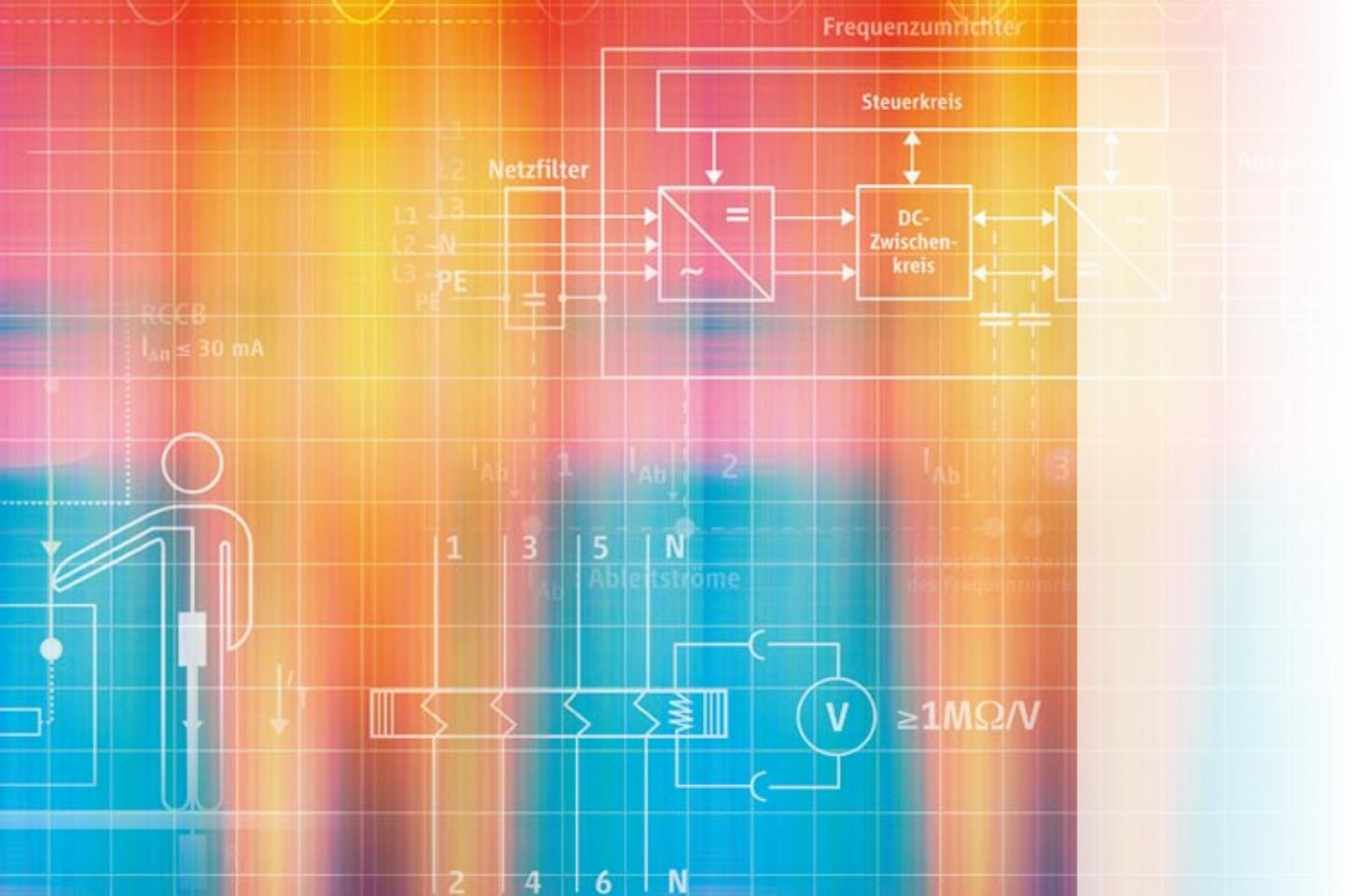


Leitfaden für Fehlerstrom-Schutz- einrichtungen und elektrische Antriebe

Errichtung und Betrieb von elektrischen
Anlagen mit Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen
und drehzahlregelten elektrischen Antrieben





IMPRESSUM

Leitfaden für Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen und elektrische Antriebe

Herausgegeben vom:

ZVEI - Zentralverband Elektrotechnik-
und Elektronikindustrie e.V.

Fachverband Automation / Fachbereich Elektrische Antriebe

Lyoner Straße 9

60528 Frankfurt am Main

Fon: 069 6302-377

Fax: 069 6302-279

Mail: antriebe@zvei.org

Internet: www.zvei.org

Redaktion:

An der Erstellung des Leitfadens wirkten mit:

Hartmut Dorner

Manfred W. Kleemeier

Wolfgang Kühnel

Norbert Nellen

Torsten Pieper

Bernhard Sattler

Burkhard Schulze

Dr. Stefan Weber

Dr. Benno Weis

Design:

NEEDCOM GmbH

www.needcom.de

Druck:

Berthold Druck und Direktwerbung GmbH

www.berthold-gmbh.de

1. Auflage, Juli 2009

2. Auflage, Oktober 2009

Trotz größtmöglicher Sorgfalt keine Haftung für den Inhalt.

Alle Rechte, insbesondere das Recht auf Vervielfältigung, Verbreitung und öffentliche Zugänglichmachung sowie der Übersetzung, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf in irgendeiner Form ohne schriftliche Genehmigung des ZVEI reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme gespeichert, verarbeitet, vervielfältigt, verbreitet oder öffentlich zugänglich gemacht werden.

© ZVEI - Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V.

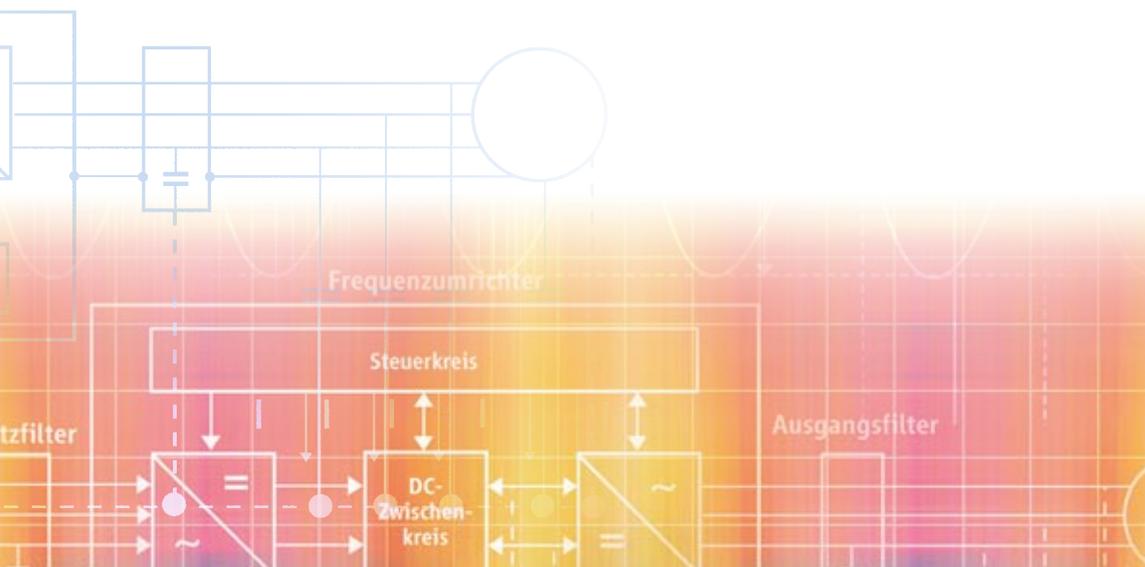


1 Einleitung

Der Einsatz von Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen ist ein wirkungsvolles Instrument zum Schutz gegen elektrischen Schlag und zur Brandverhütung. Innovative elektrische Antriebssysteme ermöglichen anspruchsvolle applikationsspezifische Lösungen und tragen zur Energieeffizienz bei. In modernen elektrischen Anlagen werden zunehmend beide Komponenten zusammen eingesetzt. Das gemeinsame Ziel von Komponentenherstellern sowie Planern, Errichtern und Betreibern ist der störungsfreie Betrieb von modernen elektrischen Anlagen. Dabei muss auf die Einhaltung aller Normen/Richtlinien geachtet und die vielfältigen Einflussfaktoren sowie physikalischen Gegebenheiten berücksichtigt werden.

Das grundlegende technische Verträglichkeitsproblem zwischen Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen und Frequenzumrichtern auf einer Anlage besteht darin, dass die Fehlerstrom-Schutzeinrichtung auch bei bestimmungsgemäßem Betrieb der Anlage auslösen kann, weil sie betriebsbedingte Ableitströme des Frequenzumrichters nicht von Fehlerströmen unterscheidet. Deshalb kann eine Erhöhung des Sach- und Personenschutzes durch den Einsatz einer Fehlerstrom-Schutzeinrichtung zu einer Reduzierung der Verfügbarkeit einer Anlage bzw. einem erhöhten Ausfallrisiko führen. Dieses Risiko steigt mit zunehmender Empfindlichkeit der Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen an.

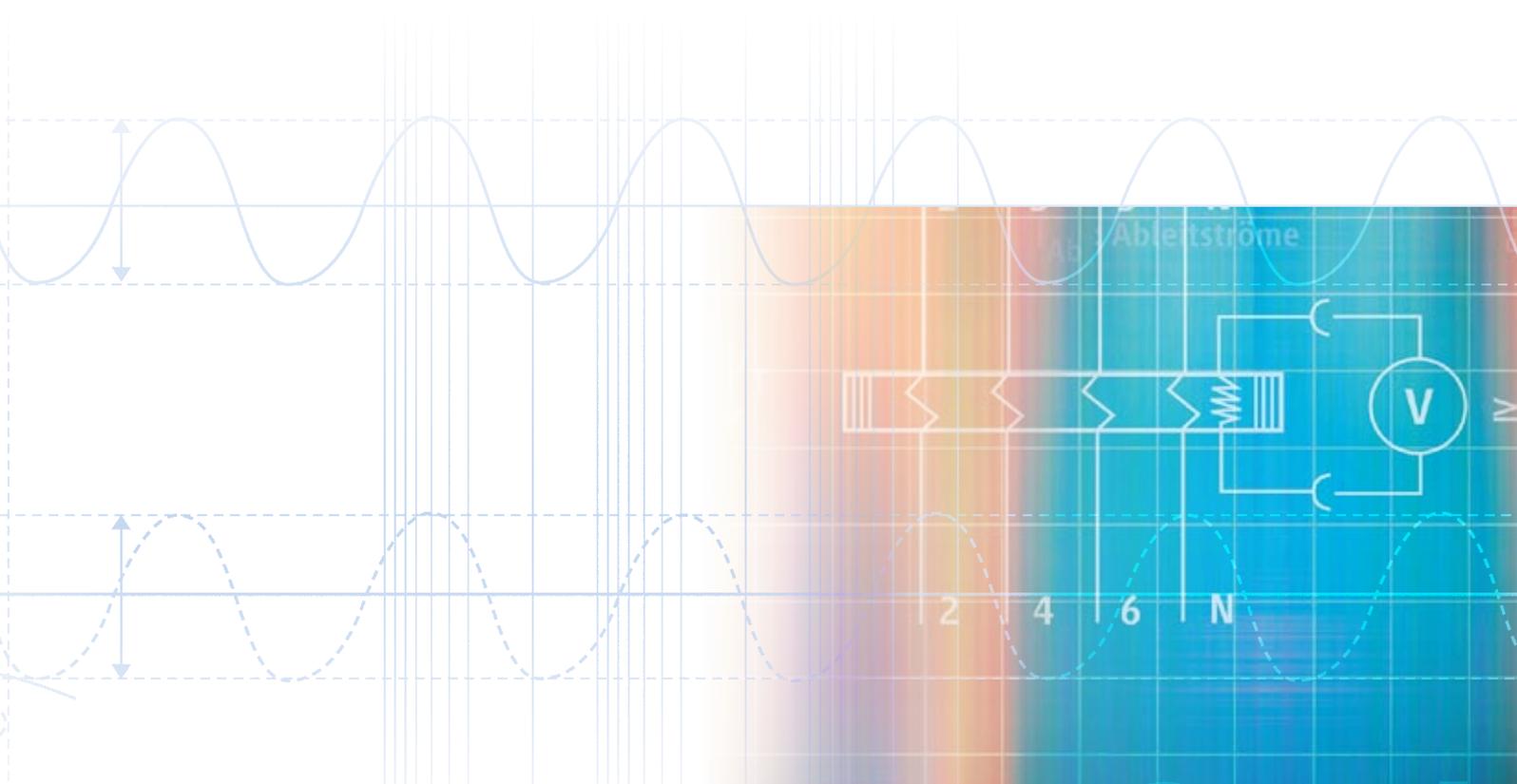
Eine Projektgruppe im ZVEI, die sich aus Experten der verschiedenen Produktbereiche sowie aus dem Bereich der Errichtung von elektrischen Anlagen zusammensetzt, hat diesen Leitfaden erstellt. Dieser Leitfaden beschreibt die Grundlagen von Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen und Frequenzumrichtern. Ferner erläutert er die physikalischen Grundlagen der auftretenden Ströme. Auf Basis dieser Grundlagen werden qualitative Hilfestellungen zur Projektierung und Erhöhung der Verfügbarkeit von Anlagen aufgezeigt.



Inhalt

1 Einleitung	3
2 Grundlagen	6
2.1 Grundlagen von elektrischen Antriebssystemen (PDS)	6
2.1.1 Physikalische Grundlagen von elektrischen Antriebssystemen	6
2.1.2 Grundsätzlicher Aufbau und Funktion von Frequenzumrichtern	6
2.1.3 Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)	7
2.1.4 Filtertechnik	7
2.2 Grundlagen von Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen (RCD)	8
2.2.1 Physikalische Grundlagen von Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen	8
2.2.2 Übersicht Fehlerstromformen und Schutzeinrichtungen	10
2.3 Grundlagen Differenzstrom-Überwachungsgerät (RCM)	11
3 Differenzstrom: Ableitsstrom – Schutzleiterstrom – Berührungsstrom – Fehlerstrom	12
3.1 Differenzstrom	12
3.2 Ableitströme	12
3.2.1 Betriebsbedingter taktfrequenter Ableitstrom	12
3.2.2 Netzfrequenter Ableitstrom	12
3.3 Abhängigkeit der Ableitströme von verschiedenen Einflussfaktoren	13
3.4 Schutzleiterströme	14
3.5 Berührungsstrom	14
3.6 Fehlerstrom	15
3.7 Messen von Strömen	16
4 Schutz gegen elektrischen Schlag (auch „Personenschutz“ genannt)	18
4.1 Allgemein	18
4.2 Fehlerschutz (früher „Schutz bei indirektem Berühren“ genannt)	20
4.3 Zusätzlicher Schutz (früher „Schutz bei direktem Berühren“ genannt) mit $I_{\Delta n} \leq 30 \text{ mA}$	20
5 Hinweise zum Brandschutz	22
5.1 Schutz vor Bränden mit Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen $I_{\Delta n} \leq 300 \text{ mA}$	22
5.2 Erdschluss und kurzschlussfeste Verlegung	23
6 Lösungsmöglichkeiten für Schutzmaßnahmen beim Einsatz von Antriebssystemen	24
6.1 Maßnahmen zur Verbesserung der Verträglichkeit von Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen mit Antriebssystemen	24
6.1.1 Einschaltstrombegrenzung	24
6.1.2 kurzzeitverzögerte Fehlerstrom-Schutzeinrichtung	24
6.1.3 Separater Netzanschluss	24
6.1.4 Anzahl der Frequenzumrichter in dem zu schützenden Zweig	24
6.1.5 Nennleistung des Frequenzumrichters	24

6.1.6	Funkentstörfilter	24
6.1.7	Umrichterausgangsfiler (Motordrosseln, du/dt-Filter, Sinus-Filter)	25
6.1.8	Motorleitung	25
6.1.9	Frequenzumrichter – Taktfrequenz und Modulation	25
6.1.10	Erdungsmaßnahmen	25
6.1.11	Auswahl der Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen	25
6.1.12	Einsatz eines Trenntransformators	25
7	Weitere Lösungsmöglichkeiten für Schutzmaßnahmen beim Einsatz von Antriebssystemen	26
7.1	Überstromschutzeinrichtung zur automatischen Abschaltung der Stromversorgung	26
7.2	Einsatz von Differenzstrom-Überwachungsgeräten (RCM)	26
7.2.1	Überstromschutzeinrichtung zur automatischen Abschaltung der Stromversorgung	26
7.2.2	Einsatz im Brandschutz	26
7.3	Isolationsüberwachungsgeräte (IMD)	26
8	Begriffe	27
9	Normenbezug	30



2 Grundlagen

2.1 Grundlagen von elektrischen Antriebssystemen (PDS)

2.1.1 Physikalische Grundlagen von elektrischen Antriebssystemen

Ein wesentliches Nutzenmerkmal von Antriebssystemen ist die Möglichkeit, die Drehzahl stufenlos zu verändern. Zur stufenlosen Drehzahlverstellung mit hoher Positioniergenauigkeit und Dynamik sind bestimmte Modulationsverfahren bei Antriebssystemen unabdingbar. Diese Modulationsverfahren verursachen aber aus physikalischen Gründen unvermeidbare Ableitströme infolge von Schaltvorgängen. Daher treten im normalen Betrieb Ableitströme auf, ohne dass ein Fehler vorliegt. Insbesondere bei Schiefelage der Netzphasen oder bei einer großen Anzahl von Antrieben können sie einige 100 mA Effektivwert oder mehr erreichen. Der Ableitstrom liegt in einem Frequenzbereich von 0 Hz bis einigen MHz. Aus diesem Grund sind Standard-Messgeräte für Wechselströme im 50/60 Hz-Bereich nicht zur Messung dieser Art von Ableitströmen geeignet!

2.1.2 Grundsätzlicher Aufbau und Funktion von Frequenzumrichtern

Das Grundprinzip ist eine Gleichrichtung der Netzspannung mittels B2-Gleichrichterbrücke bei Wechselspannung oder B6-Gleichrichterbrücke bei Drehstromversorgung. Anschließend wird diese Gleichspannung noch geglättet und dann durch einen Wechselrichter wieder in eine Ausgangsspannung umgeformt, bei der Spannungshöhe und Frequenz variiert werden können (siehe Bild 1).

Der Leistungsbereich eines Antriebssystems erstreckt sich von $< 100\text{ W}$ zum Anschluss an das Niederspannungsnetz mit 230/400 V bis ca. 1 MW zum Anschluss an Spannungsnetze mit 500 V und 690 V.

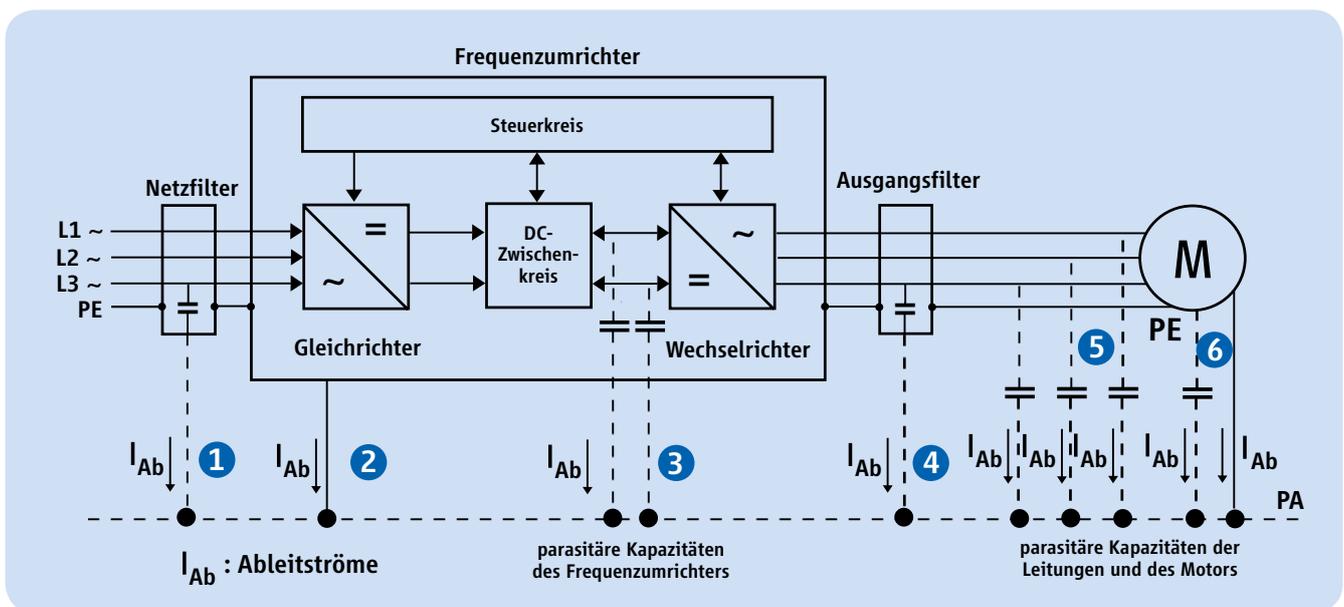


Bild 1: Typische Ableitströme in Stromkreisen mit Frequenzumrichtern

Ableitströme eines Frequenzumrichters (2-3) werden maßgeblich verursacht von den Funkentstörmaßnahmen im Gerät, von zusätzlichen Funkentstörfiltern (1), Ausgangsfiltern (4), dem geschirmten Motorkabel (5) und dem Motor (6). Der Ableitstrom steigt in der Regel an, je wirkungsvoller hochfrequente leitungsgebundene Störspannungen und kapazitive Störabstrahlung reduziert werden sollen. Dies bedeutet, dass bei dem Wunsch nach einem besseren Funkentstörgrad auch mit einem Anstieg des Ableitstromes gerechnet werden muss.

Die EMV-Produktnorm EN 61800-3 umfasst das elektrische Antriebssystem, das so genannte Power Drive System (PDS) als Ganzes, vom Netzanschluss bis zum Wellenabgang des Motors. In der Produktnorm werden unterschiedliche Funkstörkategorien C1 bis C4, sowie unterschiedliche Umgebungen (Wohnbereich/Industriebereich) und äußere Anschlüsse (ports) und interne Schnittstellen (interfaces) definiert. Ferner legt sie Bewertungskriterien für das Betriebsverhalten bei Störeinwirkung an den äußeren Anschlüssen (ports) und den internen Schnittstellen (interfaces) fest und enthält Anforderungen zur Störfestigkeit entsprechend der Umgebung am Einsatzort.

2.1.3 Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)

Unter „Elektromagnetische Verträglichkeit“ (EMV) versteht man die Fähigkeit eines elektrischen oder elektronischen Geräts, in seiner Umgebung bestimmungsgemäß zu funktionieren, ohne dabei diese Umgebung durch selbst erzeugte elektromagnetische Störungen unzulässig zu beeinflussen (EMV-Gesetz). Ein elektrisches oder elektronisches Gerät kann demnach als elektromagnetisch verträglich bezeichnet werden, wenn die von ihm ausgehenden Emissionen toleriert werden können und wenn es eine angemessene Störfestigkeit aufweist.

Werden Maßnahmen getroffen, um die elektromagnetische Verträglichkeit der Anlage zu verbessern (Netzfilter, geschirmte Leitungen) und gesetzliche Grenzwerte einzuhalten, erhöht sich zwangsläufig der Ableitstrom, besonders auch beim Einschalten oder bei Netzunsymmetrien.

Die EMV-Maßnahmen beruhen zum großen Teil auf kapazitivem Kurzschließen der Störströme innerhalb des Antriebssystems. Induktive Filtermaßnahmen am Umrichter-Ausgang könnten zwar in begrenztem Maße Ableitströme reduzieren, beeinträchtigen aber die Dynamik des Antriebs und führen zu größerem Bauvolumen.

Weitergehende Informationen zur Elektromagnetischen Verträglichkeit bei elektrischen Antrieben finden Sie in dem vom ZVEI herausgegebenen EMV-Leitfaden für elektrische Antriebssysteme.

2.1.4 Filtertechnik

Das Prinzip der Energieumformung durch schnelles Schalten liegt modernen Umrichtern zugrunde und zeigt diverse Nebeneffekte, die durch passive Filterbauelemente bedämpft werden. Dabei spielen vor allem die Schaltgeschwindigkeit und die hochfrequenten Anteile der erzeugten elektrischen Größen eine Rolle.

Zu schnelle Spannungsänderung kann zur vorzeitigen Alterung von Elektromotoren führen. Die höherfrequenten Anteile führen zu erhöhten Geräuschen und Verlusten in den verwendeten Maschinen. Der Schutz der Motoren ist ein Thema der Filtertechnik, aber auch auf der Netzseite müssen in den einschlägigen EMV-Normen definierte Grenzwerte eingehalten werden.

Netzdrosseln

Netzdrosseln verringern die Verzerrungsblindleistung von Umrichtern mit Eingangsgleichrichtern mit kapazitiver Glättung. Sie tragen neben weiteren Maßnahmen zur Einhaltung der Grenzwerte für Oberschwingungsströme, gemäß DIN EN 61000-3-2 und DIN EN 61000-3-12 bei.

Netzdrosseln verringern sowohl netz- als auch taktfrequente Ableitströme. Der Einsatz einer Netzdrossel ist bei Geräten mit passivem Eingangsgleichrichter grundsätzlich aber insbesondere für den Betrieb an Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen zu empfehlen.

Externes Netzfilter

Ein externes 2-Leiter-Netzfilter mit Y-Kondensatoren zwischen Außenleiter und Bezugs Erde erzeugt einen netzfrequenten Ableitstrom. In einem externen 3-Leiter-Filter werden Kapazitäten in der Regel von einem kapazitiven Sternpunkt gegen Erde geschaltet, sodass ein netzfrequenter Ableitstrom nur durch Netzunsymmetrie und die Toleranzen der Bauelemente entsteht.

Der taktfrequente Ableitstrom des Antriebssystems kann durch ein externes Filter bedämpft und vom Netz fern gehalten werden. Bei ungünstiger Auslegung der Filterresonanz kann jedoch auch bei guter Funkentstörung der taktfrequente Ableitstrom verstärkt werden.

Ableitstromarmes Netzfilter

Ableitstromarme Funkentstörfilter verfügen über geringe Kapazitäten gegen Erde und erhöhten Einsatz induktiver Bauelemente. Geringe Kapazitäten vermeiden netzfrequente Ableitströme. Große Induktivitäten bedämpfen die taktfrequenten Ableitströme des Antriebssystems. Diese Filter werden von allen Filterherstellern angeboten. Ableitstromarme Netzfilter sind insbesondere für hohe Nennströme bei gleichem Entstörgrad deutlich teurer als herkömmliche Netzfilter.

Geschirmte Motorleitungen

Der in Antriebssystemen üblicherweise zur Vermeidung unzulässiger abgestrahlter Funkstörungen eingesetzte Kabelschirm erhöht je Meter Motorkabel die parasitäre Kapazität und damit die taktfrequenten Ableitströme beträchtlich. Die Verwendung langer geschirmter Motorleitung erfordert optimierte Filtertechnik auf der Netzseite.

Motordrosseln, du/dt-Filter, Sinus-Filter

Zum Schutz der Motoren vor Lagerströmen und Zerstörung der Wicklungsisolierung durch die hochfrequenten Anteile der von Frequenzumrichtern erzeugten Signale können Motordrosseln und Sinus-Filter eingesetzt werden. du/dt-Filter sind spezielle Filter ohne Erhöhung der Längsinduktivität, die diesen Schutz auch für hochdynamische und hochdrehende Antriebe ermöglichen. Motordrosseln, du/dt-Filter und Sinusfilter reduzieren die taktfrequenten Ableitströme.

Sinusfilter ermöglichen zusätzlich die Geräuschentwicklung und die Verluste in den Motoren drastisch zu reduzieren. Beim Einsatz von Sinusfiltern hängen die Ableitströme auf der Motorseite aber immer noch von der Länge der verwendeten Motorleitung ab. Um auch hier kontrollierte Verhältnisse zu schaffen, bieten einige Filterhersteller auch allpolige Sinusfilter an. Diese Filter sind recht aufwändig und erfordern hohe Taktfrequenzen, bieten aber den großen Vorteil einer sinusförmigen Leiter-Erde-Spannung.

2.2 Grundlagen von Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen (RCDs)**2.2.1 Physikalische Grundlagen von Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen**

Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen bestehen im Wesentlichen aus folgenden Funktionsgruppen:

- Summenstromwandler zur Fehlerstromerfassung
- Auslösekreis mit Bauelementen zur Auswertung und magnetischer Auslöser zur Umwandlung der elektrischen Messgröße in eine mechanische Entklinkung
- Schaltschloss mit Kontakten.

Fehlerstromerfassung von Wechsel- und pulsierenden Gleichfehlerströmen (Typ A)

Der Summenstromwandler umfasst alle Stromleiter des zu schützenden Stromkreises inklusive des Neutralleiters. In einer fehlerfreien Anlage heben sich im Summenstromwandler die magnetischen Wirkungen der stromdurchflossenen Leiter auf. Es entsteht kein Restmagnetfeld, das eine Spannung in die Sekundärwicklung des Wandlers induzieren könnte.

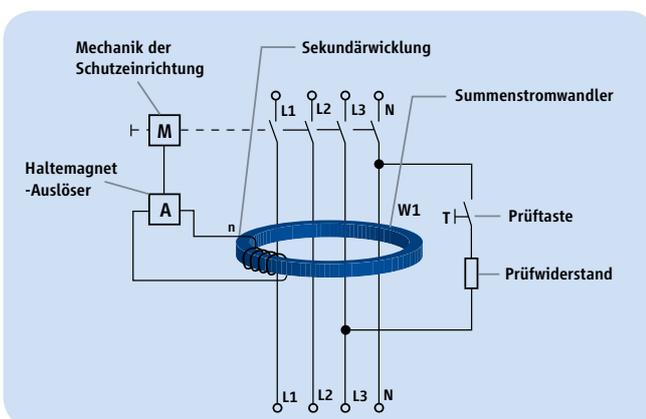


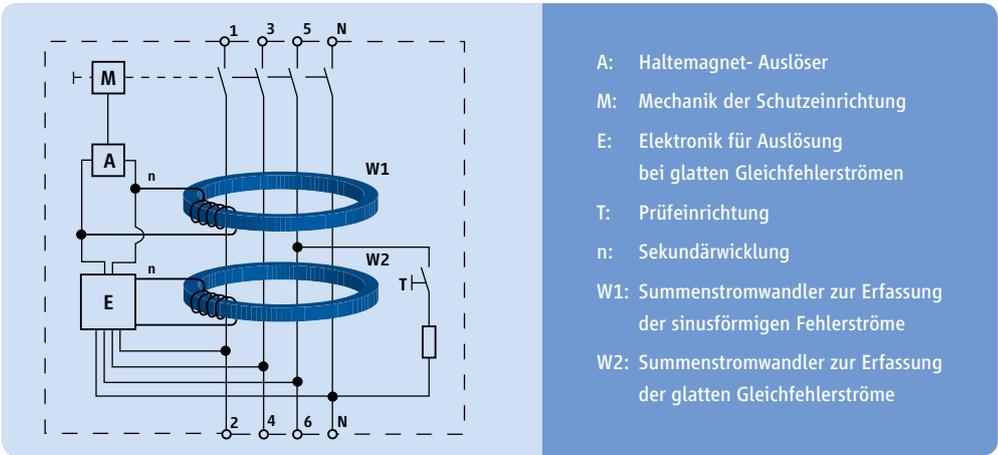
Bild 2: Prinzipdarstellung des Fehlerstrom-Schutzes Typ A

Fließt jedoch durch einen Isolationsfehler in der zu schützenden Anlage ein Fehlerstrom, verbleibt ein Restmagnetfeld im Wandlerkern. Dadurch wird in der Sekundärwicklung eine Spannung erzeugt, die über den magnetischen Auslöser und das Schaltschloss die Abschaltung des fehlerhaften Stromkreises bewirkt (Bild 2).

Die Abschaltung muss entsprechend der Gerätebestimmung DIN EN 61008-1 (VDE 0664-10) beim Bemessungsfehlerstrom innerhalb von 300 ms erfolgen.

Die Funktionsfähigkeit der Fehlerstrom-Schutzeinrichtung lässt sich über die bei jedem Gerät vorhandene Prüftaste kontrollieren. Beim Drücken der Prüftaste wird ein künstlicher Fehlerstrom erzeugt, bei dem die Fehlerstrom-Schutzeinrichtung auslösen muss.

Um eine hohe Zuverlässigkeit in der Geräteschutzfunktion zu erzielen, ist die Funktionsweise (Erfassung, Auswertung, Abschaltung) der Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen entsprechend DIN EN 61008-1 (in Verbindung mit DIN EN 61008-2-1) und DIN EN 61009-1 (in Verbindung mit DIN EN 61009-2-1) unabhängig von der Netz- oder einer Hilfsspannung.



Fehlerstromerfassung von Wechsel-, pulsierenden und glatten Gleichfehlerströmen (Typ B)

Die Fehlerstrom-Schutzeinrichtung vom Typ B arbeitet für Wechsel- und pulsierende Gleichfehlerströme ebenfalls netzspannungsunabhängig wie der Typ A. Lediglich für die Erfassung von glatten Gleichfehlerströmen ist aus physikalischen Gründen eine Spannungsversorgung notwendig, welche aus dem Netz erfolgt (Bild 3).

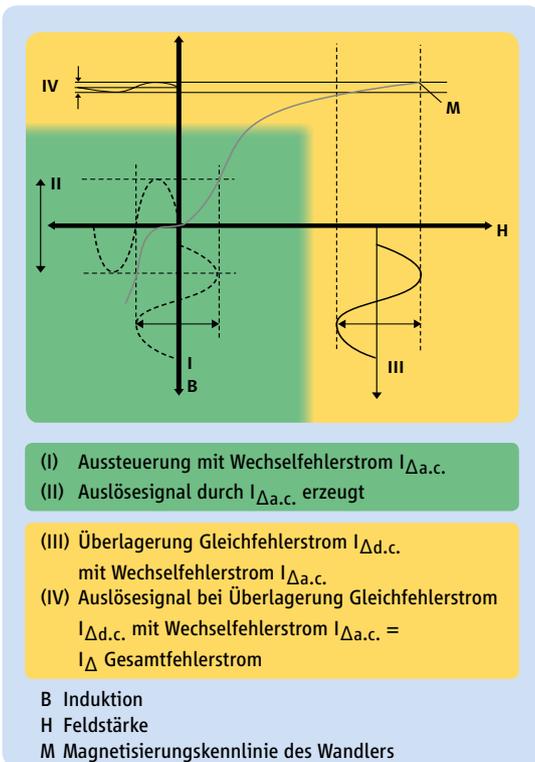
- A: Haltemagnet- Auslöser
- M: Mechanik der Schutzeinrichtung
- E: Elektronik für Auslösung bei glatten Gleichfehlerströmen
- T: Prüfeinrichtung
- n: Sekundärwicklung
- W1: Summenstromwandler zur Erfassung der sinusförmigen Fehlerströme
- W2: Summenstromwandler zur Erfassung der glatten Gleichfehlerströme

Bild 3: Prinzipdarstellung des Fehlerstrom-Schutzschalters Typ B

Gefahren bei glatten Gleichfehlerströmen durch Wandlersättigung

Glatte Gleichfehlerströme können durch Vormagnetisierung des Wandlers dazu führen, dass die Schutzfunktionen der Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen Typ A auch bei Wechselfehlerströmen nicht mehr gewährleistet sind.

Es erfolgt keine Abschaltung, da der Gleichfehlerstrom keine zeitliche Veränderung der Induktion in dem Wandler, der nach dem Induktionsprinzip arbeitenden Fehlerstrom-Schutzeinrichtung bewirkt. Ein glatter Gleichfehlerstrom in Folge eines schleichenden Isolationsfehlers führt zu einer Vormagnetisierung des Wandlermaterials der Fehlerstrom-Schutzeinrichtung Typ A. Bild 4 zeigt den Unterschied zwischen einem Wandler-signal ohne und mit Gleichfehlerstromüberlagerung.



Ohne Gleichfehlerstrom ($I_{\Delta d.c.}$) erzeugt ein Wechselfehlerstrom ($I_{\Delta a.c.}$) eine Aussteuerung auf der Feldstärkeachse H von der Größe I. Entsprechend der Magnetisierungskennlinie M des Wandlers wird eine Spannung (proportional zur Induktion B) der Größe II induziert. Ein über die Fehlerstrom-Schutzeinrichtung fließender Gleichfehlerstrom ($I_{\Delta d.c.}$) verschiebt den Wandlerarbeitspunkt auf der H-Achse. Ein Wechselfehlerstrom ($I_{\Delta a.c.}$) mit gleichgroßem Wert wie im Fall ohne Gleichfehlerstrom erzeugt eine gleichgroße Aussteuerung auf der Feldstärkeachse H von der Größe III. Obwohl die Änderung III den gleichen Wert wie I aufweist, wird im Wandler eine wesentlich kleinere Spannung der Größe IV induziert. Unter der Annahme, dass ein Signal von der Größe II für die Auslösung notwendig ist, wird klar, dass das deutlich kleinere Signal IV dafür nicht ausreicht. Erst weit höhere Wechselfehlerströme würden zum Erreichen der notwendigen Signalthöhe führen.

Dies zeigt, dass eine Fehlerstrom-Schutzeinrichtung des Typs A bei Vorhandensein eines glatten Gleichfehlerstroms und einem gleichzeitig auftretenden, rein sinusförmigem Fehlerstrom, der sonst problemlos abgeschaltet wird, nicht mehr auslösen kann. Die gewünschte Schutzwirkung der Fehlerstrom-Schutzeinrichtung ist damit nicht gegeben.

Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen des Typs B decken diese Fehlersituationen ab und bieten damit weiterhin den notwendigen Schutz.

Bild 4: Vormagnetisierung durch Gleichfehlerstrom

2.2.2 Übersicht Fehlerstromformen und Schutzeinrichtungen

Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen werden hinsichtlich ihrer Eignung zur Erfassung von Fehlerstromformen unterschieden (Bild 5).

Bild 5: Einteilung der Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen in unterschiedliche Typen mit deren Auslösebereichen

Stromart	Stromform	Ordnungsgemäße Funktion von FI-Schutzeinrichtungen des Typs				Auslösestrom
		AC 	A 	B 	/B+  kHz	
Wechselfehlerstrom		•	•	•	•	0,5 bis 1,0 $I_{\Delta n}$
Pulsierende Gleichfehlerströme (pos. oder neg. Halbwellen)		-	•	•	•	0,35 bis 1,4 $I_{\Delta n}$
Angeschnittene Halbwellenströme Anschnittwinkel 90°el Anschnittwinkel 135°el		-	•	•	•	Anschnittwinkel 90°: 0,25 bis 1,4 $I_{\Delta n}$ Anschnittwinkel 135°: 0,11 bis 1,4 $I_{\Delta n}$
Halbwellenstrom bei Überlagerung mit glattem Gleichstrom von 6 mA		-	•	•	•	max. 1,4 $I_{\Delta n}$ + 6 mA
Glatter Gleichstrom		-	-	•	•	0,5 bis 2,0 $I_{\Delta n}$

Je nach elektronischer Schaltung im Stromkreis können unterschiedliche Fehlerstromformen auftreten. Da Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen sich in ihrer Eignung für die Erfassung von Fehlerstromformen unterscheiden, ist bei ihrer Auswahl der entsprechende Verbrauchereingangskreis zu berücksichtigen.

Bild 6 zeigt elektronische Schaltkreise und deren mögliche Last- und Fehlerströme mit dem jeweils dafür geeigneten Typ der Fehlerstrom-Schutzeinrichtung (Quelle: DIN EN 50178 und DIN VDE 0100-530).

Typ AC , *wechselstromsensitiv*

Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen des Typs AC sind lediglich zur Erfassung von sinusförmigen Wechselfehlerströmen (s. Stromkreise 1 bis 3 aus Bild 6) geeignet. Dieser Gerätetyp ist in einigen Regionen (z. B. Deutschland, entsprechend DIN VDE 0100-530) nicht zur Realisierung der in den Normen definierten Schutzmaßnahmen mit Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen zugelassen.

Typ A , *pulsstromsensitiv*

Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen des Typs A erfassen neben sinusförmigen Wechselfehlerströmen auch pulsierende Gleichfehlerströme.

Dieser Gerätetyp ist die in Deutschland üblicherweise eingesetzte pulsstromsensitive Fehlerstrom-Schutzeinrichtung. Damit werden auch die bei einphasigen Verbrauchern mit Gleichrichtern im Netzteil möglichen Fehlerstromformen beherrscht. Der Typ A ist geeignet für elektronische Betriebsmittel mit Eingangsstromkreisen Nr. 1 bis 6 aus Bild 6.

Typ B , *allstromsensitiv*

Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen des Typs B dienen, neben der Erfassung der Fehlerstromformen des Typs A, auch zur Erfassung von glatten Gleichfehlerströmen. Die Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen dieses Typs sind für den Einsatz im Drehstromsystem mit 50/60 Hz auch vor den Eingangsstromkreisen Nr. 7 bis 10 aus Bild 6 und damit für alle geeigneten Stromkreise geeignet.

Zusätzlich sind für die Fehlerstrom-Schutzeinrichtung des Typs B auch Auslösebedingungen für Fehlerströme mit von 50 Hz abweichenden Frequenzen bis zu 2 kHz definiert.

Typ B+ kHz, *allstromsensitiv*

Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen des Typs B+ erfüllen alle Anforderungen des Typs B. Für einen gehobenen vorbeugenden Brandschutz bei Erdfehlerströmen sind darüber hinaus Auslösebedingungen bis 20 kHz definiert. Der Anstieg des Auslösestromes ist in diesem Frequenzbereich auf maximal 420 mA begrenzt.

Kurzzeitverzögerte Typen

In der Gerätevorschrift sind lediglich 2 Geräteausführungen klassifiziert: „unverzögert“ und „selektiv“.

Bild 6: Mögliche Fehlerstromformen und geeignete Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen

Die kurzzeitverzögerten Ausführungen werden im Sinne der Norm als „unverzögerte“ Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen behandelt. Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen dieses Typs sind in ihrer Abschaltzeit geringfügig verzögert (ca. 10 ms für hohe Fehlerströme). Die Hersteller kennzeichnen diese Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen von der Ausführung her zwar eindeutig, verwenden aber unterschiedliche Bezeichnungen. Durch diese Geräteeigenschaften lassen sich Fehl- abschaltungen durch kurzzeitige impulsförmige Ableitströme, wie sie z. B. beim Einschalten von gegen den Schutzleiter (PE) geschalteten Kondensatoren in Schaltnetzteilen oder Filtern entstehen, reduzieren.

Geeigneter FI-Typ		Schaltung	Laststrom	Fehlerstrom	
B+ B A AC kHz		1			
		2			
		3			
		4			
		5			
		6			
		7			
		8			
		9			
		10			

Um bei der Reihenschaltung von Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen im Fehlerfall eine selektive Abschaltung zu erreichen, werden selektive Geräte des Typs S eingesetzt. Die Produktnormen entsprechend der VDE 0664-Serie definieren für diese Geräte eine Abschaltzeitverzögerung.

Selektiver Typ S (S)

Für die Reihenschaltung mit unverzögerten oder kurzzeitverzögerten Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen wird für die selektive Ausführung ein mindestens 3-fach höherer Bemessungsfehlerstrom $I_{\Delta n}$ zu den nachgeschalteten Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen empfohlen.

Selektive Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen des Typs S weisen eine sehr hohe Stoßstromfestigkeit von mindestens 3 kA (8/20 μ s Stromform) auf. Sie sind mit dem Symbol S gekennzeichnet.

Bei Leistungsschaltern mit Fehlerstrom-Auslöser (CBRs) nach DIN EN 60947-2 sind keine selektiven Ausführungen definiert. Die Abschaltzeitverzögerungen sind häufig einstellbar. Durch geeignete zeitliche Staffelung der Abschaltzeiten muss sichergestellt werden, dass die gewünschte Selektivität erreicht wird.

2.3 Grundlagen Differenzstrom-Überwachungsgerät (RCM)

Das Funktionsprinzip zur Erfassung der Differenzströme bei Differenzstrom-Überwachungsgeräten entsprechend DIN EN 62020 ist dasselbe wie für Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen. Der Unterschied besteht im Wesentlichen im konstruktiven Aufbau. Insbesondere besitzen Differenzstrom-Überwachungsgeräte keine Abschaltvorrichtung zur Unterbrechung und Trennung des überwachten Stromkreises. Außerdem sind in den meisten Ausführungen die Auswerteeinheit und der Wandler zur Erfassung des Differenzstromes räumlich voneinander getrennt und mittels einer Signalleitung verbunden.

3 Differenzstrom: Ableitstrom – Schutzleiterstrom Berührungsstrom – Fehlerstrom

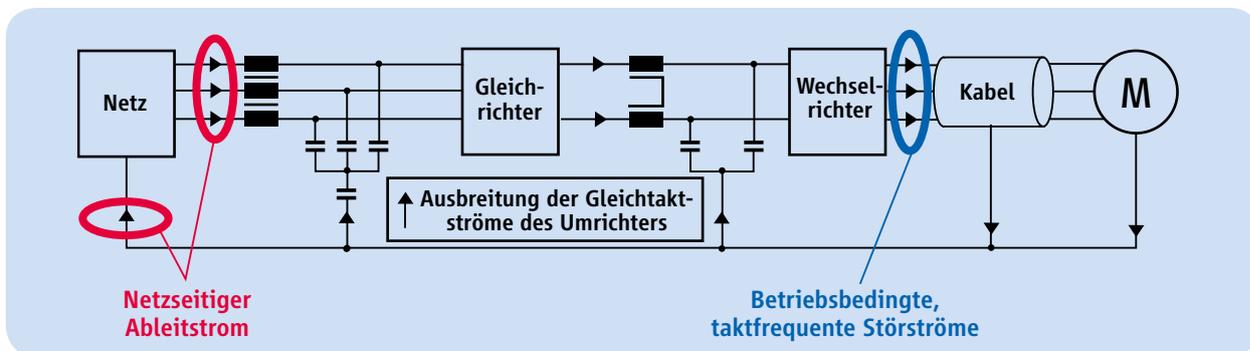
3.1 Differenzstrom

Differenzströme stellen prinzipiell die Summe der Leiterströme aller drei Phasen und des Neutralleiters dar und sind damit Gleichtaktstörströme. Diese können nach Ursache und nach Frequenzen unterschieden werden und teilen sich in Ableitströme, Schutzleiterströme, Berührungsströme und Fehlerströme auf.

3.2 Ableitstrom

Den breitbandigsten und dominanten Anteil der Ableitströme machen im Allgemeinen die taktfrequenten Ableitströme aus. Diese werden durch das Pulsen des Frequenzumrichters angeregt, welches eine Gleichtaktstörspannung am Wechselrichterausgang erzeugt. Die Störspannung treibt über die Kapazitäten des Kabels und Motors einen Strom gegen Erde, welcher über die netzseitigen Impedanzen zurück zum Zwischenkreis des Frequenzumrichters fließt. Diese Ströme sind betriebsbedingt und treten auch bei ordnungsgemäßem Betrieb der Anlage auf.

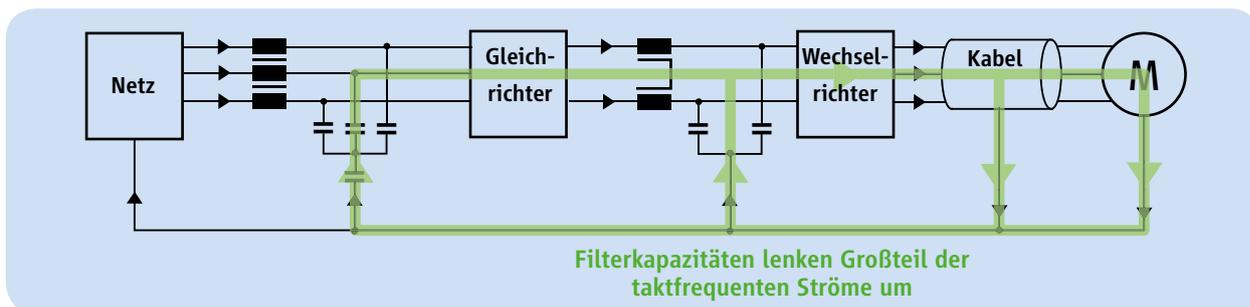
Bild 7: Entstehung und Ausbreitung von Ableitströmen



3.2.1 Betriebsbedingter taktfrequenter Ableitstrom

Der auf der Netzseite fließende Anteil der taktfrequenten Störströme hängt neben den Impedanzen von Motor, Kabel und Netzknoten im entscheidenden Maße von den verwendeten Entstörmaßnahmen ab. Die Filterkapazitäten in Kombination mit den Entstördrosseln leiten den größten Teil des Ableitstroms auf direktem Weg in den Frequenzumrichter zurück, ohne über den Sternpunkt des Transformators zu fließen.

Bild 8: Theoretische Betrachtung der taktfrequenten Ableitströme



3.2.2 Netzfrequenter Ableitstrom

Zu den vorher beschriebenen taktfrequenten Ableitströmen treten Ableitströme im Bereich der Netzfrequenz hinzu.

- Bei 3-phasigen Geräten (B6-Schaltung) treten vom Zwischenkreis gegen Erde die ungeraden Vielfachen der Netzfrequenz auf, die durch drei ganzzahlig teilbar sind (150 Hz, 450 Hz, 750 Hz).
- Bei zweiphasiger Einspeisung tritt nahezu das gesamte Frequenzband bis 1 kHz auf.
- Weiterhin werden drehstromseitig installierte Entstörkondensatoren durch Unsymmetrien des Versorgungsnetzes angeregt und es entsteht ein weiterer Ableitstrom, der über den Sternpunkt des Transformators fließt.

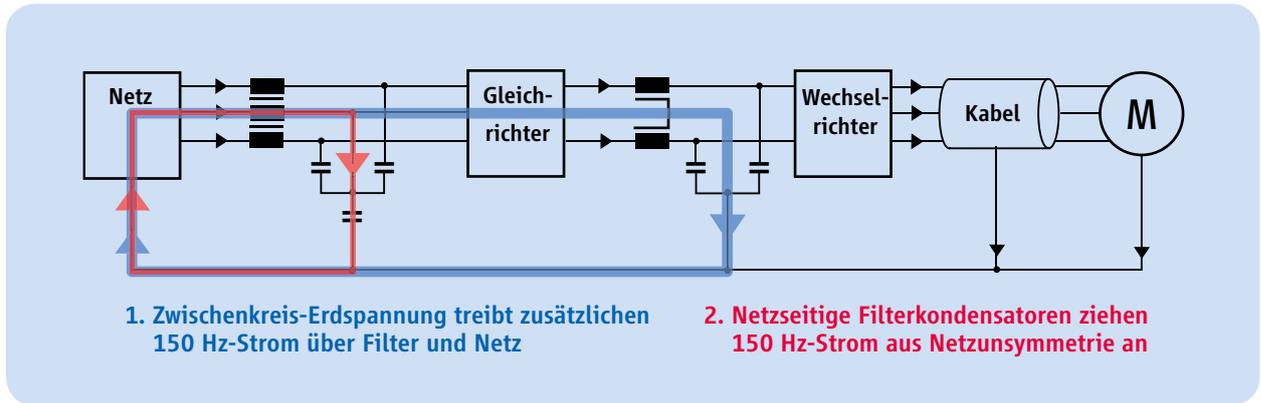


Bild 9: Theoretische Betrachtung der netzfrequenten Ableitströme

3.3 Abhängigkeit der Ableitströme von verschiedenen Einflussfaktoren

- Nennleistung des Frequenzumrichters**
 Bedingt durch den internen Aufbau steigt der Ableitstrom mit zunehmender Umrichtergröße.
- Ausführung und Baugröße des Motors**
 Größere Motore weisen auch höhere Ableitkapazitäten (= Wicklungskapazität gegen Erde) auf. Bedingt durch die Bauart ist sie z. B. bei Torque-Motoren besonders hoch.
- Motorkabel**
 Motorkabel mit Schirmgeflecht, welches direkt niederimpedant mit dem Umrichter verbunden ist, wird nur einen kleinen Teil des Ableitstroms über Erde fließen lassen.
- Länge des Motorkabels**
 Es muss mit einem kapazitiven Ableitstrom von 0,5 bis 2 mA/m Motorkabel gerechnet werden.
- Aufbau des Motorkabels (symmetrisch oder unsymmetrisch oder Einzeladern)**
 Je nach Kabeltyp kann der Ableitstrom geringer ausfallen. Symmetrische Kabel erreichen Werte unter 0,5 mA/m. Einzeladerverlegung erzeugt höheren Ableitstrom und magnetische Felder.
- Funkentstörfilter bzw. Funkentstörgrad (Kategorie C1 bis C4 nach DIN EN 61800-3 bzw. Klasse B oder A nach DIN EN 55011)**
 Funkentstörmaßnahmen sind üblicherweise gegen Erde geschaltet und erzeugen bei hoher Wirkung (Kategorie C1 bzw. Klasse B) einen höheren Ableitstrom als solche für niedrigere Funkentstörung (Kategorie C3/C4 bzw. Klasse A).
- Umrichterausgangfilter (Motordrosseln, du/dt-Filter, Sinus-Filter)**
 Einsatz von Induktivitäten und Filtern auf der Umrichterausgangsseite reduziert den Ableitstrom.
- Frequenzumrichter – Taktfrequenz und Modulation**
 Mit höherer Taktfrequenz steigt in der Regel der Ableitstrom an. Unterschiedliche Modulationsverfahren haben nur einen sehr geringen Einfluss auf Ableitströme.
- Erdung des Frequenzumrichters, des Kabels und des Motors**
 Der Ableitstrom muss wieder zur Quelle (Umrichterzwischenkreis) zurückgeführt werden (siehe Bild 8). Geschieht dies auf direktem Weg niederimpedant vom Motor und dem Kabel zum Umrichter, so ist der zurückfließende Anteil über die Erde und das Netz gering.
- Netzunsymmetrie und Netztransienten**
 Sind Netzunsymmetrie und -transienten vorhanden, wird von den Filtermaßnahmen ein höherer Ableitstrom zur Erde fließen, als in der Spezifikation üblicherweise angegeben.
- Gepulster Netzstromrichter (AIC, AFE)**
 Die Höhe der Ableitströme wurden bisher nicht hinreichend untersucht.

- **Netzspannung**

Mit zunehmender Netzanschluss-Spannung steigen die Ableitströme.

- **Höherfrequente Anteile bzw. Oberschwingungen in der Netzspannung**

Rundsteuersignale, Datenübertragungen und Oberschwingungen in der Versorgungsspannung führen zu einem höheren Ableitstrom.

- **Statischer oder dynamischer Betrieb des Antriebes**

Im statischen Betrieb werden bei kleinen Drehzahlen die höchsten taktfrequenten Ableitströme erreicht.

Im dynamischen Betrieb erzeugen Antriebe durch Einschwingvorgänge einen erhöhten Ableitstrom während der Leistungsänderung.

- **Einschaltstrombegrenzung**

Umrichter ohne Einschaltstrombegrenzung können je nach Bauart während der Zuschaltung hohe Ableitstromspitzen erzeugen.

- **Überlastbetrieb**

Wird das Antriebssystem im Überlastbereich betrieben, so wird in dieser Zeit meistens auch der Ableitstrom erhöht sein. Dies ist dadurch bedingt, dass der höhere, symmetrische Strom teilweise auch zu einer höheren Aussteuerung der Filterdrosseln beiträgt und somit deren Induktivität reduziert.

Vor der erstmaligen Inbetriebnahme einer Anlage muss der Errichter die Erfüllung der Schutzmaßnahme nachweisen. Die dazu notwendige Prüfung wird in DIN VDE 100-610 beschrieben und geeignete Prüfgeräte sind auf dem Markt vorhanden. Der Anlagenbetreiber selbst hat dann die ordnungsgemäße Funktion sicherzustellen.

3.4 Schutzleiterstrom

Es müssen Maßnahmen in der Anlage und in den Betriebsmitteln getroffen werden, um zu verhindern, dass übermäßige Schutzleiterströme auftreten, die die Sicherheit oder die bestimmungsgemäße Nutzung der elektrischen Anlage beeinträchtigen. Verträglichkeit muss sichergestellt werden für Ströme aller Frequenzen, die zu den Betriebsmitteln übertragen werden oder die von den Betriebsmitteln erzeugt werden.

Für den Schutzleiterstrom sind für Bemessungsfrequenzen 50 Hz oder 60 Hz gemäß der DIN EN 61140 Grenzen für betriebsfertige Betriebsmittel mit Wechselspannungsanschluss angegeben. Je nach Anschluss und Bemessungsstrom gelten unterschiedliche Grenzwerte von 5mA (z. B. steckbare Betriebsmittel bis 32A) oder 10mA (z. B. dauerhaft angeschlossene Betriebsmittel).

Für Verbrauchsmittel für dauerhaften Anschluss, bei denen der Anschluss eines verstärkten Schutzleiters vorgesehen ist, liegt die Obergrenze bei 5 % des Bemessungsstromes je Außenleiter.

3.5 Berührungsstrom

→ **Fehlerfall: Unterbrochene PE-Verbindung zum Antriebssystem (Berührungsstrom)**

Um eine Personengefährdung beim unbeabsichtigten Lösen der Schutzleiterverbindung zu verhindern, gibt der Hersteller des elektrischen Antriebssystems an, ob der Berührungsstrom (Schutzleiterstrom) bei Wechselstrom größer als 3,5 mA und bei Gleichstrom größer als 10 mA, ist.

Falls der Berührungsstrom diese Höhe übersteigt, müssen eine oder mehrere der nachfolgenden Maßnahmen durchgeführt werden.

a) ortsfester Anschluss und

- ein Querschnitt des Schutzleiters von mindestens 10 mm² Cu oder 16 mm² Al;
- automatische Abschaltung des Netzes bei Unterbrechung des Schutzleiters;
- zusätzlichen Schutzleiter mit demselben Querschnitt wie der ursprüngliche Schutzleiter;

oder

b) Anschluss mit einem Steckverbinder für industrielle Anwendungen nach IEC 60309 (CEE-Steckverbinder) und

- ein Mindestquerschnitt des Schutzleiters von 2,5 mm² als Teil eines mehradrigen Versorgungskabels;
- eine angemessene Zugentlastung muss vorhanden sein.

Anmerkung: Der Wert des Berührungsstroms hat keinen Bezug zum betriebsbedingten Ableitstrom und aus diesem Wert kann keine Aussage zur Verträglichkeit mit der Fehlerstrom-Schutzeinrichtung getroffen werden.

Quelle: DIN EN 60990, DIN EN 50178, DIN EN 61800-5-1

3.6 Fehlerstrom

→ Fehlerfall: Erdschluss

Ein Erdschluss ist eine niederohmige Verbindung der spannungsführenden Teile mit Erde. Sie entstehen durch Isolationsfehler z. B. durch Schmutz, Feuchtigkeit oder Beschädigung der Isolierung. Beim Fehlerstrom muss unterschieden werden, an welcher Stelle der Erdschluss auftritt.

a. Fehlerort vor dem Antriebssystem

Zwischen Fehlerstrom-Schutzeinrichtung und Frequenzumrichter treten netzfrequente Wechselfehlerströme auf.

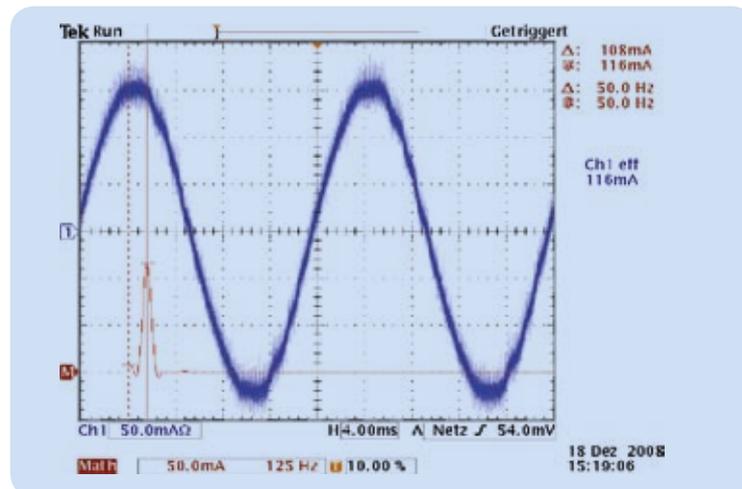


Bild 10: Fehlerstrom vor den Netzanschlussklemmen

b. Fehlerort innerhalb des Antriebsgrundmoduls

Innerhalb des Frequenzumrichters (zwischen Eingangsgleichrichter und Ausgangselektronik, d. h. im Gleichstromzwischenkreis) treten nahezu glatte Gleichfehlerströme auf.

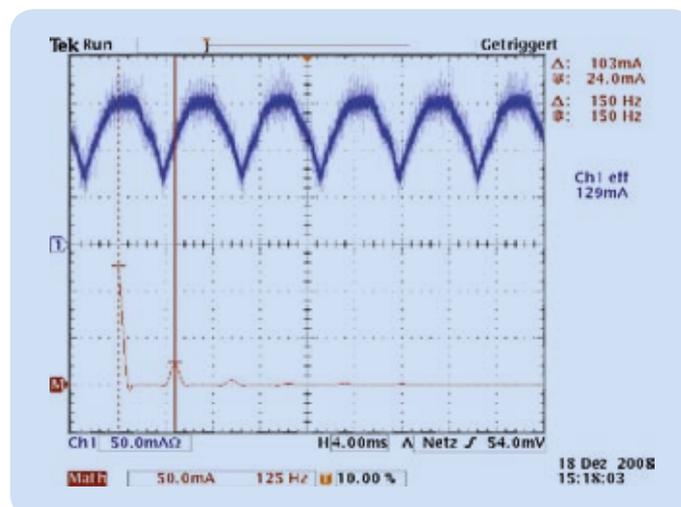


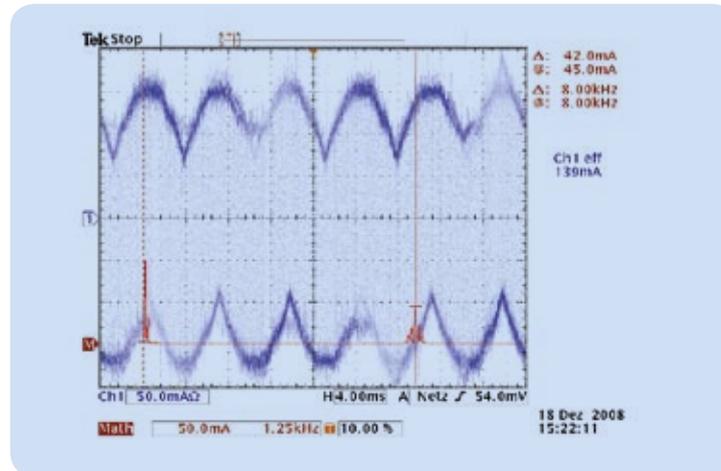
Bild 11: Fehlerstrom innerhalb des Frequenzumrichters



Bild 12: Fehlerstrom auf der Ausgangsseite des Frequenzumrichters

c. Fehlerort auf der Ausgangsseite des Frequenzumrichters

Auf der Abgangsseite des Frequenzumrichters bis zum Motor treten von der Netzfrequenz und Sinusform abweichende Wechselfehlerströme auf. Es handelt sich hierbei um ein Frequenzgemisch mit unterschiedlichen Anteilen der einzelnen Frequenzen. Je nach Betriebsart des Frequenzumrichters kann es auch zu glatten Gleichfehlerströmen kommen.

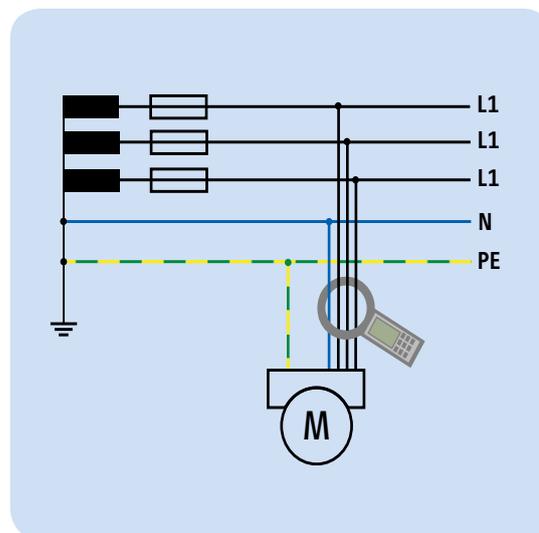


3.7 Messen von Strömen

Die unterschiedlichen Ströme, die in diesem Zusammenhang eine Rolle spielen werden auch unterschiedlich gemessen. Der Begriff Ableitstrom ist allgemein und kann alle die folgenden Ströme meinen.

Der Berührungsstrom wird bei unterbrochenem PE als Spitzenwert über einer Körperrachbildung nach DIN EN 60990 gemessen. Ein Fehlerstrom wird als Spannung gemessen über einem Widerstand, der als definierte Impedanz zur Nachbildung eines Isolationsfehlers eingebracht wird.

Bild 13: Messung mit der Stromzange über allen aktiven Leitern



Mit einer Stromzange über dem Schutzleiter kann der Schutzleiterstrom einer Anlage gemessen werden. Mit einer Stromzange über allen aktiven Leitern können Differenzströme gemessen werden. Nach diesem Prinzip arbeiten auch die Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen, es wird der Strom gemessen, der hin- aber nicht mehr den vorgegebenen Weg zurück fließt. Der „fehlende“ Strom, der Differenzstrom kann als Ableitstrom, Schutzleiterstrom, Berührungsstrom oder Fehlerstrom abfließen.

In den meisten Fällen wird Wert darauf gelegt, den Leiter eben nicht auftrennen zu müssen, sondern schnell einen reproduzierbaren Wert, der auch nachvollziehbar ist, zu erhalten.

Am einfachsten und schnellsten gemessen werden kann mit einer entsprechend empfindlichen Stromzange über allen aktiven Leitern.

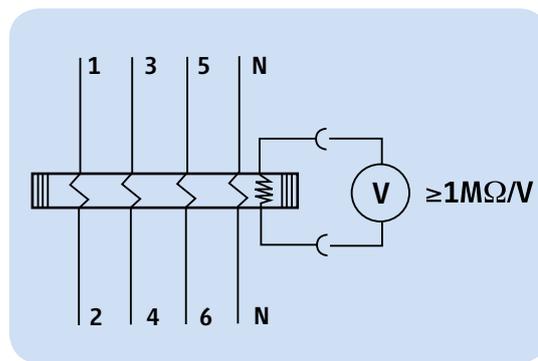
Empfehlenswert sind auch Kombinationen aus Zangenstromwandler und separatem Anzeigergerät. Wenn der Zangenstromwandler sehr empfindlich und handlich ist, das Anzeigergerät über ein genügend langes Kabel angeschlossen ist, dann hat man eine sehr große Flexibilität erreicht. Unabhängig von der Position des Zangenstromwandlers kann der Messwert ungestört abgelesen werden.

Eine ähnliche Funktionalität haben Zangenstromwandler, die an Mess- und Prüfgeräte angeschlossen werden können. Damit können Ableitströme in elektrischen Anlagen oder an elektrischen Verbrauchern unmittelbar im Zusammenhang mit den Prüfungen der Wirksamkeit von Schutzmaßnahmen überprüft werden. Bei elektrischen Verbrauchern ist diese Messung Bestandteil der regelmäßigen Wartung der Geräte.

Eine weitere Möglichkeit zur Messung von Ableitströmen sind speziell auf den Frequenzgang der jeweiligen Fehlerstrom-Schutzeinrichtung abgestimmte „Ableitstrom-Messgeräte“ oder Differenzstrom-Analysesysteme.

Ableitstrom-Messgeräte werden in den zu schützenden Stromkreis in der selben Art wie ein Fehlerstrom-Schutzschalter eingebaut (s. Bild 14). Damit lässt sich der in der Anlage während des normalen Betriebs fließende Ableitstrom messen.

Bild 14: Schaltbild für Ableitstrom-Messgerät mit Spannungsmesser



Die Funktion des Ableitstrommessgerätes ist dieselbe wie die einer Fehlerstrom-Schutzeinrichtung. Es erfolgt dabei aber keine Abschaltung, sondern der Ableitstrom wird über den Wandler des Messgerätes in eine Spannung umgewandelt, die an Messbuchsen abgegriffen und über ein hochohmiges Spannungsmessgerät abgelesen werden kann. Die mitgelieferte Eichkurve erlaubt den Rückschluss auf den Gesamteffektivwert des Ableitstromes wie er von der Fehlerstrom-Schutzeinrichtung erfasst wird.

Für eine umfassende Analyse von Differenzströmen sind spezielle Differenzstrom-Analysesysteme verfügbar, die den Differenzstrom in einem breiten Frequenzband über Durchsteckwandler erfassen und über eine Analog-/Digitalwandlereinheit einem PC mit entsprechender Analysesoftware verfügbar machen. Diese Geräte ermöglichen neben unbewerteten auch bewertete Messungen von Differenzströmen (entsprechend dem Frequenzgang der Fehlerstrom-Schutzeinrichtung). Durch die Analyse einzelner Frequenzanteile lassen sich häufig die Verursacher von Ableitströmen ermitteln.

Empfehlung:

- Die obere Grenzfrequenz der Messeinrichtung muss mindestens der oberen Auslöse-Grenzfrequenz der Fehlerstrom-Schutzeinrichtung entsprechen. Handelsübliche Strommesszangen für Messung im 50/60 Hz-Bereich erfüllen diese Anforderung meistens nicht.
- Eine Messung mit Stromzange und Oszilloskop kann nur einen groben Richtwert über die Verträglichkeit von Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen und Frequenzumrichtern liefern.
- Für einen störungsfreien Anlagenbetrieb wird ein Ableitstrom von max. dem 0,4-fachen des Bemessungsfehlerstroms $I_{\Delta n}$ der Fehlerstrom-Schutzeinrichtung empfohlen.
- Messungen mit einem Differenzstrom-Überwachungsgerät (RCM), wenn dieses den gleichen Frequenzgang des Auslösestroms – wie die Fehlerstrom-Schutzeinrichtung – aufweist.
- Der gesamte Betriebsbereich des Antriebes ist zu betrachten, um den maximalen Ableitstrom festzustellen. Ebenso ist der dynamische Betrieb des Antriebes zu berücksichtigen.

4 Schutz gegen elektrischen Schlag (auch „Personenschutz“ genannt)

4.1 Allgemein

Eine Schutzmaßnahme für den Schutz gegen elektrischen Schlag muss bestehen aus:

- einer geeigneten Kombination von zwei unabhängigen Schutzvorkehrungen, nämlich einer Basisschutzvorkehrung und einer Fehlerschutzvorkehrung, oder
- einer verstärkten Schutzvorkehrung, die sowohl den Basisschutz als auch den Fehlerschutz bewirkt.

Die Schutzvorkehrung für den Basisschutz (früher „Schutz gegen direktes Berühren“ genannt) verhindert das direkte Berühren unter Spannung stehender (aktiver) Teile der elektrischen Anlage, z. B. durch Isolierung.

Die Schutzvorkehrung für den Fehlerschutz (früher „Schutz bei indirektem Berühren“ genannt) verhindert, dass im Fehlerfall bei Versagen der Schutzvorkehrung für den Basisschutz eine gefährliche Berührungsspannung auftritt bzw. an leitfähigen Teilen bestehen bleiben kann, z. B. durch automatische Abschaltung der Stromversorgung.

Eine Kombination von Basis- und Fehlerschutzvorkehrungen für den Schutz von Personen ist die Schutzmaßnahme „Automatische Abschaltung der Stromversorgung“. Für die Fehlerschutzvorkehrung werden Schutzeinrichtungen, wie z. B. Fehlerstrom – Schutzeinrichtungen angewendet, die das automatische Abschalten der Stromversorgung innerhalb festgelegter Zeiten bewirken. Die folgenden Schutzmaßnahmen können mit Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen erreicht werden:

- Fehlerschutz (Schutz bei indirektem Berühren), solange die Abschaltbedingungen des Netzsystems eingehalten werden, z. B. mit Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen $I_{\Delta n} \leq 500 \text{ mA}$;
- Zusätzlicher Schutz mit Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen $I_{\Delta n} \leq 30 \text{ mA}$.

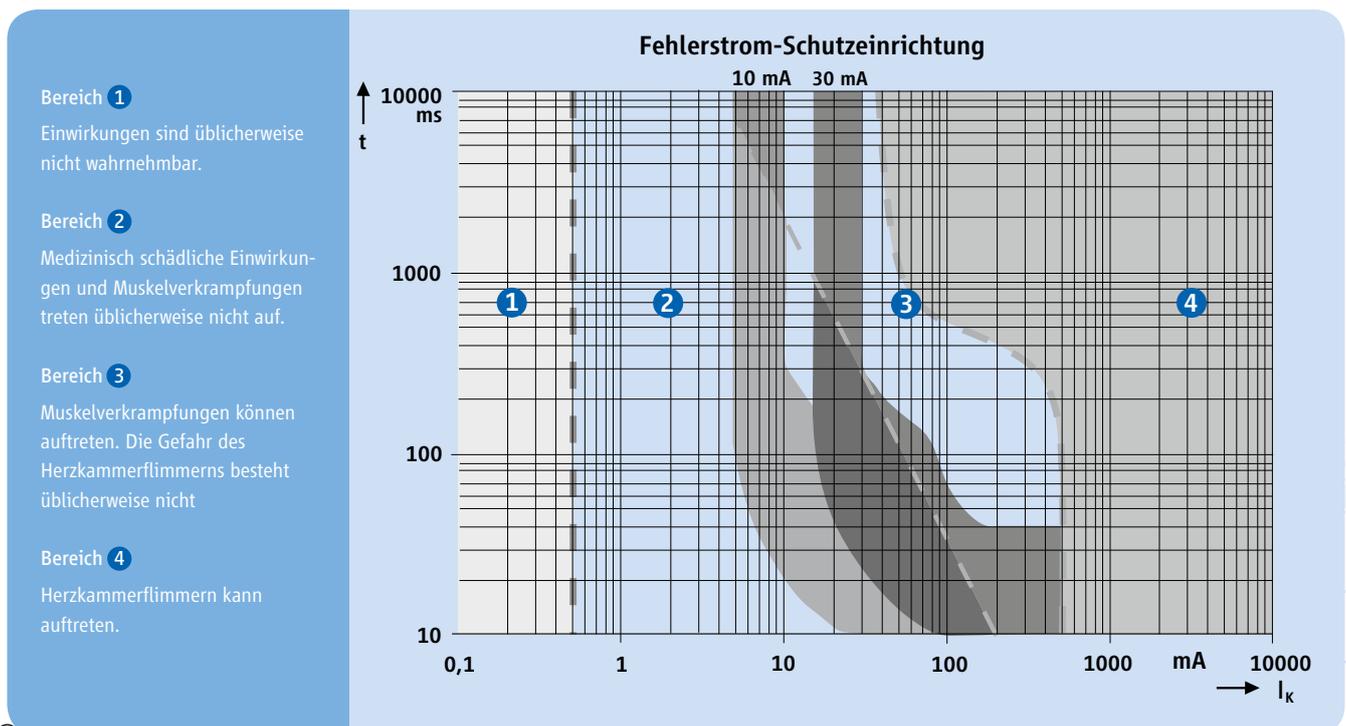
Wie aus den Auslösekurven von Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen in Verbindung mit den Strom-/Zeitkennlinien zur Wirkung des elektrischen Stromes I_k auf den Menschen zu entnehmen ist, begrenzen Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen nicht die Höhe des Fehlerstromes, sondern erzielen die Schutzwirkung durch die rasche Abschaltung und damit geringe Einwirkungsdauer t des Stromes.

Bild 15: Auslösekurven Stromstärkebereiche nach DIN IEC /TS 60479-1 für Wechselstrom bis 100 Hz

I_k Strom durch den menschlichen Körper

t Einwirkungsdauer des Stromes auf den menschlichen Körper

10 mA / 30 mA Auslösebereiche der Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen mit dem entsprechenden Bemessungsfehlerstrom



Bei der Betrachtung der Schutzwirkung bei Fehlern auf der Abgangsseite eines Frequenzumrichters sind neben dem Auslöseverhalten der Fehlerstrom-Schutzeinrichtung auch die Frequenzanteile im Fehlerstrom zu berücksichtigen.

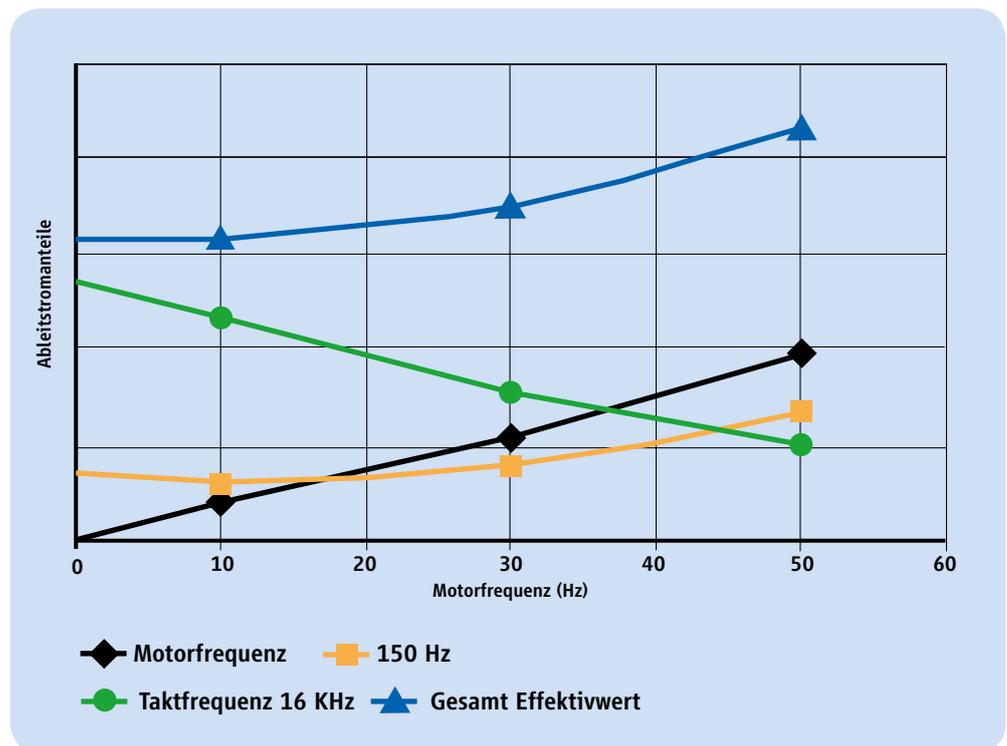
Als maßgebliche Frequenzanteile treten nach dem Frequenzumrichter folgende Anteile auf:

- Taktfrequenz des Frequenzumrichters (einige kHz, typisch bis max. 20 kHz);
- Motorfrequenz (meist 0 bis 50 Hz, maximal bis 1 kHz);
- 3. Oberschwingung von 50 Hz (150 Hz bei 3-Phasen-Anschluss des Frequenzumrichters).

Bild 16 zeigt beispielhaft diese wesentlichen Frequenzanteile an einem Fehlerwiderstand von 1 k Ω . Es ändern sich lediglich die Anteile der einzelnen Komponenten. Das Beispiel zeigt, dass mit steigender Motorfrequenz der Anteil der Taktfrequenz am Gesamtfehlerstrom abnimmt und der Anteil der Motorfrequenz zunimmt.

Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen des Typs B und Typs B+ erfassen diese Anteile entsprechend ihrer Auslösekennlinie in unterschiedlicher Gewichtung. Die Grenzen für die Auslösewerte sind in den Produktnormen für Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen Typ B bis 2 kHz und für Typ B+ bis 20 kHz definiert.

Bild 16: Beispiel des Verhaltens unterschiedlicher Frequenzanteile im Fehlerstrom eines Frequenzumrichters

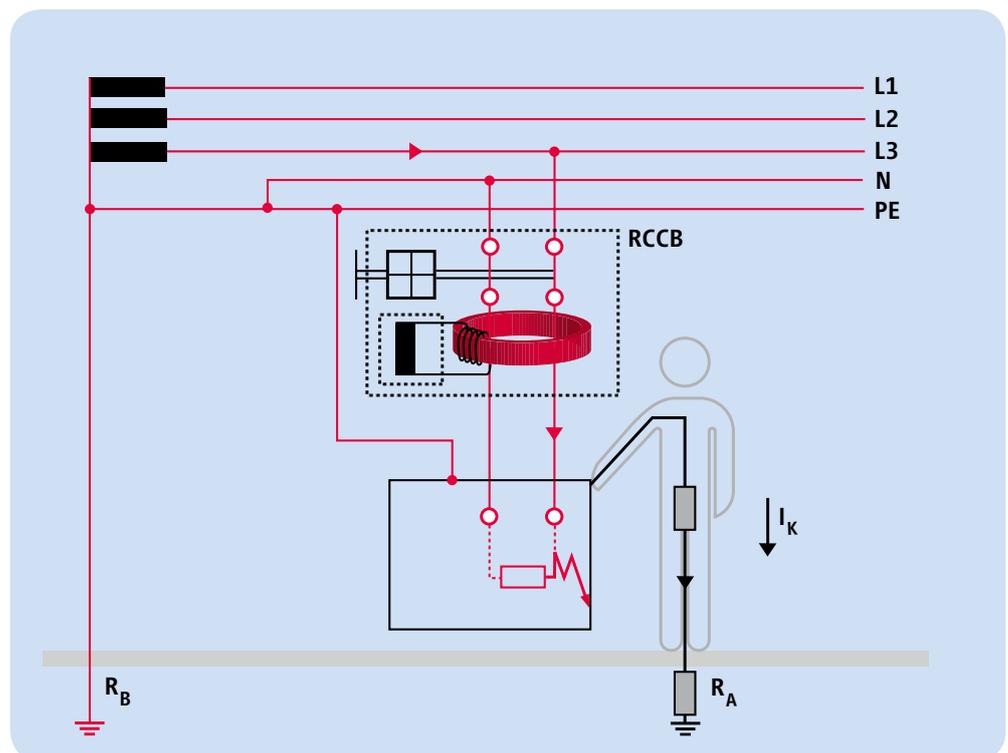


4.2 Fehlerschutz (früher „Schutz bei indirektem Berühren“ genannt)

Der Fehlerschutz verhindert, dass im Fehlerfall (Versagen des Basisschutzes) eine gefährliche Berührungsspannung an berührbaren elektrischleitfähigen Teilen auftritt bzw. bestehen bleiben kann. Gefordert ist in diesen Fällen die automatische Abschaltung der Stromversorgung, wenn durch einen Fehler auf Grund der Größe und Dauer der auftretenden Berührungsspannung ein Risiko entstehen kann.

Hierzu sind auch Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen mit Bemessungsfehlerströmen über 30 mA geeignet. Um die Schutzwirkung zu erzielen, sind die Abschaltbedingungen nach DIN VDE 0100-410 einzuhalten.

Bild 17: Fehlerschutz mit Fehlerstrom-Schutzschalter RCCB im TN-System



Für den Fehlerschutz bei Wechselfehlerströmen mit von der Netzfrequenz abweichenden Frequenzen (wie z. B. nach Frequenzumrichtern) mit allstromsensitiven Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen des Typs B und des Typs B+ sind die Herstellerangaben zum maximal zulässigen Erdungswiderstand zu beachten.

4.3 Zusätzlicher Schutz (früher „Schutz bei direktem Berühren“ genannt) mit $I_{\Delta n} \leq 30 \text{ mA}$

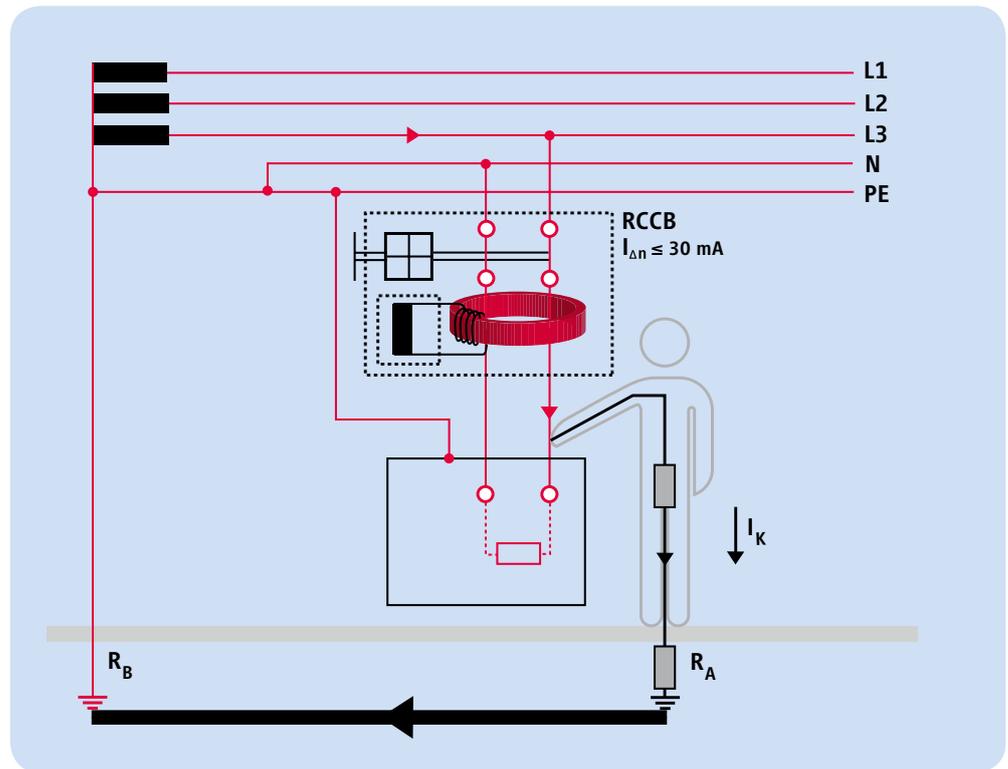
Der zusätzliche Schutz durch Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen mit $I_{\Delta n} \leq 30 \text{ mA}$ wird bei Anwendung der Schutzmaßnahme „automatische Abschaltung der Stromversorgung“ in bestimmten Fällen, in denen mit erhöhter Gefährdung zu rechnen ist, gefordert. Durch diese Maßnahme soll auch bei direktem Kontakt eines Menschen mit einem betriebsmäßig unter Spannung stehenden aktiven Teil Personenschutz gegeben werden.

Dieser zusätzliche Schutz wird für Bereiche mit erhöhten Risiken in DIN VDE 0100 in den Gruppen 4 und 7 gefordert. Dies hat sich als zusätzlicher Schutz beim Versagen der Vorkehrungen für den Basisschutz und/oder von Vorkehrungen für den Fehlerschutz ebenso wie bei Unachtsamkeiten bei Umgang mit elektrischer Energie durch Benutzer bewährt.

Sofern ein Mensch aktive Teile berührt, bestimmen insbesondere zwei in Reihe liegende Widerstände die Höhe des fließenden Stromes – der Innenwiderstand des Menschen und der Standortübergangswiderstand.

Durch das Abschaltverhalten der Fehlerstrom-Schutzeinrichtung mit $I_{\Delta n} \leq 30 \text{ mA}$ wird der Gefahr des Herzkammerflimmerns entgegen gewirkt.

Bild 18: Zusätzlicher Schutz mit Fehlerstrom-Schutzschalter RCCB mit $I_{\Delta n} \leq 30 \text{ mA}$ im TN-System



Bei Einsatz von elektronischen Betriebsmitteln können, wie zum Beispiel auf der Abgangsseite eines Frequenzumrichters, neben den in Bild 6 gezeigten Fehlerstromformen auch Wechselfehlerströme unterschiedlichster Frequenzen entstehen. Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen des Typs A sind dafür nicht ausgelegt.

Für Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen des Typs B und des Typs B+ sind in den Produktnormen erweiterte Auslösebedingungen bis 2 kHz (Typ B) bzw. 20 kHz (Typ B+) definiert. Der Auslösewert der Schutzschalter liegt dabei immer unterhalb der mit der Frequenz ansteigenden Grenzkurve (Empfindlichkeit des Menschen nimmt ab) für das gefährliche Herzkammerflimmern (DIN IEC/TS 60479-1).

5 Hinweise zum Brandschutz

Durch Anwendung von Schutzmaßnahmen in den Stromkreisen der elektrischen Anlage ist noch kein ausreichender Brandschutz sichergestellt. Fehler in elektrischen Anlagen stellen nur einen Teil der Brandursachen dar. Daher sind bei der Risikobeurteilung für den Brandschutz noch viele andere Maßnahmen bezüglich nicht elektrischer Brandursachen zu betrachten. Umfangreiche Informationen werden u.a. vom VdS-Schadenverhütung GmbH und den Berufsgenossenschaften veröffentlicht.

5.1 Schutz vor Bränden mit Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen $I_{\Delta n} \leq 300 \text{ mA}$

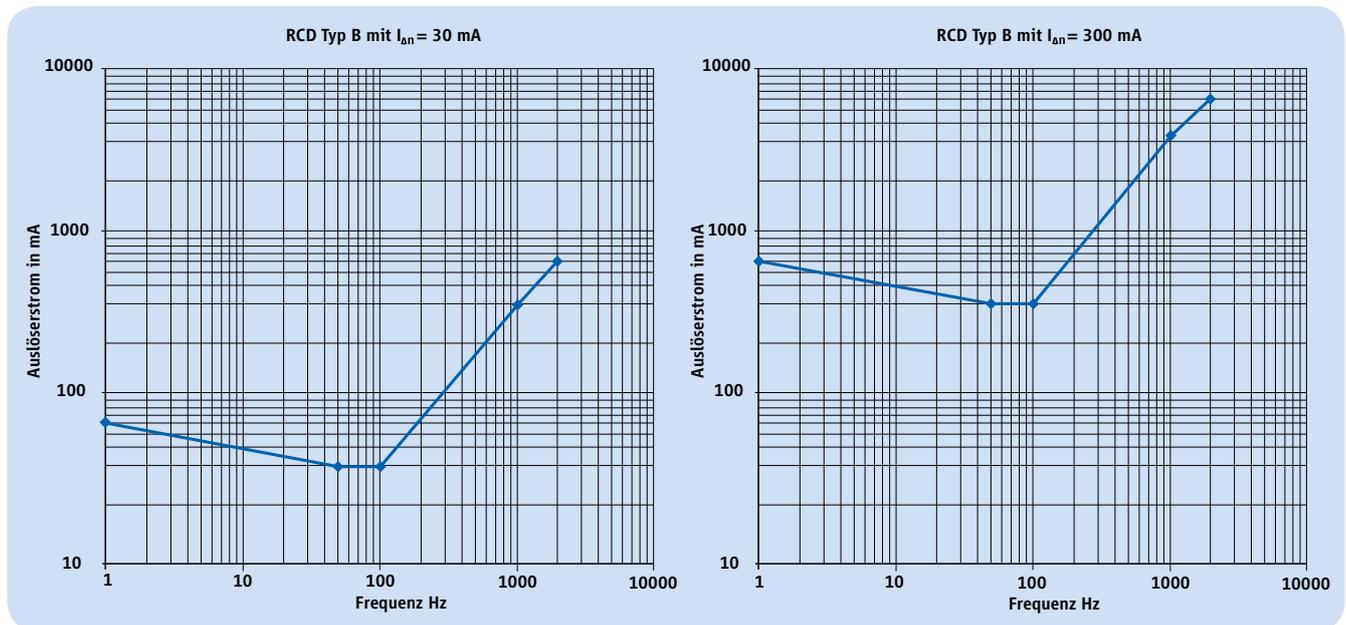
DIN VDE 0100 - 482 „Brandschutz bei besonderen Risiken oder Gefahren“ stellt Anforderungen zur Verhütung von Bränden, die durch Isolationsfehler entstehen können. Danach müssen Kabel- und Leitungsanlagen in TN- und TT-Systemen durch Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen mit $I_{\Delta n} \leq 300 \text{ mA}$ bei Isolationsfehlern geschützt werden, die eine der nachfolgenden Betriebsmittelnormen erfüllen:

- DIN EN 61008-1 (FI-Schutzschalter Typ A);
- DIN EN 61009-1 (FI/LS-Schalter Typ A);
- E DIN VDE 0664-100 (FI-Schutzschalter Typ B).

Anmerkung: Zusätzlich zu den genannten Betriebsmittelnormen erfüllen auch Geräte nach E DIN VDE 0664-200 (FI/LS-Schalter Typ B) diese Anforderungen (diese Norm wurde nach dem Veröffentlichungsdatum der DIN VDE 0100-482 in enger Anlehnung an E DIN VDE 0664-100 erstellt).

Bild 19: Maximal zulässige Auslöseströme für Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen (RCDs) des Typs B

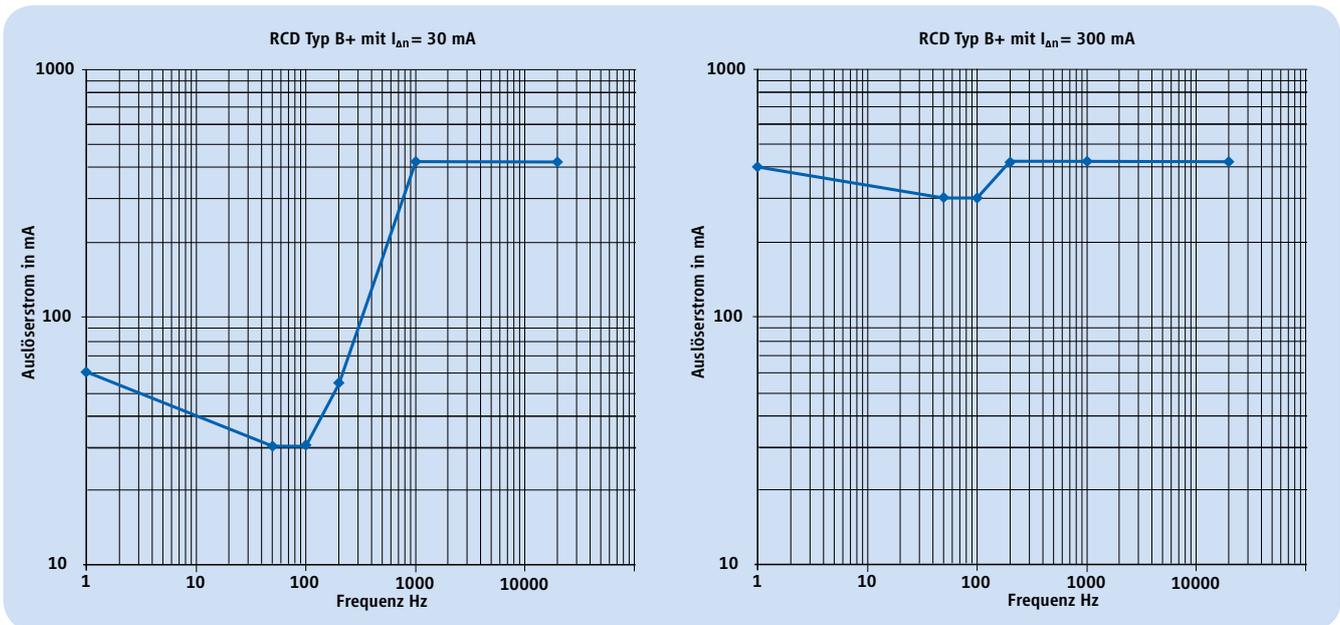
Geräteanforderungen, wie z. B. die Abschaltbedingungen, sind in den benannten Normen definiert. Die Anforderungen an Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen des Typs B sind entsprechend der nationalen Norm (E DIN VDE 0664-100 bzw. E DIN VDE 0664-200) bis 2 kHz festgelegt. Dabei steigt der zulässige Auslösewert mit der Frequenz an (s. Bild 19).



Mit diesen Geräteausführungen wird im Vergleich zu Leitungsschutzschaltern ein weitergehender Beitrag zum Schutz gegen elektrisch gezündete Brände erreicht. Da im Fehlerstrom unterschiedliche Frequenzanteile enthalten sind, ist auch bei Taktfrequenzen im kHz-Bereich ein Beitrag zum Brandschutz bei Erdfehlerströmen möglich. Bei Mischfehlerströmen mit hohen taktfrequenten Anteilen kann die Auslöseschwelle jedoch über der für den Brandschutz gültigen Obergrenze des Auslösestromes liegen.

Bild 20: Maximal zulässige Auslöseströme für Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen des Typs B+

Für einen gehobenen vorbeugenden Brandschutz bei Erdfehlerströmen ist in Deutschland eine spezielle Kennlinie für Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen des Typs B+ genormt (DIN V VDE V 0664-110 für Fehlerstrom-Schutzschalter, DIN V VDE V 0664-210 für FI/LS-Schalter). Auch diese Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen des Typs B+ können für den Brandschutz nach DIN VDE 0100-482 eingesetzt werden und zeichnen sich dadurch aus, dass der Auslösewert bei Bemessungsfehlerströmen ≤ 300 mA bis zu Frequenzen von 20 kHz maximal 420 mA betragen darf (s. Bild 20). Dadurch lässt sich das Risiko von elektrisch gezündeten Bränden auf Grund von Erdfehlerströmen weiter reduzieren, allerdings steigt das Risiko von Fehlauslösungen beim Betrieb mit Frequenzumrichtern an.



5.2 Erdschluss- und kurzschlussfeste Verlegung

Als Alternative zur Fehlerstrom-Schutzeinrichtung ist in feuergefährdeten Betriebsstätten nach DIN VDE 0100-482 auch eine erdschluss- und kurzschlussfeste Verlegung möglich. Die Ausführung selbst ist in DIN VDE 0100-520 festgelegt.

Hierdurch wird die Wahrscheinlichkeit von Isolationsfehlern stark herabgesetzt. Dadurch lässt sich ein effektiver Schutz gegen Brandgefahren erreichen, ohne das Risiko von Fehlauslösungen bei bestehenden Ableitströmen eingehen zu müssen.

Beispiele sind:

- Installation in geschlossenen Schienensystemen;
- Verwendung mineralisolierter Kabel;
- Verlegung von Aderleitungen oder einadrige Kabel/Leitungen in separaten Zügen von Elektro-Installationskanälen oder einzeln in Elektro-Installationsrohren.



6 Lösungsmöglichkeiten für Schutzmaßnahmen beim Einsatz von Antriebssystemen

In der Praxis sollen unbeabsichtigte Auslösungen der Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen vermieden werden. Bei der Projektierung von Anlagen müssen typische Einsatzbedingungen der elektrischen Betriebsmittel und der Versorgungsnetze berücksichtigt werden. Bei Einhaltung dieser Bedingungen zeigen Erfahrungswerte, dass eine Fehlerstrom-Schutzeinrichtung mit 30mA Bemessungsdifferenzstrom bei Anschluss eines Antriebs mit einer Leistung von bis zu 500 Watt, bzw. eine Fehlerstrom-Schutzeinrichtung mit 300 mA Bemessungsdifferenzstrom bei Anschluss eines Antriebs mit einer Leistung von bis zu 5 kW in der Regel zufriedenstellend arbeitet (Motorleitungslänge kleiner 10 m).

6.1 Maßnahmen zur Verbesserung der Verträglichkeit von Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen mit Antriebssystemen

Sollen Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen eingesetzt werden, muss vom Errichter der Anlage die gegenseitige Verträglichkeit zwischen diesen und der Anlage oder Maschine mit dem Antriebssystem geprüft werden, damit das unbeabsichtigte Auslösen der Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen vermieden wird. Die folgenden Maßnahmen verbessern das Verhalten, können aber die Verträglichkeit nicht automatisch sicherstellen.

6.1.1 Einschaltstrombegrenzung

Um die Einschaltströme klein zu halten, sollten Geräte mit Einschaltstrombegrenzung verwendet werden.

6.1.2 kurzzeitverzögerte Fehlerstrom-Schutzeinrichtung

Netztransienten bewirken eine unsymmetrische Aufteilung im Drehstromsystem und damit einen zusätzlichen Anteil des Ableitstroms. Dieses gilt ebenso beim Einschalten. Gegen schnelle Netzänderungen und Einschaltvorgänge ist der Einsatz von kurzzeitverzögerten oder zeitverzögerten, so genannten selektiven Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen zweckmäßig.

Bei dem Einschalten der Netzspannung und bei Netztransienten erzeugen Filter unsymmetrische Ableitstromspitzen bis zu einigen Ampere im Bereich von Millisekunden, die zur Auslösung führen können. Netztransienten entstehen z.B. auch durch alternde oder defekte Schützkontakte, durch ungleichmäßige Kontaktgabe handbetätigter Schalter oder bei Gewitter.

6.1.3 Separater Netzanschluss

Existieren im vorhandenen Netz Oberschwingungen oder Unsymmetrie, so können diese zusätzliche Ableitstromanteile verursachen. Als Verbesserung könnte ein separater, weniger belasteter Netzanschlusspunkt gewählt werden.

6.1.4 Anzahl der Frequenzumrichter in dem zu schützenden Zweig

Die Anzahl der Antriebe pro Fehlerstrom-Schutzeinrichtung sollte möglichst klein gewählt werden. Dies bedeutet, dass im Idealfall für jeden Antrieb eine eigene Fehlerstrom-Schutzeinrichtung verwendet wird. Soll ein Frequenzumrichter mehrere Motoren antreiben, ist diese Maßnahme nicht anwendbar, da eine Fehlerstrom-Schutzeinrichtung im Ausgang oder im Zwischenkreis des Frequenzumrichters nicht einsetzbar ist.

6.1.5 Nennleistung des Frequenzumrichters

In der Regel haben Antriebssysteme mit hoher Leistung einen höheren Ableitstrom. Sofern von der Anwendung realisierbar, sollte eine Überdimensionierung vermieden werden.

6.1.6 Funkentstörfilter

Aus EMV-Gründen sind Funkentstörfilter erforderlich. Sie erhöhen in der Regel den netzfrequenten Ableitstrom und reduzieren den taktfrequenten Ableitstrom. Der Ableitstrom kann mit ableitstromarmen Netzfiltern reduziert werden, diese Lösung ist jedoch voluminöser und aufwendiger.

Ableitstromarme Netzfilter – die den Berührungsstrom kleiner 3,5mA einhalten – erfordern keinen ortsfesten Anschluss und funktionieren in der Regel auch mit Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen problemlos.

6.1.7 Umrichterausgangsfiler (Motordrosseln, du/dt-Filter, Sinus-Filter)

Induktivitäten und Filter können den Ableitstrom reduzieren, sofern es die Technologie des Antriebssystems zulässt.

Anmerkung: Allpolige Filter, die gegen Masse oder den Zwischenkreis arbeiten, sind für die taktfrequenten Ableitströme dabei wirksamer als Filter, die ohne diesen Bezug arbeiten. Dabei zeigen Sinus-Filter eine bessere Wirkung als du/dt-Filter. Sie erhöhen jedoch leicht die grundfrequenten Ableitströme, sofern sie gegen Masse arbeiten. Bei Servo-Antrieben wird die Dynamik durch Filter negativ beeinflusst und sollte daher vermieden werden.

6.1.8 Motorleitung

- Die Leitungslänge vom Frequenzumrichter zum Motor sollte möglichst kurz sein.
- Kapazitätsarme Motorleitungen mit symmetrischem Aufbau sollten verwendet werden.
- Beim Einsatz von geschirmten Motorleitungen ist der Schirm möglichst niederimpedant (großflächig) mit dem Umrichter zu verbinden.
- Ungeschirmte Leitungen sollten nur mit angepassten Motorfiltern verwendet werden.

6.1.9 Frequenzumrichter – Taktfrequenz und Modulation

Die Taktfrequenz sollte möglichst klein gewählt werden.

Beim Einsatz eines Sinus-Filters muss eine Mindest-Taktfrequenz eingehalten werden. Zusätzlich ist die passende Modulation zu wählen.

6.1.10 Erdungsmaßnahmen

Antriebssysteme sind in der Regel für Schutzerdung nach Schutzklasse 1 der IEC 60364 ausgelegt. In diesem Fall ist für den Überstromschutz eine Erdung der Komponenten erforderlich. Zur Einhaltung von EMV-Grenzwerten für die Emission ist in der Regel ebenfalls eine Erdung der Komponenten des Antriebssystems erforderlich. Es ist daher in der Regel nicht möglich, das Antriebssystem ohne Schutzerdung zu betreiben.

6.1.11 Auswahl der Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen

Bei der Auswahl des geeigneten Typs (Typ A, Typ B oder Typ B+) der Fehlerstrom-Schutzeinrichtung müssen die möglichen Fehlerstromarten und -formen berücksichtigt werden. Der Bemessungsdifferenzstrom muss unter Beachtung des notwendigen Schutzes gewählt werden. Ein hoher Bemessungsdifferenzstrom ist auch mit höheren Ableitströmen verträglich. Treten sehr hohe transiente Ableitströme auf, ist zu prüfen, ob eine selektive Fehlerstrom-Schutzeinrichtung eingesetzt werden kann.

6.1.12 Einsatz eines Trenntransformators

Muss eine Fehlerstrom-Schutzeinrichtung wegen spezieller Bedingungen vor Ort netzeingangsseitig eingesetzt werden, ermöglicht ein Trenntransformator zwischen Netzanschluss und dem Leistungsanschluss des Antriebssystems eine Reduzierung des Ableitstroms auf der Netzseite.

Hierdurch wird der Ableitstrom im Erdleiter des Netzes reduziert, was den Einsatz einer Fehlerstrom-Schutzeinrichtung ermöglicht. Der Sternpunkt der Ausgangswicklung des Trenntransformators wird mit dem Schutzleiter des Antriebssystems verbunden.

Die Impedanz der Fehlerschleife muss dann auf die Überstromschutzeinrichtung abgestimmt werden, damit im Fehlerfall eine Abschaltung erfolgen kann. Vor Betriebsfreigabe ist die ordnungsgemäße Funktion mit Auslösung im Fehlerfall zu überprüfen.

7 Weitere Lösungsmöglichkeiten für Schutzmaßnahmen beim Einsatz von Antriebssystemen

7.1 Überstromschutzeinrichtung zur automatischen Abschaltung der Stromversorgung

Überstromschutzeinrichtungen können zur Realisierung der Schutzmaßnahme „automatische Abschaltung der Stromversorgung“ eingesetzt werden. Dabei sind die Abschaltbedingungen nach DIN VDE 0100-410 einzuhalten. Die Überstromschutzeinrichtung spricht in der Regel nur bei hohen Strömen an. Geringe Ströme, die bereits Brände verursachen können, werden hiermit nicht erkannt oder abgeschaltet. Eine Überstromschutzeinrichtung ist daher nicht als Maßnahme gegen Brandschutz in feuergefährdeten Betriebsstätten zugelassen.

7.2 Einsätze von Differenzstrom-Überwachungsgeräten (RCM)

7.2.1 Überwachung und Meldung von Ableitströmen

Für Überwachungs- und Meldeaufgaben können Differenzstrom-Überwachungsgeräte eingesetzt werden. Durch die optische Anzeige und ggf. vorhandene weitere Signalausgänge (z. B. für akustische Meldung) wird der Anwender über den Anlagenzustand informiert. Dadurch ergibt sich die Möglichkeit den Anstieg von Ableitströmen bereits frühzeitig zu erkennen und Maßnahmen einzuleiten, die eine Betriebsunterbrechung durch das Ansprechen eines Schutzschaltgerätes vermeidet.

Zur Vermeidung ungewollter Meldungen sind die unter 6.1 genannten Effekte zu berücksichtigen. Durch den üblicherweise vorhandenen großen Einstellbereich der Geräte lässt sich eine Anpassung an die Anwendung vornehmen. Dieses sollte man gezielt nutzen, um Fehlauflösungen und -meldungen zu verhindern.

Bei weitgehend konstanten Ableitströmen einer Anlage besteht auch die Möglichkeit diese bei der Einstellung der Ansprechempfindlichkeit des Differenzstrom-Überwachungsgerätes zu berücksichtigen. Wenn dies in Relation zum Auslösewert einer in Reihe liegenden Fehlerstrom-Schutzeinrichtung erfolgt, lassen sich ggf. auch unerwünschte Abschaltungen vermeiden.

Zur Realisierung der Schutzmaßnahme „automatische Abschaltung der Stromversorgung“ nach DIN VDE 0100 -410 sind Differenzstrom-Überwachungsgeräte nicht zulässig.

7.2.2 Einsatz im Brandschutz

Sollte für bestimmte Anwendungsfälle keine geeignete Fehlerstrom-Schutzeinrichtung für den Brandschutz eingesetzt werden können (z. B. wenn der Betriebsstrom größer ist als der größte Bemessungsstrom einer Fehlerstrom-Schutzeinrichtung), dann dürfen Differenzstrom-Überwachungsgeräte verwendet werden. Dies darf aber nur in Verbindung mit einem Schaltgerät mit Trennfunktion (z. B. Leistungsschalter) erfolgen. Weiterhin gilt dafür, dass der Ansprech-Differenzstrom 300 mA nicht übersteigen darf und bei Ausfall der Spannungsversorgung für das Differenzstrom-Überwachungsgerät der überwachte Stromkreis abgeschaltet werden muss.

7.3 Isolationsüberwachungsgeräte (IMD)

Isolationsüberwachungsgeräte werden üblicherweise in IT-Systemen eingesetzt. Solange im IT-System der Fehlerstrom bei einem Einzelfehler gegen einen Körper oder gegen Erde gering ist wird keine Abschaltung gefordert. Ziel ist es bei Erdschluss – also im Einzelfehlerfall – eine Überwachung ansprechen zu lassen, ohne die elektrische Ausrüstung abschalten zu müssen.

Zeigt die Überwachung einen Fehler an, wird der Erdschluss aufgespürt und beseitigt, ohne den Betrieb unterbrechen zu müssen. Erst wenn vor der Beseitigung des ersten Erdschlusses ein zweiter Erdschluss erfolgt, wird abgeschaltet.

Damit ein Isolationsüberwachungsgerät nicht durch Fremdgleichspannung außer Funktion gesetzt werden kann, müssen bei geregelten Antrieben Isolationsüberwachungsgeräte mit geeigneter Messspannung eingesetzt werden.

8 Begriffe (themenbezogene Sortierung)

- **Antriebsgrundmodul (Basic Drive Module: BDM)**
Ein Antriebsgrundmodul enthält den Frequenzumrichter, sowie Regel- und Steuereinrichtungen und Selbstschutzfunktionen.
- **Komplettes Antriebsmodul (Complete Drive Module: CDM)**
Ein komplettes Antriebsmodul besteht aus einem Antriebsgrundmodul BDM und möglichen Erweiterungen, wie der Einspeisung oder einigen Hilfseinrichtungen.
- **Antriebssystem (Power Drive System: PDS)**
Ein Antriebssystem besteht aus einem Motor und einem kompletten Antriebsmodul (CDM).
- **Gemeinsamer Kopplungspunkt an einem öffentlichen Netz (Point of Common Coupling: PCC)**
- **Anlageninterner Kopplungspunkt (In-Plant Point of Coupling: IPC)**
- **HF-Störabstrahlung (Radio Frequency Interference :RFI)**
- **Gesamt- Oberschwingungsgehalt (Total Harmonic Distortion: THD)**
Gesamt- Oberschwingungsgehalt ist das Verhältnis aus Effektivwert aller Oberschwingungen zum Gesamteffektivwert.
- **Erste Umgebung:**
Erste Umgebung = Öffentliches Niederspannungsnetz
- **Zweite Umgebung:**
Zweite Umgebung = Industrielle Umgebung
- **Funktörkategorien**
DIN EN 55011
Klasse A Vorrangig für industrielle und gewerbliche Betriebsräume (zweite Umgebung)
Klasse B Geräte für den Wohnbereich und den Anschluss an das öffentliche Niederspannungsnetz (erste Umgebung)

DIN EN 61800-3
Kategorie C1: PDS < 1000V, Einsatz in der ersten Umgebung
Kategorie C2: PDS < 1000V, für Netzfestanschluss, Einsatz in zweiter Umgebung. Bei Einsatz in der ersten Umgebung Installation und Inbetriebnahme durch Elektro- Fachmann.
Kategorie C3: PDS < 1000V, nur für den Einsatz in der zweiten Umgebung vorgesehen
Kategorie C4: PDS > 1000V oder PDS mit Bemessungsstrom > 400A oder PDS-Einsatz in komplexen Systemen der zweiten Umgebung oder PDS-Einsatz in IT-Systemen
- **TN-System:**
Im TN-System ist ein Punkt direkt geerdet; die Körper der elektrischen Anlage sind über Schutzleiter mit diesem Punkt verbunden.
- **TN-C-System:**
Netzversorgung mit gemeinsamem PE- und N-Leiter (PEN).
- **TN-S-System:**
Netzversorgung mit getrenntem PE- und N-Leiter (Kopplungspunkt einzig an der Einspeisung).
- **TN-C-S-System**
Zunächst Netzversorgung mit gemeinsamem PE- und N-Leiter (TN-C-System). An einem bestimmten Punkt Trennung des PEN-Leiters in Neutralleiter und Schutzleiter (TN-C-S-System).

- **IT-System:**

Im IT-System sind alle aktiven Teile von Erde getrennt, oder ein Punkt ist über eine Impedanz mit Erde verbunden; die Körper der elektrischen Anlage sind entweder

- einzeln geerdet oder
- gemeinsam geerdet oder
- gemeinsam mit der Erdung des Systems verbunden.

- **TT-System**

Im TT-System ist ein Punkt direkt geerdet; die Körper der elektrischen Anlage sind mit Erden verbunden, die elektrisch vom Erder für die Erdung des Systems unabhängig sind.

- **Fehlerstrom-Schutzeinrichtung (Residual Current Device: RCD)**

Ein mechanisches Schaltgerät oder eine Verbindung mehrerer Geräte, dazu vorgesehen unter normalen Betriebsbedingungen Ströme einzuschalten, zu führen oder zu unterbrechen und die Öffnung der Kontakte zu veranlassen, wenn der Differenzstrom unter bestimmten Bedingungen einen vorgegebenen Wert erreicht.

- **Fehlerstrom-Schutzschalter ohne integrierten Überstromschutz (Residual Current Protective Device without overcurrent protection: RCCB)**

Fehlerstrom-Schutzschalter, der nicht dazu vorgesehen ist, auch die Schutzfunktionen gegen Überlast und / oder Kurzschlussströme zu übernehmen.

- **Fehlerstrom-Schutzschalter mit integriertem Überstromschutz (Residual Current Protective Device with overcurrent protection: RCBO)**

Fehlerstrom-Schutzschalter, der dazu vorgesehen ist, auch die Schutzfunktionen gegen Überlast- und / oder Kurzschlussströme zu übernehmen (üblicherweise als FI/LS-Schalter bezeichnet).

- **Leistungsschalter mit Fehlerschutz (circuitbreaker incorporating residual current protection: CBRs:)**

Leistungsschalter mit einem ein- oder angebautem Fehlerstromauslöser.

- **Modulare Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen (Modular Residual Current Device: MRCD)**

Fehlerstrom-Schutzschalter, die modular aufgebaut sind, das heißt Fehlerstrom-Erfassung (über Wandler), Auswertung und Auslösung (über Leistungsschalter) erfolgen in getrennten Baugruppen.

- **Differenzstrom-Überwachungsgerät (Residual Current Monitor Device: RCM)**

Ein Gerät oder eine Verbindung mehrerer Geräte, das den Differenzstrom einer elektrischen Anlage überwacht und einen Alarm auslöst, wenn der Differenzstrom den Ansprechwert des Gerätes überschreitet. Diese Geräte sind nur zur Überwachung, nicht zur Realisierung einer Schutzmaßnahme mit Abschaltung vorgesehen.

- **Isolationsüberwachungseinrichtung (Isolating Monitoring Device: IMD)**

Ein Isolationsüberwachungsgerät (IMD) ist eine Einrichtung, die dauernd den Isolationswiderstand der elektrischen Anlage oder eines Teils davon überwacht und anzeigt. Diese Geräte sind nur zur Überwachung, nicht zur Realisierung einer Schutzmaßnahme mit Abschaltung vorgesehen.

- **Basisschutz**

Schutz gegen elektrischen Schlag, wenn keine Fehlerzustände vorliegen.

Bemerkung: Basisschutz entspricht im Allgemeinen dem Schutz gegen direktes Berühren, wie er in DIN VDE 0100-410 Anhang A verwendet wird.

- **Fehlerschutz**

Schutz gegen elektrischen Schlag unter den Bedingungen eines Einzelfehlers.

Bemerkung: Im Allgemeinen entspricht bei Niederspannungsanlagen, -netzen und -betriebsmitteln dem Schutz bei indirektem Berühren, vornehmlich im Hinblick auf einen Fehler der Basisisolierung. Fehlerschutz entspricht im Allgemeinen dem Schutz bei indirektem Berühren, wie er in DIN VDE 0100-410 gefordert wird.

- **zusätzlicher Schutz**

Schutzmaßnahme zusätzlich zum Basisschutz und / oder Fehlerschutz.

Bemerkung: Im Allgemeinen wird der zusätzliche Schutz bei besonderen äußeren Einflüssen oder in Räumen besonderer Art angewendet. Durch ihn kann unter bestimmten Umständen, z. B. bei sorglosem Umgang mit der elektrischen Energie, eine gefährliche Situation vermieden oder abgemildert werden.

- **Differenzstrom**

Algebraische Summe der Augenblickswerte der Ströme, die zur gleichen Zeit in allen aktiven Leitern an einem gegebenen Punkt eines Stromkreises in einer elektrischen Anlage fließen.

- **Ableitstrom (Leakage Current: LC)**

Ein Strom, der in einem fehlerfreien Stromkreis zur Erde oder zu einem fremden leitfähigen Teil fließt.

Bemerkung: Der Begriff Ableitstrom wird im Zusammenhang verschiedener Phänomene benutzt. Berührungsströme, Schutzleiterströme und Ströme aufgrund nicht-idealer Isolationseigenschaften sind Ableitströme und diese Aufzählung ist keinesfalls vollständig. Der Ableitstrom kann, insbesondere durch die Verwendung von Kondensatoren, eine kapazitive Komponente haben.

- **Berührungsstrom**

Strom durch den Körper eines Menschen oder Tieres, wenn dieser Körper ein oder mehrere Teile einer elektrischen Anlage oder eines elektrischen Betriebsmittels berührt.

Bemerkung: Das Erstinteresse in Bezug auf die Sicherheit von Anlagen und Betriebsmitteln richtet sich auf das mögliche Fließen von Strömen durch den menschlichen Körper. Ein Berührungsstrom kommt nur zustande, wenn ein Strom über einen menschlichen Körper oder eine Körpernachbildung verläuft. Die Forderung eines Ableitstromes kleiner 3,5 mA aus der DIN VDE 50130 bezieht sich auf den Berührungsstrom nach EN60990.

- **Fehlerstrom**

Strom, der über eine gegebene Fehlerstelle aufgrund eines Isolationsfehlers fließt.

- **Schutzleiterstrom**

Strom, der als Ableitstrom oder als elektrischer Strom infolge eines Isolationsfehlers im Schutzleiter auftritt.

- **Bemessungsfehlerstrom ($I_{\Delta n}$)**

Der vom Hersteller der Fehlerstrom-Schutzeinrichtung bestimmte Wert des Auslösefehlerstroms bei dem die Fehlerstrom-Schutzeinrichtung unter definierten Bedingungen ausschalten muss.

9 Normenbezug

- **Internationales Elektrotechnisches Wörterbuch (IEV 826-03-08)**
- **DIN VDE 0100 Errichten von Niederspannungsanlagen**
 Teil 200: Begriffe
 Teil 410: Schutzmaßnahmen – Schutz gegen elektrischen Schlag
 Teil 482: Brandschutz bei besonderen Risiken oder Gefahren
 Teil 520: Auswahl und Errichtung elektrischer Betriebsmittel – Kabel- und Leitungsanlagen
 Teil 530: Auswahl und Errichtung elektrischer Betriebsmittel – Schalt- und Steuergeräte
- **DIN EN 50178 (VDE 0160)**
 Ausrüstung von Starkstromanlagen mit elektronischen Betriebsmitteln
- **E DIN VDE 0664-100 (E VDE 0664-100)**
 Fehlerstrom-Schutzschalter Typ B zur Erfassung von Wechsel- und Gleichströmen – Teil 100: RCCBs Typ B
- **DIN V VDE V 0664-110 (V VDE 0664-110)**
 Fehlerstrom-Schutzschalter Typ B+ zur Erfassung von Wechsel- und Gleichströmen für den gehobenen vorbeugenden Brandschutz – Teil 110: RCCBs Typ B+
- **E DIN VDE 0664-200 (E VDE 0664-200)**
 Fehlerstrom-Schutzschalter Typ B mit eingebautem Überstromschutz zur Erfassung von Wechsel- und Gleichströmen - Teil 200: RCBOs Typ B
- **DIN V VDE V 0664-210 (V VDE 0664-210)**
 Fehlerstrom-Schutzschalter Typ B+ mit eingebautem Überstromschutz zur Erfassung von Wechsel- und Gleichströmen für den gehobenen vorbeugenden Brandschutz – Teil 210: RCBOs Typ B+
- **DIN IEC / TS 60479-1 (VDE V 0140-479-1)**
 Wirkungen des elektrischen Stromes auf Menschen und Nutztiere – Teil 1: Allgemeine Aspekte
- **DIN EN 60947-2 (VDE 0660-101)**
 Niederspannungsschaltgeräte – Teil 2: Leistungsschalter
- **DIN EN 60990 (VDE 0106-102)**
 Verfahren zur Messung von Berührungsstrom und Schutzleiterstrom
- **DIN EN 61000-3-2 (VDE 0838-2)**
 Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)-Teil 3-2: Grenzwerte für Oberschwingungsströme (Eingangstrom $\geq 16\text{A}$)
- **DIN EN 61000-3-12 (VDE 0838-12)**
 Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)-Teil 3-12: Grenzwerte für Oberschwingungsströme (Eingangstrom $> 16\text{A}$ bis 75A)
- **DIN EN 61008-1 (VDE 0664-10)**
 Fehlerstrom- / Differenzstrom-Schutzschalter ohne eingebauten Überstromschutz (RCCBs) für Hausinstallationen und für ähnliche Anwendungen – Teil 1: Allgemeine Anforderungen
- **DIN EN 61008-2-1 (VDE 0664-11)**
 Fehlerstrom- / Differenzstrom-Schutzschalter ohne eingebauten Überstromschutz (RCCBs) für Hausinstallationen und für ähnliche Anwendungen – Teil 2-1: Anwendung der allgemeinen Anforderungen auf netzspannungsunabhängige RCCBs

- **DIN EN 61009-1 (VDE 0664-20)**
Fehlerstrom- / Differenzstrom-Schutzschalter mit eingebautem Überstromschutz (RCBOs) für Hausinstallationen und für ähnliche Anwendungen – Teil 1: Allgemeine Anforderungen
- **DIN EN 61009-2-1 (VDE 0664-21)**
Fehlerstrom- / Differenzstrom-Schutzschalter mit eingebautem Überstromschutz (RCBOs) für Hausinstallationen und für ähnliche Anwendungen – Teil 2-1: Anwendung der allgemeinen Anforderungen auf netzspannungsunabhängige RCBOs
- **DIN EN 61140 (VDE 0140-1)**
Schutz gegen elektrischen Schlag – Gemeinsame Anforderungen für Anlagen und Betriebsmittel
- **DIN EN 61557-8 (VDE 0413-8)**
Elektrische Sicherheit in Niederspannungsnetzen bis AC 1000 V und DC 1500 V – Geräte zum Prüfen, Messen oder Überwachen von Schutzmaßnahmen – Teil 8: Isolationsüberwachungsgeräte für IT-Systeme
- **DIN EN 61800-3 (VDE 0160-103)**
Drehzahlveränderbare elektrische Antriebe – Teil 3: EMV-Anforderungen einschließlich spezieller Prüfverfahren
- **DIN EN 61800-5-1 (VDE 0160-105-1)**
Elektrische Leistungsantriebssysteme mit einstellbarer Drehzahl – Teil 5-1: Anforderungen an die Sicherheit – Elektrische, thermische und energetische Anforderungen
- **DIN EN 62020 (VDE 0663)**
Elektrisches Installationsmaterial – Differenzstrom-Überwachungsgeräte für Hausinstallationen und ähnliche Verwendungen (RCMs)

Bezugsquelle:

VDE-Verlag GmbH, Berlin Offenbach

Bismarckstr. 33, 10625 Berlin

www.vde-verlag.de





ZVEI:

Automation

ZVEI - Zentralverband Elektrotechnik-
und Elektronikindustrie e. V.
Fachverband Automation /
Fachbereich Elektrische Antriebe
Lyoner Straße 9
60528 Frankfurt am Main
Fon: 069 6302-377
Fax: 069 6302-279
Mail: antriebe@zvei.org
www.zvei.org