Ausgabe 09/2024

SENTRON

Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen

Technik-Fibel

www.siemens.de/fehlerstromschutz

SIEMENS

Ob Schützen, Schalten, Messen oder Überwachen – die Komponenten der Niederspannungs-Energieverteilung von Siemens bieten für alle Anwendungen in der elektrischen Installationstechnik das passende Gerät. Ob für industrielle Anwendungen, Infrastruktur oder Gebäude, sie garantieren ein Höchstmaß an Flexibilität, Komfort und Sicherheit. So haben Sie den gesamten Stromkreis sicher 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 Hilfsmittel zur Verfügung, das es Ihnen leicht macht, den jeweiligen FI-Schutzschalter 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 auszuwählen.

Inhalt

1. Produktportfolio **6**

2. Einführung **8**

3. Schutz durch Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen **9**
3.1 Zusätzlicher Schutz mit $I_{\Delta n}$ ≤ 30 mA (früher "Schutz bei direktem Berühren") **10**
3.2 Fehlerschutz (Schutz bei indirektem Berühren) **14**
3.3 Brandschutz **15**

4. Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen **16**

4.1 Typen von FI-Schutzschaltern **16**
4.1.1 Typ AC 18
4.1.2 Typ A 18
4.1.3 Typ F 18
4.1.4 Typ B 19
4.1.5 Typ B+ 19
4.2 Einteilung von Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen **19**
4.3 Prinzipieller Aufbau und Wirkungsweise **22**
4.3.1 FI-Schutzschalter Typ A 22
4.3.2 SIQUENCE allstromsensitive FI-Schutzschalter Typ B und Typ B+ 25
4.4 Eigenschaften und Einsatzgebiete **26**
4.4.1 FI-Schutzschalter 26
4.4.2 FI/LS-Schalter Typ AC, Typ A und Typ F 27
4.4.3 SIQUENCE allstromsensitive FI-Schutzschalter Typ B 33
4.4.4 SIQUENCE allstromsensitive FI-Schutzschalter Typ B+ 36
4.4.5 SIQUENCE allstromsensitive FI/LS-Schalter Typ B und Typ B+ 37
4.4.6 FI-Blöcke für den Anbau an Leitungsschutzschalter 38
4.4.7 SIGRES FI-Schutzschalter (für erschwerte Umgebungsbedingungen) 39
4.4.8 Typ K superresistent 40
4.4.9 Typ S selektiv 42
4.4.10 Ausführungen für 50 bis 400 Hz 43
4.4.11 Ausführungen für 500 V Betriebsspannung 43
4.4.12 FI-Schutzschalter mit N-Anschluss, linksseitig 43
4.5 Zusatzkomponenten für FI-Schutzschalter **44**
4.5.1 Fernantrieb (RC) 44
4.5.2 Hilfsschalter 46
4.5.3 Weitere Zusatzkomponenten 46

5. Installations- und Anwendungshinweise **47**

5.1 Allgemeine Hinweise **47**
5.1.1 Auswahl von Schutzeinrichtungen 47
5.1.2 Einsatz von Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen 50

5.2 Auswahl der geeigneten Fehlerstrom-Schutzeinrichtung 52
5.2.1 Welcher RCD-Typ ist der Richtige? 53
5.2.2 Welches Schutzziel muss erreicht werden? 61
5.2.3 Welche Störbeeinflussungen treten auf und wie werden diese beherrscht? 63
5.3 Besonderheiten beim Einsatz von SIQUENCE allstromsensitiven FI-Schutzschaltern (Typ B und Typ B+) 66
5.3.1 Fehlerströme an unterschiedlichen Fehlerorten am Beispiel eines Frequenzumrichters (FU) 66
5.3.2 Projektierung 71
5.3.3 Ursachen für zu hohe Ableitströme und Möglichkeiten zur Reduzierung 72
5.3.4 Funktionsverlust von RCDs Typ AC, A und F durch glatte Gleichfehlerströme 74
5.4 Back-up-Schutz 76
5.5 Schutz vor thermischer Überlastung 78
5.6 Fehlersuche 79
5.7 FI-Schutzschalter 4-polig in einem 3-poligen Netz 80

6. MRCD und RCM 81
6.1 Modulare Fehlerstromgeräte (MRCD) 81
6.2 Differenzstrom-Überwachungsgeräte (RCM) 83

7. Ausblick 85

8. Quellenangaben 86

9. Anhang 90
9.1 Begriffe und Definitionen (entsprechend DIN VDE 0100-200) 90
9.2 Begriffe und Definitionen für die Angabe des Schaltvermögens 93
9.3 Netzsysteme und Schutzeinrichtungen 94
9.3.1 TN-System 95
9.3.2 TT-System 96
9.3.3 IT-System 98
9.3.4 Zusammenfassung 99
9.4 Errichtungsbestimmungen für Installationsanlagen mit Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen 100

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis 106

1. Produktportfolio

FI-Schutzschalter (RCCB)

5SM3 / 5SV

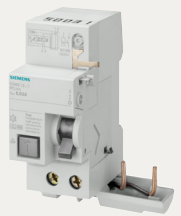
- Typ AC, Typ A und Typ F
- I_n = 16 ... 125 A
- $I_{\Delta n}$ = 10 mA ... 1 A
- 2-polig (1+N) und 4-polig (3+N)
- N-Anschluss links und rechts
- Ausführung SIGRES für erschwerte Umgebungsbedingungen
- Ausführung **K** und **S**
- Ausführung für 500 V
- Ausführung 50 ... 400 Hz

SIQUENCE FI-Schutzschalter (RCCB)

5SM3 / 5SV3

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

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



5SM2

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

FI/LS-Schalter in 1TE kombinierte Geräte (RCBO)

5SV1

- Kombinierter Personen- und Leitungsschutz
- Typ AC, Typ A, Typ F
- I_n = 2 ... 16 A
- $I_{\Delta n}$ = 30 mA, 300 mA
- LS-Charakteristik B und C
- Bemessungs-Schaltvermögen 4,5 kA, 6 kA
- 1+N-polig
- N-Anschluss rechts

FI/LS-Schalter in 2TE kombinierte Geräte (RCBO)

5SU1

- Kombinierter Personen- und Leitungsschutz
- Typ AC, Typ A und Typ F
- I_n = 6 ... 40 A
- $I_{\Delta n}$ = 10 ... 300 mA
- LS-Charakteristik B und C
- Bemessungs-Schaltvermögen 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, A und B
- $I_{\Delta n}$ = 0,03 ... 30 A
- Ansprechzeit 0,02 ... 10 s
- Summenstromwandler 20 ... 210 mm

2. Einführung

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.

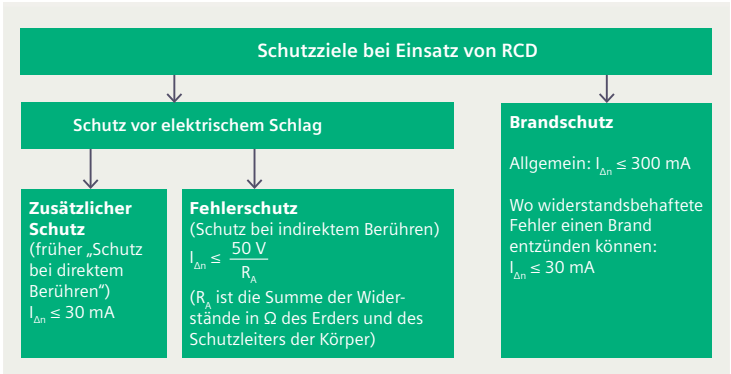
Über den Fehlerschutz (Schutz bei indirektem Berühren) hinaus bieten FI-Schutzschalter mit Bemessungs-Differenzströmen bis 30 mA auch den „zusätzlichen Schutz" (Schutz bei direktem Berühren). Auch Brände durch Erdschlussströme können im Entstehen verhindert werden.

In vielen Fällen verlangen die DIN-VDE-Bestimmungen den Einsatz von FI-Schutzeinrichtungen. Deshalb sollte sich jeder Elektroinstallateur intensiv mit FI-Schutzschaltern befassen. Neben der Information zur Schutzwirkung soll auch das Verständnis für die Gerätefunktion vermittelt werden.

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

3. 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.



3.1 Zusätzlicher Schutz mit $I_{\Delta n} \leq 30$ mA (früher "Schutz bei direktem Berühren")

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 stehenden aktiven Teil kommt. Sofern ein Mensch aktive Teile berührt, bestimmen zwei in Reihe liegende Widerstände die Höhe des fließenden Stroms – der Innenwiderstand des Menschen R_m und der Standort-Übergangswiderstand R_{st}, siehe Bild 1.

Direktes Berühren

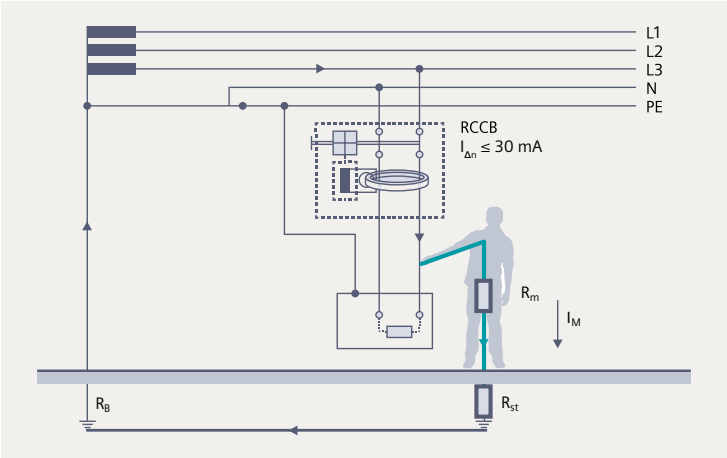


Bild 1: Schutz bei direktem Berühren: Zusätzlicher Schutz bedeutet direkter Kontakt mit einem betriebsmäßig unter Spannung stehenden aktiven Teil

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 Ω 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 Einwirkungsdauern, die in den Bereich ④ reichen. Hier kann es durch Herzkammerflimmern zum Tod des Betroffenen kommen. Eingetragen sind auch die Auslösebereiche von Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen mit Bemessungs-Differenzstrom von 10 mA und 30 mA. Dabei sind die maximal zulässigen Auslösezeiten nach DIN EN 61008-1 (VDE 0664-10) eingetragen. Wie aus den Auslösekurven zu entnehmen ist, begrenzen Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen nicht die Höhe des Fehlerstroms, sondern erzielen die Schutzwirkung durch die rasche Abschaltung und damit geringe Einwirkungsdauer des Stroms.

Zusätzlicher Schutz mit $I_{\Delta n} \leq 30$ mA

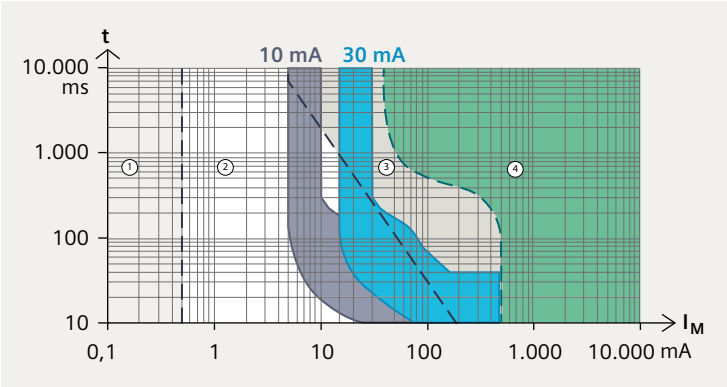


Bild 2: Wirkungsbereiche von Wechselstrom 50/60 Hz auf den Menschen

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.

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

FI-Schutzeinrichtungen mit einem Bemessungs-Differenzstrom $I_{\Delta n} \leq 30$ 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 Bemessungs-Differenzstrom 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 (siehe Tabelle 10). Beispielhaft werden hier einige bedeutsame Anforderungen näher erläutert.
In der allgemein gültigen Errichtungsnorm für den Schutz gegen elektrischen Schlag (DIN VDE 0100-410) wird für den zusätzlichen Schutz der Einsatz von FI-Schutzeinrichtungen mit Bemessungs-Differenzstrom ≤ 30 mA gefordert:

- Für alle Steckdosen mit einem Bemessungsstrom ≤ 32 A, wenn diese für die Benutzung durch Laien und zur allgemeinen Verwendung bestimmt sind.
- Für Endstromkreise mit fest angeschlossenen ortsveränderlichen Betriebsmitteln zur Verwendung im Außenbereich mit einem Bemessungsstrom ≤ 32 A.
- Für Beleuchtungsstromkreise in Wohnungen.

3.2 Fehlerschutz (Schutz bei indirektem Berühren)

Unter Fehlerschutz versteht man die Vorkehrung zum Schutz bei Kontakt eines Menschen mit einem betriebsmäßig nicht unter Spannung stehenden elektrisch leitfähigen 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 Bemessungs-Differenzströmen über 30 mA geeignet. Um die Schutzwirkung zu erzielen, sind die Abschaltbedingungen einzuhalten. Hierzu darf die gefährliche Berührungsspannung unter Berücksichtigung des Erdungswiderstands und Bemessungs-Differenzstroms nicht unzulässig lange anstehen.
Entsprechend DIN VDE 0100-530 darf der Wert des Bemessungs-Differenzstroms einer Fehlerstrom-Schutzeinrichtung nicht denjenigen Stromwert überschreiten, der sich aus dem maximal auftretenden Erdungswiderstands R_A der Körper (der elektrischen Betriebsmittel) des zu schützenden Anlagenteils ergibt, damit im Fehlerfall die zulässige Berührungsspannung von 50 V nicht überschritten wird:

$$I_{\Delta n} \leq \frac{50\ V}{R_A}$$

Maximalwert von R_A	Maximalwert von $I_{\Delta n}$ der Fehlerstrom-Schutzeinrichtung (RCD)
50 Ω	1 A
100 Ω	500 mA
167 Ω	300 mA
500 Ω	100 mA
1666 Ω	30 mA

Tabelle 1: Zusammenhang zwischen dem Maximalwert des Erdungswiderstands R_A und dem Maximalwert des Bemessungs-Differenzstroms $I_{\Delta n}$ der Fehlerstrom-Schutzeinrichtung (RCD) für den Fehlerschutz

Indirektes Berühren

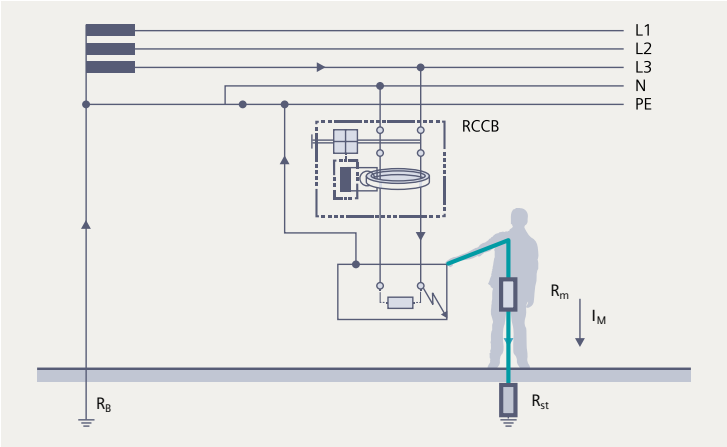


Bild 3: Schutz bei indirektem Berühren: Unter Fehlerschutz versteht man den Kontakt mit einem betriebsmäßig nicht unter Spannung stehenden, elektrisch leitfähigen Teil

3.3 Brandschutz

DIN VDE 0100-420 fordert Maßnahmen zur Verhütung von Bränden, die durch Isolationsfehler entstehen können. Danach müssen Kabel- und Leitungsanlagen sowie Endstromkreise, die elektrische Betriebsmittel in feuergefährdeten Betriebsstätten versorgen oder diese durchqueren, in TN- und TT-Systemen mit Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen mit Bemessungs-Differenzstrom $I_{\Delta n} \leq 300$ mA geschützt werden. Ausgenommen sind davon mineralisolierte Leitungen und Stromschienensysteme.

Bei Anwendungen, in denen widerstandsbehaftete Fehler einen Brand entzünden können (z. B. bei Deckenheizungen mit Flächenheizelementen), muss der Bemessungs-Differenzstrom $I_{\Delta n} \leq 30$ mA betragen. Der Schutz vor Bränden durch Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen sollte aber nicht nur auf die feuergefährdeten Betriebsstätten beschränkt bleiben, sondern grundsätzlich genutzt werden.

4. Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen

4.1 Typen von FI-Schutzschaltern

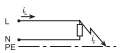
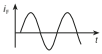
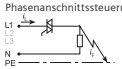
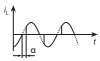
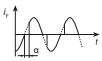
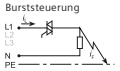
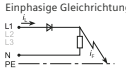
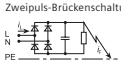
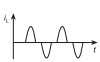
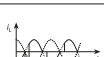
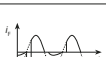
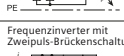
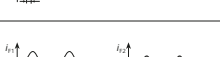
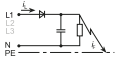
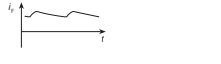
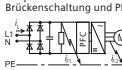
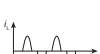
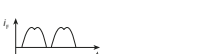
FI-Schutzschalter werden hinsichtlich ihrer Eignung zur Erfassung von unterschiedlichen Fehlerstromformen unterschieden (Tabelle 2).

Ordnungsgemäße Funktion der FI-Schutzschalter						
Strom-form	Typ AC	Typ A	Typ F	Typ B	Typ B+	Auslösestrom
	●	●	●	●	●	0,5 – 1,0 $I_{\Delta n}$
		●	●	●	●	0,35 – 1,4 $I_{\Delta n}$
		● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●	Anschnittwinkel 0°: 0,35 – 1,4 IΔn 90°: 0,25 – 1,4 IΔn 135°: 0,11 – 1,4 IΔn
		●	●	●	●	max. 1,4 $I_{\Delta n}$ + 6 mA (Typ A) + 10 mA (Typ F) + 0,4 $I_{\Delta n}$ (Typ B/B+)
			●	●	●	0,5 – 1,4 $I_{\Delta n}$
				●	●	0,5 – 2,0 $I_{\Delta n}$

Tabelle 2: Einteilung der FIs in unterschiedliche Typen mit Auslösebereichen

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

Tabelle 3 zeigt elektronische Schaltkreise und deren mögliche Last- und Fehlerströme mit dem jeweils dafür geeigneten FI-Typ.

Geeigneter FI-Typ					Schaltbild mit Fehlerort		Form des Laststroms I_L	Form des Fehlerstroms I_F
B	F	A	AC					
				1	ohne Halbleiterelement			
				2	Phasenanschnittssteuerung			
				3	Burststeuerung			
				4	Einphasige Gleichrichtung			
				5	Zweipuls-Brückenschaltung			
				6	Zweipuls-Brückenschaltung halbgesteuert			
				7	Frequenzinverter mit Zweipuls-Brückenschaltung			
				8	Einphasige Gleichrichtung mit Glättung			
				9	Frequenzinverter mit Zweipuls-Brückenschaltung und PFC			
				10	Zweipuls-Brückenschaltung zwischen Außenleitern			
				11	Frequenzinverter mit Zweipuls-Brückenschaltung zwischen Außenleitern			
B+								
kHz								

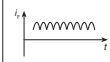
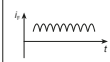
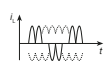
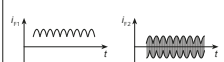
Geeigneter FI-Typ		Schaltbild mit Fehlerort	Form des Laststroms I_L	Form des Fehlerstroms I_F
B B+ kHz	12	Drehstrom-Sternschaltung L1 L2 L3 N PE		
	13	Sechspuls-Brückenschaltung L1 L2 L3 N PE		
	14	Frequenzinverter mit Sechspuls-Brückenschaltung L1 L2 L3 N PE M		

Tabelle 3: Mögliche Fehlerstromformen und geeignete FI-Schutzschalter

4.1.1 Typ AC

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

4.1.2 Typ A

FI-Schutzschalter des Typs 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. Glatte Gleichfehlerströme bis 6 mA beeinflussen die Auslöseeigenschaften nicht unzulässig. Dieser Typ von FI-Schutzschaltern ist geeignet für elektronische Betriebsmittel mit Eingangsstromkreisen Nr. 1 bis 6 aus Tabelle 3.

4.1.3 Typ F

FI-Schutzschalter des Typs F erfassen alle Fehlerstromarten wie Typ A. Darüber hinaus sind sie zur Erfassung von Fehlerströmen geeignet, die aus einem Frequenzgemisch von Frequenzen bis 1 kHz bestehen. Damit werden auch die möglichen Fehlerstromformen auf der Ausgangsseite von einphasig angeschlossenen Frequenzumrichtern (z. B. in Waschmaschinen, Pumpen) beherrscht. Glatte Gleichfehlerströme bis 10 mA beeinflussen die Auslöseeigenschaften nicht unzulässig. FI-Schutzschalter vom Typ F besitzen zusätzlich eine kurzzeit-

verzögerte Auslösung und erhöhte Stoßstromfestigkeit. Sie sind geeignet für elektronische Betriebsmittel mit Eingangsstromkreisen Nr. 1 bis 7 aus Tabelle 3.

4.1.4 Typ B

FI-Schutzschalter des Typs B dienen, neben der Erfassung der Fehlerstromformen des Typs F, auch zur Erfassung von glatten Gleichfehlerströmen. Die Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen dieses Typs sind für den Einsatz im Drehstromsystem mit 50/60 Hz, aber nicht in Gleichspannungssystemen oder bei von 50/60 Hz abweichenden Frequenzen, wie auf der Ausgangsseite von Frequenzumrichtern, geeignet. Sie können für alle in Tabelle 3 aufgeführten Eingangsstromkreise, also auch für die mit den Nummern 8 bis 14 bezeichneten, verwendet werden. Auslösewerte sind bis 1 kHz definiert.

4.1.5 Typ B+

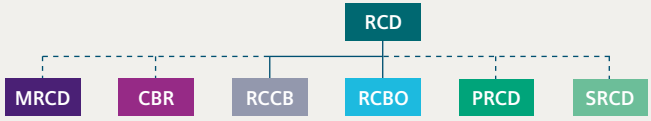
Für FI-Schutzschalter des Typs B+ gelten dieselben Bedingungen wie für Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen des Typs B. Lediglich der Frequenzbereich für die Erfassung von Fehlerströmen gilt für einen erweiterten Bereich bis 20 kHz: Die Auslösung erfolgt innerhalb dieses Frequenzbereichs unterhalb 420 mA.

4.2 Einteilung von Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen

FI-Schutzeinrichtungen werden entsprechend ihrer unterschiedlichen Ausführung unterteilt (siehe Bild 4).

- **RCD** ist der Oberbegriff für alle Arten von Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen („Residual Current Device“).
- **RCCB** sind die in Deutschland unter dem Namen Fehlerstrom-Schutzschalter (FI-Schutzschalter) bekannten Geräte ohne eingebaute Überstrom-Schutzeinrichtung („Residual current operated circuit-breakers without integral overcurrent protection“).
- **RCBO** sind Geräte, die neben dem Schutz vor Fehlerströmen auch eine eingebaute Überstrom-Schutzeinrichtung für den Überlast- und Kurzschlussschutz in einem Gerät vereinen (FI/LS Schalter) („Residual current operated circuit-breakers with integral overcurrent protection“). 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, jedoch keine Kontakte. Der FI-Block löst im Fehlerfall über die Kopplung den Leitungsschutzschalter (LS) aus, der die Kontakte öffnet und den Stromkreis trennt.



Schutzziele
- Zusätzlicher Schutz
- Fehlerschutz
- Brandschutz

Alle Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen entsprechen den DIN-VDE-Bestimmungen.

Nicht für Schutzmaßnahme gemäß DIN VDE 0100-410, nur lokale Schutzpegelerhöhung

- Modulare Fehlerstrom-Schutzgeräte (ohne integrierte Abschaltvorrichtung)
- Leistungsschalter mit Fehlerstromschutz
- FI-Schutzschalter *
- FI/LS-Schalter *
- ortsveränderliche Fehlerstrom-Schutzeinrichtung
- ortsfeste Steckdosen-Fehlerstrom-Schutzeinrichtung

* netzspannungsunabhängige Erfassung und Auslösung

Bild 4: Einteilung von Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen (RCDs)

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 0664-50 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 einsetzbar, in denen die geforderte Schutzmaßnahme auf andere Weise sichergestellt ist. Für die Realisierung einer Schutzmaßnahme mit Abschaltung gemäß DIN VDE 0100-410 sind sie nicht zugelassen.

4.3 Prinzipieller Aufbau und Wirkungsweise

4.3.1 FI-Schutzschalter Typ A

Ein FI-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 und Typs F sind 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 FI-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 (siehe Bild 5).

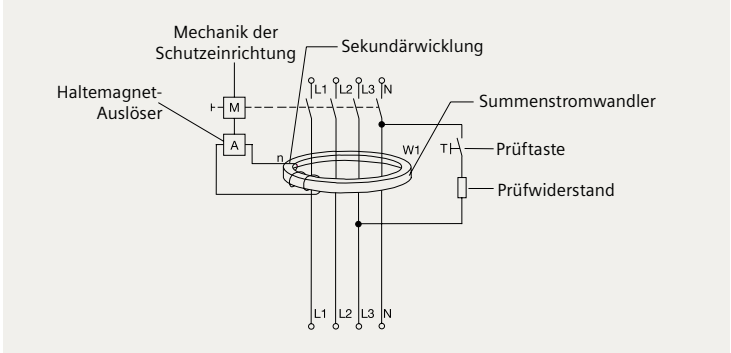


Bild 5: Prinzipdarstellung eines FI-Schutzschalters

Die Abschaltung muss entsprechend der Gerätebestimmung DIN EN 61008-1 (VDE 0664-10) beim Bemessungs-Differenzstrom innerhalb von 300 ms erfolgen. Um eine hohe Zuverlässigkeit in der Geräteschutzfunktion zu erzielen, wird von FI-Schutzschaltern des Typs A und Typs F 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 6 gezeigt.

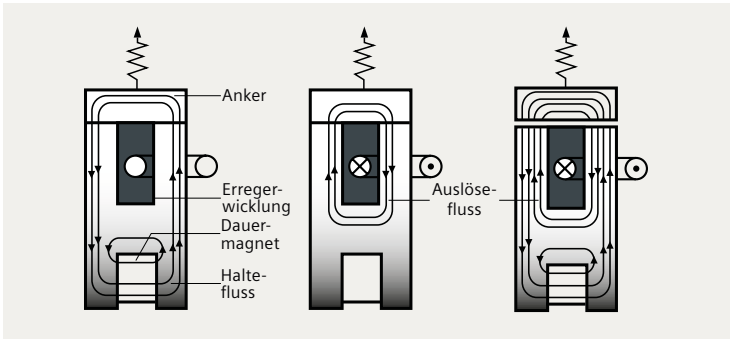


Bild 6: Funktionsprinzip eines Haltemagnet-Auslösers

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.

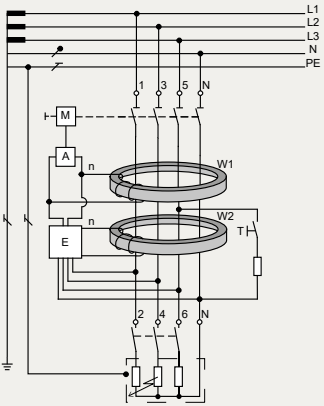
Die linke Darstellung zeigt die Ruhestellung bei fehlerfreier Anlage. Der Dauermagnet treibt einen Kraftfluss durch zwei Schenkel aus weichmagnetischem Material und hält dabei einer Federkraft entgegenwirkend den Anker fest. Wird in der Sekundärwicklung des Wandlers eine Spannung erzeugt (mittlere Darstellung), so treibt diese einen Strom durch die Erregerwicklung. Dadurch wird ein zweiter Kraftfluss erzeugt. Die Wirkung des Dauermagnetfelds 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 – in Abhängigkeit von den jeweiligen Einsatzbedingungen – die Funktionsfähigkeit des FI-Schutzschalters überprüft werden.

4.3.2 SIQUENCE allstromsensitive FI-Schutzschalter Typ B und Typ B+

Dieser Gerätetyp beinhaltet zwei Erfassungssysteme, wobei entsprechend der in Deutschland gültigen DIN EN 61008-1 (VDE 0664-10) 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 sinusförmiger Fehlerströme
W2 Summenstromwandler zur Erfassung der glatten Gleichstromfehler

Bild 7: Aufbau eines SIQUENCE allstromsensitiven FI-Schutzschalters Typ B und Typ B+

4.4 Eigenschaften und Einsatzgebiete

4.4.1 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 FI-Schutzschalters ausgewählt werden. Um diese Anforderungen in Bezug auf die Verfügbarkeit der elektrischen Anlage zu erfüllen (siehe auch Abschnitt 5.1.2), 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 Neutralleiter getrennt. Das ist von Vorteil bei der Fehlersuche in einer Anlage mit fehlerbehaftetem Neutralleiter.

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

4.4.2 FI/LS-Schalter Typ AC, Typ A und Typ F

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

- Zuordnung eines eigenen FI/LS-Schalters für jeden Stromkreis:
  Bei Abschaltung aufgrund eines Fehlerstroms wird nur der betroffene Stromkreis getrennt, so wie dies seit Jahren bei Abschaltungen auf Grund eines Überstroms durch den jeweils einem Stromkreis zugeordneten Leitungsschutzschalter üblich 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 FI-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 oben 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 zentralen FI-Schutzschaltern

Bild 8 zeigt eine bisher häufig durchgeführte Installation mit zwei zentralen FI-Schutzschaltern, denen je Außenleiter mehrere Leitungsschutzschalter nachgeschaltet sind.

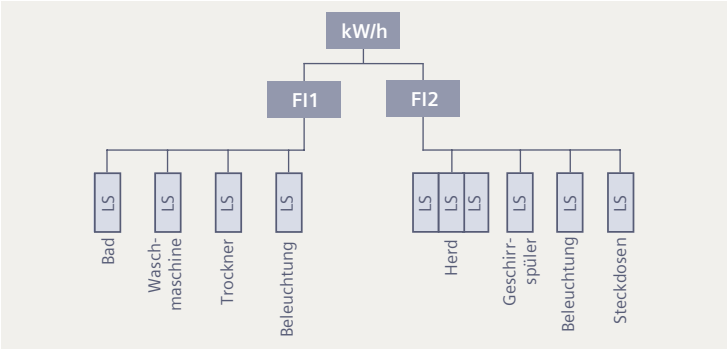


Bild 8: Installation mit zentralem FI-Schutzschalter und LS-Schaltern für Abzweige

Dabei übernimmt der FI-Schutzschalter den Personen- und Brandschutz sowie mit $I_{\Delta n} \leq 30$ 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 5.5).
- Die einpoligen LS-Schalter trennen im ausgeschalteten Zustand nur den Außenleiter vom Netz. Der Neutralleiter bleibt auf die Verbraucherseite durchgeschaltet.
- Das Auslösen eines FIs darf nicht dazu führen, dass alle Stromkreise einer Anlage abgeschaltet werden.

Installation mit FI/LS-Schaltern

Bild 9 zeigt ein Beispiel für eine Installation, die alle Anforderungen der Errichtungsbestimmungen und Planungsvorgaben umsetzt.

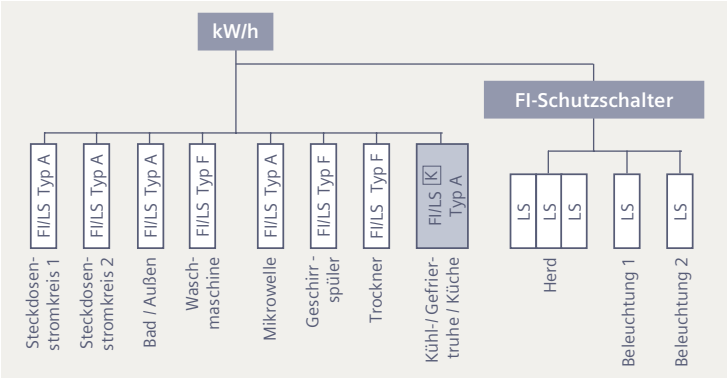


Bild 9: Beispiel einer Installation mit FI/LS-Schaltern

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. Für die Stromkreise „Waschmaschine", „Trockner" und „Geschirrspüler" wird der Einsatz von FI/LS-Schaltern des Typs F empfohlen. Bei diesen Betriebsmitteln können im Fehlerfall Ströme mit von 50 Hz abweichenden Frequenzen auftreten, für deren Erfassung FI/LS-Schalter des Typs A nicht ausgelegt sind. Um eine erhöhte Sicherheit gegen unerwünschte Abschaltungen, z. B. durch Blitzüberspannungen, zu erhalten, wird für den Schutz des Steckdosen-Stromkreises für Kühl- und Gefriereinrichtungen der Einsatz eines superresistenten FI/LS-Schalters Typ K empfohlen. Bei Verwendung von FI/LS-Schaltern mit einem Bemessungs-Differenzstrom 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 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 und RAL RG 678 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. Bei Verwendung von kompakten RCBOs der Baureihe 5SV1 (Baubreite 1TE) ergibt sich sogar eine erhebliche Platzersparnis im Vergleich zur herkömmlichen Installation mit Fehlerstromschutzschaltern und Leitungsschutzschaltern.

Wohnfläche der Wohnung m^2	Mindestanzahl der Stromkreise
bis 50	3
über 50 bis 75	4
über 75 bis 100	5
über 100 bis 125	6
über 125	7

Tabelle 4: Mindestanzahl der Stromkreise für Steckdosen zur allgemeinen Verwendung und für Beleuchtung nach DIN 18015-2

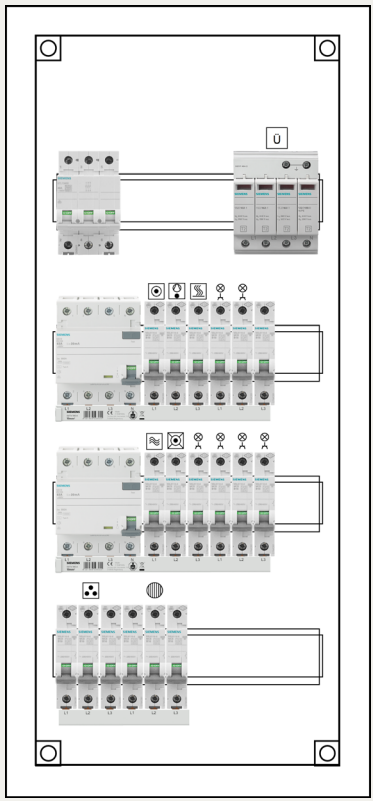


Bild 10: Beispiel für einen Stromkreisverteiler für eine 100-m²-Wohnung mit Mindestanzahl von Stromkreisen für Steckdosen zur allgemeinen Verwendung und Beleuchtung entsprechend DIN 18015-2:2021-10.
Die Aufteilung der Endstromkreise auf die beiden RCDs erfolgte entsprechend der Forderung aus DIN 18015-1, die aus Gründen der Verfügbarkeit und Vermeidung von Überlastung eine Planung mit maximal 6 einphasigen Endstromkreisen pro 4-poligem Fehlerstromschutzschalter vorsieht.

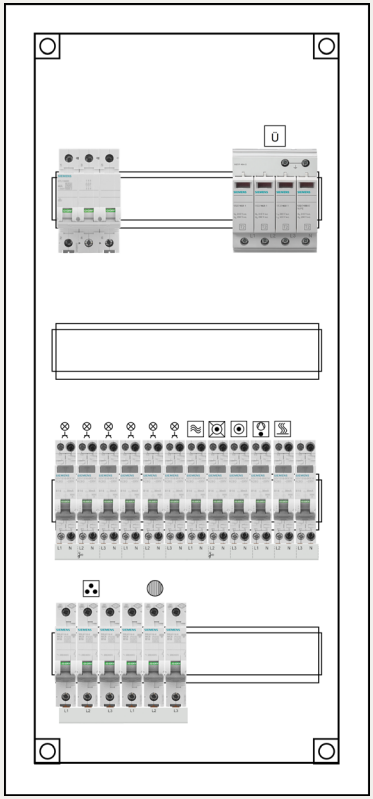


Bild 11: Um maximale Verfügbarkeit zu erreichen, kann anstelle der beiden Fehlerstrom-schutzschalter denen jeweils 6 Leitungsschutzschalter zugeordnet sind, pro Stromkreis ein FI/LS vorgesehen werden. Mit den 5SV1 FI/LS in 1 TE ergibt sich neben der höheren Verfügbarkeit auch noch eine erhebliche Platzersparnis, was die Realisierung auch höherwertiger Elektroinstallationen bei gegebener Verteilergröße ermöglicht.

4.4.3 SIQUENCE allstromsensitive FI-Schutzschalter Typ B

Mögliche glatte Gleichfehlerströme werden von FI-Schutzschaltern des Typs A – für sinusförmige Wechselfehlerströme und pulsierende Gleichfehlerströme – nicht erfasst. Gleichfehlerströme können durch Vormagnetisierung des Wandlers dazu führen, dass die Schutzfunktionen der FI-Schutzschalter Typ A auch bei Wechselfehlerströmen nicht mehr gewährleistet sind. Deshalb führte Siemens als erster Hersteller bereits 1994 den allstromsensitiven FI-Schutzschalter Typ B – auch für glatte Gleichfehlerströme – ein. Seitdem kann die geforderte Fehlerstrom-Schutzschalttechnik in vielen Anwendungen, bei denen glatte Gleichfehlerströme auftreten, angewendet werden. Da allstromsensitive FI-Schutzschalter für vielfältigste Anwendungen verwendet werden, sind diese grundsätzlich auch für den Einsatz unter erschwerten Umgebungsbedingungen, wie unsere SIGRES-Version (siehe Abschnitt 4.4.7), ausgelegt.

Die neue Generation der SIQUENCE allstromsensitiven FI-Schutzschalter (5SV) verfügt über einen internen Selbsttest. Dieser Selbsttest wird alle 13 Stunden automatisch initiiert, um die Analog-Elektronik und die Detektions-Algorithmen zu testen. Hierbei werden von der Software im Mikrocontroller synthetische Signale generiert, die den Signalen eines Fehlerstroms entsprechen. Diese werden hinter den Sensoren in den Erfassungspfad des System eingespeist und von Analog-Schaltung und Microcontroller ausgewertet.

Daher muss nun auch der Auslösebefehl vom Mikrocontroller zwingend erzeugt werden. Während des Selbsttests wird für kurze Zeit (ms) der Auslösebefehl zum Auslöserelais unterbunden, um eine reale Auslösung zu verhindern. Nach positivem Abschluss des Tests wird der Auslösepfad wieder freigegeben. Bei negativem Ergebnis des Tests erfolgt sofort die Auslösung des Geräts. Zur Vervollständigung des Test-Konzepts wurde noch ein externer Watch-Dog implementiert, der alle 20 ms den Ablauf des Programms und die Integrität der Firmware überprüft.

Bei elektronischen Betriebsmitteln können, wie zum Beispiel auf der Abgangsseite eines Frequenzumrichters (siehe auch Abschnitt 5.3.1), neben den beschriebenen Fehlerstromformen auch Wechselfehlerströme unterschiedlichster Frequenzen entstehen. FI-Schutzschalter des Typs A sind dafür nicht ausgelegt.

Für die FI-Schutzschalter des Typs B, die für den Einsatz im Drehstromsystem vorgesehen sind (nicht im Gleichspannungsnetz), sind deshalb in der DIN EN 62423 (Typ B) erweiterte Auslösebedingungen bis 1 kHz definiert. Die Auslösekennlinien der SIQUENCE allstromsensitiven FI-Schutzschalter Typ B mit Bemessungs-Differenzströmen 30 mA und 300 mA sind in Bild 12 dargestellt. Der Auslösewert der Schutzschalter liegt immer innerhalb der Grenzwerte der Gerätevorschrift und für den Bemessungs-Differenzstrom 30 mA auch deutlich unterhalb der Grenzkurve für das gefährliche Herzkammerflimmern (nach IEC 60479-2).

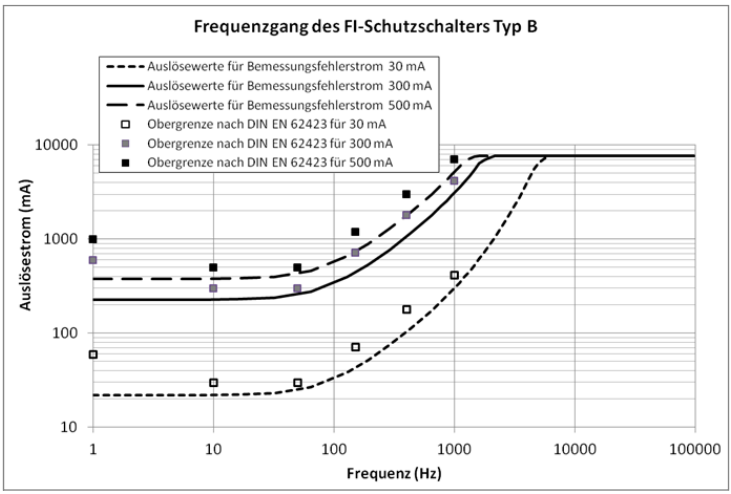


Bild 12: Auslösestrom Typ B in Abhängigkeit von der Frequenz

Für den Schutz gegen elektrisch gezündete Brände in Folge von Erdfehlerströmen haben sich FI-Schutzschalter mit einem Bemessungs-Differenzstrom 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 FI-Schutzschalter Typ B steigen bei höheren Frequenzen an. Da aber neben hoch- auch niederfrequente Anteile im Fehlerstrom enthalten sind (siehe Abschnitt 5.3.2), kann ein wirksamer Beitrag zum Brandschutz bei Erdfehlerströmen auch bei einer mit der Frequenz ansteigenden Auslösekennlinie erzielt werden. Der positive Effekt des ansteigenden Auslösestroms 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 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.
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).

Um die Abschaltbedingungen für den Fehlerschutz (Schutz bei indirektem Berühren) mit dem SIQUENCE FI-Schutzschalter zu erfüllen, sind 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 5.3.2) werden nachstehende maximal zulässige Erdungswiderstände empfohlen.

Bemessungs-Differenzstrom	Maximal zulässiger Erdungswiderstand bei Berührungsspannung	
	50 V	25 V
30 mA	120 Ω	60 Ω
300 mA	Typ B: 16 Ω Typ B+: 120 Ω	Typ B: 8 Ω Typ B+: 60 Ω
500 mA	10 Ω	5 Ω

Tabelle 5: Empfohlene maximale Erdungswiderstände für SIQUENCE FI-Schutzschalter Typ B und Typ B+

4.4.4 SIQUENCE allstromsensitive FI-Schutzschalter Typ B+

Wird entsprechend DIN VDE 0100-420 „Errichten von Niederspannungsanlagen – Schutz gegen thermische Auswirkungen“ in Verbindung mit DIN VDE 0100-530 der Einsatz von FI-Schutzschalter mit Bemessungs-Differenzströmen von maximal 300 mA gefordert, empfiehlt sich die Verwendung von FI-Schutzschaltern des Typs B+. FI-Schutzschalter Typ B+ erfüllen alle Anforderungen des bekannten Typs B, zusätzlich fordert hier die entsprechende Produktnorm DIN VDE 0664-400 die Einhaltung des Auslösewertes von 420 mA bis zu einer Frequenz von 20 kHz.

Die SIQUENCE allstromsensitiven FI-Schutzschalter Typ B+ übertreffen allerdings diese Normanforderung deutlich, da sie selbst bei hohen Frequenzen (> 150 kHz) unter der Normgrenze von 420 mA auslösen. Somit bieten sie vorbeugenden gehobenen Brandschutz auch für Anwendungen mit Frequenzumrichtern mit Schaltfrequenzen > 20 kHz, wie sie in holz- oder papierverarbeitenden Betrieben eingesetzt werden können.

Die Richtlinie VDS 2033 „Elektrische Anlagen in feuergefährdeten Betriebsstätten und diesen gleichzustellende Risiken“ fordert zur Erhöhung der Sicherheit bei Frequenzen > 2 kHz (z. B. beim Betrieb von Frequenzumrichtern) den Einsatz von RCDs vom Typ B+.

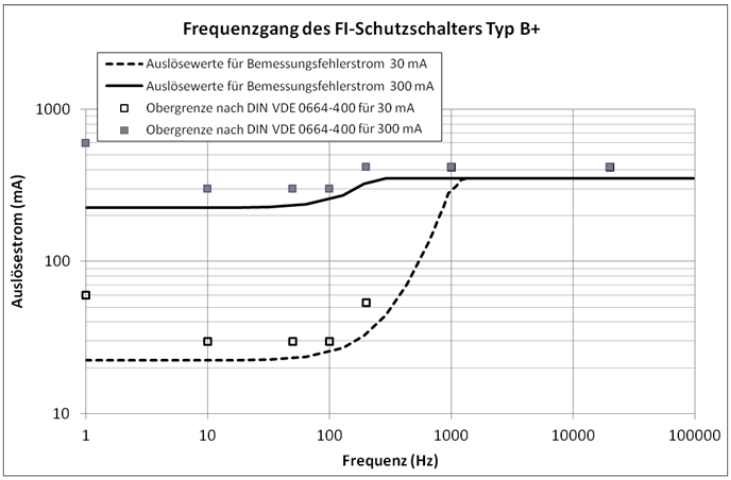


Bild 13: Auslösestrom Typ B+ in Abhängigkeit von der Frequenz

4.4.5 SIQUENCE allstromsensitive FI/LS-Schalter Typ B und Typ B+

Das Erfassungsprinzip der SIQUENCE allstromsensitiven FI/LS-Schalter Typ B ist identisch mit dem der SIQUENCE allstromsensitiven FI-Schutzschalter und entspricht der DIN EN 62423 (Typ B) bzw. der DIN VDE 0664-401 (Typ B+).

Bezüglich des Verhaltens bei Fehlerströmen und der Schutzfunktionen gelten die Aussagen und Angaben genauso wie für die SIQUENCE 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 Überlast-Schutzeinrichtungen 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 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.

4.4.6 FI-Blöcke für den Anbau an Leitungsschutzschalter

FI-Blöcke (RC units) sind zum Anbau an Leitungsschutzschalter nach DIN EN 61009-1 (VDE 0664-20), Anhang G geeignet. Diese FI-Blöcke können vom Kunden mit einem dafür vorgesehenen Leitungsschutzschalter zusammengebaut werden und bieten 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 (Bemessungs-Differenzstrom, unverzögert oder selektiv) und LS-Ausführung (Bemessungsstrom, Charakteristik, Schaltvermögen)
- Gerätekombination bietet alle Vorteile eines FI/LS-Schalters bezüglich Personen-, Brand- und Leitungsschutz

4.4.7 SIGRES FI-Schutzschalter (für erschwerte Umgebungsbedingungen und verlängerte Prüftastenintervalle)

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 FI-Schutzschaltern stehen für derartige Anwendungen Geräte zur Verfügung, die durch den patentierten aktiven Kondensationsschutz eine erheblich verlängerte Lebensdauer aufweisen. 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 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.

Ein weiterer Vorteil der SIGRES-Funktion in den RCDs ist, dass unter bestimmten Voraussetzungen verlängerte Prüftastenintervalle (je nach Ausführung und Umgebungsbedingungen bis zu 4 Jahre) für die RCD-Funktionsprüfung herangezogen werden können.

4.4.8 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 Verbrauchers notwendig und gewünscht. Bei Verwendung von elektronischen Betriebsmitteln, die zur Entstörung häufig gegen den Schutzleiter geschaltete 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 Produktnormen DIN EN 61008-1 (FI-Schutzschalter) und DIN EN 61009-1 (FI/LS-Schalter) kennen nur zwei Ausführungen:

- Standard
- Selektiv S

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

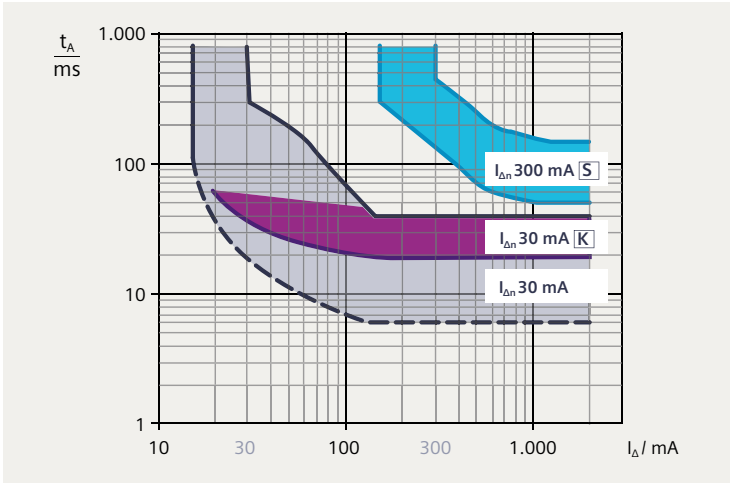


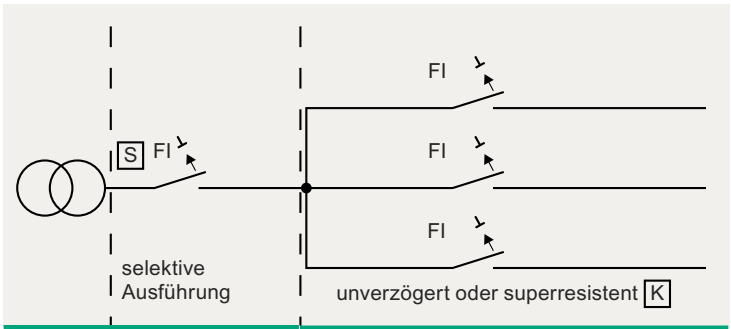
Bild 14: Abschaltzeit t_A in Abhängigkeit des Auslösestroms I_Δ

Bild 14 zeigt die Auslösebereiche der unterschiedlichen Ausführungen von FI-Schutzschaltern. 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-Schutzschalter 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 µs) 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.

4.4.9 Typ S selektiv

Um bei der Reihenschaltung von Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen im Fehlerfall eine selektive Abschaltung zu erreichen, müssen die Geräte sowohl im Bemessungs-Differenzstrom $I_{\Delta n}$ als auch in der Auslösezeit gestaffelt sein. Die unterschiedlichen zulässigen Ausschaltzeiten der Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen können dem Bild 13 entnommen werden. Auch die geeignete Staffelung bezüglich der Bemessungs-Differenzströme ist aus Bild 13 ersichtlich. Selektive FI-Schutzschalter des Typs S weisen außerdem eine sehr hohe Stoßstromfestigkeit von 5 kA (8/20 µs Stromform) auf. Sie sind mit dem Symbol S gekennzeichnet.



Vorgeschalteter FI-Schutzschalter für selektives Abschalten S		Nachgeschalteter FI-Schutzschalter		
			unverzögerte Ausführung	superresistente Ausführung K
$I_{\Delta n}$	Abschaltzeit bei 5 x $I_{\Delta n}$	$I_{\Delta n}$	Abschaltzeit bei 5 x $I_{\Delta n}$	Abschaltzeit bei 5 x $I_{\Delta n}$
100 mA 300 mA 500 mA 1000 mA	50 – 150 ms	10 mA 30 mA 100 mA 300 mA	≤ 40 ms	20 – 40 ms

Bild 15: Anordnung unterschiedlicher Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen und deren Auslösezeiten

4.4.10 Ausführungen für 50 bis 400 Hz

Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen sind aufgrund ihres Funktionsprinzips in ihrer Standardausführung auf den maximalen Wirkungsgrad im 50-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 FI-Schutzschalter erfüllen bis zur angegebenen Frequenz die Auslösebedingungen und bieten entsprechenden Schutz.

4.4.11 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.

4.4.12 FI-Schutzschalter mit N-Anschluss, linksseitig

Da der FI-Schutzschalter (insbesondere in Deutschland) üblicherweise links von den Leitungsschutzschaltern angeordnet ist, der N-Leiteranschluss sich jedoch rechts befindet, erfordern FI-Schutzschalter in Verbindung mit Leitungsschutzschaltern eine spezielle Sammelschiene.

Um jederzeit auf eine Standardsammelschiene zurückgreifen zu können, werden 4-polige FI-Schutzschalter auch mit N-Anschluss links angeboten. Die Installationsgewohnheit mit FI-Schutzschalter links vom Leitungsschutzschalter und der Verwendung von standardmäßigen Sammelschienenverbindungen kann damit beibehalten werden.

4.5 Zusatzkomponenten für FI-Schutzschalter

4.5.1 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.

Fernantriebe werden zum Fernschalten (EIN/AUS) von Leitungsschutzschaltern mit oder ohne FI-Block, Fehlerstrom-Schutzschaltern, FI/LS-Schaltern oder Verteilereinbauschaltern eingesetzt und ermöglichen auch ein manuelles Schalten vor Ort. Im Falle einer Auslösung der Kombination ist das Einschalten erst nach einer Quittierung möglich.
Die Gerätekombination mit den Typen automatische Wiedereinschaltung (ARD) versucht im Fehlerfall, bis zu dreimal wieder einzuschalten. Liegt der Fehler weiterhin vor, bleibt die Kombination ausgeschaltet. Der Fernantrieb hat einen Betriebswahlschalter mit den Funktionen „Gesperrt", „Manuell" und „Fernschalten".

Stellung Wahlschalter:

OFF Bei Geräten 177 – 270 V: Der Fernantrieb Power ist ausgeschaltet, mechanisch blockiert und kann plombiert und/oder abgesperrt werden.

RC OFF Nur Handbetätigung ist möglich.

RC ON Sowohl Hand- als auch Fernbetätigung (außer bei den Basic 12 – 48 V Geräten) ist möglich.

Bei einer Fehlerauslösung nimmt der Griff des Grundgeräts und des Fernantriebs die Schaltstellung AUS ein. Hat je nach Gerätevariante die Kombination ausgeschaltet, kann – über ARD oder aus der Ferne – versucht werden, wieder einzuschalten.
Liegt der Fehler weiterhin vor, wird die Gerätekombination abgeschaltet und kann nur vor Ort händisch wieder eingeschaltet werden.
Damit die Fernantriebe mit den Fehlerstrom-Schutzschaltern, Leitungs-Schutzschaltern, FI/LS-Schaltern und Ein-/Ausschaltern kombiniert werden können, sind passende Adapter dazuzubestellen.

Nutzen des Fernantriebes
Fernantriebe mit ARD und Power haben integrierte Hilfsschalter und Fehlersignalschalter.
An den Fernantrieb können rechtsseitig weitere Zusatzkomponenten 5ST3..., wie z. B. AS, FC, ST, UR, nach dem Anbaukonzept angebaut werden.
Die Fernantriebe mit ARD und Power haben frontseitig auf dem Gerät eine LED-Anzeige zur Darstellung des Schaltzustandes und zur Diagnose.

Bild 16: Beispiel für Fernantrieb mit FI-Schutzschalter 5SV3

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.

Fernantrieb für automatisierten oder ferngesteuerten RCD-Test als Ersatz des Prüftastendrucks
Mit dem kommunikativen Fernantrieb 5ST3073-0MC lässt sich das Drücken der RCD Prüftaste durch automatisierte oder aus der Ferne gestartete Tests ersetzen. Dabei beaufschlagt der Fernantrieb das angebaute und entsprechend verdrahtete RCD mit einem Prüfstrom und bringt somit das RCD zur Auslösung.
Nach bestandener Prüfung schaltet der Fernantrieb das angebaute RCD automatisch wieder ein.

Mit dieser Funktion lassen sich Zeitaufwand und Kosten für das regelmäßige Drücken der Prüftaste deutlich reduzieren. Diese Funktion hat insbesondere in folgenden Fällen Vorteile:

- Wo der Prüftastendruck in kurzen Zeitintervallen vorgeschrieben ist, z. B. arbeitstäglich in nicht-stationären Anlagen.
- Wo Abschaltungen wegen geforderter hoher Verfügbarkeit der Anlage nur außerhalb der regulären Arbeitszeiten möglich sind.
- Bei schwer zugänglichen oder sehr weitläufigen Anlagen.

4.5.2 Hilfsschalter

Hilfsstromschalter sind üblicherweise nachträglich vom Kunden an den FI-Schutzschalter anbaubar. Sie dienen dazu, den Schaltzustand des Schutzschalters zu melden. Hierfür gibt es unterschiedliche Versionen (1 Schließer/ 1 Öffner, 2 Öffner, 2 Schließer).

4.5.3 Weitere Zusatzkomponenten

Je nach Ausführung der Fehlerstrom-Schutzeinrichtung sind folgende Zusatzkomponenten nachträglich frei anbaubar:

- Fehlersignalschalter
- Unterspannungsauslöser
- Arbeitsstromauslöser
- Brandschutzschalter (AFDD, siehe auch die betreffende Technik-Fibel)

5. Installations- und Anwendungshinweise

5.1 Allgemeine Hinweise

5.1.1 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. Die Tabelle 6 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 $I_F = \frac{230\ V}{Z_S}$	etwa 115 A bis zu einigen 1.000 A	mindestens 2,3 A
maximal zulässige Abschaltzeit t_a nach Tabelle 41.1 in DIN VDE 0100-410 *	**0,4 s**	**0,2 s**
Berührungsspannung U_T (Erfahrungswerte)	80 V bis 115 V	160 V bis 230 V
Berührungsstrom $I_T = \frac{U_T}{1.000\ \Omega}$	80 mA bis 115 mA	160 mA bis 230 mA
Körperimpedanz bei Hand-Fuß-Durchströmung (Richtwert)		
* Für Endstromkreis mit einem Nennstrom nicht größer als 32 A im 230/400-V-Netz (50 Hz)		

Tabelle 6: Kenngrößen für die Abschaltbedingungen im TN-System und im TT-System mit Nennspannungen 230/400 V AC.

Die Tabelle 7 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. Die Tabelle 7 gibt hier eine Übersicht.

<table>
<tr><th></th><th colspan="3">TN-System</th><th colspan="3">TT-System</th></tr>
<tr><td rowspan="5">Abschaltströme I_a von Überstrom-Schutz-einrichtungen zur Sicherstel-lung der geforderten Abschaltzeit t_a</td><td colspan="3">$I_a \leq \frac{230\ V}{Z_S}$</td><td colspan="3">$I_F \leq \frac{230\ V}{Z_S}$</td></tr>
<tr><td>Schutzein-richtung</td><td>I_a</td><td>t_a *</td><td colspan="3" rowspan="4">Die notwendigen Abschalt-ströme I_a von Überstrom-Schutzeinrichtungen werden durch die Fehler-ströme I_F im Allgemeinen nicht erreicht.</td></tr>
<tr><td>LS-Schalter Typ B</td><td>$\geq 5\ I_n$</td><td>$< 0{,}1$ s</td></tr>
<tr><td>LS-Schalter Typ C</td><td>$\geq 10\ I_n$</td><td>$< 0{,}1$ s</td></tr>
<tr><td>Schmelz-sicherung gG</td><td>ca. $> 14\ I_n$</td><td>$< 0{,}4$ s</td></tr>
<tr><td rowspan="4">Abschalt-bedingungen von Fehlerstrom-Schutz-einrichtungen zur Sicher-stellung der geforderten Abschaltzeit t_a</td><td colspan="3">$I_a \leq \frac{230\ V}{Z_S}$
Im TN-System sind die Fehler-ströme I_F wesentlich höher als $5\ I_{\Delta n}$.</td><td colspan="3">$I_{\Delta n} \leq \frac{50\ V}{R_A}$
Im Fehlerfall stehen 230 V an der Fehlerstelle an. Damit gilt für den Auslöse-strom I_a:
$I_a = \frac{230\ V}{50\ V}$ $I_{\Delta n} = 4{,}6\ I_{\Delta n}$</td></tr>
<tr><td>Typ</td><td>I_a</td><td>t_a *</td><td>Typ</td><td>I_a</td><td>t_a *</td></tr>
<tr><td>FI allgemein</td><td>$> 5\ I_{\Delta n}$</td><td>$\leq 0{,}04$ s</td><td>FI allge-mein</td><td>$> 2\ I_{\Delta n}$</td><td>$\leq 0{,}15$ s</td></tr>
<tr><td>FI selektiv</td><td>$> 5\ I_{\Delta n}$</td><td>$\leq 0{,}15$ s</td><td>FI selektiv</td><td>$> 2\ I_{\Delta n}$</td><td>$\leq 0{,}2$ s</td></tr>
</table>

* Die Werte für t_a beziehen sich auf die Festlegungen in den relevanten Produktnormen.

R_A – Summe der Widerstände in Ω des Erders und des Schutzleiters der Körper

Z_s – Impedanz der Fehlerschleife

$I_{\Delta n}$ – Bemessungs-Differenzstrom in A der Fehlerstrom-Schutzeinrichtung.

Tabelle 7: Auswahl der Schutzeinrichtungen im TN-System und im TT-System mit Nennspannungen AC 230/400 V

5.1.2 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 Bemessungs-Differenzstrom $I_{\Delta n} \leq 30$ 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 Bemessungs-Differenzstrom, 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 FI-Schutzschalter zu achten. Diese Forderungen sind in folgender Norm zu finden:

- DIN 18015-1 „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.

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 (Bemessungs-Differenzstrom ≤ 30 mA) eine weitere Fehlerstrom-Schutzeinrichtung für andere Schutzaufgaben (Fehlerschutz, Brandschutz) vorgeschaltet ist, muss diese ein selektives Abschaltverhalten (z. B. Typ S) haben.

Zudem fordert DIN 18015-1, dass in Wohnungsanlagen bei Einsatz von FI-Schutzschaltern für den Fehlerschutz bzw. zusätzlichen Schutz die Zuordnung von Endstromkreisen aus Gründen der Verfügbarkeit und der Vermeidung einer Überlastung wie folgt zu planen ist:

- FI-Schalter 2-polig: maximale Anzahl von 1-phasigen Endstromkreisen = 2
- FI-Schalter 4-polig: maximale Anzahl von 1-phasigen Endstromkreisen = 6

Wie Tabelle 7 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:

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

5.2 Auswahl der geeigneten Fehlerstrom-Schutzeinrichtung

Bild 17 unterstützt bei der Auswahl der geeigneten FI-Schutzeinrichtung:

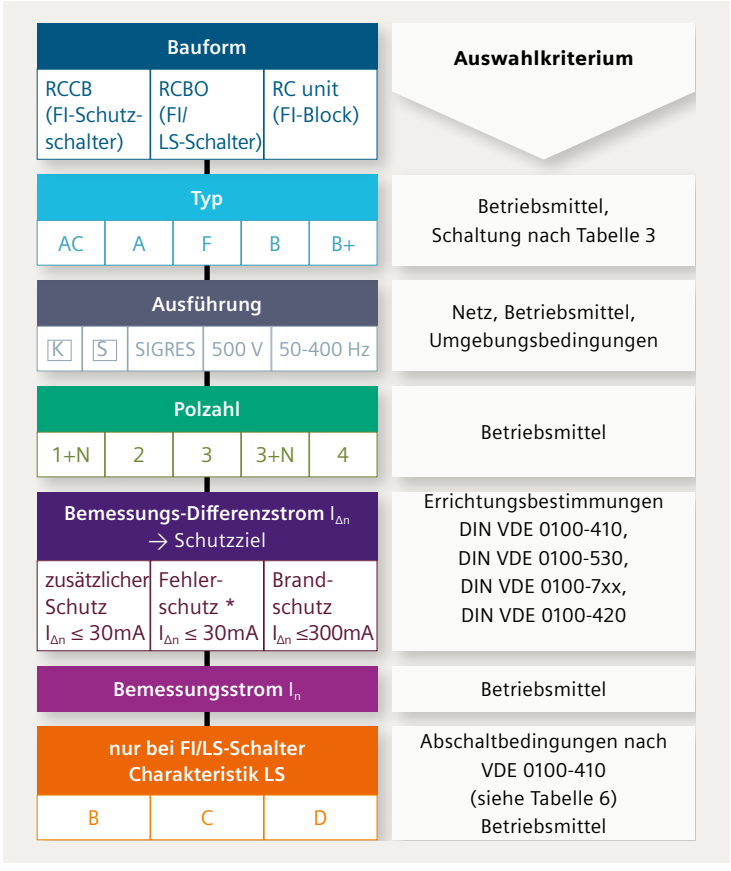


Bild 17: Auswahlhilfe zur Bestimmung der geeigneten FI-Schutzeinrichtung

Nachstehend wird auf einzelne Themen detailliert eingegangen.

5.2.1 Welcher RCD-Typ ist der Richtige?

Die Auswahl des für die Anwendung geeigneten Typs der Fehlerstrom-Schutzeinrichtung erfolgt nach Tabelle 3 (entsprechend DIN VDE 0100-530).

Das folgende Flussdiagramm kann hierbei bei der Auswahl des geeigneten Typs unterstützen.

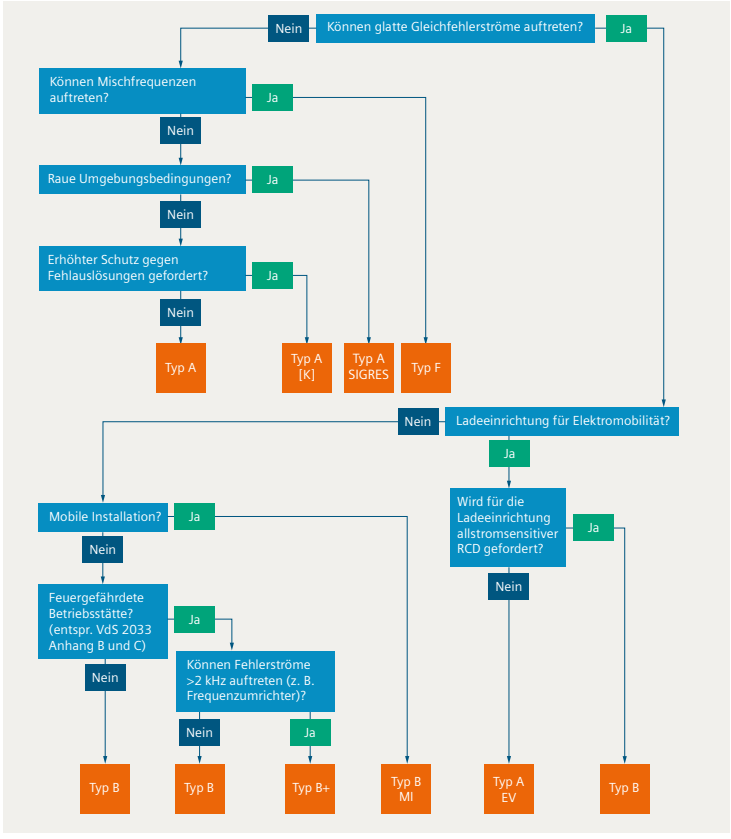


Bild 18: Flussdiagramm zur Auswahl des RCD-Typs

Können glatte Gleichfehlerströme auftreten?
Wenn glatte Gleichfehlerströme auftreten können, sind allstromsensitive RCD einzusetzen. Glatte Gleichfehlerströme können bei Schaltungen Nr. 8 ... Nr. 14 in Tabelle 3 auftreten.
Dies sind namentlich:

- Einphasengleichrichtung mit Glättung
- Frequenzinverter mit Zweipulsbrückenschaltung zwischen Phase und Neutralleiter und PFC. Es gibt jedoch auch PFC-Topologien, bei denen glatte Gleichfehlerströme nicht auftreten können. Es sind die Unterlagen des Herstellers zu beachten. Falls der Hersteller keine Angabe dazu macht, ob glatte Gleichfehlerströme auftreten können oder welcher RCD Typ notwendig ist, so ist davon auszugehen, dass glatte Gleichfehlerströme auftreten können.
- Zweipuls-Brückenschaltung zwischen Außenleitern
- Drehstrom-Sternschaltung
- Drehstrom (Sechspuls)-Brückenschaltung

Beispiele für Anwendungen, wo diese Art von Schaltungen zu finden sind und wo grundsätzlich mit glatten Gleichfehlerströmen gerechnet werden muss:

- Drehzahlgeregelte Antriebe: Pumpen, Lüftungen, Klimatisierung, Rolltreppen, Aufzüge, Kräne aller Art, Werkzeugmaschinen wie Dreh-, Fräs-, Schleifmaschinen, Wärmepumpen etc.
- USV-Anlagen
- Batteriespeicher
- Photovoltaikanlagen
- Ladeeinheiten für Elektromobilität
- Ladestationen für batteriebetriebene Gabelstapler
- Schweißumformer
- medizinische Geräte wie Röntgengeräte oder CT-Anlagen

Zudem wird für Anwendungen, bei denen häufig entsprechende Betriebsmittel zum Einsatz kommen, von normativer Seite ganz konkret der Einsatz von allstromsensitiven RCD gefordert, z. B.:

- Unterrichtsräume mit Experimentiereinrichtungen (DIN VDE 0100-723)
- Drehstromsteckdosen bis einschließlich 63 A an Baustromverteilern (DIN VDE 0100-704)

Können Mischfrequenzen auftreten?
Mit „Mischfrequenzen" ist ein Gemisch aus verschiedenen Frequenzanteilen von 50 Hz bis etwa 1 kHz gemeint. Solche Mischfrequenzen treten beim Betrieb von Frequenzinvertern mit Zweipulsbrückenschaltung (Schaltung 7 in Tabelle 3) auf. Hier werden RCD vom Typ F benötigt.
Solche einphasig betriebenen Frequenzumrichter sind heutzutage u. a. auch in vielen Haushaltsapplikationen zu finden wie Waschmaschinen, Geschirrspüler, Kühlschränke, Heizungspumpen, Wärmepumpen, Lüftungen, Klimaanlagen, Bohrhämmer etc.

(Hinweis zu einphasigen Frequenzumrichtern mit Power Factor Correction (PFC): Manche PFC-Topologien können zusätzlich zu den genannten Mischfrequenzen auch glatte Gleichfehlerströme erzeugen. Die Dokumentation des Umrichterherstellers ist entsprechend zu berücksichtigen.)

Raue Umgebungsbedingungen?
Umgebungen mit erhöhter Schadgasbeanspruchung, wie z. B. Hallenbäder (Chlorgas, Ozon), Landwirtschaft (Ammoniak) oder Industrie (Schwefeldioxid), stellen eine besondere Herausforderung für Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen dar. Geräte mit SIGRES Technologie sind speziell für den Einsatz unter solchen Umgebungsbedingungen konzipiert. Mit dem aktiven Kondensationsschutz wird trotz dieser harten Umgebungsbedingungen eine Beeinträchtigung der Lebensdauer der SIGRES Geräte vermieden.

... siehe auch Kapitel 4. 4. 7 „SIGRES FI -Schutzschalter (für erschwerte Umgebungsbedingungen)"

Erhöhter Schutz gegen Fehlauslösungen gefordert?
Superresistente Ausführungen K haben die 3-fache Stoßstromfestigkeit im Vergleich zu Typ A Standardausführungen. Zudem sind sie mit einer speziellen Filtertechnologie ausgestattet, die sie unempfindlich gegen kurze, hochfrequente Störimpulse macht. Damit haben sie eine sehr hohe Immunität gegenüber Fehlauslösungen z. B. aufgrund von Gewitter, Schaltüberspannungen, Kondensator-Inrushströme oder anspruchsvoller EMV-Umgebung im industriellen Umfeld.

Überall dort, wo Fehlauslösungen besonders unerwünschte oder schwerwiegende Folgen haben können, sind superresistente Ausführungen zu empfehlen.

... siehe auch Kapitel 4.4.8 „Typ K superresistent“

Neben den Typ A K-Geräten sind auch alle Typ F, Typ A EV, Typ B, Typ B+ und Typ B MI Fehlerstromschutzgeräte von SIEMENS standardmäßig mit der superresistenten Technologie ausgestattet.

Ladeeinrichtung für Elektromobilität?
Ladeeinrichtungen für Elektromobilität (z. B. Wallboxen), werden häufig in der vorhandenen Gebäudeinstallation nachträglich installiert. Der bereits vorhandene RCD in der vorgelagerten Gebäudeinstallation ist häufig vom Typ A oder F und somit nicht allstromfähig.

Um zu verhindern, dass der in der Gebäudeinstallation vorgelagerte RCD durch glatte Gleichfehlerströme in seiner Funktion beeinträchtigt wird, muss im Abzweig der Ladeeinrichtung der speziell auf die Anwendung eCar-Laden abgestimmte RCD Typ A EV eingesetzt werden.

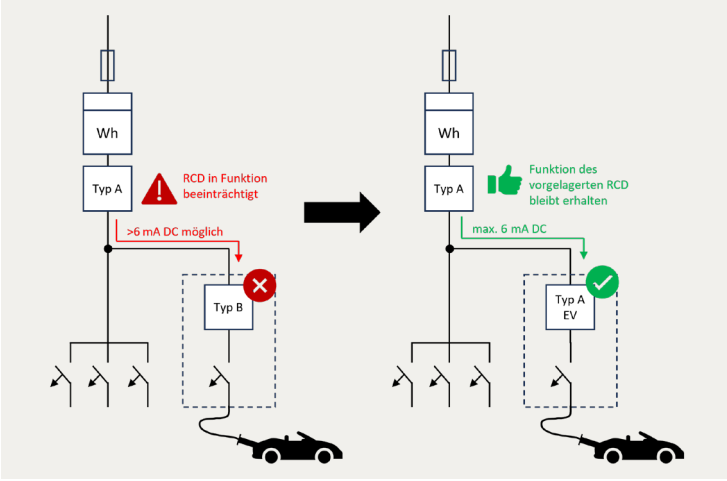


Bild 19: RCDs vom Typ A werden von glatten Gleichfehlerströmen > 6 mA in ihrer Funktion beeinträchtigt

RCDs vom Typ A EV lösen bei Fehlerströmen > 6 mA DC aus und verhindern somit, dass vorgelagerte nicht-allstromfähige RCDs in Sättigung geraten und ihre Schutzfunktion verlieren.

RCDs vom Typ A EV sind speziell für die Applikation in Stromkreisen für das Laden von Elektrofahrzeugen entwickelt und dürfen ausschließlich dort eingesetzt werden.

Wird für die Ladeeinrichtung allstromsensitiver RCD gefordert?

In Ladeeinheiten im industriellen oder kommerziellen Umfeld (z. B. Ladesäulen im öffentlichen Straßenland), die nicht hinter einem vorgelagerten RCD vom Typ A oder F betrieben werden, sind oft allstromfähige RCDs vom Typ B im Gegensatz zu Typ A EV bevorzugt, da diese eine höhere Fehlauslösefestigkeit bei DC-Fehlerströmen besitzen.

Mobile Installation?

Mobile Stromverteiler (Baustromverteiler, Verteiler für Messen, Konzerte, Marktstände etc.) werden an Steckdosen der festen Installation angeschlossen, von denen nicht bekannt ist, welche Art von RCD im entsprechenden Stromkreis verbaut ist. Häufig sind RCD Typ A in der festen Installation verbaut.

Sollen am mobilen Verteiler Betriebsmittel verwendet werden, die glatte Gleichfehlerströme erzeugen können, so sind allstromsensitive RCDs einzusetzen.

Würden nun „normale“ Typ B RCDs im mobilen Verteiler verbaut, so würden die glatten Gleichfehlerströme, die in der vorgelagerten festen Installation üblicherweise verbauten RCD vom Typ A oder F blind machen.

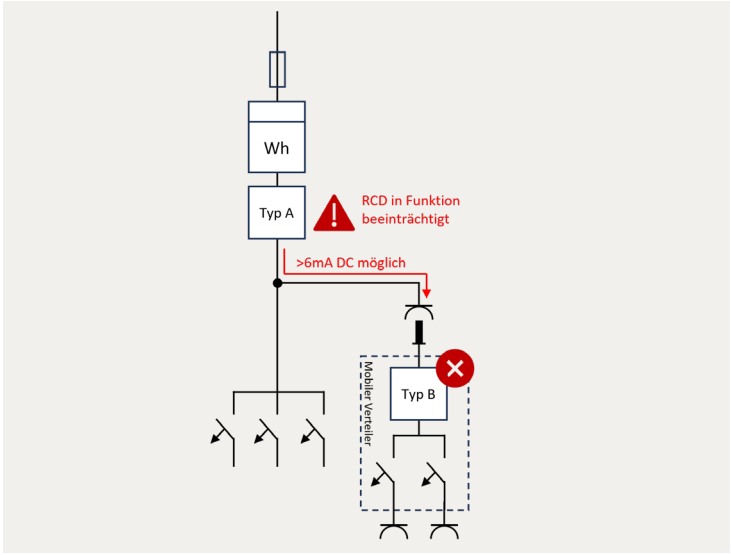


Bild 20: RCD vom Typ A werden von glatten Gleichfehlerströmen > 6 mA DC (> 10 mA DC bei Typ F) in ihrer Funktion beeinträchtigt. Diese Schaltung ist daher unzulässig.

Um zu vermeiden, dass vorgelagerte RCD vom Typ A (oder Typ F) in ihrer Funktion beeinträchtigt werden muss, verhindert werden, dass diese von glatten Gleichfehlerströmen > 6 mA DC durchflossen werden können.

Dies geschieht durch den Einsatz von Typ B MI RCDs im mobilen Stromverteiler. RCDs vom Typ B MI haben eine speziell auf diesen Einsatzzweck abgestimmte Auslösecharakteristik, die anspricht, sobald glatte Gleichfehlerströme > 6 mA DC fließen. Somit ist sichergestellt, dass die Schutzfunktion der RCDs in der festen Installation zu jeder Zeit aufrechterhalten bleibt.

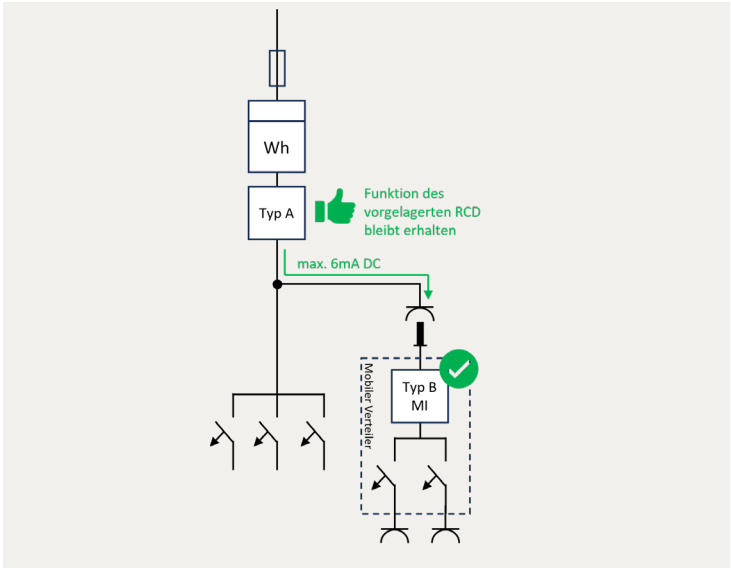


Bild 21: RCDs vom Typ B MI im mobilen Verteiler lösen bei glatten Gleichfehlerströmen > 6 mA DC aus und verhindern somit die Beeinträchtigung vorgeschalteter RCDs vom Typ A oder Typ F.

Feuergefährdete Betriebsstätte?
Entsprechend DIN VDE 0100-420 („Errichten von Niederspannungsanlagen – Teil 4-42: Schutzmaßnahmen – Schutz gegen thermische Auswirkungen") und VdS 2033 („Elektrische Anlagen in feuergefährdeten Betriebsstätten und diesen gleichzustellende Risiken") können folgende Beispiele als feuergefährdete Betriebsstätten eingestuft werden:

- Holzverarbeitende Betriebe
- Textilverarbeitende Betriebe
- Lackierereien
- Landwirtschaft
- Papierfabriken
- Packereien
- Lagerräume

Beispiele für Betriebsstätten mit gleichzustellenden Risiken sind entsprechend VdS 2033:

- Unwiederbringliche Kulturgüter (z. B. Museen, Ausstellungen, Denkmäler)
- Erhöhte Sachwertgefährdung oder Betriebsunterbrechungsrisiko (z. B. Archivräume, EDV-Zentralen, Großbahnhöfe / Flughäfen, Kaufhäuser, Kühlhäuser, Leitwarten, Versandhäuser)
- Gebäude aus vorwiegend brennbaren Baustoffen

Können Fehlerströme > 2 kHz auftreten?
Beim Auftreten von Fehlerströmen mit Frequenzen > 2 kHz fordert VdS 2033 für feuergefährdete Betriebsstätten und diesen gleichzustellende Risiken den Einsatz von RCD vom Typ B+.

Fehlerströme in diesem Frequenzbereich können z. B. beim Betrieb von Frequenzumrichtern auftreten. Das ist insbesondere bei Schaltungen der Stromkreise 7, 9, 11 und 14 aus Tabelle 3 der Fall. Siehe auch Kapitel 4.1.5 zu RCD Typ B+

5.2.2 Welches Schutzziel muss erreicht werden?

Je nach Anwendungsfall und Einsatzbereich sind die vorgesehenen Schutzziele einzuhalten:

Zusätzlicher Schutz mit Bemessungs-Differenzstrom $I_{\Delta n} \leq 30$ 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 den 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 Bemessungs-Differenzstrom $I_{\Delta n} > 30$ mA:
Bei diesen Bemessungs-Differenzströmen 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 FI-Schutzschalters, der maximal zulässigen Berührungsspannung (z. B. 50 V), der maßgeblichen Frequenzanteile des Fehlerstroms und des daraus zu bestimmenden zulässigen Erdungswiderstands (siehe auch Abschnitt 4.4.3 und 4.4.4) zu realisieren.

Brandschutz mit Bemessungs-Differenzstrom $I_{\Delta n} \leq 300$ 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 0100-420 in Verbindung mit DIN VDE 0100-530 der Einsatz von FI-Schutzschaltern mit Bemessungs-Differenzströmen $I_{\Delta n} \leq 300$ mA gefordert. Ausnahmen sind nur erlaubt bei Verwendung von mineralisolierten Leitungen und Stromschienensystemen.
Bei Flächenheizungen muss entsprechend DIN VDE 0100-420 der Bemessungs-Differenzstrom $I_{\Delta n} \leq 30$ mA betragen. Siehe auch Kapitel 3.3.

Für den gehobenen vorbeugenden Brandschutz von elektrischen Betriebsmitteln mit Eingangsstromkreisen Nr. 8 bis Nr. 14 (siehe Tabelle 3) ist in den oben genannten Anlagen (feuergefährdete Betriebsstätten und gleichzustellende Risiken) die Verwendung von FI-Schutzeinrichtungen Typ B+ notwendig.

5.2.3 Welche Störbeeinflussungen treten auf und wie werden diese beherrscht?

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 Bemessungs-Differenzstroms $I_{\Delta n}$ 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.

Für einen problemlosen Betrieb von FI-Schutzschaltern im praktischen Einsatz sollte der statische 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 $I_{\Delta n} = 300$ mA zum Auslösen bringen.

Der Spitzenwert des dynamischen Ableitstroms ist oszilloskopisch im PE-Leiter zu ermitteln. Dabei ist auf eine isolierte Aufstellung der Betriebsmittel zu achten, sodass der gesamte Ableitstrom über den Messpfad zurückfließen kann. Um ungewünschte Auslösungen in diesen Anwendungsfällen zu vermeiden, wird der Einsatz von superresistenten FI-Schutzschaltern (Typ K) empfohlen.

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 Kernspintomografen und Röntgenanlagen.

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

Überspannungen und Stoßstrombelastung

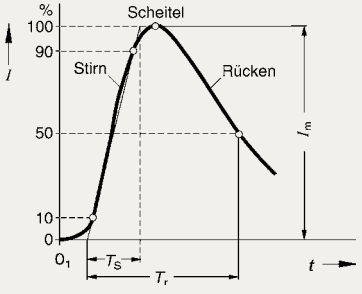
Bei Gewittern können atmosphärische Überspannungen in Form von Wanderwellen über das Versorgungsnetz in die Installation einer Anlage eindringen und dabei Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen ungewollt auslösen. Zur Vermeidung dieser unerwünschten Abschaltungen werden unsere Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen einer Prüfung mit der genormten Stromform 8/20 µs (siehe Bild 22) unterzogen. Diese Prüfung ist in den Gerätebestimmungen DIN EN 61008 (VDE 0664) nur für selektive Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen (I = 3 kA) gefordert.

Unsere FI-Schutzschalter des Typen A und B bieten in allen Ausführungen deutlich höhere Stoßstromfestigkeit. Dadurch sinkt die Neigung zu Fehlauslösungen in der Praxis deutlich.

Die Stoßstromfestigkeiten der einzelnen Gerätereihen betragen:

- unverzögert mindestens 1 kA
- Typ F und superresistenter Typ K mindestens 3 kA
- selektiv (Typ S) mindestens 5 kA

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



Kenngrößen eines Stromstoßes

T_s Stirnzeit in s
T_r Rückenhalbwertzeit in s
O_1 Nennbeginn
I_m Scheitelwert

Bild 22: Form des Stoßstroms 8/20 µs

5.3 Besonderheiten beim Einsatz von SIQUENCE allstromsensitiven FI-Schutzschaltern (Typ B und Typ B+)

5.3.1 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 (siehe Bild 23).

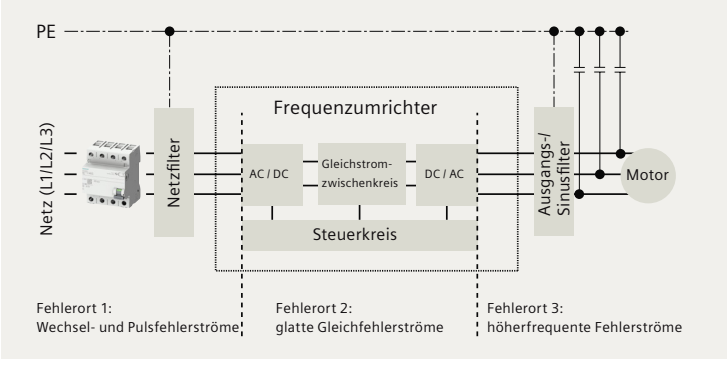


Bild 23: Stromkreis mit SIQUENCE FI-Schutzschalter und Frequenzumrichter

Fehlerorte im Bereich 1 (vor dem FU)

Zwischen FI-Schutzeinrichtung und Frequenzumrichter treten netzfrequente Wechselfehlerströme auf (siehe Bild 24). Diese rein sinusförmigen 50-Hz-Fehlerströme beherrschen alle FI-Schutzschalter (Typ AC, A, F und B). Bei Erreichen des Auslösewertes im Bereich 0,5 bis 1 $I_{\Delta n}$ erfolgt die Abschaltung des gefährdeten Bereichs.

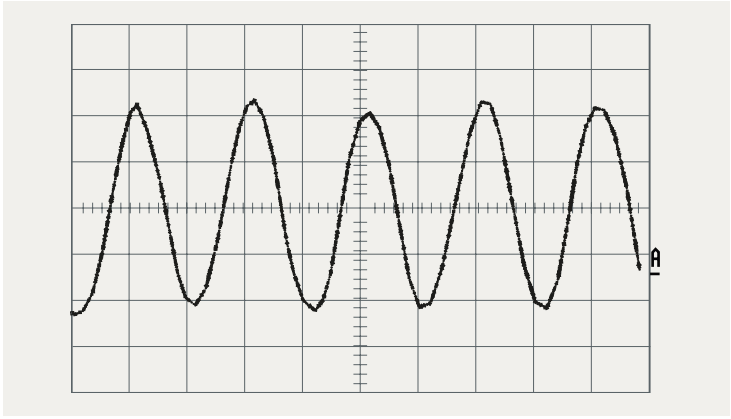


Bild 24: Fehlerstromform am Fehlerort 1

Fehlerorte im Bereich 2 (innerhalb des FU)
Innerhalb des FU (zwischen Eingangsgleichrichter und Ausgangselektronik, d. h. im Gleichstromzwischenkreis) treten nahezu glatte Gleichfehlerströme auf (siehe Bild 25). Bei Verwendung einer allstromsensitiven FI-Schutzeinrichtung vom Typ B erfolgt im Bereich 0,5 bis 2 $I_{\Delta n}$ zuverlässige Abschaltung.

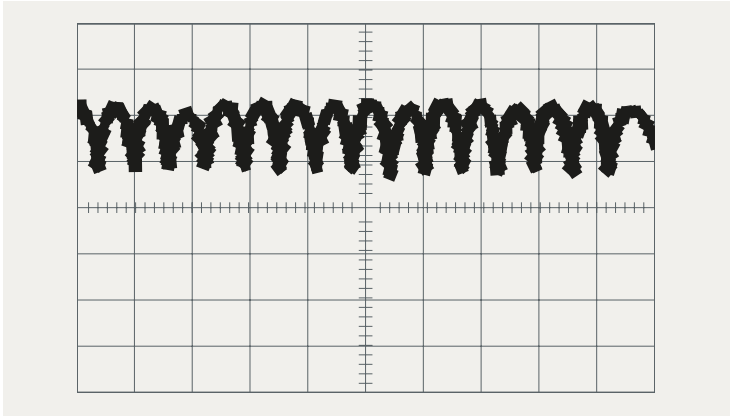


Bild 25: Fehlerstromform am Fehlerort 2

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 (siehe Bild 26). Je nach Betriebsart des Frequenzumrichters (z. B. als Gleichstrombremse, Gleichstromvorheizung) kann es auch zu glatten Gleichfehlerströmen kommen.

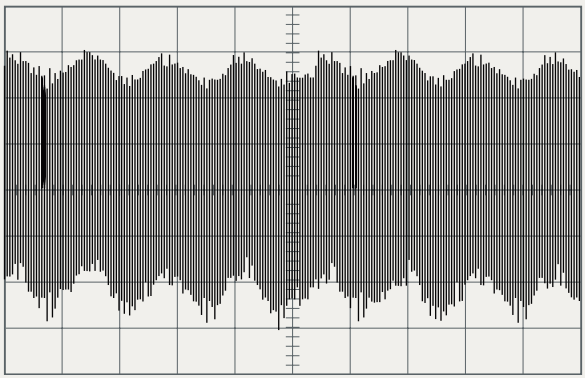


Bild 26: Fehlerstromform am Fehlerort 3

FI-Schutzschalter des Typs AC, A und F sind entsprechend der Produktnorm nur für die Erfassung von Fehlerströmen mit 50 Hz bzw. 50/60 Hz ausgelegt. Der Auslösewert steigt deshalb für höhere Frequenzanteile des Fehlerstroms undefiniert an. Die gewollte Schutzwirkung ist dann meist nicht mehr gegeben. Für FI-Schutzschalter des Typs B sind Auslösebedingungen für Frequenzen bis 1 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. Am Fehlerort 3 treten folgende maßgebliche Frequenzanteile 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 27 zeigt beispielhaft die einzelnen Frequenzanteile, die über einen Fehlerwiderstand von 1 kΩ im Bereich des Fehlerorts 3 (siehe Bild 26) 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.

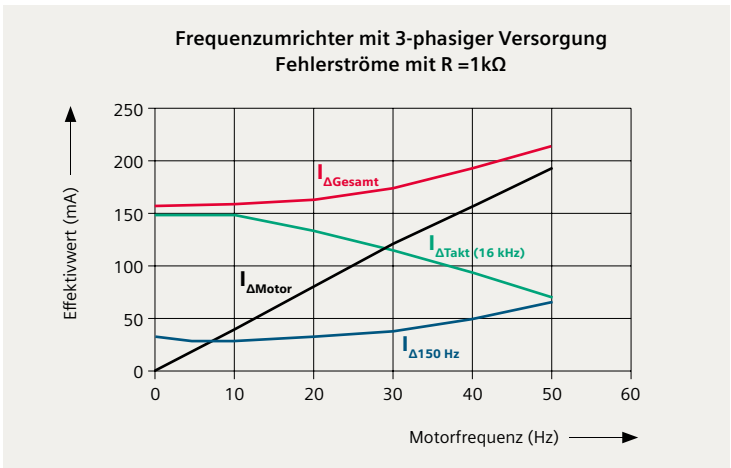


Bild 27: Frequenzanteile des Fehlerstroms am Beispiel eines Frequenzumrichters

5.3.2 Projektierung

Allstromsensitive FI-Schutzschalter 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. 8 bis 14 aus Tabelle 3).

FI-Schutzschalter des Typs AC, A oder F 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 in Anlagen mit mehreren Verbraucherstromkreisen bei der Koordination von FI-Schutzschaltern des Typs A oder F mit Typ B (oder B+) zu beachten, dass ein FI-Schutzschalter des Typs B oder Typs B+ grundsätzlich vor dem eines Typs A oder Typs F abgezweigt wird. Bild 28 zeigt ein Projektierungsbeispiel.

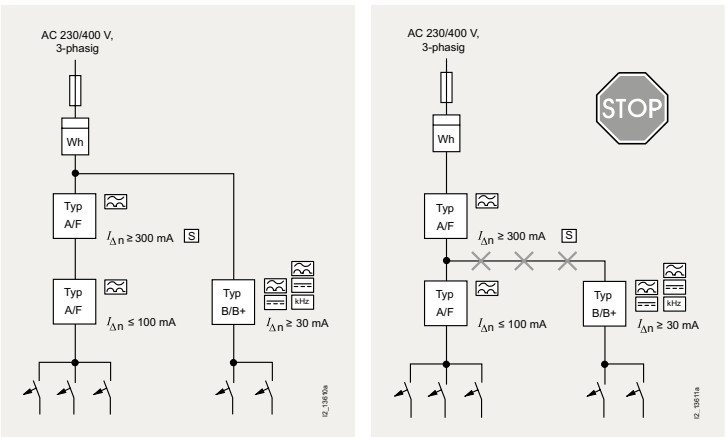


Bild 28: Projektierungsbeispiel mit FI-Schutzschaltern des Typs A und B

5.3.3 Ursachen für zu hohe Ableitströme und Möglichkeiten zur Reduzierung

Ursachen von Ableitströmen	Auswirkungen
EMV-(Eingangs-)Filterkapazitäten zwischen Außenleiter und PE-Leiter	hohe dynamische und statische Ableitströme
Leitungskapazitäten	vorwiegend statische Ableitströme
Ein- und Ausschalt-Unsymmetrien	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 Ausgangs-spannung des Frequenzumrichters	statische Ableitströme über Kabelkapazität

Tabelle 8: Ursachen von Ableitströmen

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-Eingangs-filter möglich sind, z. B. wenn die Verwendung von ausgangsseitigem Sinus-filter 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 Angaben des Frequenzumrichterherstellers 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 zur Reduzierung der dynamischen Ableitströme beim Einschalten.
- 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 FI-Schutzschalter Typ B+ die Taktfrequenz möglichst niedrig wählen (sofern für die Anwendung umsetzbar). Bei FI-Schutzschaltern Typ B, die einen mit der Frequenz ansteigenden 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 heraus 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 Nanoperm-Filter eingesetzt werden.

5.3.4 Funktionsverlust von RCDs Typ AC, A und F durch glatte Gleichfehlerströme

Der tolerierte Anteil an Gleichfehlerstrom ohne Funktionsbeeinträchtigung ist für RCDs des Typs AC, A und F wie folgt:

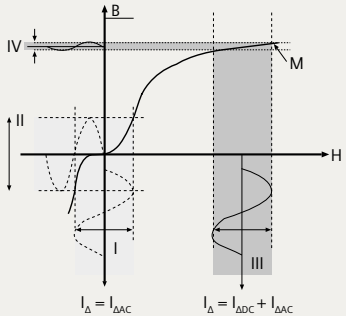
RCD Typ AC:	0 mA DC
RCD Typ A:	6 mA DC
RCD Typ F:	10 mA DC

FI-Schutzschalter des Typs AC, A und F können beim Auftreten eines höheren als oben angegebenen glatten Gleichfehlerstroms keinen Schutz bieten:
Der Summenstromwandler eines RCDs arbeitet nach dem Induktionsprinzip. Das bedeutet, dass eine zeitliche Veränderung eines Magnetfelds benötigt wird, um eine Spannung auf der Sekundärwicklung des Summenstromwandlers zu induzieren. Da das Magnetfeld eines Gleichfehlerstroms keine zeitliche Änderung aufweist, kann dieser nicht vom Summenstromwandler „verwertet“ werden und es kann keine Abschaltung des RCDs erfolgen.

Zudem bewirkt das Magnetfeld des Gleichfehlerstroms eine Vormagnetisierung des Wandlermaterials von RCDs Typ AC, A und F. Durch diese Vormagnetisierung verliert der Summenstromwandler auch die Fähigkeit, Wechselfehlerströme zu erfassen, was zu Funktionsbeeinträchtigungen bis hin zum vollständigen Verlust der Schutzfunktion führt. RCDs vom Typ A und F haben durch entsprechende Bauelementbeschaltungen wie oben angegeben die Fähigkeit, einen gewissen Anteil von glattem Gleichfehlerstrom ohne Funktionsbeeinträchtigung zu tolerieren, hingegen verlieren RCDs vom Typ AC ihre Funktionsfähigkeit bei jeglichem Auftreten von glattem Gleichfehlerstrom.

Wirkmechanismus der Vormagnetisierung im Detail
Bild 29 zeigt den Unterschied zwischen einem Wandlersignal ohne und mit Gleichfehlerstrom-Überlagerung. Ohne Gleichfehlerstrom ($I_{\Delta DC}$) erzeugt ein Wechselfehlerstrom ($I_{\Delta AC}$) 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 ($I_{\Delta DC}$) verschiebt den Wandlerarbeitspunkt auf der H-Achse. Ein Wechselfehlerstrom ($I_{\Delta AC}$) 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 AC, A oder F 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.



I Aussteuerung mit Wechselfehlerstrom $I_{\Delta AC}$
II Auslösesignal durch $I_{\Delta AC}$ erzeugt
III Überlagerung Gleichfehlerstrom $I_{\Delta DC}$ mit Wechselfehlerstrom $I_{\Delta AC}$
IV Auslösesignal bei Überlagerung Gleichfehlerstrom $I_{\Delta DC}$ mit Wechselfehlerstrom $I_{\Delta AC}$
I_Δ Gesamtfehlerstrom
B Induktion
H Feldstärke
M Magnetisierungskennlinie des Wandlers

Bild 29: Vormagnetisierung durch Gleichfehlerstrom

RCDs vom Typ B beinhalten wie in Bild 7 gezeigt einen zweiten Summenstromwandler mit einer speziellen aktiven Sensorik, die es ermöglicht, auch das Magnetfeld glatter Gleichfehlerströme zu verarbeiten, die negativen Effekte einer Vormagnetisierung zu umgehen und somit die Schutzfunktion ohne jegliche Beeinträchtigung zu gewährleisten.

5.4 Back-up-Schutz

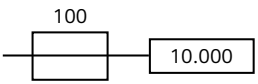
Je nach Netzsystem und Anlagenkonfiguration können Kurzschluss- und Fehlerströme bis zu mehreren hundert Ampere betragen. So fließt beispielsweise bei einem Isolationsfehler gegen den geerdeten Körper eines elektrischen Betriebsmittels bei entsprechend geringem Widerstand ein kurzschlussartiger Strom über die Fehlerstrom-Schutzeinrichtung. Die Kontakte, die sich dabei gerade öffnen, müssen dieser Beanspruchung standhalten.

Dies erfordert ein entsprechend hohes Bemessungs-Schaltvermögen. Das Bemessungs-Schaltvermögen I_m von FI-Schutzschaltern muss entsprechend der gültigen Gerätebestimmung (DIN EN 61008-1/VDE 0664-10) mindestens 500 A oder $10 \cdot I_n$, je nachdem welcher Wert höher ist, betragen. Für unsere FI-Schutzschalter liegt das Bemessungs-Schaltvermögen überwiegend bei 800 A und damit für Geräte bis 63 A Bemessungsstrom deutlich über der Mindestforderung von 500 A bzw. 630 A.

Entsprechend den Errichtungsbestimmungen (VDE 0100-410; DIN VDE 0100-530) sind Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen in allen Netzformen (TT-, TN-, IT-System) einsetzbar. Insbesondere im TN-System können neben Kurzschlussströmen auch Fehlerströme auftreten, die über dem Bemessungs-Schaltvermögen des FI-Schutzschalters liegen. Um die Energie und Höhe des Kurzschlussstroms auf verträgliche Werte zu begrenzen, ist eine Überstrom-Schutzeinrichtung als sogenannter Back-up-Schutz vorzuschalten.

Auf dem FI-Schutzschalter wird in Form eines Symbols der bedingte Bemessungs-Kurzschlussstrom in Verbindung mit einem maximal zulässigen Bemessungsstrom der Sicherung (Schmelzsicherungen der Betriebsklasse gG) angegeben.

Mit dem folgenden Beispiel soll dies erläutert werden:



Bei Verwendung einer Sicherung mit maximal 100 A beträgt der bedingte Bemessungs-Kurzschlussstrom des FI-Schutzschalters 10 kA.

In Fällen, in denen kein Sicherungsnennstrom genannt ist, gilt in Deutschland automatisch ein Mindestwert von 63 A. Für den bedingten Bemessungs-Kurzschlussstrom ist ein Mindestwert von 6 kA gefordert.

Bei Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen von Siemens werden keine unterschiedlichen Angaben für Bemessungs-Schaltvermögen und Bemessungs-Fehlerschaltvermögen sowie für bedingten Bemessungs-Kurzschlussstrom und bedingten Bemessungs-Fehlerkurzschlussstrom gemacht. Dies ist durchaus sinnvoll, da in den jeweiligen Fällen Fehler- und Kurzschlussstrom in gleicher Höhe liegen können.

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 Bemessungs-

strom der zugeordneten Überstrom-Schutzeinrichtung lässt sich aber unter Berücksichtigung der maximal zulässigen Grenzwerte des FI-Schutzschalters festlegen. Auf Basis der auf FI-Schutzschaltern genannten maximal zulässigen Kurzschlussvorsicherung lässt sich der Bemessungsstrom der zugeordneten Überstrom-Schutzeinrichtung bestimmen.

Das Bemessungs-Schaltvermögen von FI/LS-Schaltern gegenüber FI-Schutzschaltern ist deutlich höher, da die Kurzschlussabschaltung durch den LS-Teil übernommen wird, der speziell für den Kurzschlussschutz vorgesehen ist. Reicht dieses Eigenschaltvermögen nicht aus, so ist auch hier entsprechend den Herstellerangaben gegebenenfalls ein Back-up-Schutz vorzusehen.

5.5 Schutz vor thermischer Überlastung

Der Schutz vor thermischer Überlastung des FI-Schutzschalters muss primär durch sorgfältige Planung der Verbraucherstromkreise nach dem FI-Schutzschalter unter Beachtung von Herstellerangaben erfolgen.

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

- Der Bemessungsstrom des FI-Schutzschalters gilt als maximal zulässiger Dauerbetriebsstrom und darf dauerhaft nicht überschritten werden.
- Mit dem auf dem Typenschild angegebenen Wert der Vorsicherung (63 A bis 125 A) wird ausschließlich der Back-up-Schutz des FI-Schutzschalters sichergestellt (siehe Abschnitt 5.4).

Bei Einsatz von FI/LS-Schaltern entfallen die Betrachtungen bezüglich der thermischen Belastung, da der LS-Teil durch seinen thermischen Auslöser den Überlastschutz übernimmt.

5.6 Fehlersuche

Sollte eine Fehlerstrom-Schutzeinrichtung auslösen, so lässt sich die Fehlersuche in einem ersten Schritt entsprechend dem nachstehenden Diagramm (Bild 30) vornehmen.

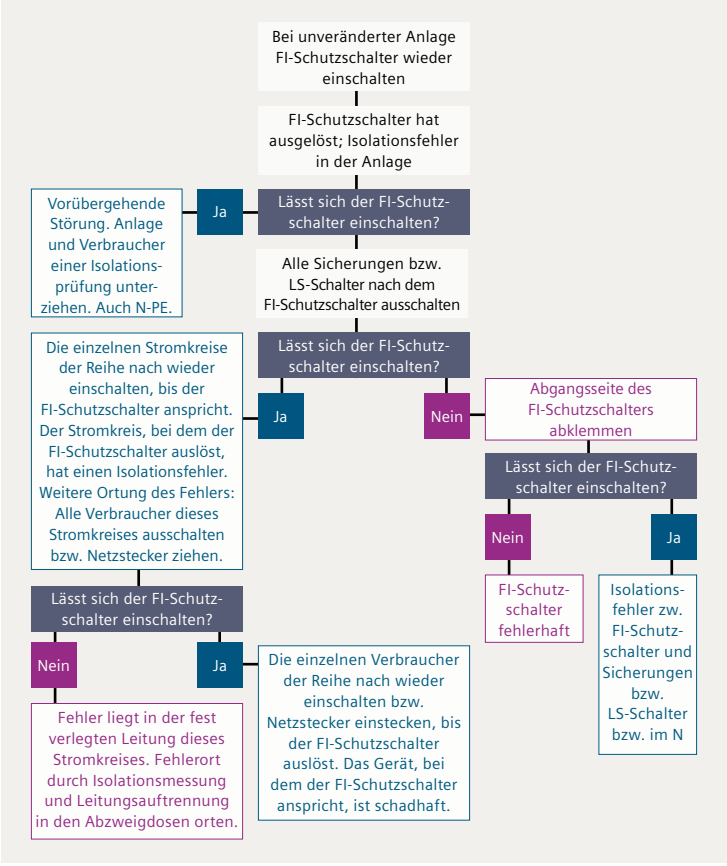


Bild 30: Ablaufdiagramm zur Fehlersuche

5.7 FI-Schutzschalter 4-polig in einem 3-poligen Netz

Die FI-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).

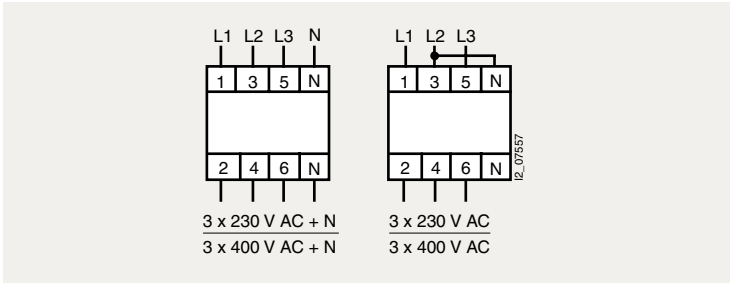


Bild 31: FI-Schutzschalter 4-polig in 3-poligem Netz

6. MRCD und RCM

Normen unterscheiden zwischen modularen Fehlerstromgeräten (MRCD, IEC 60947-2, Anhang M) und Differenzstrom-Überwachungsgeräten (RCM, IEC 62020-1) und bestimmen damit auch deren Einsatz.

Das Differenzstrom-Erfassungsprinzip von MRCD und RCM ist gleich. Sowohl bei den MRCDs als auch bei den RCMs wird der Differenzstrom über externe Summenstromwandler gemessen.

Die Summenstromwandler sind mit verschiedenen Innendurchmessern verfügbar. Dadurch können auch Installationen mit Bemessungsströmen von mehreren hundert Ampere überwacht werden.

Um Fehlauslösungen in Anlagen mit hohen Anlaufströmen (z. B. Schweißanlagen) zu vermeiden, werden auch geschirmte Summenstromwandler angeboten.

6.1 Modulare Fehlerstromgeräte (MRCD)

Ein MRCD („Modular Residual Current Device“) gehört zur Familie der RCDs. Alle Geräte sind in der Lage, einen Fehlerstrom zu erkennen und im Fehlerfall den überwachten Stromkreis von der Spannungsquelle zu trennen.
Es erfolgt somit eine geforderte Abschaltung nach DIN VDE 0100-410 bzw. IEC 60364-4-41. Diese Geräte sind in vielen Bereichen gefordert und empfohlen (DIN VDE 0100-530). Ihr Einsatz bietet sich vor allem dann an, wenn infolge hoher Lastströme oder Netzspannungen keine RCCB oder CBR genutzt werden können.

Bild 32: MRCD Typ B und Summenstromwandler

Siemens gibt geprüfte Kombinationen aus MRCD, Leistungsschalter und Arbeitsstromauslöser bzw. Unterspannungsauslöser an, für die bei einem 5-fachen Bemessungsfehlerstrom eine Abschaltung innerhalb von 40 ms gewährleistet ist, sodass mit diesen Gerätekombinationen die Vorgaben zum „Schutz durch automatische Abschaltung der Stromversorgung“ erfüllt werden.

Außerdem können ein Alarmwert (in % vom eingestellten Differenzstrom) und eine Zeitverzögerungen für die Auslösung (außer für Personenschutz) eingestellt werden. Die Möglichkeit der Einstellung eines Alarms ist sinnvoll, weil beim Erreichen der Alarmschwelle noch keine Abschaltung durch das MRCD erfolgt. Ein Anlagenfehler wird frühzeitig erkannt und der Betreiber hat die Möglichkeit, die elektrische Anlage herunterzufahren bzw. Produktionsprozesse zu beenden und danach erst die Anlage abzuschalten, damit der Fehler lokalisiert und behoben werden kann.
Ein MRCD – kombiniert mit einer Alarmierung – ist ein sicherer und zuverlässiger Personen- und Anlagenschutz.

6.2 Differenzstrom-Überwachungsgeräte (RCM)

Anders ist es bei einem Differenzstrom-Überwachungsgerät (RCM). Ein RCM (Residual Current Monitor) ist nur in der Lage, Differenzströme zu überwachen und zu melden, wenn diese einen festgelegten Wert überschreiten. Es erfolgt im Fehlerfall also keine Abschaltung, sondern lediglich eine Meldung. Diese Geräte gehören nicht zur Produktgruppe RCD.

Die permanente Differenzstrom-Überwachung zur Erhöhung der Anlagen- und Betriebssicherheit und Überwachung der Stromversorgung als Maßnahme der vorbeugenden Instandhaltung gewinnt verstärkt an Bedeutung.

RCMs überwachen Differenzströme in elektrischen Anlagen und melden, wenn diese einen festgelegten Wert überschreiten. Nach Produktnorm für Differenzstrom-Überwachungsgeräte DIN EN IEC 62020-1 (VDE 0663-1) bzw. IEC 62020-1, sind RCMs 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.

Das Erfassungsprinzip der Differenzstrom-Überwachungsgeräte ist das 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 (1. 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 Summenstromwandler und auch externem Summenstromwandler verbreitet. Externe Summenstromwandler sind mit verschiedenen Innendurchmessern verfügbar. Dadurch können auch Installationen mit Bemessungsströmen von mehreren hundert Ampere überwacht werden.

Eine relativ neue, von Siemens entwickelte Bauform sind Differenzstromüberwachungsgeräte integriert in kommunikative Leitungsschutzschalter, wie der 5SL60...MF MCB-RCM/EM COM in einer Teilungseinheit Baubreite. Bei dieser Bauform werden die Mess- und Überwachungsdaten drahtlos an ein Gateway kommuniziert und können von dort von übergeordneten Systemen visualisiert und weiterverarbeitet werden.

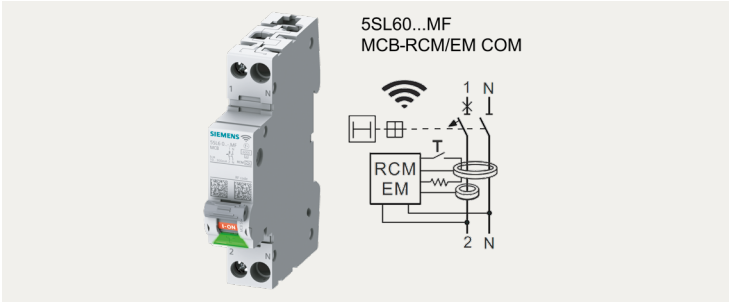


Bild 33: 5SL60...MF Kommunikativer Leitungsschutzschalter nach DIN EN 60898-1 mit integrierter Differenzstromüberwachungsfunktion nach DIN EN IEC 62020-1 und Energiemessfunktion (MCB-RCM/EM COM)

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

RCM als zusätzlicher Brandschutz
Entsprechend DIN VDE 0100-530 können RCMs, gekoppelt mit Leistungsschaltern, 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 die Versorgungsspannung der RCMs unabhängig vom Versorgungssystem ist.

7. Ausblick

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

Darüber hinaus stellt die breite Anwendung von FI-Schutzschaltern zum Schutz von unterschiedlichsten Verbrauchern immer höhere Anforderungen an die Funktion der Geräte. Der Einsatz von allstromsensitiven FI-Schutzschaltern des Typs B für erschwerte Umgebungsbedingungen ist ein Beispiel 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.

8. Quellenangaben

Bei der Erstellung dieser Technik-Fibel wurden unter anderem folgende Quellen verwendet und können zur weiteren Information genutzt werden:

- DIN 18015-1:2020-05 (Elektrische Anlagen in Wohngebäuden – Teil 1: Planungsgrundlagen)
- DIN 18015-2:2021-10 (Elektrische Anlagen in Wohngebäuden – Teil 2: Art und Umfang der Mindestausstattung)
- DIN EN 50178 (VDE 0160): 1998-04 (Ausrüstung von Starkstromanlagen mit elektronischen Betriebsmitteln)
- DIN EN 50556 (VDE 0832-100):2019-03 (Straßenverkehrs-Signalanlagen)
- DIN EN 60204-1 (VDE 0113-1):2019-06 (Sicherheit von Maschinen – Elektrische Ausrüstung von Maschinen – Teil 1: Allgemeine Anforderungen)
- DIN EN 60947-2 (VDE 0660-101):2020-11 (Niederspannungsschaltgeräte – Teil 2: Leistungsschalter)
- DIN EN 61008-1 (VDE 0664-10):2018-03 (Fehlerstrom-/Differenzstrom-Schutzschalter ohne eingebauten Überstromschutz (RCCBs) für Hausinstallationen und für ähnliche Anwendungen – Teil 1: Allgemeine Anforderungen)
- DIN EN 61009-1 (VDE 0664-20):2023-08 (Fehlerstrom-/Differenzstrom-Schutzschalter mit eingebautem Überstromschutz (RCBOs) für Hausinstallationen und für ähnliche Anwendungen –Teil 1: Allgemeine Anforderungen)
- DIN EN IEC 62020-1 (VDE 0663-1):2021-10 (Elektrisches Installationsmaterial – Differenzstrom-Überwachungsgeräte (RCMs) – Teil 1: RCMs für Hausinstallationen und ähnliche Verwendungen)
- DIN EN 62423 (VDE 0664-40):2023-12 (Fehlerstrom-/Differenzstrom-Schutzschalter Typ F und Typ B mit und ohne eingebautem Überstromschutz für Hausinstallationen und für ähnliche Anwendungen)
- DIN VDE 0100-100 (VDE 0100-100):2009-06 (Errichten von Niederspannungsanlagen – Teil 1: Allgemeine Grundsätze, Bestimmungen allgemeiner Merkmale, Begriffe)
- DIN VDE 0100-200:2023-06 (Errichten von Niederspannungsanlagen – Teil 200: Begriffe)

- DIN VDE 0100-410 (VDE 0100-410):2018-10 (Errichten von Niederspannungsanlagen – Teil 4-41: Schutzmaßnahmen – Schutz gegen elektrischen Schlag)
- DIN VDE 0100-420 (VDE 0100-420):2022-06 (Errichten von Niederspannungsanlagen – Teil 4-42: Schutzmaßnahmen – Schutz gegen thermische Auswirkungen)
- DIN VDE 0100-530 (VDE0100-530):2018-06 (Errichten von Niederspannungsanlagen – Teil 530: Auswahl und Errichtung elektrischer Betriebsmittel – Schalt- und Steuergeräte)
- DIN VDE 0100-559 (VDE 0100-559):2014-02 (Errichten von Niederspannungsanlagen – Teil 5-559: Auswahl und Errichtung elektrischer Betriebsmittel – Leuchten und Beleuchtungsanlagen)
- DIN VDE 0100-701 (VDE 0100-701):2008-10 (Errichten von Niederspannungsanlagen – Teil 7-701: Anforderungen für Betriebsstätten, Räume und Anlagen besonderer Art – Räume mit Badewanne oder Dusche)
- DIN VDE 0100-702 (VDE 0100-702):2012-03 (Errichten von Niederspannungsanlagen – Teil 7-702: Anforderungen für Betriebsstätten, Räume und Anlagen besonderer Art – Becken von Schwimmbädern, begehbare Wasserbecken und Springbrunnen)
- DIN VDE 0100-703 (VDE 0100-703):2006-02 (Errichten von Niederspannungsanlagen – Teil 7-703: Anforderungen für Betriebsstätten, Räume und Anlagen besonderer Art – Räume und Kabinen mit Saunaheizungen)
- DIN VDE 0100-704 (VDE 0100-704):2018-10 (Errichten von Niederspannungsanlagen – Teil 7-704: Anforderungen für Betriebsstätten, Räume und Anlagen besonderer Art – Baustellen)
- DIN VDE 0100-705 (VDE 0100-705):2007-10 (Errichten von Niederspannungsanlagen – Teil 7-705: Anforderungen für Betriebsstätten, Räume und Anlagen besonderer Art – Elektrische Anlagen von landwirtschaftlichen und gartenbaulichen Betriebsstätten)
- DIN VDE 0100-706 (VDE 0100-706):2021-06 (Errichten von Niederspannungsanlagen – Teil 7-706: Anforderungen für Betriebsstätten, Räume und Anlagen besonderer Art – Leitfähige Bereiche mit begrenzter Bewegungsfreiheit)
- DIN VDE 0100-708 (VDE 0100-708):2010-02 (Errichten von Niederspannungsanlagen – Teil 7-708: Anforderungen für Betriebsstätten, Räume und Anlagen besonderer Art – Caravanplätze, Campingplätze und ähnliche Bereiche)

- DIN VDE 0100-709 (VDE 0100-709):2020-02 (Errichten von Niederspannungsanlagen – Teil 7-709: Anforderungen für Betriebsstätten, Räume und Anlagen besonderer Art – Häfen, Marinas und ähnliche Bereiche – Besondere Anforderungen an die Versorgungseinrichtungen für den elektrischen Landanschluss von Schiffen)
- DIN VDE 0100-710 (VDE 0100-710):2012-10 (Errichten von Niederspannungsanlagen – Teil 7-710: Anforderungen für Betriebsstätten, Räume und Anlagen besonderer Art – Medizinisch genutzte Bereiche)
- DIN VDE 0100-711 (VDE 0100-711):2020-06 (Errichten von Niederspannungsanlagen – Teil 7-711: Anforderungen für Betriebsstätten, Räume und Anlagen besonderer Art – Ausstellungen, Shows und Stände)
- DIN VDE 0100-712 (VDE 0100-712):2016-10 (Errichten von Niederspannungsanlagen – Teil 7-712: Anforderungen für Betriebsstätten, Räume und Anlagen besonderer Art – Photovoltaik-(PV)-Stromversorgungssysteme)
- DIN VDE 0100-713 (VDE 0100-713):2017-10 (Errichten von Niederspannungsanlagen – Teil 7-713: Anforderungen für Betriebsstätten, Räume und Anlagen besonderer Art – Möbel und ähnliche Einrichtungsgegenstände)
- DIN VDE 0100-714 (VDE 0100-714):2014-02 (Errichten von Niederspannungsanlagen – Teil 7-714: Anforderungen für Betriebsstätten, Räume und Anlagen besonderer Art – Beleuchtungsanlagen im Freien)
- DIN VDE 0100-717 (VDE 0100-717):2010-10 (Errichten von Niederspannungsanlagen – Teil 7-717: Anforderungen für Betriebsstätten, Räume und Anlagen besonderer Art – Ortsveränderliche oder transportable Baueinheiten)
- DIN VDE 0100-718 (VDE 0100-718):2014-06 (Errichten von Niederspannungsanlagen – Teil 7-718: Anforderungen für Betriebsstätten, Räume und Anlagen besonderer Art – Öffentliche Einrichtungen und Arbeitsstätten)
- DIN VDE 0100-721 (VDE 0100-721):2019-10 (Errichten von Niederspannungsanlagen – Teil 7-721: Anforderungen für Betriebsstätten, Räume und Anlagen besonderer Art – Elektrische Anlagen in Caravans und Motorcaravans)
- DIN VDE 0100-722 (VDE 0100-722):2019-06 (Errichten von Niederspannungsanlagen – Teil 7-722: Anforderungen für Betriebsstätten, Räume und Anlagen besonderer Art – Stromversorgung von Elektrofahrzeugen)
- DIN VDE 0100-723 (VDE 0100-723):2005-06 (Errichten von Niederspannungsanlagen – Anforderungen für Betriebsstätten, Räume und Anlagen besonderer Art – Teil 723: Unterrichtsräume mit Experimentiereinrichtungen)

- DIN VDE 0100-730 (VDE 0100-730):2016-06 (Errichten von Niederspannungsanlagen – Teil 7-730: Anforderungen für Betriebsstätten, Räume und Anlagen besonderer Art – Elektrischer Landanschluss für Fahrzeuge der Binnenschifffahrt)
- DIN VDE 0100-740 (VDE 0100-740):2007-10 (Errichten von Niederspannungsanlagen – Teil 7-740: Anforderungen für Betriebsstätten, Räume und Anlagen besonderer Art – Vorübergehend errichtete elektrische Anlagen für Aufbauten, Vergnügungseinrichtungen und Buden auf Kirmesplätzen, Vergnügungsparks und für Zirkusse)
- DIN VDE 0100-753 (VDE0100-753):2015-10 (Errichten von Niederspannungsanlagen – Teil 7-753: Anforderungen für Betriebsstätten, Räume und Anlagen besonderer Art – Heizleitungen und umschlossene Heizsysteme)
- DIN VDE 0664-50 (VDE 0664-50):2015-11 (Fehlerstrom-/Differenzstrom-Schutzeinrichtung mit oder ohne Überstromschutz für Steckdosen für Hausinstallationen und für ähnliche Anwendungen)
- DIN VDE 0664-400 (VDE 0664-400):2012-05 (Fehlerstrom-Schutzschalter Typ B ohne eingebauten Überstromschutz zur Erfassung von Wechsel- und Gleichfehlerströmen für den gehobenen vorbeugenden Brandschutz – Teil 400: RCCB Typ B+)
- DIN VDE 0664-401 (VDE 0664-401):2012-05 (Fehlerstrom-Schutzschalter Typ B mit eingebautem Überstromschutz zur Erfassung von Wechsel- und Gleichfehlerströmen für den gehobenen vorbeugenden Brandschutz – Teil 401: RCBO Typ B+)
- DGUV Information 203-006 (BGI 608):2022-05 (Auswahl und Betrieb elektrischer Anlagen und Betriebsmittel auf Bau- und Montagestellen)
- IEC 60479-2:2019-05 (Effects of current on human beings and livestock – Part 2: Special aspects)
- IEC 62020-1:2020-04 (Electrical accessories – Residual current monitors (RCMs) – Part 1: RCMs for household and similar uses)
- RAL-RG 678:2023-02 (Elektrische Anlagen in Wohngebäuden – Anforderungen)
- VdS-Richtlinie 3501 : 2021-10 (Isolationsfehlerschutz in elektrischen Anlagen mit elektronischen Betriebsmitteln)
- VdS-Richtlinie 2033 : 2019-11 (Elektrische Anlagen in feuergefährdeten Betriebsstätten und diesen gleichzustellende Risiken)

9. Anhang

9.1 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 Fehlerzustände 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.

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

9.2 Begriffe und Definitionen für die Angabe des Schaltvermögens

Bemessungs-Schaltvermögen I_m des FI-Schutzschalters (DIN EN 61008-1)
Unbeeinflusster Effektivwert des **Kurzschlussstroms**, den der FI-Schutzschalter unter festgelegten Bedingungen einschalten, führen und ausschalten kann.

Bemessungs-Schaltvermögen I_{cn} des FI/LS-Schalters (DIN EN 61009-1)
Das Bemessungs-Schaltvermögen eines FI/LS-Schalters ist der vom Hersteller bestimmte Wert des Grenz-Kurzschlussschaltvermögens.

Bemessungs-Fehlerschaltvermögen $I_{\Delta m}$ (DIN EN 61008-1,DIN EN 61009-1)
Unbeeinflusster Effektivwert des **Fehlerstroms**, den die Fehlerstrom-Schutzeinrichtung unter festgelegten Bedingungen einschalten, führen und ausschalten kann.

Bedingter Bemessungs-Kurzschlussstrom I_{nc} (DIN EN 61008-1)
Unbeeinflusster Strom, den der FI-Schutzschalter in Verbindung mit einer **Kurzschlussvorsicherung** ohne nachfolgende Funktionsbeeinträchtigung aushalten kann.

Bedingter Bemessungs-Fehlerkurzschlussstrom $I_{\Delta c}$ (DIN EN 61008-1)
Unbeeinflusster **Fehlerstrom**, den der FI-Schutzschalter in Verbindung mit einer **Kurzschlussvorsicherung** ohne nachfolgende Funktionsbeeinträchtigung aushalten kann.

9.3 Netzsysteme und Schutzeinrichtungen

Die unterschiedlichen Netzsysteme sind in DIN VDE 0100-100 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)

9.3.1 TN-System

Alle Körper der Anlage müssen mit dem geerdeten Punkt des speisenden Netzes, der am zugehörigen Transformator/Generator oder in dessen Nähe oder Generators geerdet sein muss, durch Schutzleiter verbunden sein. Bild 33, Bild 34 und Bild 35 zeigen die unterschiedlichen Ausführungen des TN-Systems.

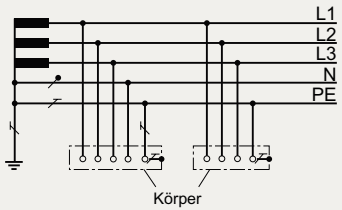


Bild 34: TN-S-System

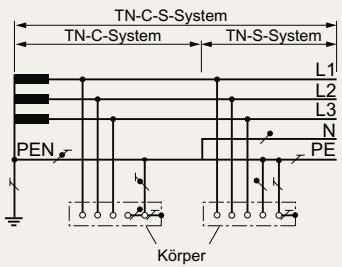


Bild 35: TN-C-S-System

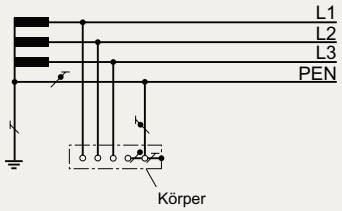


Bild 36: TN-C-System

Zulässige Schutzmaßnahmen in TN-Systemen:

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

Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen dürfen aus folgenden Gründen im TN-C System nicht eingesetzt werden:

Im TN-C System ist keine Trennung zwischen PE-Leiter und Neutralleiter vorhanden. Dadurch kann im Fehlerfall nicht zwischen Fehlerstrom im PE-Leiter und Rückstrom im Neutralleiter differenziert werden. Dies führt zu fehlerhaften Messungen. Fehlende oder unerwünschte Auslösungen können die Folge sein. Zudem darf ein PEN-Leiter nicht geschaltet werden. Somit ist eine Anwendung von RCD in TN-C Systemen unzulässig und ausgeschlossen.

9.3.2 TT-System

Alle Körper, die durch die gleiche Schutzeinrichtung geschützt sind, müssen durch Schutzleiter an einen gemeinsamen Erder angeschlossen werden (siehe Bild 36).

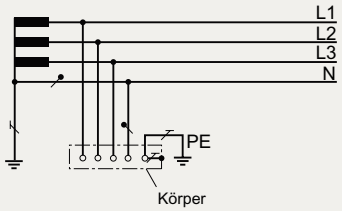


Bild 37: TT-System

Zulässige Schutzmaßnahmen:
- Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen
- Überstrom-Schutzeinrichtungen

Um die Abschaltbedingungen zu erfüllen, ergeben sich bei der Verwendung von Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen in Abhängigkeit des Bemessungs-Differenzstroms unterschiedliche maximal zulässige Erdungswiderstände (siehe Tabelle 9).

Bemessungs-Differenzstrom $I_{\Delta n}$	Max. zulässiger Erdungswiderstand bei einer max. zulässigen Berührungsspannung von	
	50 V	25 V
10 mA	5.000 Ω	2.500 Ω
30 mA	1.666 Ω	830 Ω
100 mA	500 Ω	250 Ω
300 mA	167 Ω	83 Ω
500 mA	100 Ω	50 Ω
1 A	50 Ω	25 Ω

Tabelle 9: Max. zulässige Erdungswiderstände in Abhängigkeit von $I_{\Delta n}$

Für SIQUENCE allstromsensitive FI-Schutzeinrichtungen Typ B und Typ B+ sind beim Einsatz von Betriebsmitteln mit unterschiedlichen Frequenzanteilen im möglichen Fehlerstrom die Angaben in 4.4.3 und 4.4.4 zu beachten.

9.3.3 IT-System

In IT-Systemen (siehe Bild 37) 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.

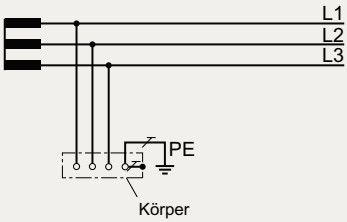


Bild 38: IT-System

Zulässige Schutzmaßnahmen:

- Isolations-Überwachungseinrichtungen
- Überstrom-Schutzeinrichtungen
- Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen

Die Abschaltung beim ersten Fehler ist nicht gefordert. Es sind aber Maßnahmen zu treffen, sodass beim Auftreten des zweiten Fehlers das Risiko gefährlicher physiologischer Einwirkungen auf Personen vermieden wird. Eine Isolations-Überwachungseinrichtung 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 Überstrom-Schutzeinrichtungen erfüllt werden, sind für jedes Verbrauchsmittel FI-Schutzschalter vorzusehen oder es ist ein zusätzlicher Potenzialausgleich durchzuführen. Der gemeinsame Einsatz von Isolations-Überwachungseinrichtungen und FI-Schutzschalter hat keine gegenseitige Beeinflussung zur Folge.

9.3.4 Zusammenfassung

Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen können in allen Netzsystemen (TN-, TT-, IT-System) eines Wechsel- oder Drehstromnetzes eingesetzt werden (siehe Bild 32). 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 $I_{\Delta n} \leq 30$ mA auch zusätzlichen Schutz (Schutz bei direktem Berühren) bieten und mit $I_{\Delta n} \leq 300$ mA für den vorbeugenden Schutz vor elektrisch gezündeten Bränden durch Erdfehlerströme einen wirksamen Beitrag liefern.

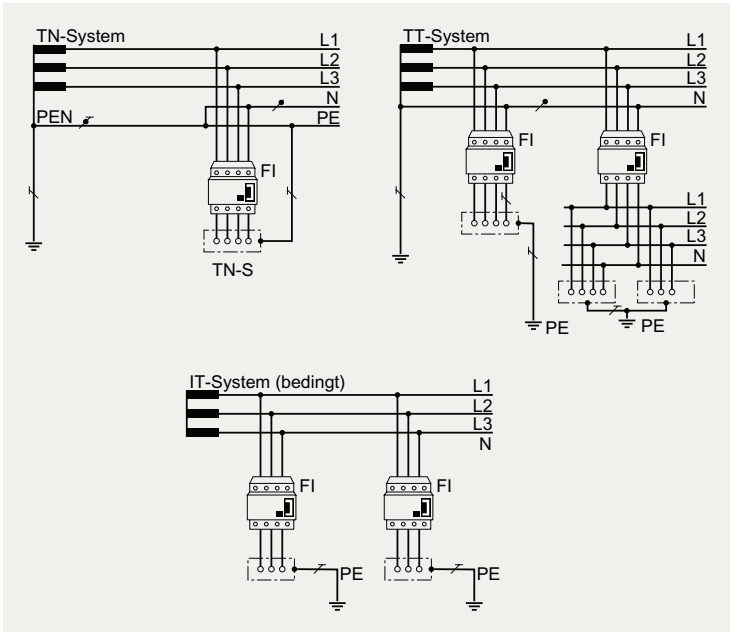


Bild 39: Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen in allen Netzsystemen

9.4 Errichtungsbestimmungen für Installationsanlagen mit Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen

Bestimmung (DIN VDE...)	Anwendungsbereich	Geforderter $I_{\Delta n}$ [mA]	Empfohlene Siemens FI-Schutzeinrichtung (Mögliche Art des Differenzstroms des Betriebsmittels berücksichtigen)			
			Typ A	Typ F	SIQUENCE Typ B/B+	SIGRES
0100-410	Schutz gegen elektrischen Schlag					
	• Fehlerschutz	$\leq \frac{50\ V}{R_A}$	+	+	+	+
	• zusätzlicher Schutz	≤ 30	+	+	+	+
	• Steckdosen in Endstromkreisen bis 32 A, die für die Benutzung durch Laien und zur allgemeinen Verwendung bestimmt sind	≤ 30	+	+	+	+
	• Endstromkreise mit fest angeschlossenen ortsveränderlichen Betriebsmitteln zur Verwendung im Außenbereich	≤ 30	+	+	+	+
	• Leuchtenstromkreise in Wohnungen	≤ 30	+	+		
0100-420	Räume oder Orte mit besonderem Brandrisiko – Feuergefährdete Betriebsstätten Endstromkreise, die elektrische Betriebsmittel in der feuergefährdeten Betriebsstätte versorgen oder diese durchqueren					
	• Allgemein	≤ 300	+	+	+	
	• Wo widerstandsbehaftete Fehler einen Brand entzünden können (z. B. Flächenheizelemente)	≤ 30	+	+	+	
0100-559	Leuchten und Beleuchtungsanlagen					
	• Stromkreise, die Ausstellungsstände für Leuchten versorgen	≤ 30	+	+		

Bestimmung (DIN VDE...)	Anwendungsbereich	Geforderter $I_{\Delta n}$ [mA]	Empfohlene Siemens FI-Schutzeinrichtung (Mögliche Art des Differenzstroms des Betriebsmittels berücksichtigen)			
			Typ A	Typ F	SIQUENCE Typ B/B+	SIGRES
0100-701	Räume mit Badewanne oder Dusche					
	• Alle Stromkreise in Räumen mit Badewanne oder Dusche	≤ 30	+	+		
	• Andere Stromkreise, deren Kabel und Leitungen weniger als 6 cm tief von der Wandoberfläche eingebettet sind	≤ 30	+	+		
0100-702	Becken von Schwimmbädern und andere Becken					
	• Stromkreise in Bereichen 0, 1 und 2 und begrenzenden Wänden, Decken und Böden	≤ 30	+	+	+	+
	• Elektrische Fußboden- und Deckenheizungen	≤ 30	+	+	+	+
0100-703	Räume und Kabinen mit Saunaheizungen					
	• Alle Stromkreise der Sauna (Saunaheizung ausgenommen)	≤ 30	+			+
0100-704	Baustellen					
	• Steckdosenstromkreise bis 32 A	≤ 30	+	+	+	+
	• Stromkreise für handgehaltene Betriebsmittel bis 32 A	≤ 30	+	+	+	+
	• Steckdosenstromkreise > 32 A	≤ 500	+	+	+	+
	Für Drehstromsteckdosenstromkreise bis 63 A ist RCD Typ B gefordert				+	
0100-705	Landwirtschaftliche und gartenbauliche Anwesen					
	• Steckdosenstromkreise	≤ 30	+	+	+	+
	• alle weiteren Stromkreise (außer solche, die Verteiler speisen)	≤ 300	+	+	+	+

Bestimmung (DIN VDE...)	Anwendungsbereich	Geforderter $I_{\Delta n}$ [mA]	Empfohlene Siemens FI-Schutzeinrichtung (Mögliche Art des Differenzstroms des Betriebsmittels berücksichtigen)			
			Typ A	Typ F	SIQUENCE Typ B/B+	SIGRES
0100-706	Leitfähige Bereiche mit begrenzter Bewegungsfreiheit					
	• fest errichtete Betriebsmittel	≤ 30	+			
0100-708	Caravanplätze, Campingplätze und ähnliche Bereiche					
	• Jede Steckdose einzeln mit RCD geschützt	≤ 30	+	+		
	• Jeder Endstromkreis für die feste Verbindung zur Versorgung eines Mobilheims/Parkwohnheims	≤ 30	+	+		
0100-709	Versorgung von Schiffen in Häfen, Marinas und ähnlichen Bereichen					
	• Jede Steckdose bis einschließlich 32 A einzeln durch RCD geschützt	≤ 30	+	+	+	+
	• Jede Steckdose über 32 A einzeln durch RCD geschützt	≤ 300	+	+	+	+
0100-710	Medizinisch genutzte Bereiche					
	• Bereiche der Gruppe 1: Endstromkreise bis 32 A	≤ 30	+		+	
	• Bereiche der Gruppe 2: je nach Betriebsmittel	≤ 30	+		+	

Bestimmung (DIN VDE...)	Anwendungsbereich	Geforderter $I_{\Delta n}$ [mA]	Empfohlene Siemens FI-Schutzeinrichtung (Mögliche Art des Differenzstroms des Betriebsmittels berücksichtigen)			
			Typ A	Typ F	SIQUENCE Typ B/B+	SIGRES
0100-711	Ausstellungen, Shows und Stände					
	• Alle Steckdosenstromkreise bis einschließlich 32 A	≤ 30	+			
	• Alle Beleuchtungsstromkreise außer Notbeleuchtung	≤ 30	+			
	• Alle Endstromkreise zur Versorgung tragbarer elektrischer Betriebsmittel bis einschließlich 32 A	≤ 30	+			
	Selektivität zwischen hintereinander geschalteten RCDs muss gegeben sein.					
0100-712	Photovoltaik-Stromversorgungssysteme					
	Wenn eine RCD für den Schutz des PV-Wechselstrom-Versorgungsstromkreises verwendet wird, muss diese vom Typ B sein, außer bestimmte Bedingungen werden erfüllt				+	
0100-713	Möbel und ähnliche Einrichtungsgegenstände					
	• Vollständige elektrische Installation	≤ 30	+			
0100-714	Beleuchtungsanlagen im Freien					
	• Einrichtungen und Anlagen mit integrierter Beleuchtung	≤ 30	+			
0100-717	Ortsveränderliche oder transportable Baueinheiten, elektrische Anlagen auf Fahrzeugen					
	• Verbindung mit einer Niederspannungsstromerzeugungseinrichtung	≤ 30	+	+	+	
	• Verbindung mit einer festen Anlage	≤ 30	+	+	+	

Bestimmung (DIN VDE...)	Anwendungsbereich	Geforderter $I_{\Delta n}$ [mA]	Empfohlene Siemens FI-Schutzeinrichtung (Mögliche Art des Differenzstroms des Betriebsmittels berücksichtigen)			
			Typ A	Typ F	SIQUENCE Typ B/B+	SIGRES
0100-718	Öffentliche Einrichtungen und Arbeitsstätten Bei Beleuchtungsstromkreisen darf eine RCD nicht mehr als einen Endstromkreis versorgen		+	+	+	
0100-721	Caravans und Motorcaravans • Jede Einspeisestelle der Stromversorgung	≤ 30	+	+		
0100-722	Stromversorgung von Elektrofahrzeugen • Jeder AC-Anschlusspunkt muss mit einer separaten RCD geschützt sein	≤ 30	+	+	+	
0100-723	Unterrichtsräume mit Experimentiereinrichtungen • Stromkreise zur Versorgung von Experimentiereinrichtungen (RCD Typ B gefordert)	≤ 30			+	
0100-730	Elektrischer Landanschluss für die Binnenschiffahrt • Jede Steckdose bis einschließlich 63 A einzeln durch RCD geschützt • Jede Steckdose über 63 A einzeln durch RCD geschützt	≤ 30 ≤ 300	+ +	+ +		
0100-740	Vorübergehend errichtete elektrische Anlagen für Aufbauten, Vergnügungseinrichtungen und Buden auf Kirmesplätzen, Vergnügungsparks und Zirkusse • am Anfang der elektrischen Anlage (Selektivität hier gefordert) • Alle Endstromkreise für Licht, Steckdosen bis 32 A, ortsveränderliche Betriebsmittel bis 32 A	≤ 300 (selektiv) ≤ 30	+ +	+ +	+ +	

Bestimmung (DIN VDE...)	Anwendungsbereich	Geforderter $I_{\Delta n}$ [mA]	Empfohlene Siemens FI-Schutzeinrichtung (Mögliche Art des Differenzstroms des Betriebsmittels berücksichtigen)			
			Typ A	Typ F	SIQUENCE Typ B/B+	SIGRES
0100-753	Heizleitungen und umschlossene Heizsysteme • Stromkreise, die Heizeinheiten versorgen	≤ 30	+			
DIN EN 50178 (VDE 0160)	Ausrüstung von Starkstromanlagen mit elektronischen Betriebsmitteln	Allgemeine Anforderungen an korrekte Auswahl bei Einsatz von RCD	+	+	+	
DIN EN 50556 (VDE 0832-100)	Straßenverkehrs-Signalanlagen					
	• Klasse T1	≤ 300	+	+		+
	• Instandhaltungsanschluss	≤ 30	+	+		+
DIN EN 60204-1 (VDE 0113-1)	Elektrische Ausrüstung von Maschinen					
	• Stromkreise von Steckdosen bis 20 A an Maschinen oder zugehöriger Ausrüstung (z. B. Schaltschränke/ Steuerschränke)	≤ 30	+	+	+	+

Tabelle 10: Errichtungsbestimmungen für Installationsanlagen mit Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen

Anmerkung

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

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Bild 1: Schutz bei direktem Berühren: Zusätzlicher Schutz bedeutet direkter Kontakt mit einem betriebsmäßig unter Spannung stehenden aktiven Teil 11

Bild 2: Wirkungsbereiche von Wechselstrom 50/60 Hz auf den Menschen 12

Tabelle 1: Zusammenhang zwischen dem Maximalwert des Erdungswiderstands R_A und dem Maximalwert des Bemessungs-Differenzstroms $I_{\Delta n}$ der Fehlerstrom-Schutzeinrichtung (RCD) für den Fehlerschutz 14

Bild 3: Schutz bei indirektem Berühren: Unter Fehlerschutz versteht man den Kontakt mit einem betriebsmäßig nicht unter Spannung stehenden, elektrisch leitfähigen Teil 15

Tabelle 2: Einteilung der FIs in unterschiedliche Typen mit Auslösebereichen 16

Tabelle 3: Mögliche Fehlerstromformen und geeignete FI-Schutzschalter 18

Bild 4: Einteilung von Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen (RCDs) 20

Bild 5: Prinzipdarstellung eines FI-Schutzschalters 23

Bild 6: Funktionsprinzip eines Haltemagnet-Auslösers 23

Bild 7: Aufbau eines SIQUENCE allstromsensitiven FI-Schutzschalters Typ B und Typ B+ 25

Bild 8: Installation mit zentralem FI-Schutzschalter und LS-Schaltern für Abzweige 28

Bild 9: Beispiel einer Installation mit FI/LS-Schaltern 29

Tabelle 4: Mindestanzahl der Stromkreise für Steckdosen zur allgemeinen Verwendung und für Beleuchtung nach DIN 18015-2 30

Bild 10: Beispiel für einen Stromkreisverteiler für eine 100-m^2-Wohnung mit Mindestanzahl von Stromkreisen für Steckdosen zur allgemeinen Verwendung und Beleuchtung entsprechend DIN 18015-2:2021-10.
Die Aufteilung der Endstromkreise auf die beiden RCDs erfolgte entsprechend der Forderung aus DIN 18015-1, die aus Gründen der Verfügbarkeit und Vermeidung von Überlastung eine Planung mit maximal 6 einphasigen Endstromkreisen pro 4-poligem Fehlerstromschutzschalter vorsieht. 31

Bild 11: Um maximale Verfügbarkeit zu erreichen, kann anstelle der beiden Fehlerstrom-schutzschalter denen jeweils 6 Leitungsschutzschalter zugeordnet sind, pro Strom-kreis ein FI/LS vorgesehen werden. Mit den 5SV1 FI/LS in 1 TE ergibt sich neben der höheren Verfügbarkeit auch noch eine erhebliche Platzersparnis, was die Realisierung auch höherwertiger Elektroinstallationen bei gegebener Verteilergröße ermöglicht. 32

Bild 12: Auslösestrom Typ B in Abhängigkeit von der Frequenz 34

Tabelle 5: Empfohlene maximale Erdungswiderstände für SIQUENCE FI-Schutzschalter Typ B und Typ B+ 36

Bild 13: Auslösestrom Typ B+ in Abhängigkeit von der Frequenz 37

Bild 14: Abschaltzeit t_A in Abhängigkeit des Auslösestroms I_Δ 41

Bild 15: Anordnung unterschiedlicher Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen und deren Auslösezeiten 42

Bild 16: Beispiel für Fernantrieb mit FI-Schutzschalter 5SV3 45

Tabelle 6:	Kenngrößen für die Abschaltbedingungen im TN-System und im TT-System mit Nennspannungen 230/400 V AC.	47
Tabelle 7:	Auswahl der Schutzeinrichtungen im TN-System und im TT-System mit Nennspannungen AC 230/400 V	49
Bild 17:	Auswahlhilfe zur Bestimmung der geeigneten FI-Schutzeinrichtung	52
Bild 18:	Flussdiagramm zur Auswahl des RCD-Typs	53
Bild 19:	RCDs vom Typ A werden von glatten Gleichfehlerströmen > 6 mA in ihrer Funktion beeinträchtigt	57
Bild 20:	RCD vom Typ A werden von glatten Gleichfehlerströmen > 6 mA DC (> 10 mA DC bei Typ F) in ihrer Funktion beeinträchtigt. Diese Schaltung ist daher unzulässig.	58
Bild 21:	RCDs vom Typ B MI im mobilen Verteiler lösen bei glatten Gleichfehlerströmen > 6 mA DC aus und verhindern somit die Beeinträchtigung vorgeschalteter RCDs vom Typ A oder Typ F.	59
Bild 22:	Form des Stoßstroms 8/20 µs	65
Bild 23:	Stromkreis mit SIQUENCE FI-Schutzschalter und Frequenzumrichter	66
Bild 24:	Fehlerstromform am Fehlerort 1	67
Bild 25:	Fehlerstromform am Fehlerort 2	68
Bild 26:	Fehlerstromform am Fehlerort 3	69
Bild 27:	Frequenzanteile des Fehlerstroms am Beispiel eines Frequenzumrichters	70
Bild 28:	Projektierungsbeispiel mit FI-Schutzschaltern des Typs A und B	71
Tabelle 8:	Ursachen von Ableitströmen	72
Bild 29:	Vormagnetisierung durch Gleichfehlerstrom	76
Bild 30:	Ablaufdiagramm zur Fehlersuche	79
Bild 31:	FI-Schutzschalter 4-polig in 3-poligem Netz	80
Bild 32:	MRCD Typ B und Summenstromwandler	82
Bild 33:	5SL60…MF Kommunikativer Leitungsschutzschalter nach DIN EN 60898-1 mit integrierter Differenzstromüberwachungsfunktion nach DIN EN 62020-1 und Energiemessfunktion (MCB-RCM/EM COM)	83
Bild 34:	TN-S-System	95
Bild 35:	TN-C-S-System	95
Bild 36:	TN-C-System	96
Bild 37:	TT-System	97
Tabelle 9:	Max. zulässige Erdungswiderstände in Abhängigkeit von $I_{\Delta n}$	97
Bild 38:	IT-System	98
Bild 39:	Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen in allen Netzsystemen	99
Tabelle 10:	Errichtungsbestimmungen für Installationsanlagen mit Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen	105

Siemens AG

Smart Infrastructure
Electrical Products
Siemensstraße 10
93055 Regensburg
Deutschland

Artikel-Nr. SIEP-T90453-00-00DE
© Siemens 2024

Änderungen und Irrtümer vorbehalten. Die Informationen in diesem Dokument 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 Vertragsabschluss ausdrücklich vereinbart werden.

www.siemens.de/fehlerstromschutz