollten ein LCL-Filter eingesetzt werden.

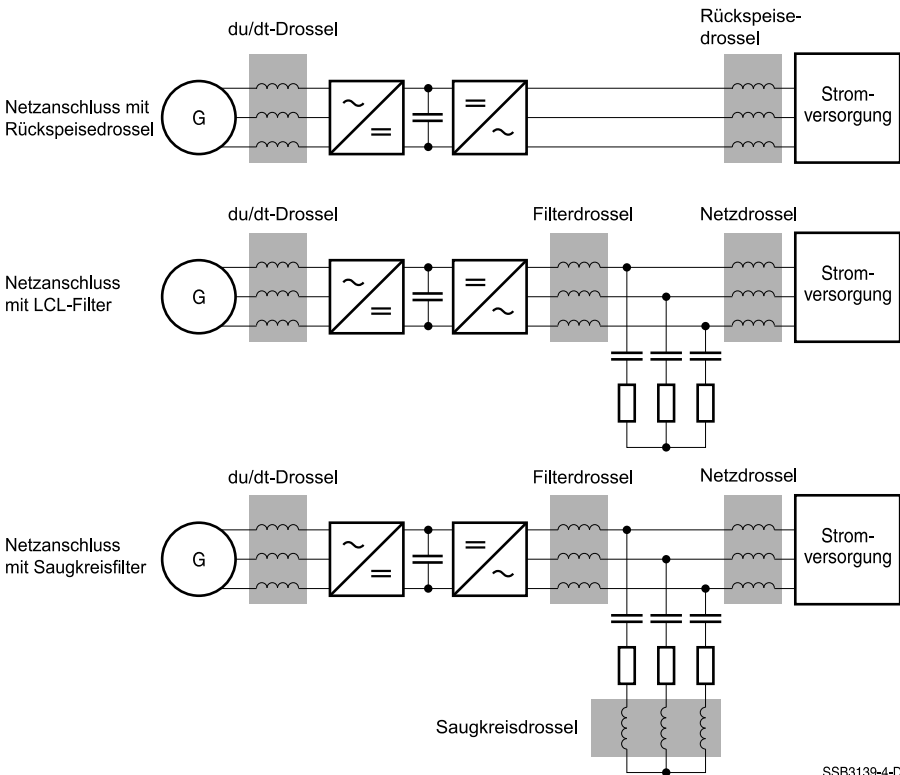
Im Gegensatz zu den Netzdrosseln ist auch wie bei den Filterdrosseln die Induktivität bis zum Spitzenstrom nahezu konstant zu halten, denn sonst geht die Drossel in Sättigung. Die Sättigung der Drossel führt zu einer zusätzlichen Verzerrung der Stromform, die damit weitere, vor allem höherfrequente Oberwellen, erzeugt, anstelle diese zu dämpfen. Dadurch sind Rückspeisedrosseln gegenüber den normalen Netzdrosseln deutlich größer und schwerer.

17.6 LCL-Filter

Der Einsatz eines LCL-Filters vermeidet den Spannungsabfall bei Netzfrequenz und liefert durch den höheren Filteraufwand bessere THD-Werte. Diese Art der Filter erfordert jedoch eine zweite Induktivität zu Vermeidung von Resonanzen im Netz.

Für große Anlagen im Megawatt-Bereich lohnt es sich, zusätzlich mit einem oder mehreren Saugkreisen die Störungen gezielt zu unterdrücken. Dabei wird die im Hauptstromkreis geschaltete Drossel deutlich kleiner, und die Gesamtkosten für das Filter können auch bei hohen Anforderungen an den Oberschwingungsgehalt gesenkt werden.

Technische Informationen



SSB3139-4-D

Bild 66 Vergleich Rückspesiedrossel/LCL-Filter

Die Lösung mit nur einer Rückspesiedrossel (Bild 66, obere Reihe) stellt den geringsten Aufwand dar, ist aber bezüglich der Anforderungen der Netzqualität (Oberschwingungsanteil) auf Eignung zu prüfen. Wenn die technischen Anforderungen erfüllt werden, ist diese Lösung kostengünstig.

Das Konzept mit LCL-Filter auf der Netzseite (Bild 66 mitte) wird zunehmend häufiger zur Einhaltung der THDI-Grenzwerte mit sehr guten Ergebnissen verwendet. Die in der Schaltung dargestellten Bedämpfungswiderstände sind nur in kritischen Fällen notwendig.

Das untere Blockschaltbild im Bild 66, Mitte) zeigt wieder einen LCL-Filter an der Netzseite, wobei die mittleren Komponenten aus Kondensatoren, Widerständen und Induktivitäten einen bedämpften Reihenschwingkreis darstellen. Damit lassen sich kritische unerwünschte Frequenzanteile wesentlich wirkungsvoller herausfiltern. Solche Frequenzanteile könnten zum Beispiel durch die Taktfrequenz des netzseitig rückspesenden Umrichters auftreten.

Die in den LCL-Filtern eingesetzten Drosseln sind oben bereits beschrieben. Einzig die Saugkreisdrossel ist bisher noch nicht erwähnt worden, denn diese erfordert prinzipiell keine andere

Technische Informationen

Auslegung als für Filterdrosseln. Die Einbausituation ist zwar vergleichbar mit der der Filterkreis-drosseln für Blindstromkompensation aber diese können wegen der deutlich niedrigeren Frequen-zen kleiner ausgelegt werden.

Die Saugkreisdrossel ist mit den Kondensatoren auf die Taktfrequenz abgestimmt. Abhängig von der Modulation können mehrere Saugkreise notwendig werden. Mittels Widerständen kann die Dämpfung und Empfindlichkeit gegen Verstimmung des Filters eingestellt werden. Oft reichen aber auch die Verluste in der Drossel aus, um das System zu stabilisieren. Bedingt durch den hohen Anteil der Resonanzfrequenz wird der Kern thermisch stark beansprucht, der Anteil der Netz-frequenz ist dagegen klein.

18 Mechanische Eigenschaften

18.1 Empfohlene Anzugsdrehmomente für Schraubverbindungen – Orientierungswerte

Die Mehrzahl der EMV-Filter von TDK besitzt metallische Gehäuse. Die Schraubbefestigung dient der mechanischen Fixierung und stellt gleichzeitig über den Gehäusekontakt die großflächige Verbindung zur Bezugsmasse her (siehe auch Kapitel "Einbauhinweise", Seite 101). Dabei ist zwi-schen den Funktionen mechanische Befestigung, Masseverbindung und dem PE-Anschluss zur Sicherstellung der Schutzmaßnahme gegen zu hohe Berührungsspannungen zu unterscheiden.

Für die Standard-Schraubverbindungen zur Filter- und Drosselbefestigung verweisen wir auf den Stand der Technik, da die Anzugsdrehmomente von Nenngröße, Länge, Festigkeitsklasse, Korro-sionsschutz und Schmiermittel abhängen. Bei stirnseitigen Einpressmuttern zum vorzugsweise EMV-gerechten Einbau ist zu beachten, dass bei Filtergewichten >10 kg eine zusätzliche Befesti-gung erforderlich ist. In allen Fällen hat der Errichter der Anlage die Festigkeit gegenüber Bean-spruchungen (z. B. Schwingungen, Stoß usw.) zu prüfen.

Soweit in den Datenblättern nicht anders angegeben, empfehlen wir die in den nachfolgenden Ta-bellen genannten Anzugsdrehmomente.

Empfehlung für Anzugsdrehmomente bei Einpressmuttern/Einpressgewindebuchsen

Nenngröße Einpressmutter	Anzugsdrehmoment in Nm (Toleranzangaben für Einstellwerte)
M 4	1.5 (1.43 ... 1.58)
M 5	3.0 (2.85 ... 3.15)
M 6	5.1 (4.90 ... 5.40)
M 8	12.6 (12.00 ... 13.20)

Technische Informationen

Schraubverbindungen über PE-Gewindebolzen

Für stromführende Anschlüsse und PE-Anschlüsse an 2-, 3- und 4-Leiter-Filtern, welche über Gewindebolzen kontaktiert werden, empfehlen wir folgende Anzugsdrehmomente:

Nenngröße Gewindebolzen	Anzugsdrehmoment in Nm (Toleranzangaben für Einstellwerte)
M 4	1.2 (1.10 ... 1.30)
M 5	2.0 (1.90 ... 2.10)
M 6	3.0 (2.85 ... 3.15)
M 8	6.0 (5.70 ... 6.30)
M 10	10.0 (9.00 ... 11.00)
M 12	15.5 (14.00 ... 17.00)

Anzugsdrehmomente für Durchführungsfilter siehe Einleitungstext zu Kapitel "Durchführungsfilter".

Schraubverbindungen von Stromschienen

Bei Filtern und Drosseln mit Bemessungsströmen >100 A werden teilweise Aluminium- oder Kupferschienen als Anschlusselemente verwendet.

Wir empfehlen folgende Materialien für eine Stromschienen-Verschraubung nach DIN 43673-1:

Teil	Material-Empfehlung
Stromschiene	Kupfer
Schraube	Festigkeitsklasse 8.8 oder höher nach DIN EN ISO 898-1; Korrosionsschutz tZn (feuerverzinkt)
Mutter	Festigkeitsklasse 8 oder höher nach DIN EN ISO 898-2; Korrosionsschutz tZn (feuerverzinkt)
Federelement auf Schrauben- und Mutterseite	Spannscheibe nach DIN 6796; korrosionsgeschützt
Schmiermittel	Auf MoS ₂ -Basis

Um den erforderlichen Flächendruck zu gewährleisten, empfehlen wir folgende Anzugsdrehmomente:

Nenngröße Gewindebolzen	Anzugsdrehmoment in Nm (Toleranzangaben für Einstellwerte)
M 8	15.0 (13.5 ... 16.5)
M 10	30.0 (27.0 ... 33.0)
M 12	60.0 (54.0 ... 66.0)

Alle elektrischen Kontaktstellen müssen blank mit definierter Oberflächenrauheit sein. Zur Bearbeitung der Kontaktflächen von Kupfer empfehlen wir zum Beispiel Scotch-Brite™ 7447 PRO (7100023339). Unmittelbar danach sind die Kontaktflächen mit einem sauberen und trockenen Lappen zu reinigen. Die Kontaktflächen müssen über die gesamte Fläche eine gleichmäßige Andruckkraft aufweisen. Sofern korrosive Umweltbelastungen oder Feuchtigkeit den Kontakt angreifen können, kann die Kontaktstelle mit Kontaktfett behandelt werden.

Technische Informationen

18.2 Allgemeintoleranzen

Der Datenteil dieses Buches enthält Maßbilder zu jedem Filter oder jeder Drossel. Dabei sind folgende Punkte zu beachten:

- Alle Maßangaben in mm
- 1 Zoll (inch) entspricht 25.4 mm bzw. 1 mm entspricht 0.03937 Zoll (inch); Genauigkeit 5 Nachkommastellen
- Längen- oder Winkelmaße ohne einzelne Toleranzeintragung haben die Toleranzklasse "c" nach ISO 2768-1
- Toleranzen für Form und Lage ohne einzelne Toleranzeintragung haben die Toleranzklasse "L" nach ISO 2768-2

Grenzabmaße für Längenmaße (Werte in mm):

Toleranzklasse	Grenzabmaße für Nennmaßbereiches								
c (grob)	< 0.5	0.5 ... 3	> 3 ... 6	> 6 ... 30	> 30 ... 120	> 120 ... 400	> 400 ... 1000	> 1000 ... 2000	> 2000 ... 4000
	¹⁷⁾	± 0.2	± 0.3	± 0.5	± 0.8	± 1.2	± 2	± 3	± 4

¹⁷⁾Für Nennmaße < 0,5 mm sind die Grenzabmaße direkt an den entsprechenden Nennmaßen anzugeben

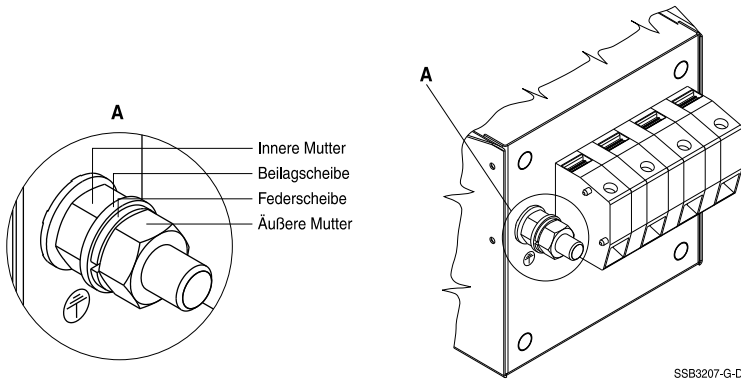
Allgemeintoleranzen für Geradheit (Werte in mm):

Toleranzklasse	Allgemeintoleranzen für Nennmaßbereiche					
L	≤ 10	> 10 ... 30	> 30 ... 100	> 100 ... 300	> 300 ... 1000	> 1000 ... 3000
	0.1	0.2	0.4	0.8	1.2	1.6

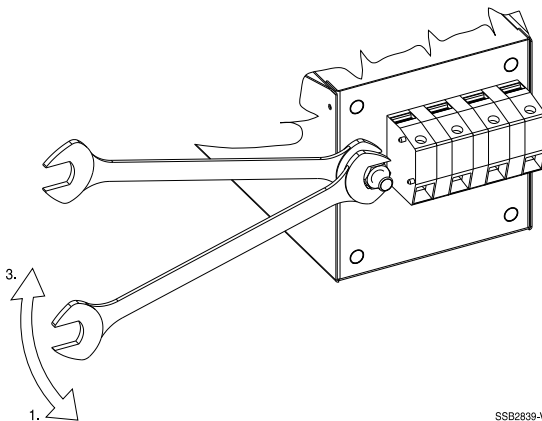
Allgemeintoleranzen für Symmetrie (Werte in mm):

Toleranzklasse	Symmetrietoleranzen für Nennmaßbereiche				
L	≤ 100		> 100 ... 300	> 300 ... 1000	> 1000 ... 3000
	0.6		1	1.5	2

18.3 Installationsanleitung PE-Anschluss



1. Lösen Sie die äußere Mutter, während Sie die innere Mutter halten.
2. Platzieren Sie den Kabelschuh zwischen die beiden Scheiben.
3. Ziehen Sie die äußere Mutter entsprechend der Tabelle in Abschnitt "Schraubverbindungen über PE-Gewindebolzen" auf Seite 91 an, während sie die innere Mutter halten.



19 Übersicht Normen

Weltweit besteht das Bestreben, einheitliche Standards für Produkte und Anlagen festzulegen (Harmonisierung von Normen). Dieses geschieht zunehmend in IEC-Normen durch die International Electrotechnical Commission. Diese Normen werden in den meisten Fällen in regionale (z. B. EN = Europa Normen) sowie nationale Normen mit zum Teil spezifischen Anmerkungen umgesetzt. IEC-Normen legen dabei die Mindestsicherheitsanforderungen der Produkte fest. Technische Details der Umsetzung bleiben meist in der Verantwortung der Hersteller.

Abweichend dazu ist die Verfahrensweise im nordamerikanischen Markt. Hier werden in einem Sicherheitssystem die Interessen der Behörden, Hersteller, Versicherungen und Endkunden eingeschlossen. Die nationale Gesetzgebung erfolgt durch NEC (National Electrical Code), CEC (Canadian Electric Code), NFPA (National Fire Protection Association), aber auch durch individuelle Ergänzungen lokaler Behörden. So bedarf es z. B. in den USA einer Zulassung für alle elektrisch gesteuerten Geräte und Systeme. Diese Zulassung kann durch anerkannte Testlabore wie UL und CSA erfolgen.

TDK hat eine hohe Zahl von Produkten mit entsprechenden Approbationen. Diese sind sowohl im Datenblatt als auch auf dem Produktetikett vermerkt. Weitere Informationen dazu sind in Kapitel "Beschriftung und Bestellnummersystem - Sicherheitsprüfzeichen" zu finden.

19.1 Begriffe aus Normen und Gesetzen

In den EU-Richtlinien und den daraus abgeleiteten nationalen Gesetzen sowie in technischen Normen werden einige wichtige Begriffe verwendet, die teilweise vom normalen Sprachgebrauch abweichen. Deshalb sind hier die wichtigsten Begriffe aus der EMV-Richtlinie 2014/30/EU vom 26.02.2014 sowie aus dem "Blue Guide" ("Leitfaden für die Umsetzung der Produktvorschriften der EU 2016") zusammengefasst. Weitere Begriffe und Erläuterungen sind in den einschlägigen EU-Richtlinien bzw. dem "Blue Guide" zu finden.

Betriebsmittel (EMV-Richtlinie)

"Betriebsmittel" bezeichnet ein Gerät oder eine ortsfeste Anlage.

Gerät (EMV-Richtlinie)

"Gerät" bezeichnet einen fertigen Apparat oder eine als Funktionseinheit in den Handel gebrachte Kombination solcher Apparate, der bzw. die für Endnutzer bestimmt ist und elektromagnetische Störungen verursachen können oder dessen bzw. deren Betrieb durch elektromagnetische Störungen beeinträchtigt werden kann.

Als Geräte im Sinne der EMV-Richtlinie gelten auch:

1. "Bauteile" und "Baugruppen", die dazu bestimmt sind, vom Endnutzer in ein Gerät eingebaut zu werden, und die elektromagnetische Störungen verursachen können oder deren Betrieb durch elektromagnetische Störungen beeinträchtigt werden kann;
2. "bewegliche Anlagen", d. h. eine Kombination von Geräten und gegebenenfalls weiteren Einrichtungen, die beweglich und für den Betrieb an verschiedenen Orten bestimmt ist.

Ortsfeste Anlage (EMV-Richtlinie)

"Ortsfeste Anlage" bezeichnet eine besondere Kombination von Geräten unterschiedlicher Art und gegebenenfalls weiteren Einrichtungen, die miteinander verbunden oder installiert werden und dazu bestimmt sind, auf Dauer an einem vorbestimmten Ort betrieben zu werden.

Hersteller (EMV-Richtlinie)

"Hersteller" ist jede natürliche oder juristische Person, die ein Gerät herstellt bzw. entwickeln oder herstellen lässt und dieses Gerät unter ihrem eigenen Namen oder ihrer eigenen Handelsmarke vermarktet.

Inverkehrbringen und Inbetriebnahme (EMV-Richtlinie bzw. Blue Guide)

"Inverkehrbringen" ist die erstmalige Bereitstellung eines Betriebsmittels auf dem Unionsmarkt. Die "Inbetriebnahme" erfolgt mit der erstmaligen Benutzung durch den Endbenutzer im Gebiet der Union. Die Notwendigkeit, im Rahmen der Marktaufsicht sicherzustellen, dass die Produkte bei der Inbetriebnahme die Bestimmungen der Richtlinie erfüllen, ist jedoch beschränkt.

Für die Zwecke der Harmonisierungsrechtsvorschriften der Union wird ein Produkt in Verkehr gebracht, wenn es erstmalig auf dem Unionsmarkt bereitgestellt wird.

Das Inverkehrbringen bezieht sich dabei auf das einzelne Gerät, auf das diese Richtlinie Anwendung findet, unabhängig vom Fertigungszeitpunkt und -ort und unabhängig davon, ob es in Einzel- oder Serienfertigung hergestellt wurde. Inverkehrbringen ist nicht das Aufstellen und Vorführen eines Gerätes auf Ausstellungen und Messen.

Gerätefilter (engl.: appliance filters; DIN EN 60939-3)

Filter, das für den werkseitigen Einbau in Endgeräte oder -ausrüstungen vorgesehen ist, die an den Endstromkreis eines Gebäudeverkabelungssystems angeschlossen werden (von diesem gespeist werden). Hierzu zählen Filter, die in medizinische und Dentalgeräte, Bürogeräte und Betriebseinrichtungen, Datenverarbeitungsgeräte und Haushaltsgeräte wie Mixer, Staubsauger, Handgeräte und dergleichen eingebaut werden.

Gebäudeversorgungsanlagenfilter (engl.: facility filters; DIN EN 60939-3)

Filter, das in den Einspeise-, Verteiler- oder Endstromkreis eines Gebäudeverkabelungssystems installiert wird.

Filter mit Anschlusskabel (engl.: cord connected filters; DIN EN 60939-3)

Filter, das mit einem Stromkabel mit Stecker für den Anschluss des Filters an eine Steckdose des Endstromkreises ausgestattet ist. Es ist außerdem mit ein oder zwei Steckerbuchsen für die Lieferung der gefilterten Spannung an eine externe Last (Gerät oder Ausrüstung) versehen.

Direktsteckfilter (engl.: direct plug-in filters; DIN EN 60939-3)

Filter, das an seinem Körper mit Flachsteckern oder Stiften ausgestattet ist, die unmittelbar in eine Steckdose des Endstromkreises gesteckt werden. Es ist außerdem mit ein oder zwei Steckerbuchsen für die Lieferung der gefilterten Spannung an eine externe Last (Gerät oder Ausrüstung) versehen.

Technische Informationen

19.2 Bauelemente-Normen

Dokument	Titel
IEC 60339	Passive Filter für die Unterdrückung von elektromagnetischen Störungen
IEC 60339-1	Teil 1: Fachgrundspezifikation
IEC 60939-2	Teil 2: Rahmenspezifikation: Filter, für die Sicherheitsprüfungen vorgeschrieben sind
IEC 60939-2-1	Teil 2-1: Vordruck für Bauartspezifikation
IEC 60939-2-2	Teil 2-2: Vordruck für Bauartspezifikation; nur Sicherheitsprüfungen
IEC 60939-3	Teil 3: Filter, für die Sicherheitsprüfungen vorgeschrieben sind
UL 1283	Electromagnetic interference filters
UL 60939-3	Passive filter units for electromagnetic interference suppression - Part 3: Passive filter units for which safety tests are appropriate
IEC 60076-6	Leistungstransformatoren – Teil 6: Drosselspulen
DIN EN 61558-2-20	Sicherheit von Transformatoren, Netzgeräten und dergleichen
IEC 60384-14	Festkondensatoren zur Verwendung in Geräten der Elektronik – Teil 14: Rahmenspezifikation – Festkondensatoren zur Unterdrückung elektromagnetischer Störungen, geeignet für Netzbetrieb
CSA C22.2 No. 8-13	Electromagnetic interference (EMI) filters

Geltungsbereich der Normen für EMV-Filter:

Normen	Geltungsbereich
IEC 60939-3 EN 60939-3 DIN EN 60939-3; VDE 0565-3-4 UL 60939-3	Gerätefilter (engl.: appliance filters)
IEC 60939-2 EN 60939-2 DIN EN 60939-2; VDE 0565-3-1 UL 1283	Gebäudeversorgungsanlagenfilter (engl.: facility filters) Filter mit Anschlusskabel (engl.: cord connected filters) Direktsteckfilter (engl.: direct plug-in filters)

19.3 EMV-Normen

Im Zusammenhang mit der europäischen EMV-Richtlinie bzw. den nationalen EMV-Gesetzen werden im Amtsblatt der EU harmonisierte europäische Normen referenziert. Sie enthalten Grenzwerte bzw. Schärfegrade sowohl für Störaussendung als auch für Störfestigkeit von elektrischen Geräten, Anlagen und Systemen. Weitere Normen beschreiben Mess- und Prüfverfahren, auf die in harmonisierten Normen Bezug genommen wird.

Die Einteilung der europäischen Normen in verschiedene Kategorien (siehe nachfolgende Tabellen) erleichtert die Auswahl der für die jeweiligen Geräte vorgesehenen Normen. Die Fachgrundnormen (generic standards) sind grundsätzlich für alle Geräte anwendbar.

Fällt das Gerät in den Anwendungsbereich einer Produktfamiliennorm (product family standard) bzw. einer Produktnorm (dedicated product standard), so kann diese für die Konformitätsbewertung herangezogen werden.

Die Grundnormen (basic standards) enthalten Angaben über Störphänomen und allgemeine Messverfahren.

Mit Ausnahme der Normen für Oberschwingungs- und Flickerbewertung enthalten sie keine Grenzwertvorgaben und sind daher auch nicht als harmonisierte Normen im Amtsblatt der EU gelistet.

Folgende Normen und Vorschriften bilden die Grundlage für die Konformitätsprüfungen:

Fachgrundnormen (engl.: generic standards)

legen die EMV-Umgebung fest, in der ein Gerät bestimmungsgemäß arbeiten soll.

Thema	Eingrenzung	EMV-Normen	
		Europa	Welt
Aussendung	Wohngebiet	EN 61000-6-3	IEC 61000-6-3
	Industriegebiet	EN 61000-6-4	IEC 61000-6-4
Störfestigkeit	Wohngebiet	EN 61000-6-1	IEC 61000-6-1
	Industriegebiet	EN 61000-6-2	IEC 61000-6-2

Technische Informationen

Grundnormen (engl.: basic standards)

enthalten physikalische Phänomene und Messverfahren.

Thema	Eingrenzung	EMV-Normen	
		Europa	Welt
Messgeräte		EN 55016-1-x	CISPR 16-1-x
Messverfahren	Aussendung	EN 55016-2-x	CISPR 16-2-x
	Störfestigkeit	EN 61000-4-1	IEC 61000-4-1
Störfestigkeitsgrößen, z. B. ESD		EN 61000-4-2	IEC 61000-4-2
EM-Felder		EN 61000-4-3	IEC 61000-4-3
Burst		EN 61000-4-4	IEC 61000-4-4
Surge		EN 61000-4-5	IEC 61000-4-5
Induzierte HF-Felder		EN 61000-4-6	IEC 61000-4-6
Magnetfelder		EN 61000-4-8	IEC 61000-4-8
Spannungseinbrüche		EN 61000-4-11	IEC 61000-4-11

Abkürzungen:

ESD = Elektrostatische Entladungen (engl.: electrostatic discharge)

EM = elektromagnetisch

Burst = Impulsfolge (z. B. mit Anstiegszeit 5 ns und Impulsdauer 50 ns)

Surge = Stoßwelle (z. B. mit 1,2/50 µs oder 8/20 µs Anstiegs-/Abfallzeit)

Technische Informationen

Produktfamiliennormen (engl.: product family standards)

enthalten Grenzwerte für Aussendung und Störfestigkeit.

Thema	Eingrenzung	EMV-Normen	
		Europa	Welt
ISM-Geräte	Aussendung	EN 55011 ¹⁸⁾	CISPR 11 ¹⁷⁾
	Störfestigkeit		
Hausgeräte	Aussendung	EN 55014-1	CISPR 14-1
	Störfestigkeit	EN 55014-2	CISPR 14-2
Leuchten	Aussendung	EN 55015	CISPR 15
	Störfestigkeit	EN 61547	IEC 61547
Multimediageräte ¹⁹⁾	Aussendung	EN 55032	CISPR 32
Ton- und Fernsehempfänger	Störfestigkeit	EN 55020	CISPR 20
ITE-Geräte ¹⁸⁾	Störfestigkeit	EN 55024	CISPR 24
Oberschwingungen	≤ 16 A	EN 61000-3-2	IEC 61000-3-2
	16 A < I _R ≤ 75 A	EN 61000-3-12	IEC 61000-3-12
Flicker	≤ 16 A	EN 61000-3-3	IEC 61000-3-3
	≤ 75 A	EN 61000-3-11	IEC 61000-3-11
Kraftfahrzeuge ²⁰⁾	Aussendung	EN 55025	CISPR 25
	Störfestigkeit	-	ISO 11451
		-	ISO 11452
Frequenzumrichter (drehzahlveränderbare elektrische Antriebe)	Aussendung	EN 61800-3	IEC 61800-3
	Störfestigkeit		
EMV-Anforderungen für konduktive Ladesysteme für Elektrofahrzeuge	Aussendung Störfestigkeit	EN 61851-21-2	IEC 61851-21-2

Abkürzungen/Anmerkungen:

ISM-Geräte = Hochfrequenzgeräte in Industrie, Wissenschaft und Medizin

(engl.: Industrial, Scientific and Medical)

ITE-Geräte = Informationstechnische Ausrüstung

(engl.: Information Technology Equipment)

18) In Sicherheits- und Qualitätsnormen der Produktfamilien geregelt.

19) Geräte fallen z. T. unter die Funkanlagen-Richtlinie.

20) Die EU-Richtlinie zur elektromagnetischen Verträglichkeit von Kraftfahrzeugen 2004/104/EG enthält auch Grenzwerte und Störfestigkeitsanforderungen.

Technische Informationen

Die wichtigsten Normen für das Gebiet der **Störfestigkeit** sind nachstehend aufgelistet.

Thema	Prüfgröße	Phänomen	EMV-Normen	
			Europa	Welt
Geleitete Störungen	5/50 ns (Einzelimpuls) 5 kHz oder 100 kHz	Burst (Impulspakete) Ursache: Schalthandlungen	EN 61000-4-4	IEC 61000-4-4
	1.2/50 ms (Leerlaufspannung) 8/20 ms (Kurzschlussstrom)	Surge (energiereiche Transienten), Ursache: Blitzschlag, Schalthandlungen	EN 61000-4-5	IEC 61000-4-5
	1; 3; 10 V 150 kHz bis 80 MHz (bzw. 230 MHz)	Hochfrequente Einspeisung, schmalbandige Störgrößen	EN 61000-4-6	IEC 61000-4-6
Gestrahlte Störungen	3; 10 V/m 80 bis 1000 MHz bzw. bis 6 GHz	Hochfrequente Störfelder	EN 61000-4-3	IEC 61000-4-3
	bis 100 A/m 50/60 Hz	Magnetische Störfelder mit energie- technischer Frequenz	EN 61000-4-8	IEC 61000-4-8
Elektrostatische Entladungen (ESD)	bis 15 kV	Entladung statischer Elektrizität	EN 61000-4-2	IEC 61000-4-2
Instabilität der Versorgungsspannung	z. B. 40% U_N für 1 ... 50 Perioden 0% U_N für 0.5 Perioden	Spannungseinbrüche Kurzzeitunterbrechungen	EN 61000-4-11	IEC 61000-4-11
	z. B. 40% U_N oder 0% U_N (2 s Reduzierung, 1 s reduzierte Spannung, 2 s Erhöhung)	Spannungsschwankungen		

20 Einbauhinweise

Für den Ein- und Ausbau unserer Filter empfehlen wir die Beachtung der Regeln, die allgemein für den Betrieb von elektrischen Anlagen gelten. Dazu gehört das Herstellen und Sicherstellen des spannungsfreien Zustandes mit der Einhaltung der fünf Sicherheitsregeln, wie in EN 50110-1 beschrieben.

Nachfolgende Arbeitsschritte sollten in der angegebenen Reihenfolge eingehalten werden, sofern es nicht wichtige Gründe gibt, davon abzuweichen:

- Freischalten
- Gegen Wiedereinschalten sichern
- Spannungsfreiheit feststellen
- Erden und Kurzschließen²¹⁾
- Benachbarte unter Spannung stehende Teile abdecken oder abschränken.

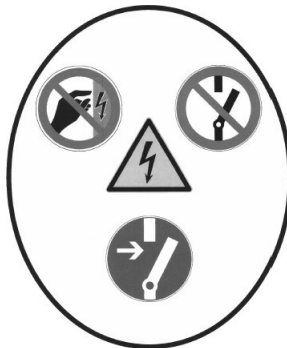


Bild 67 Piktogramme Arbeitsschutz

EMV ist nicht allein durch die Verwendung von EMV-Filtern zu erreichen. Sie ist als ganzheitliches System zu betrachten und erfordert zu ihrer Sicherstellung umsichtige Planung und Vorbereitungen. Maßnahmen wie z. B. geschirmte Motorleitungen, Massung und räumliche Trennung gehören zwangsläufig zu einem ganzheitlichen Konzept dazu.

Planen Sie EMV!

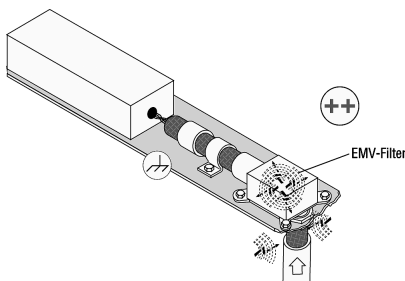
- Bestimmen Sie Störquellen (mit Störaussendung) und Störsenken (elektrische Betriebsmittel oder Bauelemente mit begrenzter Störfestigkeit).
- Ordnen Sie Störquellen und Störsenken Zonen zu (Einbauorte), und trennen Sie diese räumlich voneinander.
- Planen Sie die Verkabelung in Verdrahtungskategorien entsprechend Störaussendung und Störfestigkeit.

²¹⁾ In Klein- und Niederspannungsanlagen darf vom Erden und Kurzschließen abgesehen werden, außer wenn das Risiko besteht, dass die Anlage unter Spannung gesetzt werden kann (z. B. zweite Einspeisung usw.).

Die **EMV ist ein unverzichtbares Qualitätsmerkmal**. Bereits bei der Entwicklung des Systems sind die gesetzlich geregelten Schutzanforderungen und die technischen Risiken zu berücksichtigen. Für die Herstellung der elektromagnetischen Verträglichkeit des Gesamtsystems sind nachfolgende Hinweise von Bedeutung²²⁾:

1. Das **Filtergehäuse sollte großflächig mit Masse und den anderen Betriebsmitteln verbunden werden**.

Zum Beispiel eine metallisch blanke Montageplatte für Filter und Umrichter gemeinsam vorsehen, gut erden und mit dem Schaltschrank großflächig und induktivitätsarm verbinden. Gegebenenfalls kurze Massebänder und EMV-Dichtungen verwenden (z. B. Verbindung zu Schaltschranktüren).



2. Unterscheiden Sie zwischen

- der Schutzleiterverbindung des EMV-Filters (siehe auch ... Kapitel "Technische Informationen; Sicherheitshinweise zu Ableitströmen"), welche der Schutzmaßnahme zum Schutz gegen gefährliche Körperströme dient und
- der großflächigen Massung des Filters, die für die Entstörfunktion des Filters notwendig ist.

⚠ Wir empfehlen bei Betriebsströmen >250 A die PE-Verbindung zwischen Einspeisung (Filter: Netz/Line) und Ausgang (Filter: Last/Load) nicht über die PE-Bolzen im Filtergehäuse auszuführen. Grund dafür ist die eingeschränkte Fläche des Kabelschuhs am PE-Anschluss zum Filtergehäuse. Vorzugsweise ist der PE-Leiter der Einspeisung mit dem PE-Leiter des Ausgangs auf einer Schutzleiteranschlusschiene zu verbinden, auf welcher ebenfalls der bzw. die PE-Anschlüsse des EMV-Filters verschaltet werden.

Die Anzahl der notwendigen PE-Verbindungen zum Filter hängen vom Querschnitt und der Höhe des Ableitstroms ab (siehe auch Kapitel "Sicherheitshinweise zu Ableitströmen"). Die Schutzleiterverbindungen müssen den in der IEC 60364-5-54 definierten Anforderungen genügen. Bei Strömen >1000 A und/oder Kurzschluss-Strömen >25 kA ist ein "Durchschleifen" des PE-Leiters über das Filtergehäuse nicht zulässig.

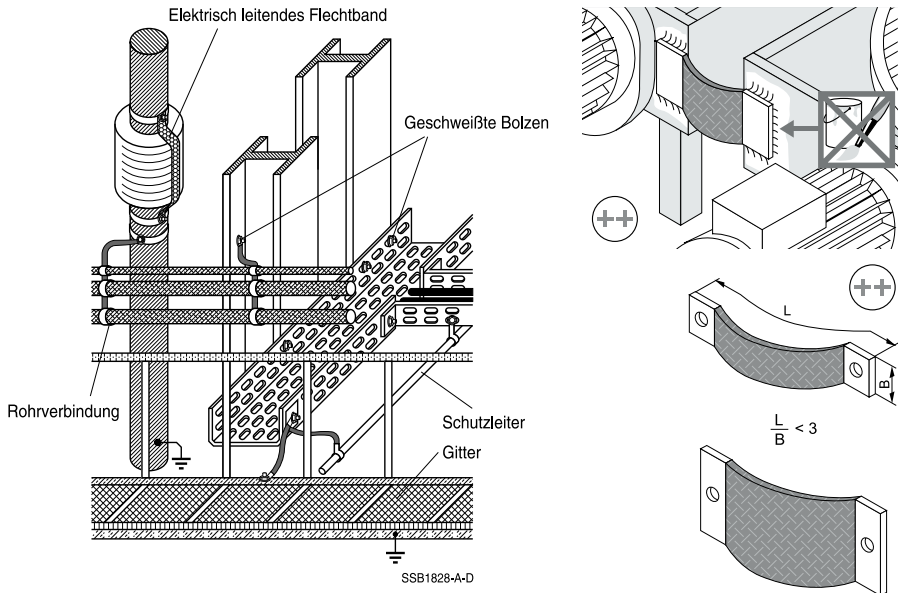
²²⁾ Die Abbildungen im Kapitel "Einbauhinweise" wurden von der Firma Rittal GmbH Co. KG, Herborn sowie der Firma Invensys Systems GmbH EUROTHERM, Limburg/ Lahn, zur Verfügung gestellt.

3. **Schaffen Sie in Ihrem System Verbindungen mit gleichem Bezugspotential** zur Reduzierung der galvanisch gekoppelten Störungen. Alle metallischen Bezugspotentiale von Gehäusen, Maschinen- und Anlagenteilen sollten niederohmig, hochfrequenztauglich und möglichst vermascht verbunden werden.

Schaffen Sie großflächige metallische Verbindungen, nutzen Sie Potentialausgleichs-Schienen und stellen Sie kurze Verbindungen über Flachband-Erdungskabel her.

Es gilt:

- Großflächig leitende Befestigung
- Niederinduktive Verbindung
(einem rechteckigem Kupfer-Flachband ist der Vorzug gegenüber Rundleiter zu geben)
- Kurze Verbindungen (Faustregel: Länge dividiert durch Breite < 3)



4. **Halten Sie Leitungen von der Störquelle möglichst kurz!**

Beispiele:

- Kurze Verbindung vom Umrichter zum EMV-Filter; idealerweise angeflanschte Filter zur Vermeidung von Abstrahlungen.
- Möglichst kurze Verbindungsleitungen zwischen Umrichterausgang und Motor (auch zur Verringerung von asymmetrischen Strömen durch die parasitären Kapazitäten des Kabelschirms).

5. Störbehaftete Leitungen müssen geschirmt werden!

Beispiele:

- Verbindungsleitungen zwischen Frequenzrichter und Motor, wenn kein entsprechendes Ausgangsfilter verwendet wird.
- Verbindung zwischen Filter und Umrichter netzseitig, soweit nicht direkt angeflanscht.
- Bitte beachten Sie, dass die Schirmwirkung unterschiedlicher Kabel stark voneinander abweicht (Folienschirm, Schirmgeflecht unterschiedlicher Überdeckung, Kombinationen).

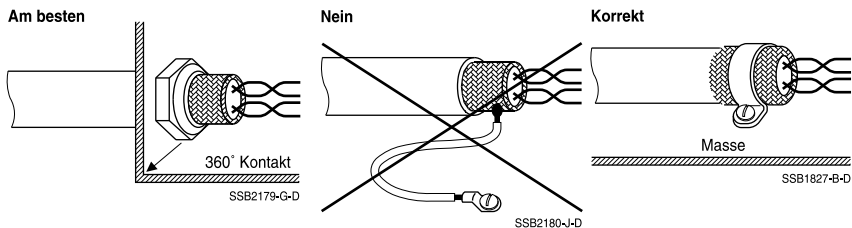
6. Verbinden Sie geschirmte Leitungen beidseitig und großflächig mit Bezugspotential, möglichst direkt oder nahe der Gehäuseein- bzw. -austrittsstelle.

Verwenden Sie

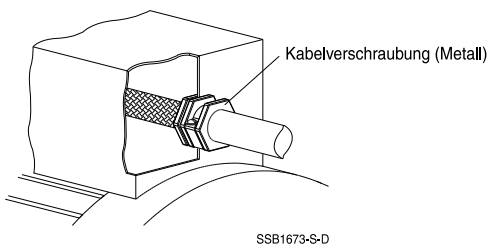
- EMV-gerechte Kabelverschraubungen (Rundumkontakt)
- EMV-Bodenblech
- EMV-Schirmschienen mit großflächiger Kontaktierung des Kabelschirms durch entsprechende Metallschellen.

Vermeiden Sie Schirmanschlüsse über Stichleitungen!

(verdritteltes Schirmgeflecht; angelötete Kabelschuhe usw.)



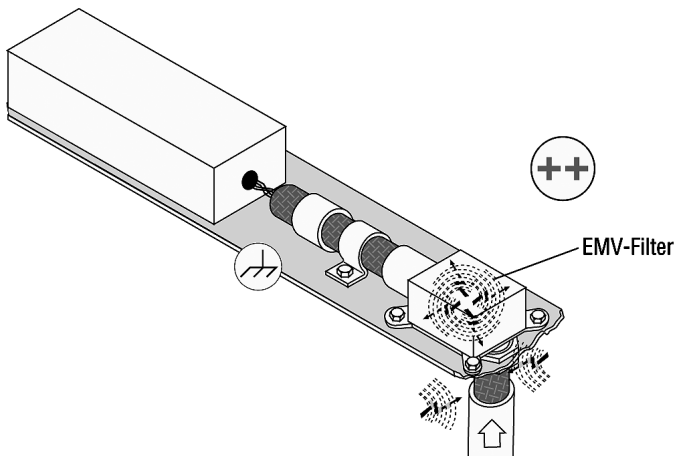
Achten Sie auch auf eine EMV-gerechte Kabelverschraubung am Klemmkasten des Motors. Diese muss der Schutzart für den jeweiligen Einsatzort entsprechen. Der Motorklemmkasten muss aus Metall sein. Die Verbindung zwischen Kabelverschraubung und Klemmkasten muss großflächig gewährleistet sein. Bei Entfernen des Lackes ist gegebenenfalls der Korrosionsschutz wieder herzustellen.



7. **Anordnung von EMV-Filtern möglichst direkt an der Gehäuseein- bzw. -austrittsstelle.**

Beispiele:

- Netz-Anschlussseite des Filters ragt aus der entsprechenden Gehäuseöffnung heraus. (Berührungsschutz sicherstellen!)
- Verwendung entsprechender EMV-Filter
- Verwendung entsprechender Gehäuseanpassungen zur Erreichung der Schirmdämpfung (auf Anfrage)



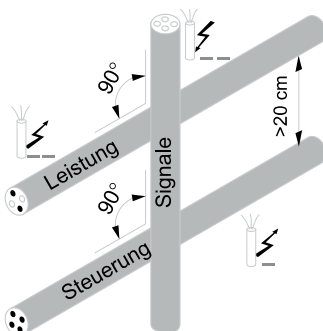
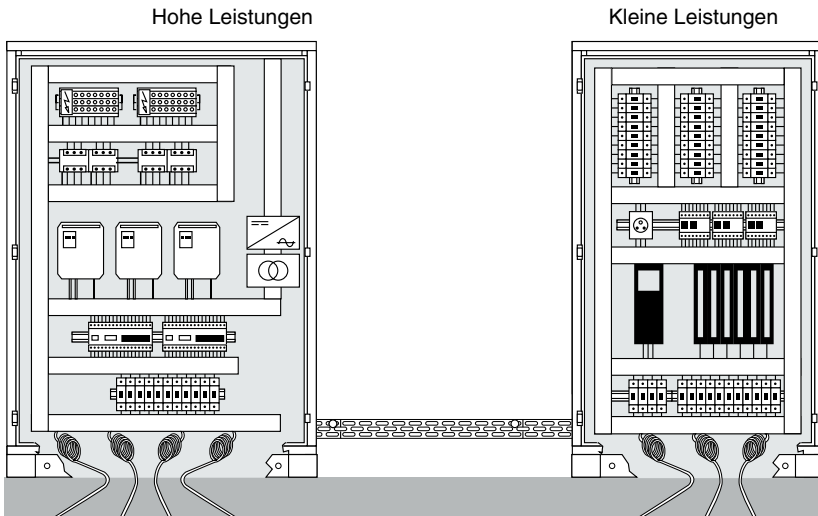
Technische Informationen

8. **Räumliche Trennung** zwischen störungsbehafteten Leitungen und "sauberen" Leitungen vorsehen (störungsbehaftet sind z. B. Leitungen zwischen Umrichter und Filter, "saubere" Leitungen liegen z. B. zwischen Netzanschluss und Filter).

Vermeiden Sie eine parallele Verlegung (Reduzierung gekoppelter Störungen).

Beachten Sie die räumlich getrennte Verlegung zwischen Signal- und Leistungskabeln, um Koppelstrecken zu vermeiden (Empfehlung Mindestabstand 20 cm). Gegebenenfalls Trennbleche vorsehen; diese breitflächig erden.

Legen Sie Leitungskreuzungen möglichst rechtwinklig und mit Abstand.

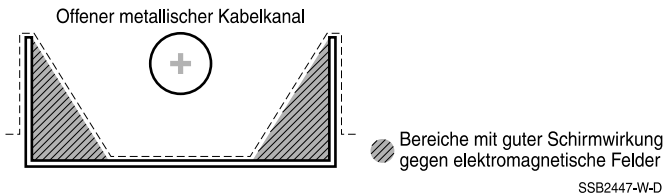



Technische Informationen

9. Um Störeinkopplungen zu verringern, verlegen Sie **Leitungen möglichst nahe an Blechteilen**, welche mit dem Bezugspotential verbunden sind (Montageplatten, Schaltschrankgehäuse, usw.)

Auch stromführende Leitungen sollten möglichst nahe am Bezugspotential verlegt werden (Reduzierung induktiv gekoppelter Störungen).

Zur Verbesserung der elektromagnetischen Verträglichkeit ist Kabelkanälen, Kabelwannen und Installationsrohren aus Metall gegenüber Kunststoffteilen der Vorzug zu geben.



10. Verwenden Sie bei ungeschirmten Signalleitungen (Hin- und Rückleiter) verdrehte 2-Draht-Leitungen, um die Fläche zwischen den Leitern klein zu halten (zur Vermeidung von magnetischen Einkopplungen). Gleiches gilt für die Vermeidung von Leiterschleifen.
11. Geschaltete Induktivitäten (z. B. Schütze, Relais, Magnetventile, usw.) sollten nahe der Störquelle mit entsprechenden Entstörgliedern beschaltet werden.
12. Verwenden Sie für Steuersignale in der Umgebung hoher Störpegel entsprechende Schaltungstechnik, z. B. symmetrische Übertragungssysteme mit verdrehten Leitungspaaren in Verbindung mit Datenleitungsdrosseln (siehe auch unser Datenbuch "Inductors"), Übertragung von Digitalsignalen entsprechend RS-422-Standard oder in extremen Fällen Durchqueren des Störbereichs mittels Lichtleiter.
13.  Beachten Sie die Einbaulage der Filter!
Die Montage muss grundsätzlich so erfolgen, dass die natürliche Konvektion nicht beeinträchtigt wird. Dazu gehört die Berücksichtigung von Lüftungsschlitzen im Filtergehäuse und der ausreichende Abstand zu anderen Einbauten. Überkopfmontage ist grundsätzlich ausgeschlossen. Bei besonderen Einbau-situationen ist in Rücksprache mit TDK eine Prüfung der thermischen Bedingungen erforderlich.
14. Geräuschminimierung
Ein wesentliches frequenzabhängiges Filterbauelement ist die Drossel mit sehr unterschiedlichen Kernmaterialien. In Wechselspannungsapplikationen ist zwangsläufig mit elektroakustischen Effekten zu rechnen. Die eingesetzten Materialien und Verarbeitungstechnologien erzeugen bei Einhaltung der Oberschwingungsanteile entsprechend der Norm EN 50160 für den Einsatz im Industriebereich angemessene Geräuschpegel. Diese können jedoch bei höheren Oberschwingungsanteilen deutlich ansteigen. Bei sensiblen Applikationen, wie der Montage im Büro, sollte die Beratung von TDK in Anspruch genommen werden.

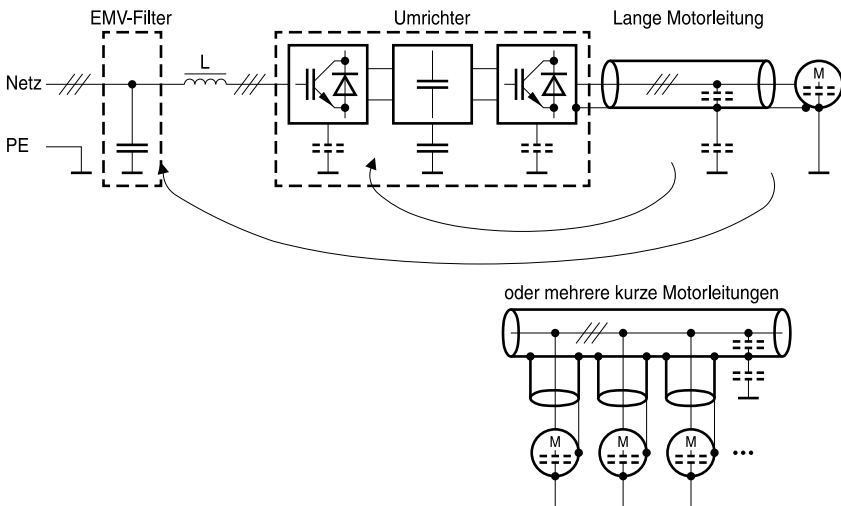
15. Motorleitungen und Motortypen

Bei Umrichterapplikationen werden Ausgangsspannungen erzeugt, welche nahezu rechteckige Kurvenformen besitzen. Diese werden im Wesentlichen durch die Anstiegsgeschwindigkeit als du/dt -Wert und die Schaltfrequenz des Umrichters charakterisiert. Die im Ausgangsnetzwerk des Umrichters liegenden Kabel und Motoren mit ihren induktiven und kapazitiven Komponenten bestimmen die EMV-Eigenschaften des Systems wesentlich. So sind Resonanzen der Kombination von Kabel und Motor in vielen Fällen als Resonanz der Störspannungsmessung am Umrichtereingang wiederzufinden.

⚠ Besondere Beachtung sollten die parasitären Kapazitäten von Kabel und Motor finden. Während die parasitären Kapazitäten des Motors von der Bauart abhängen, besteht bei Kabeln eine Abhängigkeit vom Isolierwerkstoff, vom Kabelaufbau, von der Art der Schirmung und besonders von der Länge. In Abhängigkeit von der Schaltfrequenz, dem du/dt -Wert und der Höhe der parasitären Kapazitäten fließt ein höherfrequenter Strom durch die geerdeten Anlagenteile.

⚠ Dabei können unter anderem folgende Effekte auftreten:

- Da die parasitären Ströme durch Masseverbindungen der Anlage fließen, ist die Summe der Eingangsströme in das Filter nicht mehr gleich Null. Das kann ab einer bestimmten Höhe des parasitären Stroms zur Sättigung der im Filter enthaltenen stromkompensierten Drosseln führen und in Folge Überschreitungen des zulässigen Störpegels verursachen. Deshalb sollte die Störspannungsmessung an den installierten Anlagen erfolgen.
- Die parasitären Ströme fließen auch über das Filtergehäuse und die im Filter verschalteten Kondensatoren zur Störquelle. Unzulässig hohe Ströme können zur Überlastung von Kondensatoren und somit zur Gefährdung führen!



SSB3223-W-D