

Fehlerstrom- Schutzeinrichtungen

BETA Niederspannungs-Schutzschalttechnik
Technik-Fibel



Answers for industry.

SIEMENS

Vorwort

Ob Schützen, Schalten, Überwachen oder Messen – Niederspannungs-Schutzschalttechnik von Siemens bietet Ihnen für alle Anwendungen in der elektrischen Installationstechnik ein breites Spektrum. Für den Einsatz im Wohnbau genauso wie für den Zweckbau oder für industrielle Anwendungen. Damit haben Sie den gesamten Stromkreis im Griff.

Das ist besonders wichtig, wenn es um die Auswahl und den Einbau der entsprechenden Fehlerstrom-Schutzeinrichtung geht. Mit dieser Fibel stellen wir Ihnen ein Instrument zur Verfügung, das es Ihnen leicht macht, die jeweilige FI-Schutzeinrichtung optimal an die Erfordernisse der elektrischen Anlage anzupassen. Neben allgemeinen Informationen über Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen finden Sie wichtige Installations- und Anwendungshinweise. So können Sie sicher sein, immer das passende Gerät für Ihren Einsatz ausgewählt zu haben.

Ihr Team
Niederspannungs-Schutzschalttechnik

Inhalt

Einleitung	6
1 Schutz durch Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen	7
1.1 Zusätzlicher Schutz (früher „Schutz bei direktem Berühren“) mit $I_{\Delta n} \leq 30 \text{ mA}$	7
1.2 Fehlerschutz (Schutz bei indirektem Berühren)	10
1.3 Brandschutz	11
2 Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen	12
2.1 Typen von Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen	12
2.1.1 Typ AC	13
2.1.2 Typ A	14
2.1.3 Typ B	14
2.1.4 Typ B+	14
2.2 Einteilung von Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen	14
2.3 Prinzipieller Aufbau und Wirkungsweise	17
2.3.1 FI-Schutzschalter Typ A	17
2.3.2 SIQUENCE allstromsensitive FI-Schutzschalter Typ B und Typ B+	19
2.4 Eigenschaften und Einsatzgebiete	19
2.4.1 FI-Schutzschalter	19
2.4.2 FI/LS-Schalter (Typ AC/Typ A)	20
• Installation mit einem zentralen FI-Schutzschalter	21
• Installation mit FI/LS-Schaltern	22
2.4.3 SIQUENCE allstromsensitive FI-Schutzschalter Typ B und Typ B+	23
2.4.4 SIQUENCE allstromsensitive FI/LS-Schalter Typ B und Typ B+	26
2.4.5 FI-Blöcke für den Anbau an Leitungsschutzschalter	27
2.4.6 SIGRES-FI-Schutzschalter (für erschwerte Umgebungsbedingungen)	28
2.4.7 Typ K , superresistent	28
2.4.8 Typ S , selektiv	30
2.4.9 Ausführungen für 50 bis 400 Hz	30
2.4.10 Ausführungen für 500 V Betriebsspannung	31
2.4.11 Fehlerstrom-Schutzschalter mit N-Anschluss linksseitig	31
2.5 Zusatzkomponenten für Fehlerstrom-Schutzschalter	31
2.5.1 Fernantrieb (RC)	31
2.5.2 Hilfsschalter	32
3 Installations- und Anwendungshinweise	33
3.1 Allgemeine Hinweise	33

3.1.1	Auswahl von Schutzeinrichtungen	33
3.1.2	Einsatz von Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen	34
3.2	Auswahl der geeigneten Fehlerstrom-Schutzeinrichtung	37
3.2.1	Typ A oder Typ B bzw. Typ B+?	38
3.2.2	Welches Schutzziel muss erreicht werden?	38
	• Zusätzlicher Schutz	38
	• Fehlerschutz	38
	• Brandschutz	39
3.2.3	Welche Störbeeinflussungen treten auf und wie werden diese beherrscht?	39
3.2.3.1	Ableitströme	39
	• Statische Ableitströme	39
	• Dynamische Ableitströme	40
3.2.3.2	Hohe Lastströme	40
3.2.3.3	Überspannungen und Stoßstrombelastung	41
3.3	Besonderheiten beim Einsatz von SQUENCE allstromsensitiven FI-Schutzeinrichtungen (Typ B und Typ B+)	42
3.3.1	Anwendungsfälle	42
3.3.2	Fehlerströme an unterschiedlichen Fehlerorten am Beispiel eines Frequenzumrichters (FU)	42
	• Fehlerorte im Bereich 1 (vor dem FU)	43
	• Fehlerorte im Bereich 2 (innerhalb des FU)	43
	• Fehlerorte im Bereich 3 (nach dem FU)	45
	• Frequenzanteile im Fehlerstrom eines Frequenzumrichters	45
3.3.3	Projektierung	46
3.3.4	Ursachen für zu hohe Ableitströme und Möglichkeiten zur Reduzierung	48
3.4	Bemessungsschaltvermögen und bedingter Bemessungskurzschlussstrom	50
3.5	Auswahl des Bemessungsstromes nach thermischer Belastung	52
3.6	Fehlersuche	53
3.7	Ableitstrommessung	54
3.8	Fehlerstrom-Schutzschalter 4-polig in einem 3-poligen Netz	55
4	Differenzstrom-Überwachungsgeräte (RCM)	55
5	Ausblick	57
	Anhang	58
	Abbildungs- und Tabellen Verzeichnis	69

Fehlerstrom-Schutzschalter (RCCB)



5SM3

- Typ AC und Typ A
- $I_n = 16 \dots 125 \text{ A}$
- $I_{\Delta n} = 10 \text{ mA} \dots 1 \text{ A}$
- 2-polig (1+N) und 4-polig (3+N)
- N-Anschluss links und rechts
- SIGRES für erschwerte Umgebungsbedingungen
- Ausführung **K** und **S**
- Ausführung für 500 V
- Ausführung 50 ... 400 Hz

SIQUENCE allstromsensitiver Fehlerstrom-Schutzschalter (RCCB)



5SM3

- Typ B, Typ B+
- $I_n = 16 \dots 80 \text{ A}$
- $I_{\Delta n} = 30, 300 \text{ und } 500 \text{ mA}$
- 2-polig (1+N) und 4-polig (3+N)
- Ausführung **K** und **S**

SIQUENCE FI/LS-Schalter (RCBO)



5SU1

- Typ B, Typ B+
- $I_n = 100 \dots 125 \text{ A}$
- $I_{\Delta n} = 30, 300 \text{ mA und } 1 \text{ A}$
- 4-polig
- LS-Charakteristik C und D
- Bemessungsschaltvermögen 10kA
- Ausführung **K** und **S**

FI-Block zur Kombination mit LS-Schalter (RC unit)



5SM2

- Zum Anbau an LS-Schalter
- Kombiniertes Personen- und Leitungsschutz
- Typ AC und Typ A
- $I_n = 0,3 \dots 100 \text{ A}$
- $I_{\Delta n} = 10 \text{ mA} \dots 1 \text{ A}$
- 2-, 3- und 4-polig
- Ausführung **K** und **S**

FI/LS-Schalter; kombinierte Geräte (RCBO)



5SU1

- Kombiniertes Personen- und Leitungsschutz
- Typ AC und Typ A
- $I_n = 6 \dots 40 \text{ A}$
- $I_{\Delta n} = 10 \dots 300 \text{ mA}$
- LS-Charakteristik B und C
- Bemessungsschaltvermögen 4,5 kA, 6 kA und 10 kA
- 1+N-polig, 2-polig
- N-Anschluss rechts und links

Differenzstrom-Überwachungsgeräte (RCM)



5SV8

- Differenzstrom-Überwachung
- Typ AC und Typ A
- $I_{\Delta n} = 0,03 \dots 30 \text{ A}$
- Ansprechzeit 0,02 ... 10 s
- Summenstromwandler 20 ... 210 mm

Einleitung

Sicherheit ist beim Umgang mit Elektrizität oberstes Gebot. Jeder Elektrofachmann muss in dieser Hinsicht besonders gewissenhaft sein und die geforderten Schutzmaßnahmen korrekt anwenden. In Verbraucheranlagen ist dabei den Fehlerstrom-(FI-)Schutzeinrichtungen uneingeschränkt der Vorzug gegenüber alternativen Schutzeinrichtungen zu geben.

Über den Fehlerschutz (Schutz bei indirektem Berühren) hinaus bieten FI-Schutzeinrichtungen mit Bemessungsdifferenzströmen bis 30 mA auch den "zusätzlichen Schutz" (Schutz bei direktem Berühren). Auch Brände durch Erdschlussströme können im Entstehen verhindert werden.

In vielen Fällen verlangen die DIN VDE-Bestimmungen den Einsatz von FI-Schutzeinrichtungen. Deshalb sollte sich jeder Elektroinstallateur intensiv mit FI-Schutzeinrichtungen befassen.

Neben der Information zu der Schutzwirkung von FI-Schutzeinrichtungen soll auch das Verständnis für die Gerätefunktion vermittelt werden.

Um den Einsatz der FI-Schutzeinrichtungen optimal den Erfordernissen der elektrischen Anlage anzupassen, werden die unterschiedlichen Ausführungen der Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen in ihrer Funktion erläutert und dem Anwender Installations- und Praxishilfen gegeben.

1 Schutz durch Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen

Bei Ausführung der Schutzmaßnahme "Automatische Abschaltung der Stromversorgung" mit einer Fehlerstrom-Schutzeinrichtung ist die Grundvoraussetzung, dass ein entsprechend geerdeter Schutzleiter an die zu schützenden Anlagenteile und Betriebsmittel geführt ist. Ein Stromfluss über einen Menschen kann dann nur beim Auftreten von zwei Fehlern (zusätzlich zum Isolationsfehler auch Unterbrechung des PE-Leiters) oder beim unbeabsichtigten Berühren aktiver Teile auftreten.

1.1 Zusätzlicher Schutz

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

Unter zusätzlichem Schutz versteht man einen Schutz, der wirkt, wenn es durch Versagen des Basis- und / oder Fehlerschutzes zum direkten Kontakt eines Menschen mit einem betriebsmäßig unter Spannung stehendem aktiven Teil kommt. Sofern ein Mensch aktive Teile berührt, bestimmen zwei in Reihe liegende Widerstände die Höhe des fließenden Stromes – der Innenwiderstand des Menschen R_m und der Standortübergangswiderstand R_{st} (Bild 1).

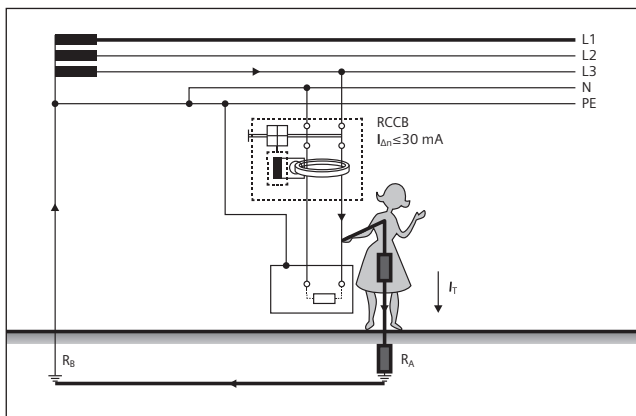
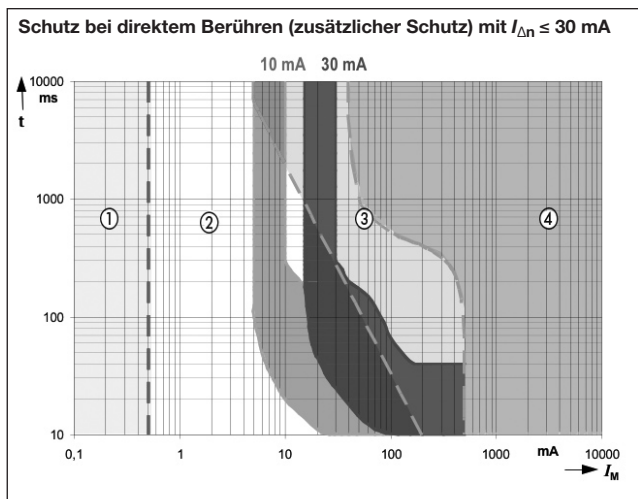


Bild 1: Zusätzlicher Schutz: Fehlerstrom-Schutzeinrichtung mit $I_{\Delta n} \leq 30 \text{ mA}$ im TN-System

Für die Unfallbetrachtung muss der ungünstigste Fall mit Standortwiderstand nahe null angenommen werden.

Der Körperwiderstand ist abhängig vom Stromweg und dem Übergangswiderstand der Haut. Messungen ergaben z.B. ca. $1000 \, \Omega$

für den Stromweg Hand/Hand oder Hand/Fuß. Unter diesen Annahmen ergibt sich bei einer Berührungsspannung von 230 V ein gefährlicher Körperstrom von 230 mA. Bild 2 zeigt die Stromstärke/ Einwirkungsdauer-Kurven in Bezug auf die physiologischen Reaktionen des menschlichen Körpers. Gefährlich sind Stromstärken und Einwirkungsauern, die in den Bereich 4 reichen. Hier kann es durch Herzkammerflimmern zum Tod des Betroffenen kommen. Eingetragen sind auch der Auslösebereiche von Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen mit Bemessungsdifferenzstrom von 10 mA und 30 mA. Dabei sind die max. zulässigen Auslösezeiten nach VDE 0664-10 eingetragen. Wie aus den Auslösekurven zu entnehmen ist, begrenzen Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen nicht die Höhe des Fehlerstromes, sondern erzielen die Schutzwirkung durch die rasche Abschaltung und damit geringe Einwirkungsdauer des Stromes.



Bereich ①: Einwirkungen sind üblicherweise nicht wahrnehmbar.

Bereich ②: Medizinisch schädliche Einwirkungen und Muskelverkrampfungen treten üblicherweise nicht auf.

Bereich ③: Muskelverkrampfungen können auftreten. Die Gefahr des Herzkammerflimmerns besteht üblicherweise nicht.

Bereich ④: Herzkammerflimmern kann auftreten.

Bild 2: Wirkungsbereiche von Wechselstrom 50/60 Hz auf den Menschen

Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen mit einem Bemessungsdifferenzstrom $I_{\Delta n} \leq 10 \text{ mA}$ liegen mit der Auslösekennlinie im Bereich 2 unterhalb der Loslassgrenze. Medizinisch schädliche Einwirkungen und Muskelverkrampfungen treten üblicherweise nicht auf (s. Bild 2). Sie sind damit besonders für sensitive Bereiche wie Badezimmer geeignet.

Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen mit einem Bemessungsdifferenzstrom $I_{\Delta n} \leq 30 \text{ mA}$ erfüllen die Bedingungen zum zusätzlichen Schutz gegen elektrischen Schlag (siehe Bild 2):

- bei unbeabsichtigtem, direktem Berühren betriebsmäßig unter Spannung stehender Teile (z. B.: Versagen der Basisisolierung, nicht bestimmungsgemäßer Betrieb, Unwirksamkeit des Basisschutzes)
- bei Sorglosigkeit des Benutzers (z. B. Verwendung defekter Geräte, unsachgemäße Reparaturen an Anlagen und Betriebsmitteln),
- beim Berühren fehlerhaft unter Spannung stehender Teile (z. B. Versagen des Fehlerschutzes bei Unterbrechung des Schutzleiters)

Der Einsatz von Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen mit einem Bemessungsdifferenzstrom bis 30 mA hat sich dabei als zusätzlicher Schutz beim Versagen der Basisschutzvorkehrung (Schutz gegen direktes Berühren) und/oder Fehlerschutzvorkehrung (Schutz bei indirektem Berühren) ebenso wie bei Sorglosigkeit des Benutzers im Umgang mit elektrischen Betriebsmitteln bewährt. Allerdings darf dies nicht das alleinige Mittel des Schutzes gegen elektrischen Schlag sein. Die Anwendung einer nach DIN VDE 0100-410 geforderten weiteren Schutzmaßnahme wird damit nicht ersetzt.

Die Forderung des „zusätzlichen Schutzes“ mit Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen nach den Abschnitten 411.3.3 und 415.1 in DIN VDE 0100-410 bedeutet nicht, dass die Anwendung dieses Schutzes dem Anwender freigestellt ist. Vielmehr kann dieser zusätzliche Schutz unter bestimmten äußeren Einflüssen und in bestimmten speziellen Bereichen gemeinsam mit weiteren Schutzmaßnahmen gefordert sein.

In mehreren Teilen der Normen der Gruppen 4 und 7 von DIN VDE 0100 wird dieser zusätzliche Schutz gefordert oder ausdrücklich empfohlen (s. Anhang). Beispielhaft werden hier einige bedeutsame Anforderungen näher erläutert.

In der allgemein gültigen Errichtungsnorm für den Schutz gegen elektrischen Schlag DIN VDE 0100-410:2007-06 wird für den zusätzlichen Schutz der Einsatz von FI-Schutzeinrichtungen mit Bemessungsdifferenzstrom $\leq 30\text{mA}$ gefordert für

- alle Steckdosen mit einem Bemessungsstrom $\leq 20\text{ A}$ wenn diese für die Benutzung durch Laien und zur allgemeinen Verwendung bestimmt sind.
- Endstromkreise für im Außenbereich verwendete tragbare Betriebsmittel mit einem Bemessungsstrom $\leq 32\text{ A}$.

Anmerkung:

In DIN VDE 0100-410:06-2007 werden zu diesen Forderungen zwar zwei Ausnahmen genannt, diese sind aber für die Mehrzahl der Anwendungen üblicherweise nicht zutreffend.

Nur bei Steckdosen, die ausschließlich durch Elektrofachkräfte und elektrotechnisch unterwiesene Personen benutzt werden (z.B. in elektrischen Betriebsstätten) oder wenn sichergestellt ist, dass die Steckdose dauerhaft nur für ein „bestimmtes Betriebsmittel“ genutzt wird darf von der normativen Forderung des zusätzlichen Schutzes abgewichen werden.

In der Norm DIN VDE 0100-723:2005-06 „Anforderungen für Betriebsstätten, Räume und Anlagen besonderer Art – Unterrichtsräume mit Experimentiereinrichtungen“ müssen zur Versorgung der Experimentiereinrichtungen und deren Stromkreise in TN- oder TT-Systemen Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen des Typs B mit einem Bemessungsdifferenzstrom $\leq 30\text{mA}$ vorgesehen werden.

1.2 Fehlerschutz (früher „Schutz bei indirektem Berühren“)

Unter Fehlerschutz versteht man den Kontakt eines Menschen mit einem betriebsmäßig nicht unter Spannung stehendem elektrisch leitfähigem Teil. Gefordert ist in diesen Fällen die automatische Abschaltung der Stromversorgung, wenn durch einen Fehler aufgrund der Größe und Dauer der auftretenden Berührungsspannung ein Risiko entstehen kann.

Hierzu sind auch Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen mit Bemessungsdifferenzströmen über 30 mA geeignet. Um die Schutzwirkung zu erzielen, sind die Abschaltbedingungen einzuhalten. Hierzu darf die gefährliche Berührungsspannung unter Berücksichtigung des Erdungswiderstandes und Bemessungsdifferenzstromes nicht unzulässig lange anstehen.

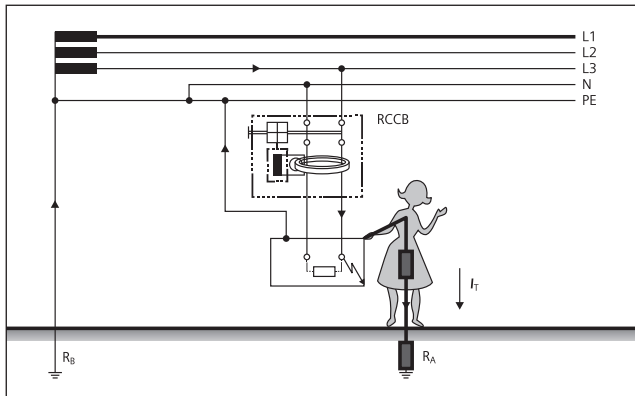


Bild 3: Fehlerschutz in TN-System

1.3 Brandschutz

DIN VDE 0100-482 fordert für „feuergefährdete Betriebsstätten“ Maßnahmen zur Verhütung von Bränden, die durch Isolationsfehler entstehen können. Danach müssen Kabel- und Leitungsanlagen in TN- und TT-Systemen mit Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen mit Bemessungsdifferenzstrom $I_{\Delta n} \leq 300 \text{ mA}$ geschützt werden. Ausgenommen sind davon mineralisierte Leitungen und Stromschienensysteme.

Bei Anwendungen, in denen widerstandsbehaftete Fehler einen Brand entzünden können (z. B. bei Deckenheizungen mit Flächenheizelementen), muss der Bemessungsdifferenzstrom $I_{\Delta n} = 30 \text{ mA}$ betragen.

Der Schutz vor Bränden durch Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen sollte aber nicht nur auf die feuergefährdeten Betriebsstätten beschränkt bleiben, sondern grundsätzlich genutzt werden.

2 Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen

2.1 Typen von Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen

Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen werden hinsichtlich ihrer Eignung zur Erfassung von unterschiedlichen Fehlerstromformen unterschieden (Bild 4).












Stromform	Ordnungsgemäße Funktion von FI-Schutzeinrichtungen des Typs				Auslösestrom
	AC 	A 	B  	B+   kHz	
	•	•	•	•	0,5 bis 1,0 $I_{\Delta n}$
	–	•	•	•	0,35 bis 1,4 $I_{\Delta n}$
	–	• •	• •	• •	Anschnittwinkel 90°: 0,25 bis 1,4 $I_{\Delta n}$ Anschnittwinkel 135°: 0,11 bis 1,4 $I_{\Delta n}$
	–	•	•	•	max. 1,4 $I_{\Delta n}$ + 6 mA
	–	–	•	•	0,5 bis 2,0 $I_{\Delta n}$

Bild 4: Einteilung der Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen in unterschiedliche Typen mit Auslösebereichen

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

Tabelle 1 zeigt elektronische Schaltkreise und deren mögliche Last- und Fehlerströme mit dem jeweils dafür geeigneten Typ der Fehlerstrom-Schutzeinrichtung

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

Tabelle 1: Mögliche Fehlerstromformen und geeignete Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen

2.1.1 Typ AC

Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen Typ AC sind lediglich zur Erfassung von sinusförmigen Wechselfehlerströmen (s. Stromkreise 1 bis 3 aus Tabelle 1) geeignet. Dieser Gerätetyp ist in Deutschland entsprechend DIN VDE 0100-530 nicht zur Realisierung der Schutzmaßnahme mit FI-Schutzeinrichtung zugelassen und kann kein VDE-Zeichen erhalten.

2.1.2 Typ A

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

Dieser Gerätetyp ist in Deutschland die üblicherweise eingesetzte pulsstromsensitive Fehlerstrom-Schutzeinrichtung. Damit werden auch die bei einphasigen Verbrauchern mit elektronischen Bauteilen im Netzteil (z. B. EVG, Dimmer) möglichen Fehlerstromformen beherrscht. Dieser Typ von FI-Schutzeinrichtungen ist geeignet für elektronische Betriebsmittel mit Eingangsstromkreisen Nr. 1 bis 6 aus Tabelle 1.

2.1.3 Typ B

Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen Typ B dienen, neben der Erfassung der Fehlerstromformen des Typs A, auch zur Erfassung von glatten Gleichfehlerströmen. Die Fehlerstrom-Schutzeinrichtung dieses Typs sind für den Einsatz im Drehstromsystem mit 50/60 Hz auch vor den Eingangsstromkreisen Nr. 7 bis 10 aus Tabelle 1 und damit für alle gezeigten Stromkreise geeignet. Auslösewerte sind bis 2 kHz definiert.

2.1.4 Typ B+ kHz

Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen Typ B+ sind ebenso wie Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen des Typs B für den Einsatz im Drehstromsystem mit 50/60 Hz für alle in Tabelle 1 gezeigten Eingangsstromkreise geeignet. Für Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen Typ B+ sind die Auslösebedingungen bis 20 kHz definiert und liegen innerhalb dieses Frequenzbereiches unterhalb 420 mA Auslösewert.

2.2 Einteilung von Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen

FI-Schutzeinrichtungen werden entsprechend ihrer unterschiedlichen Ausführung unterteilt (siehe Bild 5).

- **RCD** ist der Oberbegriff für alle Arten von Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen.
- **RCCB** sind die in Deutschland unter dem Namen Fehlerstrom-Schutzschalter (FI-Schutzschalter) bekannten Geräte ohne eingebaute Überstrom-Schutzeinrichtung.

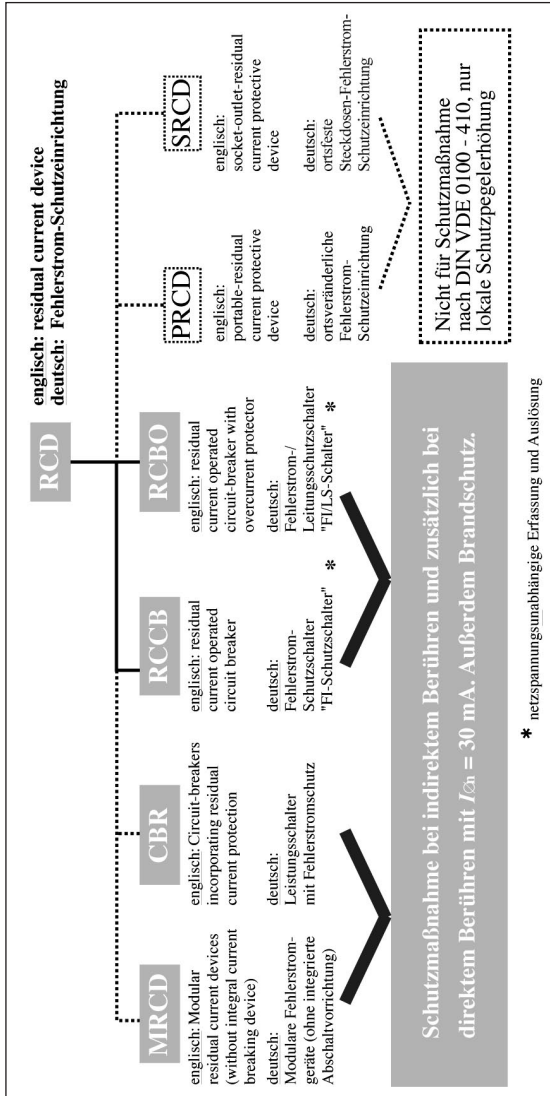


Bild 5: Einteilung von Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen (RCDs)

- **RCBO** sind Geräte, die neben dem Schutz vor Fehlerströmen auch eine eingebaute Überstrom-Schutzeinrichtung für den Überlast- und Kurzschlusschutz in einem Gerät vereinen (FI/LS-Schalter). Eine weitere Version in dieser Gerätegruppe sind die Fehlerstrom-Blöcke (FI-Blöcke, RC units). An diese FI-Blöcke können dann vom Kunden die für den Anwendungsfall gewünschten Ausführungen von Leitungsschutzschaltern (Charakteristik, Bemessungsstrom, Schaltvermögen) angebaut werden. Nach diesem Zusammenbau bieten diese Geräte die gleichen Funktionen wie die FI/LS-Schalter. Dabei beinhaltet der FI-Block die Fehlerstromerfassung aber keine eigenen Kontakte, sondern löst über die Kopplung im Fehlerfall den Leitungsschutzschalter aus, der die Kontakte öffnet und den Stromkreis trennt.

RCCBs und RCBOs sind bezüglich der Auslösebedingungen für wechsel- und pulsierende Fehlerströme (Typ A) in Deutschland und in den meisten europäischen Ländern für die Schutzmaßnahme mit Abschaltung nur in netzspannungsunabhängiger Ausführung zugelassen. Nur derartige RCCBs und RCBOs können das VDE-Zeichen erhalten.

- **CBRs** sind Leistungsschalter mit Fehlerstromschutz nach DIN EN 60947-2 (VDE 0660-101) Anhang B. Hier wird die Fehlerstrom-Erfassung fest an einen Leistungsschalter angebaut und stellt so den Fehlerstromschutz sicher.
- **MRCDs** sind Geräte, die modular aufgebaut sind, das heißt Fehlerstrom-Erfassung (über Wandler), Auswertung und Auslösung (über Leistungsschalter) erfolgen in getrennten Baugruppen (entsprechend DIN EN 60947-2 (VDE 0660-101) Anhang M).

CBRs und MRCDs sind insbesondere für Anwendungen mit höheren Bemessungsströmen (> 125 A) vorgesehen.

- **PRCDs** sind ortsveränderliche Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen, die z. B. in Stecker oder in Steckdosenleisten integriert sind.
- **SRCDs** nach DIN VDE 0662 sind ortsfeste Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen, die in eine Steckdose eingebaut sind bzw. mit einer Steckdose eine Baueinheit bilden.

PRCDs und SRCDs sind zur Schutzpegelerhöhung bei Anwendungen, in denen die geforderte Schutzmaßnahme auf andere Weise sichergestellt ist, einsetzbar. Für die Realisierung einer Schutzmaßnahme mit Abschaltung sind sie nicht zugelassen.

2.3 Prinzipieller Aufbau und Wirkungsweise

2.3.1 FI-Schutzschalter Typ A

Ein Fehlerstrom-Schutzschalter Typ A besteht im Wesentlichen aus folgenden Funktionsgruppen:

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

Anmerkung: Der konstruktive Aufbau der FI-Schutzschalter des Typs AC ist bis auf die Ausführung des Auslösekreises mit denen des Typs A identisch.

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 auf die Sekundärwicklung des Wandlers induzieren könnte.

Erst wenn z. B. durch einen Isolationsfehler in der zu schützenden Anlage (elektrisch gesehen nach dem Fehlerstrom-Schutzschalter) ein Fehlerstrom fließt, verbleibt ein Restmagnetfeld im Wandlerkern. Dadurch wird in der Sekundärwicklung eine Spannung erzeugt, die über den Haltemagnet-Auslöser und das Schaltschloss die Abschaltung des fehlerhaften Stromkreises mit der zu hohen Berührungsspannung bewirkt (Bild 6).

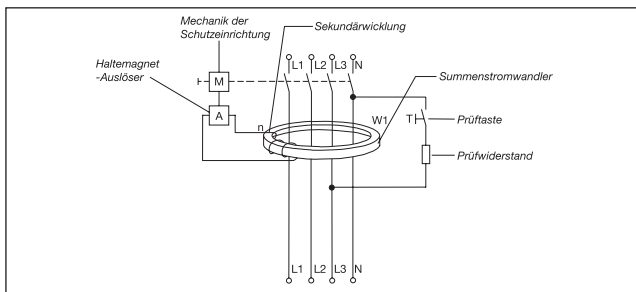


Bild 6: Prinzipdarstellung eines Fehlerstrom-Schutzschalters

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

Um eine hohe Zuverlässigkeit in der Geräteschutzfunktion zu erzielen, wird von Fehlerstrom-Schutzschaltern des Typs A entsprechend der in Deutschland gültigen Produktnorm verlangt, dass sie in allen Funktionsgruppen (Erfassung, Auswertung, Abschaltung) unabhängig von der Netz- oder Hilfsspannung arbeiten. Die Funktion eines Auslösers, der unabhängig von einer Hilfs- oder Netzspannung arbeitet, wird in Bild 7 gezeigt.

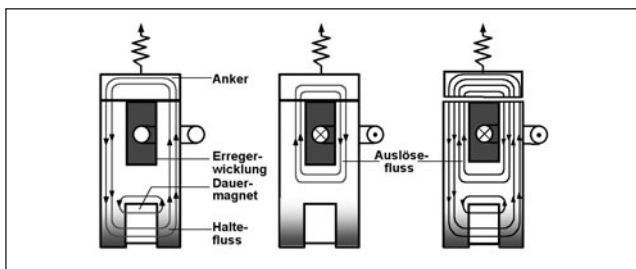


Bild 7: Funktionsprinzip eines Haltemagnet-Auslösers

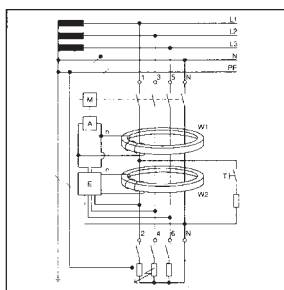
Unmittelbar über dem Dauermagneten liegt ein magnetischer Nebenschluss, der in erster Linie zur Konstanthaltung der magnetischen Kraft des Dauermagneten dient. Auf dem einen Polschenkel befindet sich eine Erregerwicklung, die mit der Sekundärwicklung des Summenstromwandlers verbunden ist. Bei einem Erdschluss im Hauptstromkreis wird in der Sekundärwicklung des Summenstromwandlers eine Spannung induziert. Die linke Darstellung zeigt die Ruhestellung bei fehlerfreier Anlage. Der Dauermagnet treibt einen Kraftfluss durch zwei Schenkel aus weichmagnetischem Material und hält dabei einer Federkraft entgegenwirkend den Anker fest. Wird in der Sekundärwicklung des Wandlers eine Spannung erzeugt (mittlere Darstellung), so treibt diese einen Strom durch die Erregerwicklung. Dadurch wird ein zweiter Kraftfluss erzeugt. Die Wirkung des Dauermagnetfeldes wird in einer Halbwelle von dem zweiten Magnetfeld aufgehoben (rechte Darstellung). Dadurch kann die Feder den Anker von den Polflächen ziehen. Der Anker löst über das Schaltschloss die Trennung der Kontakte aus. Der Wandler muss dabei nur die geringe Energie zur Aufhebung des Halteflusses erzeugen, der über den abfallenden Anker die Entklinkung des Kraftspeichers im Schaltschloss auslöst, und nicht die hohe Energie für das Öffnen der Kontakte.

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 den Schutz vor gefährlichen Körperströmen sicherzustellen, muss bei Inbetriebnahme der Anlage und in regelmäßigen Abständen, mindestens halbjährlich (z. B. bei Umstellung von Sommer- auf Winterzeit), die Funktionsfähigkeit des FI-Schutzschalters überprüft werden.

2.3.2 SIQUENCE allstromsensitive

FI-Schutzschalter Typ B und Typ B+ kHz

Dieser Gerätetyp beinhaltet zwei Erfassungssysteme, wobei entsprechend der in Deutschland gültigen DIN VDE 0664-100 die Erfassung, Auswertung und Abschaltung der Typ-A-Anforderungen netzspannungsunabhängig erfolgt. Lediglich für die Erfassung von glatten Gleichfehlerströmen ist aus physikalischen Gründen eine Spannungsversorgung notwendig. Diese erfolgt von allen Netzleitungen.





- 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 8: Aufbau eines SIQUENCE allstromsensitiven FI-Schutzschalters Typ B und Typ B+

2.4 Eigenschaften und Einsatzgebiete

2.4.1 FI-Schutzschalter

FI-Schutzschalter sind Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen ohne integrierten Schutz bei Überstrom (Überlast und/oder Kurzschluss). Ihnen muss deshalb für den Überstrom-Schutz jeweils eine entsprechende Überstrom-Schutzeinrichtung zugeordnet werden. Der zu erwartende Betriebsstrom des Stromkreises kann als Bemessungsgrundlage für den Überlastschutz herangezogen werden. Die Überstrom-Schutzeinrichtung muss nach den Angaben des Herstellers des Fehlerstrom-Schutzschalters ausgewählt werden.

Um diese Anforderungen in Bezug auf die Verfügbarkeit der elektrischen Anlage zu erfüllen (siehe auch Abschnitt 3.1.2), sind Endstromkreise auf mehrere Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen aufzuteilen.

Bei Abschaltung der Schutzeinrichtung im Fehlerfall oder bei notwendiger manueller Abschaltung werden alle dem FI-Schutzschalter nachgeschalteten Stromkreise abgeschaltet. Es werden dabei die Außenleiter und der Neutraleiter getrennt. Das ist von Vorteil bei der Fehlersuche in einer Anlage mit fehlerbehaftetem Neutraleiter.

Bei Verwendung von Fehlerstrom-Schutzschaltern mit einem Bemessungsdifferenzstrom nicht über 30 mA für den zusätzlichen Schutz, soll der Fehlerschutz mit einer vorgeschalteten selektiven Fehlerstrom-Schutzeinrichtung höheren Bemessungsdifferenzstromes oder mit einer Überstrom-Schutzeinrichtung realisiert werden. Die Schutzeinrichtung muss dabei am Anfang des Stromkreises installiert werden.

2.4.2 FI/LS-Schalter (Typ AC /Typ A)

FI/LS-Schalter beinhalten die Fehlerstromerfassung und den Überstromschutz in einem Gerät und ermöglichen damit einen kombinierten Personen-, Brand- und Leitungsschutz in einem Gerät. Der Einsatz von FI/LS-Schaltern bietet eine Reihe von Vorteilen:

- Zuordnung eines eigenen FI/LS-Schalters für jeden Stromkreis:
Bei Abschaltung aufgrund eines Fehlerstromes wird nur der betroffene Stromkreis getrennt, so wie dies seit Jahren bei Abschaltungen auf Grund eines Überstromes durch den jeweils einem Stromkreis zugeordneten Leitungsschutzschalter gewohnt ist.
- Durch die Aufteilung der Stromkreise profitiert der Anwender insgesamt von einer erhöhten Betriebssicherheit und Anlagenverfügbarkeit, da sich betriebsbedingte Ableitströme elektronischer Betriebsmittel, wie z.B. bei Netzteilen, nicht zu unzulässigen Werten addieren und den Auslösewert des FI-Schutzschalters überschreiten.
- Die Planung wird vereinfacht, da eine Berücksichtigung von Gleichzeitigkeitsfaktoren wie bei der Belastung von Fehlerstrom-Schutzschaltern nicht erforderlich ist. Der FI/LS-Schalter schützt sich selbst vor Überlast.
- Im Fehlerfall erfolgt eine allpolige Abschaltung. Damit werden alle spannungsführenden Teile sicher von der Einspeisung getrennt und die Fehlersuche vereinfacht.

Diese genannten Vorteile führten in einer Anmerkung der DIN VDE 0100-410 zu der Empfehlung, für den zusätzlichen Schutz für Endstromkreise für den Außenbereich und Steckdosen FI/LS-Schalter zu verwenden.

Auch die in 3.1.2 genannten Forderungen, dass in einer elektrischen Anlage die Stromkreise immer auf mehrere Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen verteilt werden müssen, lassen sich optimal durch die Verwendung von FI/LS-Schaltern umsetzen. Ein prinzipieller Vergleich der unterschiedlichen Installationsweisen soll die Unterschiede verdeutlichen.

Installation mit einem zentralen FI-Schutzschalter

Bild 9 zeigt eine bisher häufig durchgeführte Installation mit einem zentralen FI-Schutzschalter, dem je Außenleiter mehrere Leitungsschutzschalter nachgeschaltet sind.

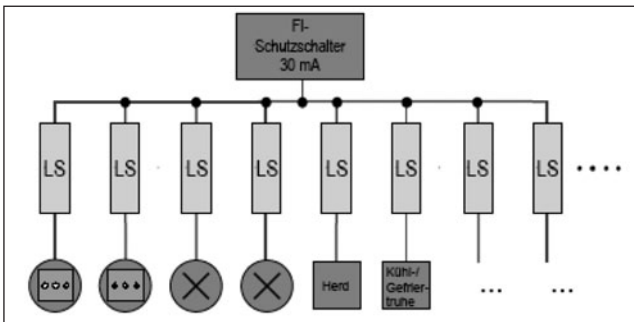


Bild 9: Installation mit zentralem FI-Schutzschalter und LS-Schaltern für Abzweige

Dabei übernimmt der FI-Schutzschalter den Personen- und Brandschutz sowie mit $I_{\Delta n} \leq 30 \text{ mA}$ auch den für bestimmte Stromkreise (z.B. Badezimmer) geforderten zusätzlichen Schutz bei direktem Berühren. Der Leitungsschutzschalter verhindert Schäden durch Überlast oder Kurzschluss. Das Auslösen des FI-Schutzschalters aufgrund eines Erdschlusses in einem der nachgeschalteten Stromkreise führt dazu, dass auch alle anderen, selbst die fehlerfreien Stromkreise, spannungsfrei geschaltet werden. Der weitere Betrieb dieser Anlagenteile kann erst nach der Fehlerbeseitigung wieder erfolgen. Bei dieser Installationsart sind folgende Gesichtspunkte zu berücksichtigen:

- Für eine korrekte Anlagendimensionierung in Bezug auf den FI-Schutzschalter ist zu beachten, dass der FI-Schutzschalter nicht durch zu hohe Lastströme überlastet wird (siehe Abschnitt 3.5).

- Die einpoligen LS-Schalter trennen im ausgeschalteten Zustand nur den Außenleiter vom Netz. Der Neutralleiter bleibt auf die Verbraucherseite durchgeschaltet.

Installation mit FI/LS-Schaltern

Das Bild 10 zeigt ein Beispiel für eine zukunftsweisende Installation, die alle Anforderungen der Errichtungsbestimmungen und Planungsvorgaben umsetzt.

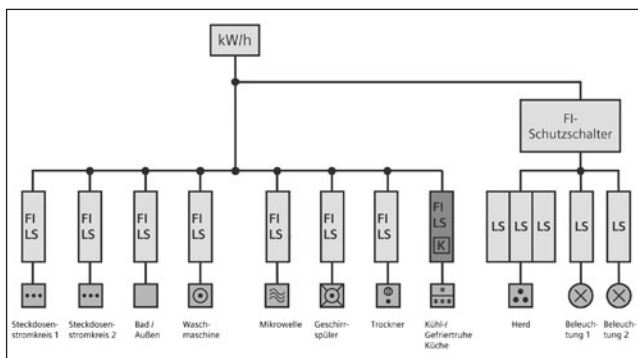


Bild 10: Beispiel einer Installation mit FI/LS-Schaltern

Jeder einzelne Steckdosen-Stromkreis verfügt jetzt über einen eigenen FI/LS-Schalter, der den kompletten Fehler-, Brand- und Leitungsschutz sowie zusätzlichen Schutz bei direktem Berühren übernimmt. Im Fehlerfall wird nur der betroffene Stromkreis abgeschaltet.

Um eine erhöhte Sicherheit gegen unerwünschte Abschaltungen, z.B. durch Blitzüberspannungen, zu erhalten, wird für den Schutz des Steckdosen-Stromkreises für Kühl- und Gefrieranlagen der Einsatz eines superresistenten FI/LS-Schalters Typ **K** empfohlen. Bei Verwendung von FI/LS-Schaltern mit einem Bemessungsdifferenzstrom nicht über 30 mA kann der zusätzliche Schutz und der Fehlerschutz mit demselben FI/LS-Schalter realisiert werden. Der FI/LS-Schalter muss am Anfang des zu schützenden Stromkreises installiert werden.

Optional kann der gesamten Anlage noch ein selektiver FI-Schutzschalter mit $I_{\Delta n} = 300 \text{ mA}$ vorgeschaltet werden. Dieser stellt bei verzweigten Anlagen den Fehler- und Brandschutz der Installation sicher.

Legt man für den gleichen Ausstattungsumfang bei gleicher Wohnfläche die Vorgaben der DIN 18015-2:2000-08 und RAL RG 678:2004-09 zugrunde, so zeigt sich, dass der zusätzliche Platzbedarf im Stromkreisverteiler bei der empfohlenen Verwendung von FI/LS-Schaltern gegenüber einer Installation mit getrennten FI-Schutzschaltern und LS-Schaltern nur geringfügig höher ist.

2.4.3 SIQUENCE allstromsensitive

FI-Schutzschalter Typ B und Typ B+ kHz

Mögliche glatte Gleichfehlerströme werden von FI-Schutzeinrichtungen des Typs A – für sinusförmige Wechselfehlerströme und pulsierende Gleichfehlerströme – nicht erfasst. Gleichfehlerströme können durch Vormagnetisierung des Wandlers dazu führen, dass die Schutzfunktionen der FI-Schutzeinrichtungen Typ A auch bei Wechselfehlerströmen nicht mehr gewährleistet sind.

Deshalb führte Siemens als erster Hersteller bereits 1994 den allstromsensitiven Fehlerstrom-Schutzschalter Typ B – auch für glatte Gleichfehlerströme – ein. Seitdem kann die geforderte Fehlerstrom-Schutzschalttechnik in vielen Anwendungen, bei denen glatte Gleichfehlerströme auftreten, angewendet werden.

Bei elektronischen Betriebsmitteln können, wie zum Beispiel auf der Abgangsseite eines Frequenzumrichters (siehe auch Abschnitt 3.3.2), neben den beschriebenen Fehlerstromformen auch Wechselfehlerströme unterschiedlichster Frequenzen entstehen.

FI-Schutzschalter des Typs A sind dafür nicht ausgelegt. Die Fehlerstrom-Schutzschalter des Typs B, die für den Einsatz im Drehstromsystem vorgesehen sind (nicht im Gleichspannungsnetz), sind deshalb in der E DIN VDE 0664-100 (für FI-Schutzschalter) und E DIN VDE 0664-200 (für FI/LS-Schalter) für erweiterte Auslösebedingungen bis 2 kHz definiert. Die Auslösekennlinien der SIQUENCE allstromsensitiven FI-Schutzschalter Typ B mit Bemessungsdifferenzströmen 30 mA und 300 mA sind in Bild 11 dargestellt.

Der Auslösewert der Schutzschalter liegt immer innerhalb der Grenzwerte der Gerätevorschrift und für den Bemessungsdifferenzstrom 30 mA auch deutlich unterhalb der Grenzkurve für das gefährliche Herzkammerflimmern (nach IEC 60479-2).

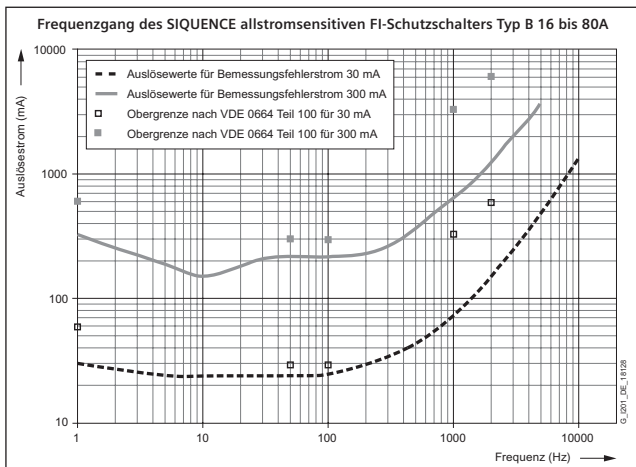


Bild 11: Auslösestrom Typ B in Abhängigkeit von der Frequenz

Um die Abschaltbedingungen für den Fehlerschutz (Schutz bei indirektem Berühren) mit dem SIQUENCE allstromsensitiven FI-Schutzschalter zu erfüllen, ist dessen Auslöseverhalten bei unterschiedlichen Frequenzen und die in dem Anwendungsfall auftretenden Frequenzspektren am Fehlerort zu berücksichtigen. Unter der Annahme von ungünstigen Bedingungen (hohe Taktfrequenz eines Frequenzumrichters, siehe auch Abschnitt 3.3.2) werden nachstehende maximal zulässige Erdungswiderstände empfohlen.

Bemessungsdifferenzstrom	Maximal zulässiger Erdungswiderstand bei Berührungsspannung	
	50 V	25 V
30 mA	120 Ω	60 Ω
300 mA	16 Ω	8 Ω
500 mA	10 Ω	5 Ω

Tabelle 2: Empfohlene maximale Erdungswiderstände für SIQUENCE allstromsensitive FI-Schutzeinrichtung Typ B

Für den Schutz gegen elektrisch gezündete Brände in Folge von Erdfehlerströmen haben sich Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen mit einem Bemessungsdifferenzstrom von maximal 300 mA bewährt. Dies leitet sich aus der Annahme ab, dass für die Entstehung eines Brandes ca. 70 W ausreichen können. Die Auslösewerte der SIQUENCE allstromsensitiven FI-Schutzschalter Typ B steigen bei höheren Frequenzen an. Da aber neben hoch- auch niederfrequente Anteile im Fehlerstrom enthalten sind (siehe Abschnitt 3.3.2), kann ein wirksamer Beitrag zum Brandschutz bei Erdfehlerströmen auch bei einer mit der Frequenz ansteigenden Auslösekennlinie erzielt werden. Der positive Effekt des ansteigenden Auslösestromes ist eine höhere Betriebssicherheit der Anlage, da betriebsmäßig vorhandene Ableitströme über Kondensatoren in geringerem Maß zu ungewollten Auslösungen des FI-Schutzschalters führen.

Die Auslegung des Frequenzganges der SIQUENCE allstromsensitiven FI-Schutzschalter Typ B trägt diesen Randbedingungen Rechnung und stellt einen guten Kompromiss zwischen Brandschutz und Betriebssicherheit dar. Da betriebsmäßig vorhandene kapazitive Ableitströme in ihrem Einfluss auf die FI-Auslösung deutlich begrenzt werden, erweitern sich die Einsatzmöglichkeiten.

Wird entsprechend DIN VDE 0100-482 „Brandschutz bei besonderen Risiken oder Gefahren“ in Verbindung mit DIN VDE 0100-530 der Einsatz von Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen mit Bemessungsdifferenzströmen von maximal 300 mA gefordert empfiehlt sich die Verwendung von Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen Typ B+. Diese erfüllen alle Anforderungen des bekannten Typs B, bleiben aber entsprechend der Produktnormen DIN VDE V 0664-110 (FI-Schutzschalter) und DIN VDE V 0664-210 (FI/LS-Schalter), sowie der VdS-Richtlinie 3501, bis 20 kHz unterhalb eines Auslösewertes von 420 mA und bieten damit einen vorbeugenden gehobenen Brandschutz.

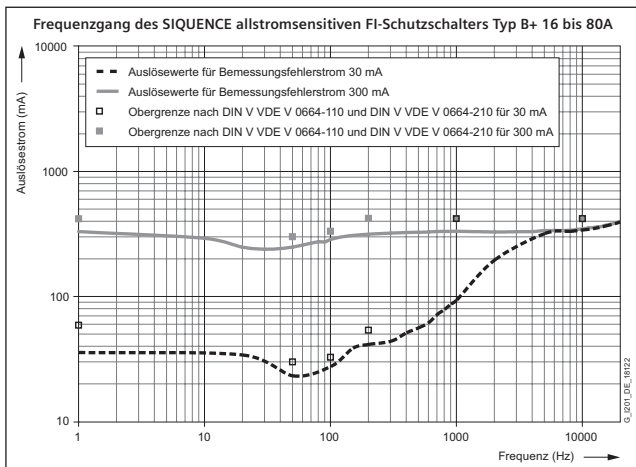



Bild 12: Auslösestrom Typ B+ in Abhängigkeit von der Frequenz

Der maximal zulässige Erdungswiderstand beträgt für Typ B+ Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen

- für Berührungsspannung 50 V: 120 Ω
- für Berührungsspannung 25 V: 60 Ω

Beim Einschalten von Kondensatoren, die gegen den Schutzleiter PE geschaltet sind (z.B. bei EMV-Filtern in Verbindung mit Frequenzumrichtern), können kurzzeitig hohe Ableitströme auftreten. Um für diese Fälle einen störungsfreien Betrieb sicherzustellen, sind die SIQUENCE allstromsensitiven FI-Schutzschalter Typ B und Typ B+ grundsätzlich als superresistent ausgeführt und in der Auslösung kurzzeitverzögert (Typ **K**).

2.4.4 SIQUENCE allstromsensitive

FI/LS-Schalter Typ B   und Typ B+   kHz

Das Erfassungsprinzip der SIQUENCE allstromsensitiven FI/LS-Schalter Typ B ist identisch mit dem der SIQUENCE allstromsensitiven FI-Schutzschalter und arbeitet entsprechend der in Deutschland gültigen Vorschrift VDE 0664-200 (Typ B) bzw. DIN V VDE V 0664-210 (Typ B+) bezüglich der Anforderungen für Typ A netzspannungsunabhängig.

Bezüglich des Verhaltens bei Fehlerströmen und der Schutzfunktionen gelten die Aussagen und Angaben genauso wie für die SIQUENCE allstromsensitiven FI-Schutzschalter Typ B bzw. Typ B+. FI/LS-Schalter vereinigen in einer Baueinheit die Schutzfunktionen des Personen- und Brandschutzes zusätzlich mit dem Leitungsschutz. Durch den integrierten Überstromschutz ist der thermische Geräteeigenschutz ohne weitere Abstimmung mit vor- und nachgeschalteten Überlastschutzeinrichtungen automatisch gegeben. Die direkte Zuordnung eines SIQUENCE allstromsensitiven FI/LS-Schalters Typ B zu einem Stromkreis bietet gegenüber der Installationspraxis mit einem FI-Schutzschalter und mehreren LS-Schaltern im Abgang, neben den im Abschnitt 2.4.2 genannten, insbesondere folgende Vorteile:

- In jedem Abzweig kann der maximal mögliche Ableitstrom ($0,3 \cdot I_{\Delta n}$) genutzt werden.
- Wie bei Überstrom wird auch bei Abschaltung durch Fehlerstrom nur der betroffene Zweig von Spannung getrennt.
- Hohe Anlagenverfügbarkeit, da der fehlerfreie Teil der Anlage versorgt bleibt.

2.4.5 FI-Blöcke für den Anbau an Leitungsschutzschalter

FI-Blöcke (RC units) sind zum Anbau an Leitungsschutzschalter nach DIN EN 61009-1 (VDE 0664-20):2000-09, Anhang G geeignet. Diese FI-Blöcke können vom Kunden mit einem dafür vorgesehenen Leitungsschutzschalter zusammengebaut werden und bilden danach die gleiche Funktionalität wie die fabrikfertigen FI/LS-Schalter (RCBOs).

Aus dem vorhandenen Produktspektrum der FI-Blöcke und LS-Schalter lässt sich eine große Anzahl unterschiedlichster Kombinationen bilden, ohne dass ein großes Spektrum lagermäßig gehalten werden muss. Dies bietet wichtige Vorteile:

- Hohe Flexibilität in der Anwendung
- Kundenseitige Kombination der Geräteeigenschaften aus FI-Block (Bemessungsdifferenzstrom, unverzüglich oder selektiv) und LS-Ausführung (Bemessungsstrom, Charakteristik, Schaltvermögen)
- Gerätekombination bietet alle Vorteile eines FI/LS-Schalters bezüglich Personen-, Brand- und Leitungsschutz

2.4.6 SIGRES-FI-Schutzschalter (für erschwerte Umgebungsbedingungen)

Beim Einsatz von Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen in erschwerten Umgebungen mit erhöhter Schadgasbeanspruchung, wie z. B.

- Hallenbädern (Chlorgas; Ozon),
- Landwirtschaft (Ammoniak),
- Industrie (Schwefeldioxid)

werden die Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen deutlich höher beansprucht.

Auf alle Metallteile, und damit auch auf die Metallflächen des Haltemagnet-Auslösers, wirken diese Gase in Verbindung mit Luftfeuchte korrosiv.

Mit den SIGRES-Fehlerstrom-Schutzschaltern, steht für derartige Anwendungen ein Gerät zur Verfügung, das durch patentierten aktiven Kondensationsschutz eine erheblich verlängerte Lebensdauer aufweist. Dabei wird durch eine direkte Beheizung des Haltemagnet-Auslösers mit minimaler Leistung eine geringfügig erhöhte Temperatur an den Metallteilen erzielt. Da hierdurch die Kondensation der mit Schadgasen angereicherten feuchten Luft vermieden wird, können auch die korrosiven Auswirkungen nicht entstehen. Dies führt zu einer erhöhten Lebensdauer der Geräte. Für die Beheizung wird eine Spannungsversorgung benötigt. Wird der FI-Schutzschalter auch in ausgeschaltetem Zustand längere Zeit eingesetzt, so ist die Einspeiserichtung (von unten) zu beachten. Damit wird sichergestellt, dass auch hierbei die Beheizung erfolgen kann. Die Schutzfunktion des FI-Schutzschalters ist dabei weiterhin entsprechend der Produktnorm absolut netzspannungsunabhängig.

2.4.7 Typ **K, superresistent**

Betriebsmäßige Ableitströme und Fehlerströme können nicht unterschieden werden. Die Reaktion ist auf beide gleich. Bei einem kurzzeitigen hohen Ableitstrom ist keine Abschaltung des Verbraucher notwendig und gewünscht. Bei Verwendung von elektronischen Betriebsmittel, die zur Entstörung häufig einen gegen den Schutzleiter geschalteten Kondensatoren nutzen, kann es beim Einschalten zu ungewünschten Auslösungen des FI-Schutzschalters kommen.

Zur Vermeidung dieser Abschaltungen empfiehlt sich der Einsatz von superresistenten Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen. Sie sind dazu in ihrem Abschaltverhalten kurzzeitverzögert und als Typ **K** gekennzeichnet.

Die Produktnorm DIN EN 61008-1 (FI-Schutzschalter) und DIN EN 61009-1 (FI/LS-Schalter) kennen nur zwei Ausführungen:

- Standard
- Selektiv

Für diese Ausführungen sind die Grenzwerte für die Abschaltzeiten definiert. Im Sinne der Norm handelt es sich bei den superresistenten FI-Schutzeinrichtungen um unverzögerte Ausführungen.

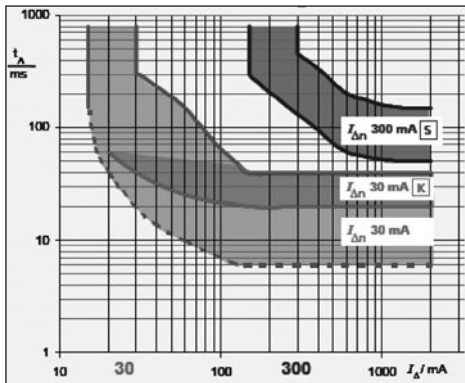


Bild 13: Abschaltzeit t_A in Abhängigkeit des Auslösestromes I_A

Bild 13 zeigt die Auslösebereiche der unterschiedlichen Ausführungen von FI-Schutzeinrichtungen. Es ist deutlich sichtbar, dass die Auslösebereiche der Standardausführung und der superresistenten Ausführung bezüglich Maximalwert identisch sind, nur der Minimalwert ist beim Typ **K** angehoben. Zu diesen beiden Ausführungen verhält sich der Typ **S** selektiv.

Die superresistenten FI-Schutzeinrichtungen Typ **K** nutzen den maximal zulässigen Auslösebereich der Norm aus. Sie besitzen eine minimale Zeitverzögerung von ca. 10 ms. Das heißt, kurzzeitige Ableitströme und hohe Stoßströme (8/20 μ s) werden für diesen Zeitraum ignoriert. Erst wenn ein Fehlerstrom länger als die Verzögerungszeit fließt wird die Abschaltung eingeleitet. Die Schutzwirkung gegen elektrischen Schlag wird durch diese FI-Schutzeinrichtung erreicht. Die Geräte dürfen uneingeschränkt für alle in den Errichtungsbestimmungen geforderten Schutzmaßnahmen mit Abschaltung eingesetzt werden. Die Anlage bleibt von unerwünschten Abschaltungen verschont – die Anlagenverfügbarkeit wird deutlich erhöht.

2.4.8 Typ **S**, selektiv

Um bei der Reihenschaltung von Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen im Fehlerfall eine selektive Abschaltung zu erreichen, müssen die Geräte sowohl im Bemessungsdifferenzstrom $I_{\Delta n}$ als auch in der Auslösezeit gestaffelt sein. Die unterschiedlichen zulässigen Ausschaltzeiten der Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen können dem Bild 14 entnommen werden. Auch die geeignete Staffellung bezüglich der Bemessungsdifferenzströme ist aus Bild 14 ersichtlich.

Selektive Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen des Typs **S** weisen außerdem eine sehr hohe Stoßstromfestigkeit von 5 kA (8/20 μ s Stromform) auf. Sie sind mit dem Symbol **S** gekennzeichnet.

Hauptverteiler		Unterverteiler		
selektive Ausführung		unverzögert oder superresistent K		
Vorgeschalteter FI-Schutzschalter für selektives Abschalten S		Nachgeschalteter FI-Schutzschalter oder unverzögerte Ausführung oder superresistente Ausführung K		
$I_{\Delta n}$	Abschaltzeit bei $5 \times I_{\Delta n}$	$I_{\Delta n}$	Abschaltzeit bei $5 \times I_{\Delta n}$	Abschaltzeit bei $5 \times I_{\Delta n}$
100 mA 300 mA 500 mA 1000 mA	50 - 150 ms	10 mA oder 30 mA 10 mA, 30 mA oder 100 mA 10 mA, 30 mA, 100 mA 300 mA	≤ 40 ms	20-40 ms

I2_06160g

Bild 14: Anordnung unterschiedlicher Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen und deren Auslösezeiten

2.4.9 Ausführungen für 50 bis 400 Hz

Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen sind aufgrund ihres Funktionsprinzips in ihrer Standardausführung auf den maximalen Wirkungsgrad im 50/60-Hz-Netz ausgelegt. Auch die Gerätebestimmungen und Auslösebedingungen beziehen sich auf diese Frequenz. Mit steigender Frequenz nimmt die Empfindlichkeit üblicherweise ab. Um für Anwendungsfälle in Netzen bis 400 Hz (z. B. Industrie) einen wirksamen Fehlerstromschutz realisieren zu können, sind entsprechend geeignete Geräte zu verwenden.

Derartige Fehlerstrom-Schutzschalter erfüllen bis zur angegebenen Frequenz die Auslösebedingungen und bieten entsprechenden Schutz.

2.4.10 Ausführungen für 500 V Betriebsspannung

Die Standardausführungen der Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen sind mit ihren Kriech- und Luftstrecken für Netze bis 240/415 V Wechselspannung ausgelegt.

Für Netze bis 500 V sind geeignete Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen lieferbar.

2.4.11 Fehlerstrom-Schutzschalter mit N-Anschluss linksseitig

Da der Fehlerstrom-Schutzschalter vor allem in Deutschland üblicherweise links von den Leitungsschutzschaltern angeordnet wird, er den N-Leiteranschluss aber rechts hat, wird der durchgängige Sammelschienenanschluss gestört. Fehlerstrom-Schutzschalter in Verbindung mit Leitungsschutzschaltern erfordern deshalb eine spezielle Sammelschiene.

Um jederzeit auf eine Standardsammelschiene zurückgreifen zu können, werden vierpolige Fehlerstrom-Schutzschalter auch mit N-Anschluss links angeboten.

Die Installationsgewohnheit mit Fehlerstrom-Schutzschalter links vom Leitungsschutzschalter und der Verwendung von standardmäßigen Sammelschienenverbindungen kann damit beibehalten werden.

2.5 Zusatzkomponenten für Fehlerstrom-Schutzschalter

2.5.1 Fernantrieb (RC)

Favorisierte Einsatzfälle für Fernantriebe sind räumlich ausgedehnte oder nicht ständig besetzte Betriebsstätten, wie z. B. Kläranlagen oder Funkstationen sowie automatisierte Anlagen für das Energie- und Betriebsmanagement.

Der Einsatz des Fernantriebs erlaubt dem Anwender einen direkten und unmittelbaren Zugriff auf die Anlage auch an entlegenen oder schwer zugänglichen Orten. Insbesondere die schnelle Wiedereinschaltung nach einem Fehlerfall bietet erhebliche Zeit- und Kosteneinsparung.

Die Bedienung des Fernantriebs erfolgt durch einen mechanischen Funktionswahlschalter. In der Stellung „OFF“ ist der Fernantrieb abgeschaltet und kann ebenfalls abgeschlossen werden.

„RC OFF“ verhindert die Fernschaltung und erlaubt lediglich die Handbetätigung des FI-Schutzschalters. Somit kann z. B. bei Serviceeinsätzen ein unerlaubtes Schalten aus der Ferne ausgeschlossen werden. In der Stellung „RC ON“ ist sowohl „Fern EIN“- und „Fern AUS“-Schalten als auch die Bedienung vor Ort möglich. Im Falle einer Fehlerauslösung nehmen die verbundenen Griffe des FI-Schutzschalters und des Fernantriebs die Stellung AUS ein. Das Wiedereinschalten des Schalters darf erst nach Ausschluss einer Gefährdung erfolgen. Dazu muss der Bediener nach der Abschaltung zusätzlich mit einem RESET (AUS-Befehl) für den Fernantrieb quittieren.



Bild 15: Fernantrieb mit FI-Schutzschalter

2.5.2 Hilfsschalter

Hilfsstromschalter sind üblicherweise nachträglich vom Kunden an den Fehlerstrom-Schutzschalter anbaubar. Sie dienen dazu, den Schaltzustand des Schutzschalters zu melden.

Hierfür gibt es unterschiedliche Versionen (1 Schließer/1 Öffner; 2 Öffner; 2 Schließer).

3 Installations- und Anwendungshinweise

3.1 Allgemeine Hinweise

3.1.1 Auswahl von Schutzeinrichtungen

Bei der Schutzmaßnahme „Automatische Abschaltung der Stromversorgung“ nach DIN VDE 0100-410 sind für den Fehlerschutz bei der Auswahl der geeigneten Schutzeinrichtung abhängig vom Netzsystem die Abschaltbedingungen zu beachten. Tabelle 3 stellt die entsprechenden Kenngrößen für die Abschaltbedingungen zusammen.

Kenngrößen	Werte im TN-System	Werte im TT-System
Impedanz der Fehlerschleife Z_S (Messwerte)	einige 10 mΩ bis etwa 2 Ω	bis 100 Ω
Fehlerstrom $I_f = \frac{230V}{Z_S}$	etwa 115 A bis zu einigen 1000 A	mindestens 2,3 A
maximal zulässige Abschaltzeit t_a nach Tabelle 41.1 in DIN VDE 0100-410 ¹⁾	0,4 s	0,2 s
Berührungsspannung U_T (Erfahrungswerte)	80 V bis 115 V	160 V bis 230 V
Berührungsstrom $I_T = \frac{U_T}{1000\Omega}$ Körperimpedanz bei Hand-Fuß Durchströmung (Richtwert)	80 mA bis 115 mA	160 mA bis 230 mA
¹⁾ Für Endstromkreise mit einem Nennstrom nicht größer als 32 A im 230/400V-Netz (50Hz)		

Tabelle 3: Kenngrößen für die Abschaltbedingungen im TN-System und im TT-System mit Nennspannungen 230/400V a.c.

Tabelle 3 zeigt den deutlichen Unterschied bezüglich Berührungsspannungen und daraus resultierenden Berührungsströmen im TN- und TT-System. Daraus lässt sich erklären, dass die maximal zulässigen Abschaltzeiten im TT-System kürzer als im TN-System sein müssen, um denselben Schutz zu bieten.

Auf Basis dieser Kenntnisse sind die geeigneten Schutzeinrichtungen auszuwählen. Tabelle 4 gibt hier eine Übersicht.

	TN-System			TT-System		
Abschaltströme I_a von Überstrom-Schutzeinrichtungen zur Sicherstellung der geforderten Abschaltzeit t_a	$I_a \leq \frac{230V}{Z_s}$			$I_a \leq \frac{230V}{Z_s}$		
	Schutzeinrichtung	I_a	t_a ¹⁾	Die notwendigen Abschaltströme I_a von Überstrom-Schutzeinrichtungen werden durch die Fehlerströme I_F im Allgemeinen nicht erreicht.		
	LS-Schalter Typ B	$\geq 5 I_{\Delta n}$	$< 0,1 \text{ s}$			
	LS-Schalter Typ C	$\geq 10 I_{\Delta n}$	$< 0,1 \text{ s}$			
	Schmelzsicherung gG	ca. $> 14 I_{\Delta n}$	$< 0,4 \text{ s}$			
Abschaltbedingungen von Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen zur Sicherstellung der geforderten Abschaltzeit t_a	$I_a \leq \frac{230V}{Z_s}$			$I_{\Delta n} \leq \frac{50V}{R_d}$		
	Im TN-System sind die Fehlerströme I_F wesentlich höher als $5 I_{\Delta n}$			Im Fehlerfall stehen 230V an der Fehlerstelle an. Damit gilt für den Auslösestrom I_a : $I_a = \frac{230V}{50V} I_{\Delta n} = 4,6 I_{\Delta n}$		
	Typ	I_a	t_a ¹⁾	Typ	I_a	t_a ¹⁾
	FI allgemein	$> 5 I_{\Delta n}$	$\leq 0,04 \text{ s}$	FI allgemein	$> 2 I_{\Delta n}$	$\leq 0,15 \text{ s}$
	FI selektiv	$> 5 I_{\Delta n}$	$\leq 0,15 \text{ s}$	FI selektiv	$> 2 I_{\Delta n}$	$\leq 0,2 \text{ s}$

1) Die Werte für t_a beziehen sich auf die Festlegungen in den relevanten Produktnormen.
 R_d - die Summe der Widerstände in Ω des Erders und des Schutzleiters der Körper;
 $I_{\Delta n}$ - der Bemessungsdifferenzstrom in A der Fehlerstrom-Schutzeinrichtung.

Tabelle 4: Auswahl der Schutzeinrichtungen im TN-System und im TT-System mit Nennspannungen 230/400V a.c.

3.1.2 Einsatz von Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen

Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen lassen sich mit allen anderen Schutzeinrichtungen kombinieren. In einer bestehenden Anlage mit einer anderen Schutzmaßnahme kann für diese Anlage oder Anlagenteile der Fehlerstromschutz trotzdem angewandt werden.

Praktisch jede vorhandene Schutzmaßnahme lässt sich ohne größeren Aufwand auf den Fehlerstromschutz umstellen.

Die Vorschrift DIN VDE 0100-530 erlaubt, dass bei Verwendung einer Fehlerstrom-Schutzeinrichtung mit einem Bemessungsdifferenzstrom $I_{\Delta n} \leq 30 \text{ mA}$ diese gleichzeitig den Schutz durch automatische Abschaltung der Stromversorgung zum Fehlerschutz und den zusätzlichen Schutz bei direktem Berühren übernehmen kann. Da aber der zusätzliche Schutz durch Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen mit einem Bemessungsdifferenzstrom, der 30 mA nicht überschreitet, als zusätzlicher Schutz beim Versagen von Vorkehrungen für den Basisschutz und/oder von Vorkehrungen für den Fehlerschutz vorgesehen ist, empfiehlt sich trotzdem zum Erfüllen dieser beiden Schutzziele eine Aufteilung auf unterschiedliche Geräte.

Um eine möglichst hohe Verfügbarkeit und Betriebssicherheit zu erzielen, ist auf eine sinnvolle Aufteilung der Stromkreise auf mehrere Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen zu achten. Diese Forderungen sind in unterschiedlichen Schriften gestellt:

- Nach DIN VDE 0100-300 (VDE 0100-300):1996-01 müssen die Stromkreise aufgeteilt werden, um Gefahren zu vermeiden, die Folgen von Fehlern zu begrenzen, Kontrolle, Prüfung und Instandhaltung zu erleichtern und Gefahren zu berücksichtigen, die durch einen Fehler in nur einem Stromkreis entstehen können, z. B. Ausfall der Beleuchtung.
- DIN 18015-1:2007-09 „Elektrische Anlagen in Wohngebäuden Teil 1: Planungsgrundlagen“ fordert die Zuordnung von Anschlussstellen für Verbrauchsmittel zu einem Stromkreis so vorzunehmen, dass durch das automatische Abschalten der diesem Stromkreis zugeordneten Schutzeinrichtung (z. B. Überstrom-Schutzeinrichtung, Fehlerstrom-Schutzeinrichtung) im Fehlerfall oder bei notwendiger manueller Abschaltung nur ein kleiner Teil der Kundenanlage abgeschaltet wird.
- Der Musterwortlaut der TAB 2007 fordert bei Aufteilung von Stromkreisen die Zuordnung von Anschlussstellen für Verbrauchsgeräte zu einem Stromkreis so vorzunehmen, dass durch das automatische Abschalten der diesem Stromkreis zugeordneten Schutzeinrichtung im Fehlerfall oder bei notwendiger manueller Abschaltung nur ein Teil der Kundenanlage abgeschaltet wird.

Das bedeutet: Außer bei selektiven FI-Schutzeinrichtungen ist die Aufteilung der Stromkreise so vorzunehmen, dass das Abschalten einer Fehlerstrom-Schutzeinrichtung nicht zum Ausfall aller Stromkreise führt.

Wenn einer Fehlerstrom-Schutzeinrichtung für den zusätzlichen Schutz (Bemessungsdifferenzstrom ≤ 30 mA) eine weitere Fehlerstrom-Schutzeinrichtung für andere Schutzaufgaben (Fehlerschutz, Brandschutz) vorgeschaltet ist, muss diese ein selektives Abschaltverhalten (z. B. Typ **S**) haben.

Wie die Tabelle 4 zeigt, erfüllen FI-Schutzeinrichtungen in Standard- und selektiver Ausführung die maximal zulässigen Abschaltzeiten in beiden Netzsystemen.

In Deutschland sind beim Einsatz von Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen für Fehlerschutz, Brandschutz und entsprechend DIN VDE 0100-530 für den zusätzlichen Schutz folgende Punkte zu beachten:

- Allpolige Abschaltung aller aktiven Leiter, d. h. auch des Neutralleiters, ist immer gefordert.
- Nur spannungsunabhängige Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen (Typ A) sind erlaubt.
- Rein wechselstromempfindliche Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen des Typs AC sind ausgeschlossen.

3.2 Auswahl der geeigneten Fehlerstrom-Schutzeinrichtung

Das Bild 16 unterstützt bei der Auswahl der geeigneten Fehlerstrom-Schutzeinrichtung.

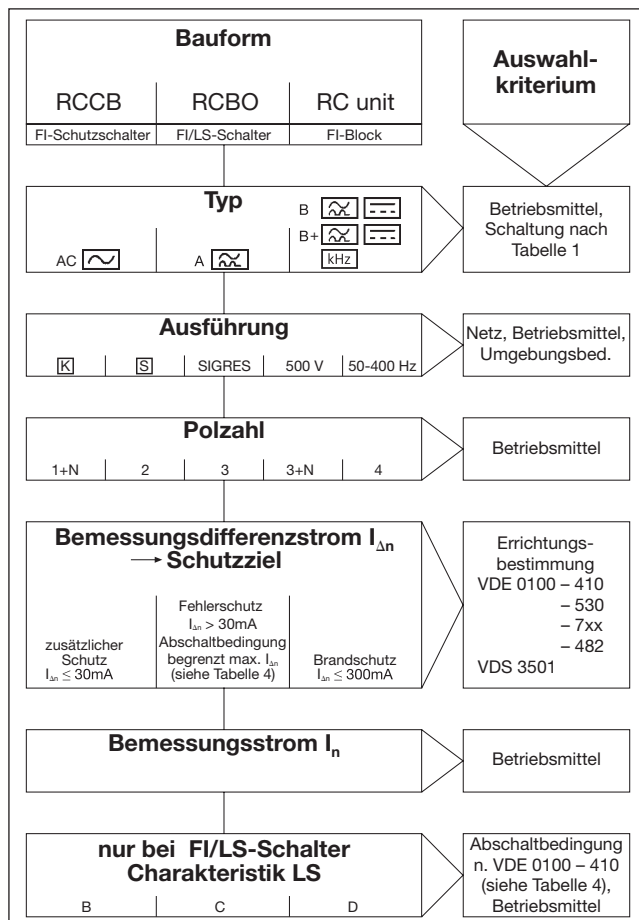


Bild 16: Auswahlhilfe zur Bestimmung der geeigneten Fehlerstrom-Schutzeinrichtung.

Nachstehend wird auf einzelne Themen detailliert eingegangen.

3.2.1 Typ A oder Typ B bzw. Typ B+?

Die Auswahl des für die Anwendung geeigneten Typs der Fehlerstrom-Schutzeinrichtung erfolgt nach Tabelle 1 (entsprechend DIN EN 50178/VDE 0160 „Ausrüstung von Starkstromanlagen mit elektronischen Betriebsmitteln“ bzw. nach DIN VDE 0100-530 Abschnitt 531.3.1).

Bei direkt am Drehstromnetz betriebenen elektronischen Betriebsmitteln (z. B. Frequenzumrichter) mit Schaltungen der Eingangstromkreise Nr. 7 bis 10 (s. Tabelle 1) wird der Einsatz von allstromsensitiven Fehlerstrom-Schutzschaltern (Typ B) notwendig. Für diese Auswahl sind Typ B und Typ B+ gleich zu bewerten. In den übrigen Anwendungsfällen ist der Einsatz von Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen des Typs A (pulsstromsensitiv) ausreichend.

3.2.2 Welches Schutzziel muss erreicht werden?

Je nach Anwendungsfall und Einsatzbereich sind die vorgesehenen Schutzziele einzuhalten:

- Zusätzlicher Schutz mit Bemessungsdifferenzstrom $I_{\Delta n} \leq 30 \text{ mA}$:
Diese RCDs sind als zusätzlicher Schutz gegen elektrischen Schlag beim Versagen des Basisschutzes (Schutz gegen direktes Berühren) und/oder für den Fehlerschutz (Schutz bei indirektem Berühren) oder bei Sorglosigkeit durch Benutzer anerkannt. Diese Schutzwirkung gilt für Frequenzen bis 100 Hz. Bei höheren Frequenzen lassen sich derzeit nur begrenzte Aussagen bezüglich der Gefahr des Herzkammerflimmerns (bis 1 kHz) treffen. Zu weiteren Effekten (thermisch, elektrolytisch) sind keine sicheren Aussagen zum Einfluss auf den menschlichen Organismus zu machen.
- Fehlerschutz mit Bemessungsdifferenzstrom $I_{\Delta n} > 30 \text{ mA}$:
Bei diesen Bemessungsdifferenzströmen kann Schutz gegen elektrischen Schlag unter Fehlerbedingungen geboten werden. Hierzu sind die Abschaltbedingungen des Netzsystems einzuhalten. Für höhere Frequenzen als 100 Hz ist der Schutz bei indirektem Berühren unter Beachtung des Frequenzganges des Fehlerstrom-Schutzschalters, der maximal zulässigen Berührungsspannung (z. B. 50 V), der maßgeblichen Frequenzanteile des Fehlerstromes und des daraus zu bestimmenden zulässigen Erdungswiderstandes (siehe auch Abschnitt 2.4.3) zu realisieren.

- **Brandschutz** mit Bemessungsdifferenzstrom $I_{\Delta n} \leq 300 \text{ mA}$:
In Anlagen
 - mit besonderem Brandrisiko (feuergefährdete Betriebsstätten),
 - die vorwiegend aus brennbaren Baustoffen hergestellt sind,
 - mit unersetzbaren Gütern von hohem Wert
 wird entsprechend DIN VDE 0100-482 in Verbindung mit DIN VDE 0100-530 der Einsatz von Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen mit Bemessungsdifferenzströmen von maximal 300 mA gefordert. Ausnahmen sind nur erlaubt bei Verwendung von mineralisierten Leitungen und Stromschienensystemen.
Für den gehobenen vorbeugenden Brandschutz von elektrischen Betriebsmitteln mit Eingangsstromkreisen Nr. 7 bis Nr. 10 (siehe Tabelle 1) ist in den oben genannten Anlagen die Verwendung von Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen Typ B+ notwendig.

3.2.3 Welche Störbeeinflussungen treten auf und wie werden diese beherrscht?

3.2.3.1 Ableitströme

Unter Ableitströmen versteht man Ströme, die zur Erde abfließen, ohne dass ein Isolationsfehler vorliegt. Sie können als statische oder dynamische Ableitströme auftreten und bei Überschreitung des Auslösewertes den FI-Schutzschalter zum Abschalten veranlassen.

Sie sind deshalb bei der Auswahl des Bemessungsdifferenzstromes $I_{\Delta n}$ des FI-Schutzschalters zu berücksichtigen und erforderlichenfalls so zu minimieren, dass das gewünschte Schutzziel zu erreichen ist.

- **Statische Ableitströme**

Statische Ableitströme fließen beim Betrieb des Verbrauchers ohne Vorliegen eines Isolationsfehlers ständig gegen Erde/PE-Leiter ab. Häufig handelt es sich dabei zu einem hohen Anteil um Ableitströme über Leitungs- und Filterkapazitäten.

In bestehenden Anlagen kann der stationäre Ableitstrom mithilfe des Ableitstrommessgerätes 5SM1 930-0 (siehe auch 3.7) gemessen werden.

Für einen problemlosen Betrieb von FI-Schutzeinrichtungen im praktischen Einsatz sollte der stationäre Ableitstrom $\leq 0,3 \cdot I_{\Delta n}$ sein.

- Dynamische Ableitströme

Bei dynamischen Ableitströmen handelt es sich um kurzzeitig auftretende Ströme gegen Erde/PE-Leiter. Insbesondere beim Schalten von Geräten mit Filterbeschaltungen treten diese Ableitströme im Bereich von wenigen μs bis in den ms-Bereich auf. Die Zeitdauer hängt neben der Zeitkonstante, die sich aus Impedanzen des Stromkreises ergibt, insbesondere vom Schaltgerät ab, mit dem der Filter an Spannung gelegt wird. Durch die ungleichmäßige Kontaktgabe der einzelnen Schaltkontakte ergeben sich je nach Aufbau der Filterbeschaltung kurzzeitig große Kapazitätswerte gegen PE, die sich nach vollständigem Einschalten durch Sternschaltung der Kapazitäten auf kleine Restkapazitäten gegen PE verringern.

Die Höhe dieser dynamischen Ableitströme kann einige Ampere betragen und somit auch unverzögerte FI-Schutzschalter mit $I_{\Delta n} = 300 \text{ mA}$ zum Auslösen bringen.

Der Spitzenwert des dynamischen Ableitstromes ist oszilloskopisch im PE-Leiter zu ermitteln. Dabei ist auf eine isolierte Aufstellung der Betriebsmittel zu achten, so dass der gesamte Ableitstrom über den Messpfad zurückfließen kann.

Um ungewünschte Auslösungen in diesen Anwendungsfällen zu vermeiden, wird der Einsatz von superresistenten FI-Schutzeinrichtungen (Typ **[K]**) empfohlen.

3.2.3.2 Hohe Lastströme

Auch ohne Ableitströme kann es zu ungewollten Auslösungen eines FI-Schutzschalters durch hohe Lastströme (> 6 fachen I_n) kommen. Durch diese hohen Laststromspitzen kann es aufgrund der nicht absolut symmetrisch angeordneten Primärleiter und nicht vollständig geschlossenen Sekundärwicklung auf dem Umfang des FI-Summenstromwandlers zu unterschiedlichen Magnetisierungen im magnetischen Bandkern kommen, die ein Auslösesignal erzeugen. Auch direkte Einstrahlungen des magnetischen Feldes um den stromführenden Leiter auf den Haltemagnet-Auslöser können zur Auslösung führen. Hohe Laststromspitzen werden erzeugt insbesondere beim Direktanlauf von Motoren, Lampenlasten, Heizwicklungen, kapazitiven Lasten (Kapazitäten zwischen L und N), Betrieb von medizinischen Geräten wie Kernspintomograf, Röntgenanlagen.

FI-Schutzschalter sind nach Produktnorm bis zum 6fachen Bemessungsstrom gegen ungewolltes Auslösen resistent.

3.2.3.3 Überspannungen und Stoßstrombelastung

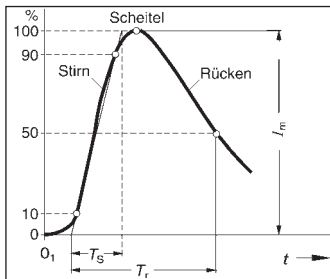
Bei Gewittern können atmosphärische Überspannungen in Form von Wanderwellen über das Versorgungsnetz in die Installation einer Anlage eindringen und dabei Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen ungewollt auslösen. Zur Vermeidung dieser unerwünschten Abschaltungen werden unsere Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen einer Prüfung mit der genormten Stromform 8/20 μs (s. Bild 17) unterzogen. Diese Prüfung ist in den Gerätebestimmungen DIN EN 61008 (VDE 0664) nur für selektive Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen ($i = 3\text{kA}$) gefordert.

Unsere Fehlerstrom-Schutzschalter des Typs A und B bieten in allen Ausführungen deutlich höhere Stoßstromfestigkeit. Dadurch sinkt die Neigung zu Fehlauflösungen in der Praxis deutlich.

Die Stoßstromfestigkeit der einzelnen Gerätereihen betragen:

- unverzögert $\geq 1\text{ kA}$
- superresistent (Typ **K**) $\geq 3\text{ kA}$
- selektiv (Typ **S**) $\geq 5\text{ kA}$

Mit diesen Werten ist bereits bei der Standardausführung eine hohe Sicherheit gegen Fehlauflösungen gegeben und die Anwendung der Schutzmaßnahme auch mit Bemessungsströmen von 30 mA sogar für sensible Verbraucherstromkreise (z. B. Kühlschränke) möglich.



Kerngrößen eines Stromstoßes
nach DIN VDE 0432-2

T_s Stirnzeit in s

T_r Rückenhalfwertzeit in s

O_1 Nennbeginn

I_m Scheitelwert

Bild 17: Form des Stoßstromes 8/20 μs

3.3 Besonderheiten beim Einsatz von SQUENCE allstromsensitiven FI-Schutzeinrichtungen (Typ B und Typ B+)

3.3.1 Anwendungsfälle

Beispiele für Anwendungsfälle, in denen auch glatte Gleichfehlerströme entstehen können, sind:

- Frequenzumrichter mit Drehstrom-Anschluss
- Medizinische Geräte wie Röntgengeräte oder CT-Anlagen
- Photovoltaik- oder USV-Anlagen
- Aufzugsteuerungen
- Rohrbegleitheizungen
- Versuchsanlagen in Labors
- Baustellen gemäß Merkblatt BGI 608 (Elektrische Betriebsmittel auf Baustellen)
- Ladestationen für batteriebetriebene Gabelstapler
- Kräne aller Art
- Mischinstallationen, wenn entsprechende Verbraucher angeschlossen sind
- drehzahlgeregelte Werkzeugmaschinen, wie Fräs-, Schleifmaschinen und Drehbänke

3.3.2 Fehlerströme an unterschiedlichen Fehlerorten am Beispiel eines Frequenzumrichters (FU)

Als typisches Beispiel eines Betriebsmittels, bei dem je nach Fehlerort unterschiedliche Fehlerstromformen auftreten können, soll ein Frequenzumrichter (FU) betrachtet werden (s. Bild 18).

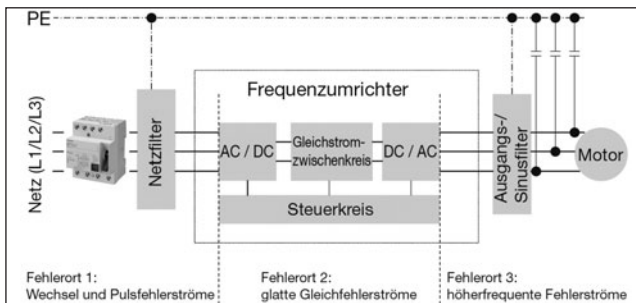


Bild 18: Stromkreis mit SQUENCE allstromsensitiven FI-Schutzschalter und Frequenzumrichter

Fehlerorte im Bereich 1 (vor dem FU)

Zwischen der FI-Schutzeinrichtung und Frequenzumrichter treten netzfrequente Wechselfehlerströme auf (s. Bild 19). Diese rein sinusförmigen 50-Hz-Fehlerströme beherrschen alle FI-Schutzeinrichtungen (Typ AC, A und B). Bei Erreichen des Auslösewertes im Bereich 0,5 bis 1 $I_{\Delta n}$ erfolgt Abschaltung des gefährdeten Bereiches.

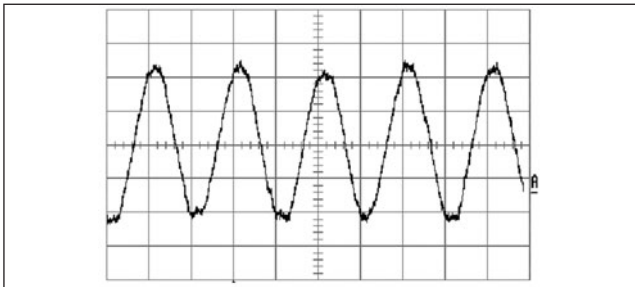


Bild 19: Fehlerstromform am Fehlerort 1

Fehlerorte im Bereich 2 (innerhalb des FU)

Innerhalb des FU (zwischen Eingangsgleichrichter und Ausgangselektronik, d. h. im Gleichstromzwischenkreis) treten nahezu glatte Gleichfehlerströme auf (s. Bild 20). Bei Verwendung einer allstromsensitiven FI-Schutzeinrichtung Typ B erfolgt im Bereich 0,5 bis 2 $I_{\Delta n}$ zuverlässige Abschaltung.

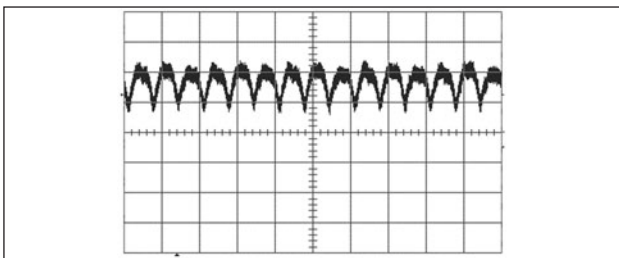


Bild 20: Fehlerstromform am Fehlerort 2

FI-Schutzeinrichtung des Typs A können in diesen Fällen keinen Schutz bieten. Es erfolgt keine Abschaltung, da der Gleichfehlerstrom keine zeitliche Veränderung der Induktion in dem Wandler der nach dem Induktionsprinzip arbeitenden FI-Schutzeinrichtung

bewirkt. Ein glatter Gleichfehlerstrom (oder -ableitstrom) in Folge eines schleichenden Isolationsfehlers führt zu einer Vormagnetisierung des Wandlermaterials der FI-Schutzeinrichtung Typ A. Bild 21 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 der Größe II induziert. Ein über die FI-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 Signalhöhe führen. Dies zeigt, dass eine FI-Schutzeinrichtung des Typs A bei einem gleichzeitig auftretenden, rein sinusförmigen Fehlerstrom, der sonst problemlos abgeschaltet wird, nicht mehr auslösen kann. Die gewünschte Schutzwirkung der FI-Schutzeinrichtung ist damit nicht gegeben.

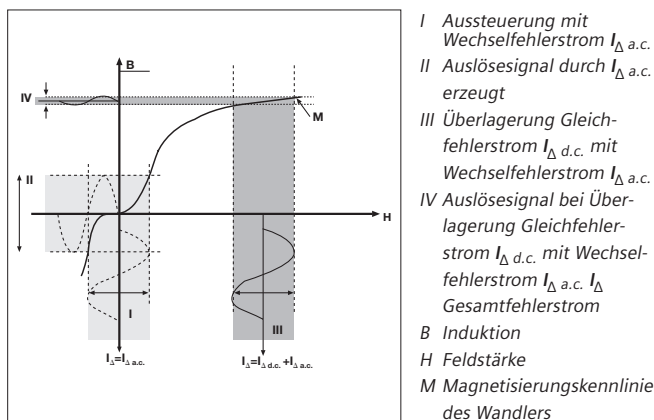


Bild 21: Vormagnetisierung durch Gleichfehlerstrom

Fehlerorte im Bereich 3 (nach dem FU)

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 (s. Bild 22). Je nach Betriebsart des Frequenzumrichters (z.B. als Gleichstrombremse, Gleichstromvorheizung) kann es auch zu glatten Gleichfehlerströmen kommen.

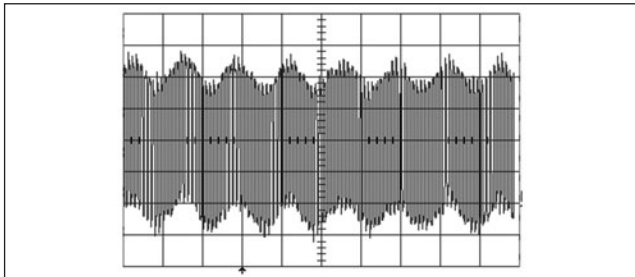


Bild 22: Fehlerstromform am Fehlerort 3

FI-Schutzschalter des Typs A sind entsprechend der Produktnorm nur für die Erfassung von Fehlerströmen mit 50/60 Hz ausgelegt. Der Auslösewert steigt deshalb für höhere Frequenzanteile des Fehlerstromes undefiniert an. Die gewollte Schutzwirkung ist dann meist nicht mehr gegeben. Für FI-Schutzschalter des Typs B sind Auslösebedingungen für Frequenzen bis 2 kHz definiert.

Frequenzanteile im Fehlerstrom eines Frequenzumrichters

Um die Schutzwirkung des FI-Schutzschalters bei Einsatz eines Frequenzumrichters beurteilen zu können, sind neben dem Auslöseverhalten des FI-Schutzschalters auch die Frequenzanteile im Fehlerstrom zu berücksichtigen. Als maßgebliche Frequenzanteile treten am Fehlerort 3 folgende maßgeblichen Anteile auf:

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

Bild 23 zeigt beispielhaft die einzelnen Frequenzanteile, die über einen Fehlerwiderstand von $1\text{ k}\Omega$ im Bereich des Fehlerortes 3 (s. Bild 22) fließen.

Mit steigender Motorfrequenz nimmt der Anteil der Taktfrequenz am Gesamtfehlerstrom ab, der Anteil der Motorfrequenz zu.

Dieses Verhalten ist repräsentativ für Frequenzumrichter in unterschiedlichen Ausführungen.

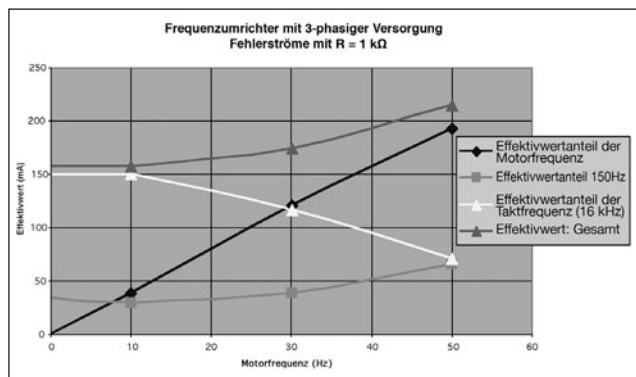


Bild 23: Frequenzanteile des Fehlerstromes am Beispiel eines Frequenzumrichters

3.3.3 Projektierung

Allstromsensitive Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen des Typs B bzw. Typs B+ müssen eingesetzt werden, wenn bei Betrieb von elektronischen Betriebsmitteln im Fehlerfall auch glatte oder nahezu glatte Gleichfehlerströme entstehen können (Eingangsstromkreise Nr. 7 bis 10 aus Tabelle 1).

Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen des Typs A (pulsstromsensitiv) dürfen in diesen Fällen nicht für die Realisierung der Schutzmaßnahme verwendet werden, da diese durch die möglichen glatten Gleichfehlerströme in ihrer Auslösefunktion so beeinträchtigt werden können, dass sie auch beim Auftreten von Fehlerströmen, für die sie geeignet sind, nicht mehr abschalten können.

Aus diesem Grund ist auch bei der Anordnung von Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen des Typs A und B (bzw. B+) in einer gemeinsamen Anlage darauf zu achten, dass eine Fehlerstrom-Schutzeinrichtung des Typs B oder Typs B+ grundsätzlich vor der eines Typs A geschaltet wird (Projektierungsbeispiel siehe Bild 24).

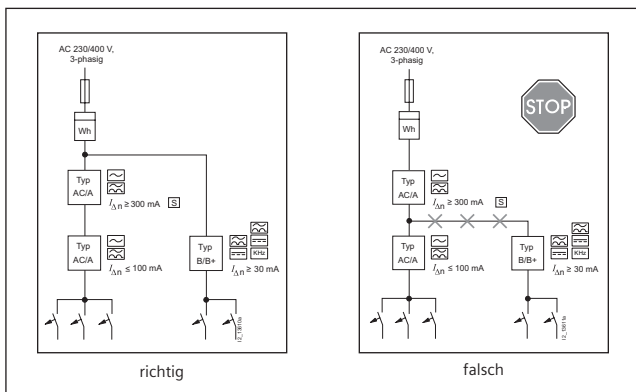


Bild 24: Projektierungsbeispiel mit FI-Schutzeinrichtungen des Typs A und B

3.3.4 Ursachen für zu hohe Ableitströme und Möglichkeiten zur Reduzierung

Ursache von Ableitströmen	Auswirkungen
EMV-(Eingangs-)Filterkapazitäten zwischen Außenleiter und PE-Leiter	hohe dynamische und statische Ableitströme
Leitungskapazitäten	vorwiegend statische Ableitströme
Ein- und Ausschaltungssymmetrien	hohe dynamische Ableitströme möglich
Summierung von Ableitströmen durch Anschluss mehrerer Verbraucher (insbesondere Frequenzumrichter) an einem FI-Schutzschalter	hohe dynamische und statische Ableitströme
Taktfrequenz von Frequenzumrichtern	statische Ableitströme über Kabelkapazität
Erdungsverhältnisse	statische Ableitströme
Oberschwingungsanteil der Ausgangsspannung des Frequenzumrichters	statische Ableitströme über Kabelkapazität

Abhilfemaßnahmen

- Einsatz ableitstromarmer Filter.
 - Klärung mit dem Umrichterhersteller, ob Filter mit niedrigerem Entstörgrad (Klasse B bzw. C3/C4 statt Klasse A bzw. C1) oder Verzicht auf EMV-EingangsfILTER möglich ist, z. B. wenn die Verwendung von ausgangsseitigem Sinusfilter oder du/dt-Filter oder Motordrosseln möglich ist.
-
- Leitungslängen minimieren
(mit der Länge der Leitung nimmt entsprechend des Kapazitätsbelages pro Meter die Gesamtkapazität und damit der gegen PE abfließende Ableitstrom zu – Ableitstrom geschirmter Leitungen von ca. 0,2 mA/m bis 1 mA/m).
 - Leitungen mit geringer Leiter-Erde-Kapazität auswählen. Symmetrische Kabel erreichen günstige Werte. Einzeladerverlegung bewirkt höhere Ableitströme.
 - Verzicht auf den Einsatz geschirmter Leitungen, z. B., wenn die EMV-Forderungen auch mit ungeschirmten Leitungen erfüllt werden (z.B. bei Sinusfiltern im Ausgang).
 - Vorhandenen Leitungsschirm entsprechend den Herstellerangaben des Frequenzumrichters anschließen.
-
- Verzicht auf den Einsatz handbetätigter Schaltgeräte für das betriebsmäßige Schalten, damit Ein- und Ausschaltungssymmetrien zeitlich eng begrenzt bleiben.
 - Verwendung von allpoligen Schützen oder Schaltgeräten mit Sprungschaltwerk.
 - Eigener Netzanschluss für den Antrieb
(Unsymmetrie im Netz verursacht zusätzliche Ableitströme)
 - Einschaltstrombegrenzung kann die dynamischen Ableitströme beim Einschalten reduzieren.
-
- Aufteilung der Stromkreise auf mehrere FI-Schutzschalter
(Anzahl der Antriebe nach einem FI-Schutzschalter möglichst gering halten).
 - Mehrere Frequenzumrichter hinter einem FI-Schutzschalter nicht gleichzeitig in Betrieb setzen (oder zumindest Einschaltstrombegrenzung einsetzen).
 - Bei mehreren Verbrauchern einen gemeinsamen EMV-Filter nutzen
(Ableitstrom meist niedriger als die Summe einzelner Filter).
-

Insbesondere für Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen Typ B+ die Taktfrequenz möglichst niedrig wählen (sofern für die Anwendung umsetzbar). Bei Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen Typ B, die einen mit der Frequenz ansteigendem Auslösewert aufweisen, kann unter Umständen mit höheren Taktfrequenzen trotz höherer kapazitiver Ableitströme insgesamt ein günstigeres Verhalten erzielt werden. In allen Fällen ist bei der Abstimmung mit EMV-Filter darauf zu achten, dass Resonanzfrequenzbereiche vermieden werden

Möglichst alle Ableitströme über den PE-Anschluss zum Frequenzumrichter zurückführen, damit die Filtermaßnahmen optimal wirken und keine undefinierten Ableitströme auftreten.

Sinusfilter im Abgang des Frequenzumrichters filtern die Schaltfrequenz und deren Oberschwingungen zuverlässig aus und erzeugen damit nahezu sinusförmige Ausgangsspannungen und -ströme. Damit können die EMV-Forderungen meist auch mit ungeschirmten Leitungen erfüllt werden. Dies führt zu einer deutlichen Reduzierung der kapazitiven Ableitströme nach dem Frequenzumrichter (z.B. über Kapazitätsbeläge der Leitung). Teilweise kann sogar auf den eingangsseitigen Netzfilter verzichtet werden, was zu weiterer Reduzierung der stationären und dynamischen Ableitströme führt. Alternativ zu den Sinusfiltern können, allerdings mit geringerer Wirkung, Ausgangsdrosseln, du/dt-Filter oder Nanopermfilter eingesetzt werden.

3.4 Bemessungsschaltvermögen und bedingter Bemessungskurzschlussstrom

Insbesondere im TN-System können Fehlerströme durchaus in den Bereich von mehreren hundert Ampere kommen. Dies ist der Fall bei einem Isolationsfehler in einem gut geerdeten Gerät (z.B. bei einem Warmwasserspeicher) mit entsprechend geringem Widerstand. In diesen Fällen ist es außerdem möglich, dass durch Lichtbogeneinfluss ein Erdschluss gleichzeitig zu einem Kurzschluss führt.

In beiden Fällen fließt ein kurzschlussartiger Strom über die Fehlerstrom-Schutzeinrichtung, deren Schaltstücke sich dabei gerade öffnen. Dieser Beanspruchung müssen die Kontakte standhalten.

Dies erfordert ein entsprechend hohes Bemessungsschaltvermögen.

Entsprechend den Errichtungsbestimmungen (VDE 0100-410; DIN VDE 0100-530) sind Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen in allen Netzformen (TT-, TN-, IT-System) einsetzbar. Die im TN-System bei Verwendung des Neutralleiters als Schutzleiter im Fehlerfall kurzschlussartigen Fehlerströme erfordern, dass Fehlerstromeinrichtungen in Verbindung mit einer Vorsicherung für einen entsprechenden Bemessungskurzschlussstrom geeignet sind. Der Bemessungskurzschlussstrom der Kombination wird auf den Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen mit dem Bemessungsstrom der vorgeschalteten Schmelzsicherung angegeben.

Bei den Siemens-Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen werden keine unterschiedlichen Angaben für Bemessungsschaltvermögen und Bemessungsfehlerschaltvermögen sowie für bedingten Bemessungskurzschlussstrom und bedingten Bemessungsfehler-kurzschlussstrom gemacht (Definitionen siehe Abschnitt A.3). Dies ist durchaus sinnvoll, da in den jeweiligen Fällen Fehler- und Kurzschlussstrom in gleicher Höhe liegen können.

Üblicherweise haben Siemens Fehlerstrom-Schutzschalter mit der entsprechenden Vorsicherung einen bedingten Bemessungskurzschlussstrom von 10 kA. Der angegebene Wert der Kurzschlussvorsicherung bezieht sich auf Schmelzsicherungen der Betriebsklasse gG.

Das Bemessungsschaltvermögen Im der Geräte entsprechend der gültigen Gerätebestimmung (DIN EN 61008-1/VDE 0664-10) beträgt überwiegend 800 A und liegt damit für Geräte bis 63 A Bemessungsstrom deutlich über der Mindestforderung von 500 A bzw. 630 A (s. Tabelle 5). Die Angaben der maximal zulässigen Kurzschlussvorsicherung beziehen sich auf eine Kurzschlussfestigkeit von 10 kA.





Bemessungsstrom der FI-Schutzeinrichtung		Bemessungsschaltvermögen I_m nach IEC/EN 61008 (VDE 0664) bei einem Gitterabstand von 35 mm	maximal zulässige Kurzschluss-Vorsicherung NH, DIAZED, NEOZED	
 Typ AC  Typ A  Typ B  Typ B+			Betriebsklasse gG für FI-Schutzeinrichtung	
			AC 125 V	
			... 400 V	AC 500 V
A	TE	A	A	A
16-40	2,0	500	63	–
63,80	2,5	800	100	–
100, 125	2,0	1250	125	–
25,40 (400Hz)	4,0	800	80	–
25-63	4,0	800	100	63
80	4,0	800	100	–
100	4,0	1000	100	–
125	4,0	1250	125	–

Tabelle 5: Bemessungsschaltvermögen und max. zulässige Kurzschluss-Vorsicherungen

Bei Einsatz von Leitungsschutzschaltern oder Leistungsschaltern statt der genannten Sicherungen ergeben sich aufgrund der höheren Durchlasswerte bis zur Abschaltung des Stromkreises teilweise deutlich niedrigere Bemessungswerte. Eine direkte Angabe für den zulässigen Bemessungsstrom dieser Schutzschalter lässt sich wegen der sehr unterschiedlichen Konstruktionen und Auslösecharakteristiken hier nicht geben. Der maximal zulässige Bemessungsstrom der zugeordneten Überstrom-Schutzeinrichtung lässt sich aber unter Berücksichtigung der maximal zulässigen Grenzwerte des Fehlerstrom-Schutzschalters festlegen. Auf Basis der auf den Fehlerstrom-Schutzschaltern genannten maximal zulässigen Kurzschlussvorsicherung nach Tabelle 5 lässt sich der Bemessungsstrom der zugeordneten Überstrom-Schutzeinrichtung bestimmen. Es sind dabei die nachstehenden Maximalwerte für Fehlerstrom-Schutzschalter der Baureihe 5SM3 zu einzuhalten:

max zul Kurzschluss vorsicherung	maximum I t Wert	max Strom Scheitelwert
63 A	25.000 A ² s	6,0 kA
80 A	40.000 A ² s	7,0 kA
100 A	70.000 A ² s	7,5 kA
125 A	94.000 A ² s	8,0 kA

3.5 Auswahl des Bemessungsstromes nach thermischer Belastung

Der Schutz vor thermischer Überlastung des FI-Schutzschalters muss primär durch sorgfältige Planung der Verbraucherstromkreise nach dem FI-Schutzschalter erfolgen. Daher ist sicherzustellen, dass

- entweder der Bemessungsstrom der vorgeschalteten Sicherung nicht größer als der Bemessungsstrom des FI-Schutzschalters ist oder
- die Summe der Bemessungsströme der dem FI-Schutzschalter nachgeschalteten Überstrom-Schutzeinrichtungen maximal die Höhe des Bemessungsstromes des FI-Schutzschalters erreicht

Ist die Nutzung der Stromkreise bekannt darf eine Abschätzung des zu erwartenden Betriebsstromes erfolgen. DIN VDE 0100-530 erlaubt in einer Anmerkung, dass zur Vermeidung der Überlastung von Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen ohne integrierten Überstromschutz unter Beachtung der Angaben des Herstellers der Fehlerstrom-Schutzeinrichtung zu Bemessungsstrom und Art der Überstrom-Schutzeinrichtung, der zu erwartende Betriebsstrom als Bemessungsgrundlage herangezogen werden kann.

Zur Ermittlung des zu erwartenden Betriebsstromes können Bemessungsbelastungsfaktoren (Gleichzeitigkeitsfaktoren) für die angeschlossenen Stromkreise herangezogen werden. Die Tabellen 6 und 7 geben Anhaltswerte für die Berücksichtigung des Bemessungsbelastungsfaktors.

Verbrauchergruppen	Bürogebäude	Krankenhäuser	Kaufhäuser
Beleuchtung	0,85 ... 0,95	0,7 ... 0,9	0,85 ... 0,95
Klimaanlage	1	0,9 ... 1	0,9 ... 1
Küchen	0,5 ... 0,85	0,6 ... 0,8	0,6 ... 0,8
Aufzüge/Rolltreppen	0,7... 1	0,5 ... 1	0,7 ... 1
Steckdosen	0,1 ... 0,15	0,1 ... 0,2	0,2

Tabelle 6: Bemessungsbelastungsfaktoren unterschiedlicher Verbrauchergruppen

Anzahl der Hauptstromkreise	Belastungsfaktor
2 und 3	0,9
4 und 5	0,8
6 und 7	0,7
10 und mehr	0,6

Tabelle 7: Bemessungsbelastungsfaktoren nach Anzahl der Hauptstromkreise

Um eine Überlastung des Fehlerstrom-Schutzschalters zu vermeiden ist grundsätzlich zu beachten:

- Der Bemessungsstrom des FI-Schutzschalters gilt als maximal zulässiger Dauerbetriebsstrom und darf auf Dauer nicht überschritten werden.
- Mit dem auf dem Typenschild angegebenen Wert der Vorsicherung (63 A bis 125 A) wird ausschließlich der Kurzschlussschutz des FI-Schutzschalters sichergestellt (siehe Abschnitt 3.4).

Bei Einsatz von FI/LS-Schaltern entfallen diese Betrachtungen bezüglich der thermischen Belastung. Der LS-Teil stellt durch seinen thermischen Auslöser sicher, dass es zu keiner Überlastung kommt.

3.6 Fehlersuche

Sollte eine Fehlerstrom-Schutzeinrichtung auslösen, so lässt sich die Fehlersuche in einem ersten Schritt entsprechend dem nachstehenden Diagramm (Bild 25) vornehmen.

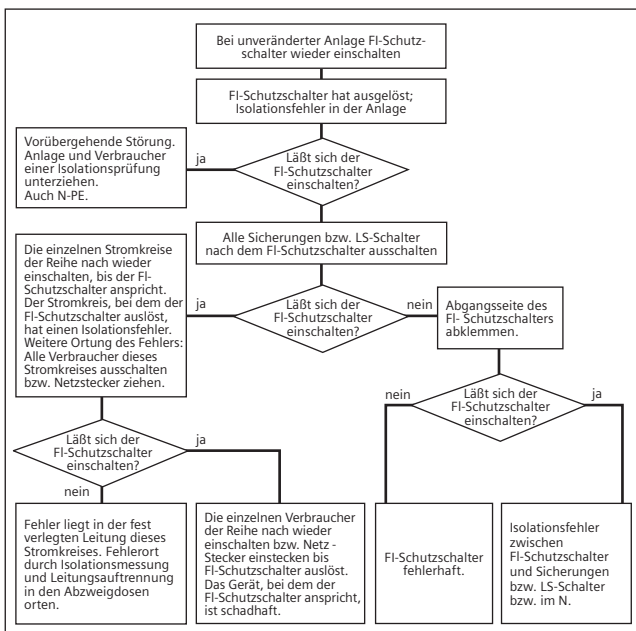


Bild 25: Ablaufdiagramm zur Fehlersuche

3.7 Ableitstrommessung

Wenn durch nicht fachgerechte Anlagenprojektierung, d. h. aufgrund einer hohen Anzahl an elektrischen Verbrauchern, eine Häufung der betriebsmäßigen Ableitströme auftritt oder elektrische Verbraucher mit hohen Ableitströmen eingesetzt sind, kann je nach Betriebszustand der elektrischen Anlage der Auslösestrom der vorgeschalteten Fehlerstrom-Schutzeinrichtung überschritten werden. Diese Auslösungen sind ungewollt.

Als Empfehlung für den praktischen Betrieb ohne ungewollte Auslösungen von Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen gilt, dass der im ungestörten Betrieb in der Anlage fließende Ableitstrom kleiner als der 0,3fache Bemessungsdifferenzstrom sein soll.

Um den Anlagenzustand einfach erfassen und gegebenenfalls auch überwachen zu können, lässt sich ein Ableitstrommessgerät (s. Bild 26) in Reihe zur Fehlerstrom-Schutzeinrichtung in die Anlage schalten. Mit diesem Gerät kann der in der Anlage während des normalen Betriebs fließende Ableitstrom gemessen werden.

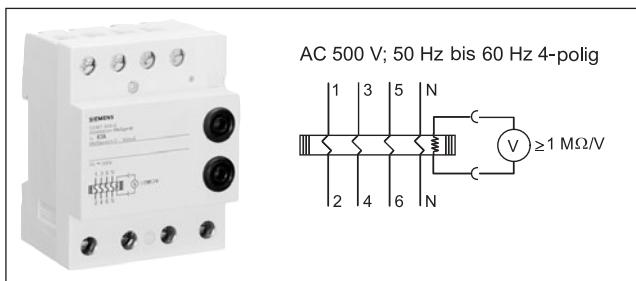


Bild 26: Ableitstrommessgerät 5SM1 930-0

Die Funktion des Ableitstrommessgerätes ist dabei dieselbe wie bei der Fehlerstrom-Schutzeinrichtung. Es erfolgt lediglich keine Abschaltung, sondern der Ableitstrom wird über die von vorne zugänglichen Messbuchsen in eine Spannung umgewandelt, die über einem hochohmigen Spannungsmessgerät abgelesen werden kann. Die mitgelieferte Eichkurve erlaubt den Rückschluss auf den Ableitstrom.

3.8 Fehlerstrom-Schutzschalter 4-polig in einem 3-poligen Netz

Die Fehlerstrom-Schutzschalter in 4-poliger (3+N)-Ausführung können auch 3-polig betrieben werden. Der 3-polige Anschluss muss an den Klemmen 1, 3, 5 und 2, 4, 6 erfolgen.

Die Gerätefunktion ist dadurch nicht beeinträchtigt. Um die Funktion des Prüfstromkreises sicherzustellen, muss eine Brücke zwischen den Klemmen 3 und N angebracht werden (dies ist in den Betriebsanleitungen beschrieben).

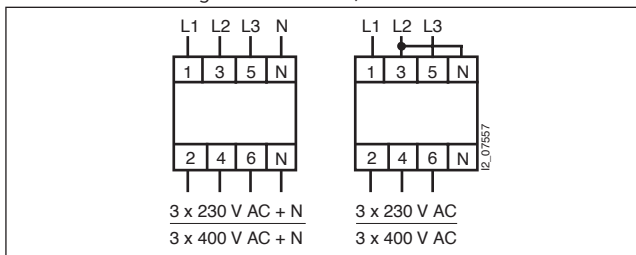


Bild 27: FI-Schutzschalter 4-polig in 3-poligem Netz

4 Differenzstrom-Überwachungsgeräte (RCM)

Neben dem Personenschutz durch Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen (RCD), gewinnt die permanente Differenzstrom-Überwachung zur Erhöhung der Anlagen- und Betriebssicherheit und Überwachung der Stromversorgung verstärkt an Bedeutung.

Differenzstrom-Überwachungsgeräte, auch Residual Current Monitor (RCM) genannt, überwachen Differenzströme in elektrischen Anlagen und melden, wenn diese einen festgelegten Wert überschreiten. Nach Produktnorm für Differenzstrom-Überwachungsgeräte DIN EN 62020 (VDE 0663) bzw. IEC 62020, sind RCM nicht zur Realisierung der Schutzmaßnahme „automatische Abschaltung der Stromversorgung“ zugelassen. Ein RCM kann jedoch gemeinsam mit Schutzeinrichtungen verwendet werden.

Durch die permanente Überwachung der Differenzströme können Fehler schon vor Ansprechen der Schutzeinrichtung erkannt und gemeldet werden. Dadurch kann eine plötzliche Anlagen-Abschaltung oft vermieden werden. Differenzstrom-

Überwachungsgeräte werden daher vorwiegend in Anlagen eingesetzt, in denen im Fehlerfall eine Meldung, jedoch keine Abschaltung erfolgen soll. Zusätzlich gilt die Differenzstrom-Überwachung in elektrischen Anlagen als eine Maßnahme der vorbeugenden Instandhaltung.

Die Funktionsweise der Differenzstrom-Überwachungsgeräte ist die Gleiche, wie auch bei den Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen. Der Summenstromwandler erfasst alle zur Stromführung benötigten Leiter, also ggf. auch den Neutralleiter. In einer fehlerfreien Anlage heben sich für den Wandler die magnetisierenden Wirkungen der stromdurchflossenen Leiter auf, und die Summe aller Ströme ist gleich Null (erster Kirchhoff'scher Satz). Wenn aufgrund eines Isolationsfehlers ein Differenzstrom fließt, verbleibt ein Restmagnetfeld im Wandlerkern, welches eine Spannung erzeugt. Diese Spannung wird von der Elektronik des RCM ausgewertet und der geschaltete Kontakt kann z. B. zur Ansteuerung eines akustischen / optischen Melders, einer übergeordneten Steuerung oder eines Leistungsschalters verwendet werden. RCMs verfügen nicht über eine direkt abschaltende Funktion.

RCMs sind als Ausführung mit integriertem Stromwandler und auch externen Summenstromwandlern verbreitet. Externe Summenstromwandler sind mit verschiedenen Innendurchmessern verfügbar. Dadurch können auch Installationen mit Bemessungsströmen von mehreren hundert Ampere überwacht werden. Weiterhin zeichnen sich Differenzstrom-Überwachungsgeräte durch einstellbare Werte für Ansprechdifferenzstrom, der Ansprechzeit und ggf. Anzeige des momentanen Wertes des Differenzstromes aus.

Ein wesentlicher Vorteil der RCMs liegt in dieser Einstellbarkeit des Ansprechdifferenzstromes und des Zeitverhaltens. Hierdurch wird eine anlagenspezifische Einstellung ermöglicht, und dauerhaft vorhandene Ableitströme können berücksichtigt werden. Diese werden z.B. durch Kapazitäten in den Kabel und Leitungen oder in elektrischen Betriebsmitteln verursacht.

RCM als zusätzlicher Brandschutz

Entsprechend DIN VDE 0100-530 können RCMs, gekoppelt mit einem Schaltgerät mit Trennfunktion, als Alternative zum Brandschutz eingesetzt werden, wenn Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen (RCDs) zum Brandschutz nicht eingesetzt werden können, weil z. B. der Betriebsstrom des zu schützenden Stromkreises größer ist als der größte Bemessungsstrom von Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen (RCDs). Voraussetzung hierfür ist, dass der Ansprechdifferenzstrom 300 mA nicht übersteigt und bei Ausfall der Versorgungsspannung des Differenzstrom-Überwachungsgeräts (RCM) eine Abschaltung des überwachten Netzes erfolgt.

5 Ausblick

Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen werden wegen des hohen Schutzniveaus, das sie bieten, weiterhin in immer mehr Anlagen gefordert.

Darüber hinaus stellt die breite Anwendung von Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen zum Schutz von unterschiedlichsten Verbrauchern immer höhere Anforderungen an die Funktion der Geräte. Der Einsatz von allstromsensitiven Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen des Typs B, von superresistenten und für erschwerte Umgebungsbedingungen sind Beispiele für die gestiegenen Ansprüche, die auch in Zukunft noch zunehmen werden.

Der Trend zu FI/LS-Kombinationen – entweder als Kompaktgerät oder als FI-Block in Verbindung mit frei anbaubarem LS-Schalter wird zunehmen.

Im Sinne einer modernen Elektroinstallation werden diese FI/LS-Kombinationen pro Stromkreis vorgesehen und bieten damit eine hohe Betriebssicherheit bei gleichzeitigem Personen- und Leitungsschutz.

Anhang

A.1 Begriffe und Definitionen

(entsprechend DIN VDE 0100-200)

- **Außenleiter** (Symbol $L1, L2, L3$),
Leiter, die Stromquellen mit Verbrauchsmitteln verbinden, aber nicht vom Mittel- oder Sternpunkt ausgehen.
- **Neutralleiter** (Symbol N)
Mit dem Mittelpunkt bzw. Sternpunkt verbundener Leiter, der geeignet ist, zur Übertragung elektrischer Energie beizutragen.
- **Schutzleiter** (Symbol PE)
Leiter, der für einige Schutzmaßnahmen gegen gefährliche Körperströme erforderlich ist, um die elektrische Verbindung zu einem der nachfolgenden Teile herzustellen:
 - Körper der elektrischen Betriebsmittel
 - Fremde leitfähige Teile
 - Haupterdungsklemme
 - Erder
 - Geerdeter Punkt der Stromquelle oder künstlicher Sternpunkt
- **PEN-Leiter**
Geerdeter Leiter, der zugleich die Funktionen des Schutzleiters und des Neutralleiters erfüllt.
- **Nennspannung** (einer Anlage)
Spannung, durch die eine Anlage oder ein Teil einer Anlage gekennzeichnet ist.
- **Berührungsspannung**
Spannung, die zwischen gleichzeitig berührbaren Teilen während eines Isolationsfehlers auftreten kann.
- **Aktives Teil**
Leiter oder leitfähiges Teil, der/das dazu bestimmt ist, bei ungestörtem Betrieb unter Spannung zu stehen, einschließlich des Neutralleiters, aber vereinbarungsgemäß nicht der PEN-Leiter.

- **Körper (eines elektrischen Betriebsmittels)**
Berührbares, leitfähiges Teil eines elektrischen Betriebsmittels, das normalerweise nicht unter Spannung steht, das jedoch im Fehlerfall unter Spannung stehen kann.
- **Elektrischer Schlag**
Pathophysiologischer Effekt, der durch einen elektrischen Strom ausgelöst wird, der den menschlichen Körper oder den Körper eines Tieres durchfließt.
- **Zusätzlicher Schutz**
Ergänzende Maßnahme zum Verringern von Gefahren für Personen und Nutztiere, die sich bei Unwirksamkeit des Basisschutzes und/oder des Fehlerschutzes ergeben können.
- **Basisschutz**
Schutz gegen elektrischen Schlag, wenn keine Fehlzustände vorliegen.
Basisschutz entspricht im Allgemeinen dem Schutz gegen direktes Berühren, wie er in DIN VDE 0100-410 verwendet wird.
- **Fehlerschutz**
Schutz gegen elektrischen Schlag unter den Bedingungen eines Einzelfehlers (z. B. fehlerhafte Basisisolierung)
Fehlerschutz entspricht im Allgemeinen dem Schutz bei indirektem Berühren, wie er in DIN VDE 0100-410 verwendet wird.
- **Gefährlicher Körperstrom**
Strom, der den Körper eines Menschen oder Tieres durchfließt und der Merkmale hat, die üblicherweise einen pathophysiologischen (schädigenden) Effekt auslösen.
- **Ableitstrom (einer Anlage)**
Strom, der in einem fehlerfreien Stromkreis zur Erde oder zu einem fremden leitfähigen Teil fließt.

■ **Differenzstrom**

Summe der Momentanwerte von Strömen, die an einer Stelle der elektrischen Anlage durch alle aktiven Leiter eines Stromkreises fließen.

Bei Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen nach den Normen der Reihe DIN VDE 0664 (VDE 0664) wird der Differenzstrom mit „Fehlerstrom“ bezeichnet.

■ **Betriebsstrom**

Strom, den der Stromkreis in ungestörtem Betrieb führen soll.

■ **Erde**

Leitfähiges Erdreich, dessen elektrisches Potenzial an jedem Punkt vereinbarungsgemäß gleich null gesetzt wird.

■ **Erder**

Leitfähiges Teil oder mehrere leitfähige Teile, die in gutem Kontakt mit Erde sind und mit dieser eine elektrische Verbindung bilden.

■ **Gesamterdungswiderstand**

Widerstand zwischen der Haupterdungsklemme/-schiene und Erde.

■ **A.2 Netzsysteme und Schutzeinrichtungen**

Die unterschiedlichen Netzsysteme sind in DIN VDE 0100- 300 definiert. Die dafür zulässigen Schutzeinrichtungen sind in DIN VDE 0100-410 benannt.

Die Netzsysteme sind mit Kurzzeichen gekennzeichnet, wobei die einzelnen Buchstaben folgende Bedeutung haben:

1. Buchstabe = Erdungsverhältnisse der Stromquelle

T Direkte Erdung eines Punktes

I Entweder Isolierung aller aktiven Teile von Erde oder Verbindung eines Punktes mit Erde über eine Impedanz

2. Buchstabe = Erdungsverhältnisse der Körper der elektrischen Anlage

- T Körper direkt geerdet, unabhängig von der etwa bestehenden Erdung eines Punktes der Stromquelle
- N Körper direkt mit dem Betriebserder verbunden (in Wechselspannungsnetzen ist der geerdete Punkt im Allgemeinen der Sternpunkt)

Weitere Buchstaben = Anordnung des Neutralleiters und des Schutzleiters im TN-System

- S Neutralleiter- und Schutzleiterfunktion durch getrennte Leiter
- C Neutralleiter- und Schutzleiterfunktion kombiniert in einem Leiter (PEN-Leiter)

A.2.1 TN-System

Alle Körper der Anlage müssen mit dem geerdeten Punkt des speisenden Netzes, der am oder in der Nähe des zugehörigen Transformators oder Generators geerdet sein muss, durch Schutzleiter verbunden sein. Die Bilder A1, A2, A3 zeigen die unterschiedlichen Ausführungen des TN-Systems.

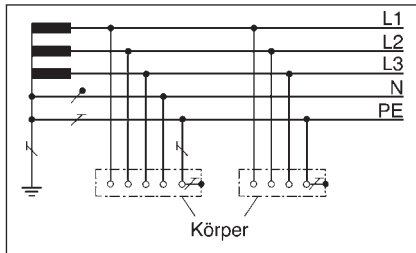


Bild A1: TN-S-System

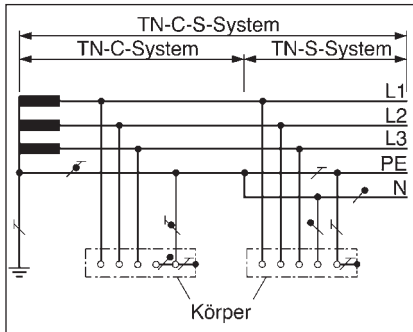


Bild A2: TN-C-S-System

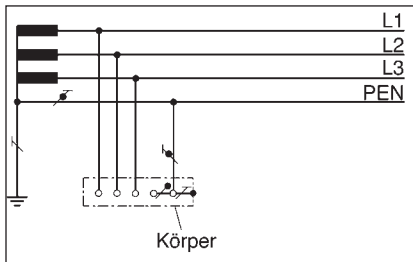


Bild A3: TN-C-System

Zulässige Schutzmaßnahmen in TN-Systemen:

- Überstrom-Schutzeinrichtungen
- Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen
(allerdings nicht im TN-C-System)

A.2.2 TT-System

Alle Körper, die durch die gleiche Schutteinrichtung geschützt sind, müssen durch Schutzleiter an einen gemeinsamen Erder angeschlossen werden (s. Bild A4).

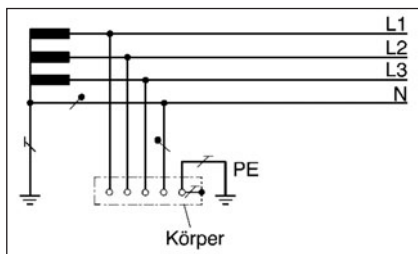


Bild A4: TT-System

Zulässige Schutzmaßnahmen:

- Fehlerstrom-Schutteinrichtungen
- Überstrom-Schutteinrichtungen

Um die Abschaltbedingungen zu erfüllen, ergeben sich bei der Verwendung von Fehlerstrom-Schutteinrichtungen in Abhängigkeit des Bemessungsdifferenzstromes unterschiedliche maximal zulässige Erdungswiderstände für Typ AC und Typ A (s. Tabelle A1).

Bemessungs- differenzstrom $I_{\Delta n}$	Max. zulässiger Erdungswiderstand bei einer max. zulässigen Berührungsspannung von	
	50 V	25 V
10 mA	5000 Ω	2500 Ω
30 mA	1660 Ω	830 Ω
100 mA	500 Ω	250 Ω
300 mA	170 Ω	85 Ω
500 mA	100 Ω	50 Ω
1 A	50 Ω	25 Ω

Tabelle A1: Max. zulässige Erdungswiderstände in Abhängigkeit des $I_{\Delta n}$

Für SIQUENCE allstromsensitive FI-Schutteinrichtungen Typ B und Typ B+ sind beim Einsatz von Betriebsmitteln mit unterschiedlichen Frequenzanteilen im möglichen Fehlerstrom die Angaben in Abschnitt 2.4.3 zu beachten.

A.2.3 IT-System

In IT-Systemen (s. Bild A5) müssen die aktiven Teile entweder gegen Erde isoliert sein oder über eine ausreichend hohe Impedanz verfügen. Die Körper sind einzeln, gruppenweise oder in Gesamtheit zu erden.

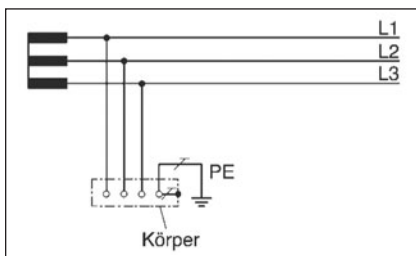


Bild A5: IT-System

Zulässige Schutzmaßnahmen:

- Isolationsüberwachungseinrichtungen
- Überstrom-Schutzeinrichtungen
- Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen

Die Abschaltung beim ersten Fehler ist nicht gefordert. Es sind aber Maßnahmen zu treffen, dass beim Auftreten des zweiten Fehlers das Risiko gefährlicher physiologischer Einwirkungen auf Personen vermieden werden.

Eine Isolationsüberwachungseinrichtung muss vorgesehen werden, damit der erste Fehler durch ein akustisches oder optisches Signal angezeigt wird und der Fehler so rasch wie möglich beseitigt wird.

Nach dem ersten Fehler sind je nach Erdung der Verbraucher (einzeln, gruppenweise oder in Gesamtheit) bestimmte Bedingungen zu erfüllen. Können diese nicht mit Überstromschutzeinrichtungen erfüllt werden, sind für jedes Verbrauchsmittel Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen vorzusehen oder es ist ein zusätzlicher Potenzialausgleich durchzuführen.

Der gemeinsame Einsatz von Isolationsüberwachungseinrichtungen und Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen hat keine gegenseitige Beeinflussung zur Folge.

A.2.4 Zusammenfassung

Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen können in allen Netzsystemen (TN-, TT-, IT-System) eines Wechsel- oder Drehstromnetzes eingesetzt werden (s. Bild A6). Dabei sind Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen den weiteren zugelassenen Schutzeinrichtungen in ihrer Schutzwirkung überlegen, da sie neben dem Fehlerschutz (Schutz bei indirektem Berühren) bei Verwendung von Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen mit $I_{\Delta n} \leq 30 \text{ mA}$ auch zusätzlichen Schutz (Schutz bei direktem Berühren) bieten und mit $I_{\Delta n} \leq 300 \text{ mA}$ für den vorbeugenden Schutz vor elektrischen gezündeten Bränden durch Erdfehlerströme einen wirksamen Beitrag liefern.

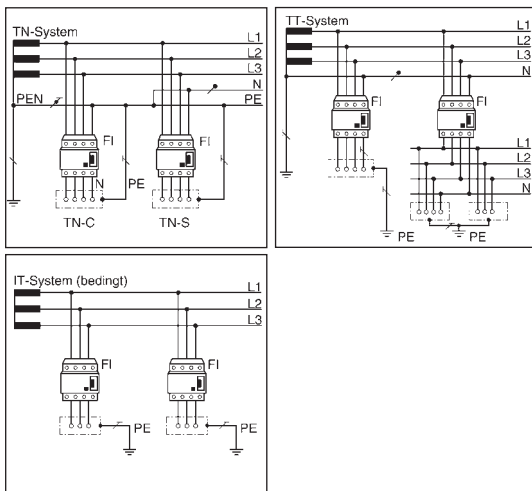


Bild A6: Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen in allen Netzsystemen

A.3 Begriffe und Definitionen für die Angabe des Schaltvermögens

- Bemessungsschaltvermögen I_m des FI-Schutzschalters (DIN EN 61008-1):
Unbeeinflusster Effektivwert des Kurzschlussstromes, den der Fehlerstrom-Schutzschalter unter festgelegten Bedingungen einschalten, führen und ausschalten kann.
- Bemessungsschaltvermögen I_{cn} des FI/LS-Schalters (DIN EN 61009-1):
Bemessungsschaltvermögen eines FI/LS-Schalters ist der vom Hersteller bestimmte Wert des Grenz-Kurzschlusschaltvermögens.
- Bemessungsfehlerstrom $I_{\Delta m}$ (DIN EN 61008-1, DIN EN 61009-1):
Unbeeinflusster Effektivwert des Fehlerstromes, den die Fehlerstrom-Schutzeinrichtung unter festgelegten Bedingungen einschalten, führen und ausschalten kann.
- Bedingter Bemessungskurzschlussstrom I_{nc} (DIN EN 61008-1):
Unbeeinflusster Strom, den der Fehlerstrom-Schutzschalter in Verbindung mit einer Kurzschlussvorsicherung ohne nachfolgende Funktionsbeeinträchtigung aushalten kann.
- Bedingter Bemessungsfehlerkurtzschlussstrom $I_{\Delta c}$ (DIN EN 61008-1):
Unbeeinflusster Fehlerstrom, den der Fehlerstrom-Schutzschalter in Verbindung mit einer Kurzschlussvorsicherung ohne nachfolgende Funktionsbeeinträchtigung aushalten kann.

A.4 Errichtungsbestimmungen für Installationsanlagen mit Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen

Bestimmung (DIN VDE ... oder BGI ...)	Anwendungsbereich	Geforderter Δn [mA]	Empfohlene Siemens- FI-Schutzeinrichtung		
			5SM.. (Typ A)	5SM3 SEQUENCE (Typ B/ Typ B+)	5SM...-KK12 SIGRES
0100-410	Schutz gegen elektrischen Schlag	30 ... 500	+	+	+
	Steckdosen bis 20 A, Anlagen im Freien	10 ... 30	+		
0100-482	Brandschutz bei besonderen Risiken oder Gefahren	30 und 300	+	+	
0100-551	Niederspannungs- Stromerzeugungs- anlagen	10 ... 30	+		
0100-701	Räume mit Badewanne oder Dusche, Steck- dosen im Bereich 3	10 ... 30	+		
0100-702	Becken von Schwimmbädern und andere Becken	10 ... 30	+		+
0100-703	Räume und Kabinen mit Saunaheizungen	10 ... 30	+		+
0100-704 und BGI 608	Baustellen, Steckdosenstromkreise bis 32 A und für handge- haltene Betriebsmittel, Steckvorrichtungen $I_n > 32$ A	≤ 30 mA	+	+	+
		≤ 500 mA	+	+	+
0100-705	Landwirtschaftliche und gartenbauliche Anwesen allgemein, Steckdosenstromkreise	≤ 300 10 ... 30	+		+
0100-706	Leitfähige Bereiche mit begrenzter Bewegungs- freiheit festangebrachte Betriebsmittel	10 ... 30	+		
0100-708	Elektrische Anlagen auf Campingplätzen, jede Steckdose einzeln	10 ... 30	+		+
0100-710	Medizinisch genutzte Bereiche im TN-S-System je nach Anwendungs- gruppe 1 oder 2 und nach Betriebsmittel	10 ... 30 oder ≤ 300	+	+	
0100-712	Solar-PV-Strom- versorgungssysteme (ohne einfache Trennung)	≤ 300		+	

Bestimmung (DIN VDE ... oder BGI ...)	Anwendungsbereich	Geforderter $I_{\Delta n}$ [mA]	Empfohlene Siemens- FI-Schutzeinrichtung		
			5SM.. (Typ A)	5SM3 SEQUENCE (Typ B/ Typ B+)	5SM...-KK12 SIGRES
0100-723	Unterrichtsräume mit Experimentierständen	10 ... 30		+	
0100-739	Zusätzlicher Schutz bei direktem Berühren in Wohnungen	10 ... 30	+		
DIN EN 50178 (VDE 0160)	Ausrüstung von Starkstromanlagen mit elektronischen Betriebs- mitteln	Allgemeine Anforderungen an korrekte Auswahl bei Einsatz von FI	+	+	
0832-100	Straßenverkehrs- Signalanlagen Klasse T1 Klasse U1	≤ 300	+		+
		≤ 30	+		+
	Nahrungsmittel- und chemische Industrie	empfohlen ≤ 30 mA	+		+

Anmerkung:

Aus Gründen des grundsätzlichen Brandschutzes wird der Einsatz von Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen mit maximal 300 mA Bemessungsdifferenzstrom empfohlen.

Abbildungs- und Tabellen Verzeichnis

Seite 7, Bild 1:	Zusätzlicher Schutz: Fehlerstrom-Schutzeinrichtung mit $I_{\Delta n} \leq 30 \text{ mA}$ im TN-System
Seite 8, Bild 2:	Wirkungsbereiche von Wechselstrom 50/60 Hz auf den Menschen
Seite 11, Bild 3:	Fehlerschutz in TN-System
Seite 12, Bild 4:	Einteilung der Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen in unterschiedliche Typen mit Auslösebereichen
Seite 13, Tabelle 1:	Mögliche Fehlerstromformen und geeignete Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen
Seite 15, Bild 5:	Einteilung von Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen (RCDs)
Seite 17, Bild 6:	Prinzipdarstellung eines Fehlerstrom-Schutzschalters
Seite 18, Bild 7:	Funktionsprinzip eines Haltemagnet-Auslösers
Seite 19, Bild 8:	Aufbau eines SIQUENCE allstromsensitiven FI-Schutzschalters Typ B und Typ B+
Seite 21, Bild 9:	Installation mit zentralem FI-Schutzschalter und LS-Schaltern für Abzweige
Seite 22, Bild 10:	Beispiel einer Installation mit FI/LS-Schaltern
Seite 24, Bild 11:	Auslösestrom Typ B in Abhängigkeit von der Frequenz
Seite 24, Tabelle 2:	Empfohlene maximale Erdungswiderstände für SIQUENCE allstromsensitive FI-Schutzeinrichtung Typ B
Seite 26, Bild 12:	Auslösestrom Typ B+ in Abhängigkeit von der Frequenz
Seite 29, Bild 13:	Abschaltzeit t_A in Abhängigkeit des Auslösestromes I_{Δ}
Seite 30, Bild 14:	Anordnung unterschiedlicher Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen und deren Auslösezeiten
Seite 32, Bild 15:	Fernantrieb mit FI-Schutzschalter
Seite 33, Tabelle 3:	Kenngößen für die Abschaltbedingungen im TN-System und im TT-System mit Nennspannungen 230/400V a.c.
Seite 34, Tabelle 4:	Auswahl der Schutzeinrichtungen im TN-System und im TT-System mit Nennspannungen 230/400V a.c.
Seite 37, Bild 16:	Auswahlhilfe zur Bestimmung der geeigneten Fehlerstrom-Schutzeinrichtung.
Seite 41, Bild 17:	Form des Stoßstromes 8/20 μs
Seite 42, Bild 18:	Stromkreis mit SIQUENCE allstromsensitiven FI-Schutzschalter und Frequenzumrichter
Seite 43, Bild 19:	Fehlerstromform am Fehlerort 1
Seite 43, Bild 20:	Fehlerstromform am Fehlerort 2

Seite 44, Bild 21:	Vormagnetisierung durch Gleichfehlerstrom
Seite 45, Bild 22:	Fehlerstromform am Fehlerort 3
Seite 46, Bild 23:	Frequenzanteile des Fehlerstromes am Beispiel eines Frequenzumrichters
Seite 47, Bild 24:	Projektierungsbeispiel mit FI-Schutzeinrichtungen des Typs A und B
Seite 51, Tabelle 5:	Bemessungsschaltvermögen und max. zulässige Kurzschluss-Vorsicherungen
Seite 52, Tabelle 6:	Bemessungsbelastungsfaktoren unterschiedlicher Verbrauchergruppen
Seite 52, Tabelle 7:	Bemessungsbelastungsfaktoren nach Anzahl der Hauptstromkreise
Seite 53, Bild 25:	Ablaufdiagramm zur Fehlersuche
Seite 54, Bild 26:	Ableitstrommessgerät 5SM1 930-0
Seite 55, Bild 27:	FI-Schutzschalter 4-polig in 3-poligem Netz
Seite 61, Bild A1:	TN-S-System
Seite 62, Bild A2:	TN-C-S-System
Seite 62, Bild A3:	TN-C-System
Seite 63, Bild A4:	TT-System
Seite 63, Tabelle A1:	Max. zulässige Erdungswiderstände in Abhängigkeit des $I_{\Delta n}$
Seite 64, Bild A5:	IT-System
Seite 65, Bild A6:	Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen in allen Netzsystemen

Siemens AG
Industry Sector
Building Technologies
Division
Postfach 10 09 53
93009 REGENSBURG
DEUTSCHLAND

Die Informationen in dieser Broschüre enthalten lediglich allgemeine Beschreibungen bzw. Leistungsmerkmale, welche im konkreten Anwendungsfall nicht immer in der beschriebenen Form zutreffen bzw. welche sich durch Weiterentwicklung der Produkte ändern können. Die gewünschten Leistungsmerkmale sind nur dann verbindlich, wenn sie bei Vertragsschluss ausdrücklich vereinbart werden.

Alle Erzeugnisbezeichnungen können Marken oder Erzeugnisnamen der Siemens AG oder anderer, zuliefernder Unternehmen sein, deren Benutzung durch Dritte für deren Zwecke die Rechte der Inhaber verletzen kann.

Änderungen vorbehalten 03/10 • Bestell-Nr.: E10003-E38-10T-G3011

DISPO 18301 • 0310 9.0

© Siemens AG 2010 • Gedruckt in Deutschland