

SIEMENS



SENTRON

Fehlerstrom- Schutzeinrichtungen

Technik-Fibel

Ausgabe

02/2018

www.siemens.de/fehlerstromschutz



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.

1. Produktportfolio	6
2. Einführung	8
3. Schutz durch Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen	9
3.1 Zusätzlicher Schutz mit $I_{\Delta n} \leq 30 \text{ mA}$ (früher „Schutz bei direktem Berühren“)	9
3.2 Fehlerschutz (früher „Schutz gegen indirektes Berühren“)	13
3.3 Brandschutz	14
4. Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen	15
4.1 Typen von FI-Schutzschaltern	15
4.1.1 Typ AC	17
4.1.2 Typ A	17
4.1.3 Typ F	17
4.1.4 Typ B	17
4.1.5 Typ B+	18
4.2 Einteilung von Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen	18
4.3 Prinzipieller Aufbau und Wirkungsweise	21
4.3.1 FI-Schutzschalter Typ A	21
4.3.2 SQUENCE allstromsensitive FI-Schutzschalter Typ B und Typ B+	24
4.4 Eigenschaften und Einsatzgebiete	25
4.4.1 FI-Schutzschalter	25
4.4.2 FI/LS-Schalter Typ AC, Typ A und Typ F	26
4.4.3 SQUENCE allstromsensitive FI-Schutzschalter Typ B und Typ B+	29
4.4.4 SQUENCE allstromsensitive FI/LS-Schalter Typ B und Typ B+	34
4.4.5 FI-Blöcke für den Anbau an Leitungsschutzschalter	35
4.4.6 SIGRES FI-Schutzschalter (für erschwerte Umgebungsbedingungen)	36
4.4.7 Typ K superresistent	37
4.4.8 Typ S selektiv	39
4.4.9 Ausführungen für 50 bis 400 Hz	40
4.4.10 Ausführungen für 500 V Betriebsspannung	40
4.4.11 FI-Schutzschalter mit N-Anschluss, linksseitig	40
4.5 Zusatzkomponenten für FI-Schutzschalter	41
4.5.1 Fernantrieb (RC)	41
4.5.2 Hilfsschalter	43
4.5.3 Weitere Zusatzkomponenten	43

5. Installations- und Anwendungshinweise	44
5.1 Allgemeine Hinweise	44
5.1.1 Auswahl von Schutzeinrichtungen	44
5.1.2 Einsatz von Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen	46
5.2 Auswahl der geeigneten Fehlerstrom-Schutzeinrichtung	48
5.2.1 Typ A, Typ F oder Typ B bzw. Typ B+?	49
5.2.2 Welches Schutzziel muss erreicht werden?	49
5.2.3 Welche Störbeeinflussungen treten auf und wie werden diese beherrscht?	50
5.3 Besonderheiten beim Einsatz von SIQUENCE allstromsensitiven FI-Schutzschaltern (Typ B und Typ B+)	53
5.3.1 Anwendungsfälle	53
5.3.2 Fehlerströme an unterschiedlichen Fehlerorten am Beispiel eines Frequenzumrichters (FU)	54
5.3.3 Projektierung	61
5.3.4 Ursachen für zu hohe Ableitströme und Möglichkeiten zur Reduzierung	62
5.4 Back-up-Schutz	64
5.5 Schutz vor thermischer Überlastung	66
5.6 Fehlersuche	67
5.7 FI-Schutzschalter 4-polig in einem 3-poligen Netz	68
6. MRCD und RCM	69
6.1 Modulare Fehlerstromgeräte (MRCD)	69
6.2 Differenzstrom-Überwachungsgeräte (RCM)	70
7. Ausblick	73
8. Quellenangaben	74
9. Anhang	75
9.1 Begriffe und Definitionen (entsprechend DIN VDE 0100-200)	75
9.2 Netzsysteme und Schutzeinrichtungen	78
9.2.1 TN-System	79
9.2.2 TT-System	80
9.2.3 IT-System	82
9.2.4 Zusammenfassung	83
9.3 Begriffe und Definitionen für die Angabe des Schaltvermögens	84
9.4 Errichtungsbestimmungen für Installationsanlagen mit Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen	85
10. Abbildungs- und Tabellenverzeichnis	87

1. Produktportfolio

FI-Schutzschalter (RCCB)



5SM3 / 5SV

- Typ AC, Typ A und Typ F
- $I_n = 16 \dots 125 \text{ A}$
- $I_{\Delta n} = 10 \text{ mA} \dots 1 \text{ A}$
- 2-polig (1+N) und 4-polig (3+N)
- N-Anschluss links und rechts
- 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+
- $I_n = 16 \dots 80 \text{ A}$
- $I_{\Delta n} = 30, 300 \text{ und } 500 \text{ mA}$
- 2-polig (1+N) und 4-polig (3+N)
- Ausführung **K** und **S**
- inklusive SIGRES-Funktionalität

SIQUENCE FI/LS-Schalter (RCBO)



5SU1

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

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



5SM2

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

FI/LS-Schalter; kombinierte Geräte (RCBO)



5SU1

- Kombiniertes Personen- und Leitungsschutz
- Typ AC, Typ A und Typ F
- $I_n = 6 \dots 40 \text{ A}$
- $I_{\Delta n} = 10 \dots 300 \text{ mA}$
- 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-Überwachungs- geräte (RCM)



5SV8

- Differenzstrom-Überwachung
- Typ AC und Typ A
- $I_n = 0,03 \dots 30 \text{ A}$
- 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 zu der 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 $I_{\Delta n} \leq 30 \text{ mA}$ (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

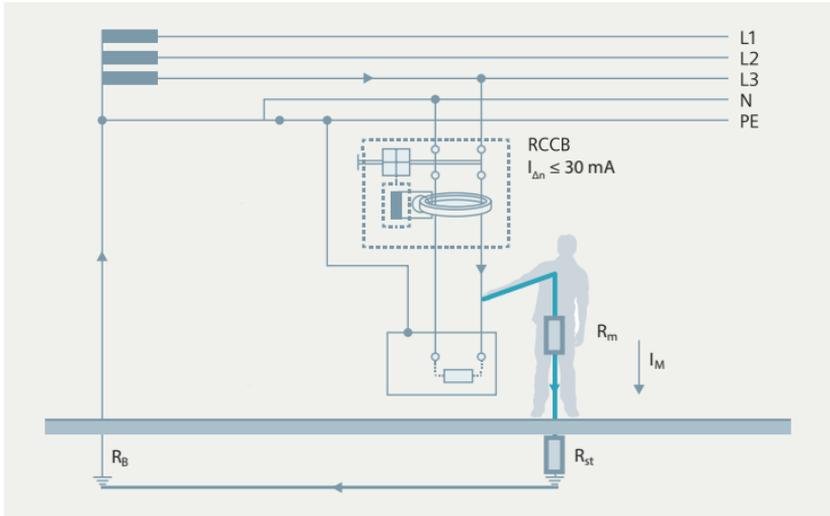


Bild 1: Schutz bei direktem Berühren: Zusätzlicher Schutz bedeutet direkter Kontakt mit einem betriebsmäßig unter Spannung stehenden aktiven Teil

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. 1000Ω 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 der Auslösebereich von Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen mit Bemessungs-Differenzstrom von 10 mA und 30 mA. Dabei sind die maximal zulässigen Auslösezeiten nach 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.

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

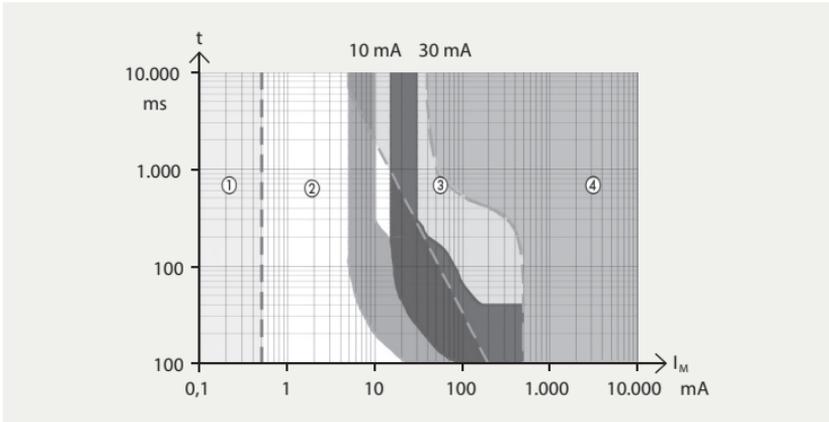


Bild 2: Wirkungsbereiche von Wechselstrom 50/60 Hz auf den Menschen

- 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 $I_{\Delta n} \leq 10 \text{ mA}$ 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 $I_{\Delta n} \leq 30 \text{ mA}$ erfüllen die Bedingungen zum zusätzlichen Schutz gegen elektrischen Schlag (siehe Bild 2):

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

Der Einsatz von Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen mit einem 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 „Anhang“). Beispielhaft werden hier einige bedeutsame Anforderungen näher erläutert.

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

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

Anmerkung

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

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

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

3.2 Fehlerschutz (früher „Schutz gegen indirektes 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 Erdungswiderstandes und Bemessungs-Differenzstroms nicht unzulässig lange anstehen.

Indirektes Berühren

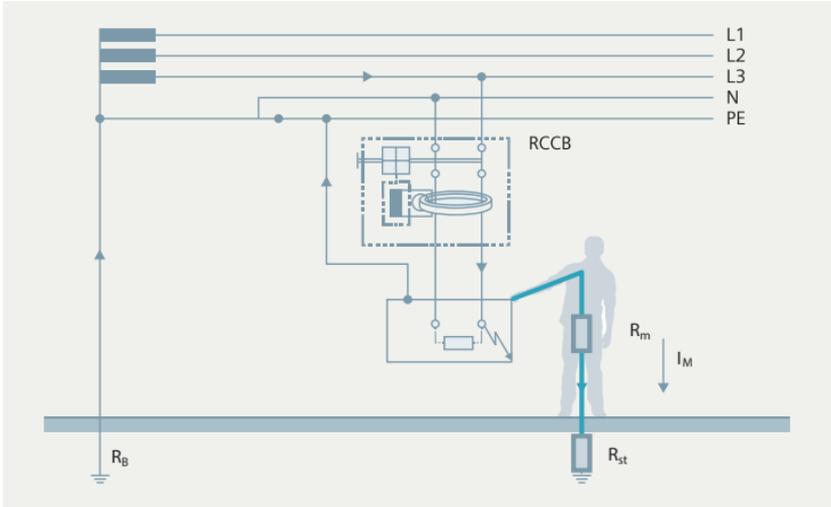


Bild 3: Schutz bei indirektem Berühren: Unter Fehlerschutz versteht man den Kontakt mit einem betriebsmäßig nicht unter Spannung stehenden, elektrisch leitfähigen Teil

3.3 Brandschutz

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

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

4. Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen

4.1 Typen von FI-Schutzschaltern

FI-Schutzschalter werden hinsichtlich ihrer Eignung zur Erfassung von unterschiedlichen Fehlerstromformen unterschieden (Tabelle 1).

Ordnungsgemäße Funktion der FI-Schutzschalter						
Stromform	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 135° $0,11 - 1,4 I_{\Delta n}$
						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 1: 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 2 zeigt elektronische Schaltkreise und deren mögliche Last- und Fehlerströme mit dem jeweils dafür geeigneten FI-Typ.

Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen

Geeigneter FI-Typ	Schaltung	Laststrom	Fehlerstrom	
<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="display: flex; gap: 10px;"> <div style="text-align: center;"> <p>B</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>F</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>A</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>AC</p> </div> </div> <div style="margin-top: 10px;"> <p>WWW</p> </div> <div style="margin-top: 10px;"> <p>B+</p> </div> <div style="margin-top: 10px;"> <p>kHz</p> </div> </div>	<p>1</p>			
	<p>2</p>			
	<p>3</p>			
	<p>4</p>			
	<p>5</p>			
	<p>6</p>			
	<p>7</p>			
	<p>8</p>			
	<p>9</p>			
	<p>10</p>			
	<p>11</p>			
	<p>12</p>			
	<p>13</p>			

Tabelle 2: 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 1) 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 2.

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 kurzzeitverzögerte Auslösung und erhöhte Stoßstromfestigkeit. Sie sind geeignet für elektronische Betriebsmittel mit Eingangsstromkreisen Nr. 1 bis 7 aus Tabelle 2.

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 1 aufgeführten Eingangsstromkreise, also auch für die mit den Nummern 8 bis 13 bezeichneten, verwendet werden. Auslösewerte sind bis 1 kHz definiert.

4.1.5 Typ B+

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

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

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

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

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

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



Bild 4: Einteilung von Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen (RCDs)

- 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

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).

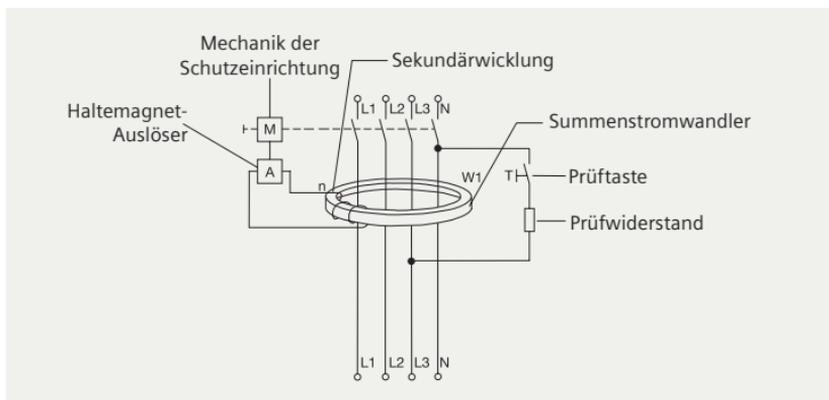


Bild 5: Prinzipdarstellung eines FI-Schutzschalters

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.

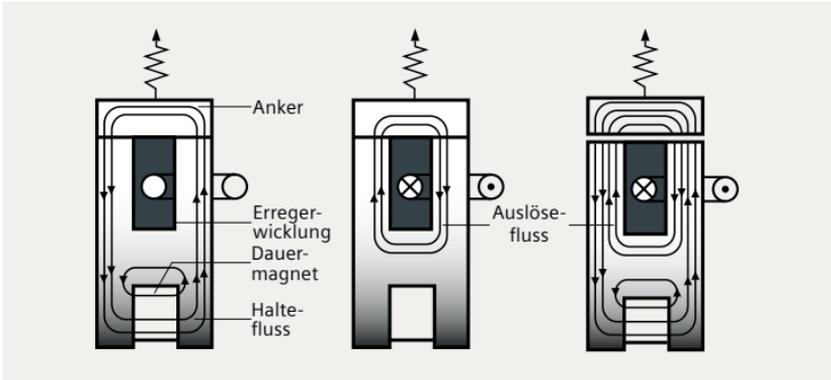


Bild 6: Funktionsprinzip eines Haltemagnet-Auslösers

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 Dauermagnetfeldes wird in einer Halbwelle von dem zweiten Magnetfeld aufgehoben (rechte Darstellung).

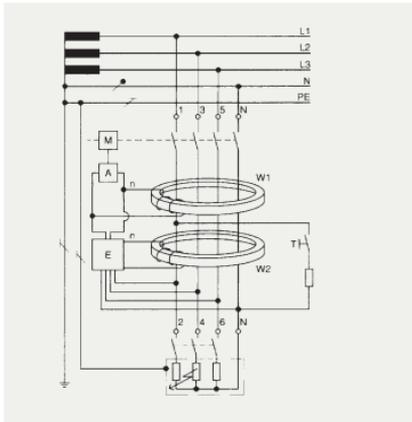
Dadurch kann die Feder den Anker von den Polflächen ziehen. Der Anker löst über das Schaltschloss die Trennung der Kontakte aus. Der Wandler muss dabei nur die geringe Energie zur Aufhebung des Halteflusses erzeugen, der über den abfallenden Anker die Entklinkung des Kraftspeichers im Schaltschloss auslöst, und nicht die hohe Energie für das Öffnen der Kontakte.

Die Funktionsfähigkeit der Fehlerstrom-Schutzeinrichtung lässt sich über die bei jedem Gerät vorhandene Prüftaste kontrollieren. Beim Drücken der Prüftaste wird ein künstlicher Fehlerstrom erzeugt, bei dem die Fehlerstrom-Schutzeinrichtung auslösen muss. Um den Schutz vor gefährlichen Körperströmen sicherzustellen, muss bei Inbetriebnahme der Anlage und in regelmäßigen Abständen – 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 VDE 0664-100 die Erfassung, Auswertung und Abschaltung der Typ A-Anforderungen netzspannungsunabhängig erfolgt. Lediglich für die Erfassung von glatten Gleichfehlerströmen ist aus physikalischen Gründen eine Spannungsversorgung notwendig. Diese erfolgt von allen Netzleitungen.



- A Haltemagnet-Auslöser
- M Mechanik der Schutzeinrichtung
- E Elektronik für Auslösung bei glatten Gleichfehlerströmen
- T Prüfeinrichtung
- n Sekundärwicklung
- W1 Summenstromwandler zur Erfassung 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 Neutraleiter 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.

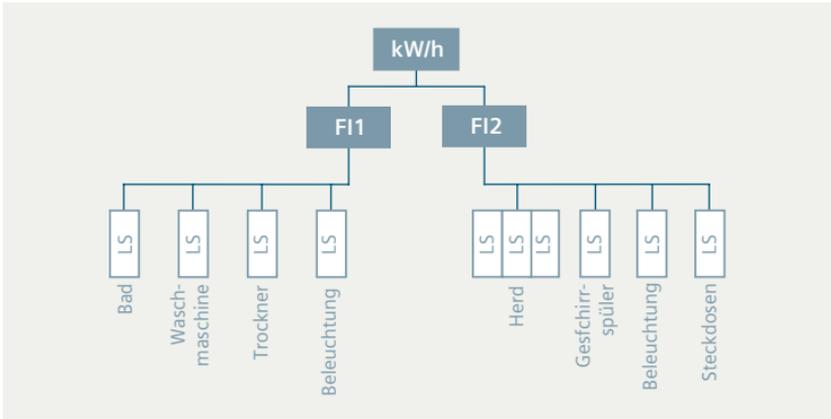


Bild 8: Installation mit zentralem FI-Schutzschalter und LS-Schaltern für Abzweige

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

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

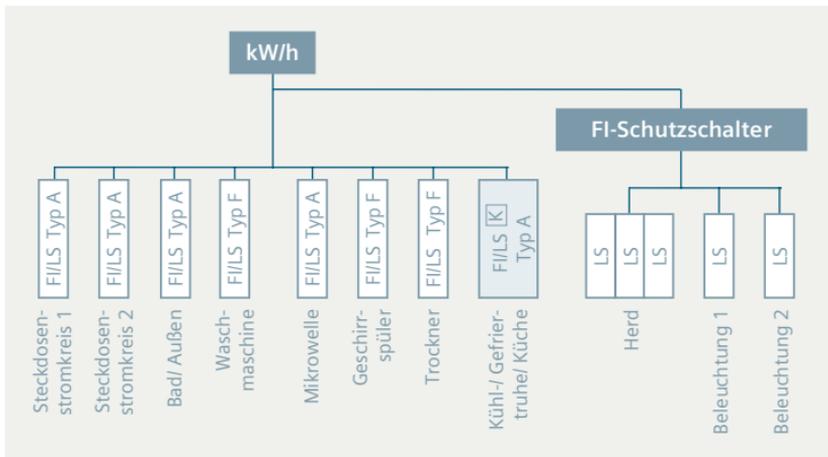


Bild 9: Beispiel einer Installation mit FI/LS-Schaltern

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 $I_{\Delta n} = 300 \text{ mA}$ vorgeschaltet werden. Dieser stellt bei verzweigten Anlagen den Fehler- und Brandschutz der Installation sicher. Legt man für den gleichen Ausstattungsumfang bei gleicher Wohnfläche die Vorgaben der DIN 18015-2:2000-08 und RAL RG 678:2004-09 zugrunde, so zeigt sich, dass der zusätzliche Platzbedarf im Stromkreisverteiler bei der empfohlenen Verwendung von FI/LS-Schaltern gegenüber einer Installation mit getrennten FI-Schutzschaltern und LS-Schaltern nur geringfügig höher ist.

4.4.3 SIQUENCE allstromsensitive FI-Schutzschalter Typ B und 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 4.4.6) 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 5.3.2), neben den beschriebenen Fehlerstromformen auch Wechselfehlerströme unterschiedlichster Frequenzen entstehen. FI-Schutzschalter des Typs A sind dafür nicht ausgelegt.

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 10 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).

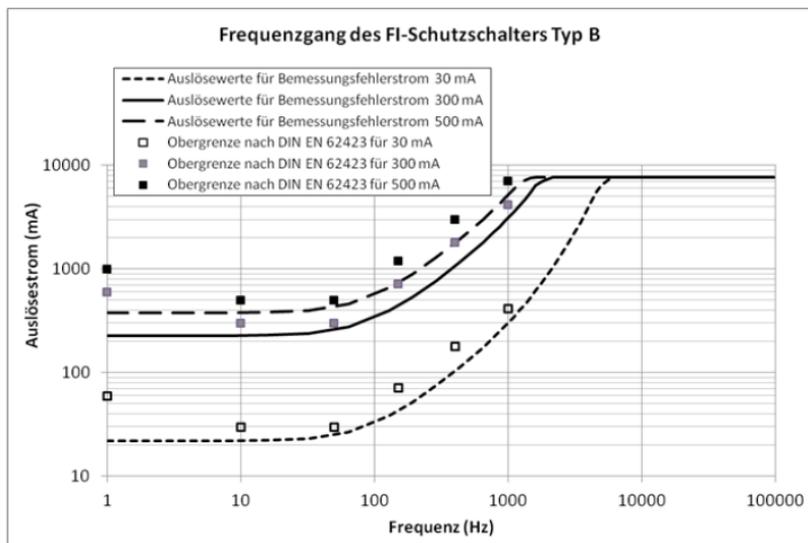


Bild 10: Auslösestrom Typ B in Abhängigkeit von der Frequenz

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.

Wird entsprechend DIN VDE 0100-482 „Brandschutz bei besonderen Risiken oder Gefahren“ 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+. Diese erfüllen alle Anforderungen des bekannten Typs B, bleiben aber entsprechend der Produktnorm DIN VDE 0664-400, sowie der VdS-Richtlinie 3501, bis 20 kHz unterhalb eines Auslösewertes von 420 mA und bieten damit einen vorbeugenden gehobenen Brandschutz.

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**).

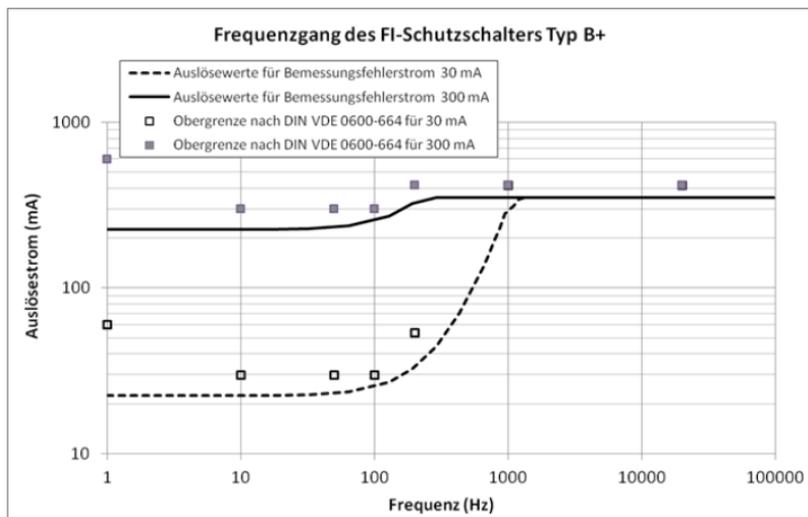


Bild 11: Auslösestrom Typ B+ in Abhängigkeit von der Frequenz

Um die Abschaltbedingungen für den Fehlerschutz (Schutz bei indirektem Berühren) mit dem SIQUENCE FI-Schutzschalter zu erfüllen, ist dessen Auslöseverhalten bei unterschiedlichen Frequenzen und die in dem Anwendungsfall auftretenden Frequenzspektren am Fehlerort zu berücksichtigen. Unter der Annahme von ungünstigen Bedingungen (hohe Taktfrequenz eines Frequenzumrichters, siehe auch Abschnitt 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 3: Empfohlene maximale Erdungswiderstände für SIQUENCE FI-Schutzschalter Typ B und Typ B+

4.4.4 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 0664-410 (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 4.4.3 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.

4.4.5 FI-Blöcke für den Anbau an Leitungsschutzschalter

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

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

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

4.4.6 SIGRES FI-Schutzschalter (für erschwerte Umgebungsbedingungen)

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

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

werden die Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen deutlich höher beansprucht. Auf alle Metallteile, und damit auch auf die Metallflächen des Haltemagnet-Auslösers, wirken diese Gase in Verbindung mit Luftfeuchte korrosiv.

Mit den SIGRES 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.

4.4.7 Typ **K** superresistent

Betriebsmäßige Ableitströme und Fehlerströme können nicht unterschieden werden. Die Reaktion ist auf beide gleich. Bei einem kurzzeitigen hohen Ableitstrom ist keine Abschaltung des 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.

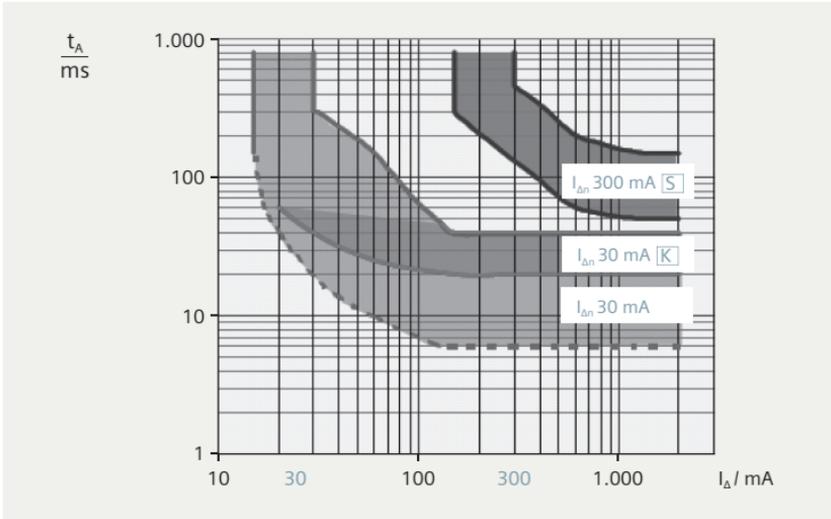


Bild 12: Abschaltzeit t_A in Abhängigkeit des Auslösestroms I_{Δ}

Bild 12 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 ($8/20 \mu\text{s}$) werden für diesen Zeitraum ignoriert. Erst wenn ein Fehlerstrom länger als die Verzögerungszeit fließt, wird die Abschaltung eingeleitet. Die Schutzwirkung gegen elektrischen Schlag wird durch diese FI-Schutzeinrichtung erreicht. Die Geräte dürfen uneingeschränkt für alle in den Errichtungsbestimmungen geforderten Schutzmaßnahmen mit Abschaltung eingesetzt werden. Die Anlage bleibt von unerwünschten Abschaltungen verschont – die Anlagenverfügbarkeit wird deutlich erhöht.

4.4.8 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 Typ S weisen außerdem eine sehr hohe Stoßstromfestigkeit von 5 kA (8/20 μs Stromform) auf. Sie sind mit dem Symbol S gekennzeichnet.

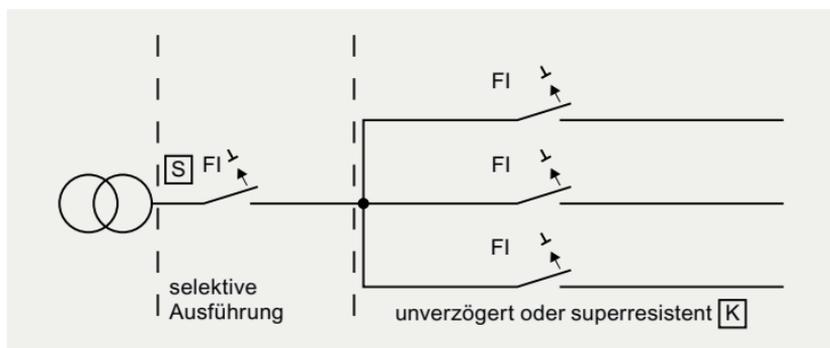


Bild 13: Anordnung unterschiedlicher Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen und deren Auslösezeiten

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

4.4.9 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.

4.4.10 Ausführungen für 500 V Betriebsspannung

Die Standardausführungen der Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen sind mit ihren Kriech- und Luftstrecken für Netze bis 240/415 V Wechselspannung ausgelegt. Für Netze bis 500 V sind geeignete Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen lieferbar.

4.4.11 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, werden 4-polige FI-Schutzschalter auch mit N-Anschluss links angeboten. FI-Schutzschalter in Verbindung mit Leitungsschutzschaltern erfordern deshalb eine spezielle Sammelschiene.

Um jederzeit auf eine Standardsammelschiene zurückgreifen zu können, werden vierpolige 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 drei Mal 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 dazu zu bestellen.

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 14: 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.

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. Tabelle 4 stellt die entsprechenden Kenngrößen für die Abschaltbedingungen zusammen.

Kenngrößen		Werte im TN-System	Werte im TT-System
Impedanz der Fehler- schleife Z_s (Messwerte)		einige 10 m Ω bis etwa 2 Ω	bis 100 Ω
Fehler- strom	$I_f = \frac{230 \text{ V}}{Z_s}$	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
Berüh- rungs- strom	$I_T = \frac{U_T}{1.000 \Omega}$	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 4: Kenngrößen für die Abschaltbedingungen im TN-System und im TT-System mit Nennspannungen 230/400 V a.c.

Tabelle 4 zeigt den deutlichen Unterschied bezüglich Berührungsspannungen und daraus resultierenden Berührungsströmen im TN- und TT-System. Daraus lässt sich erklären, dass die maximal zulässigen Abschaltzeiten im TT-System kürzer als im TN-System sein müssen, um denselben Schutz zu bieten.

Auf Basis dieser Kenntnisse sind die geeigneten Schutzeinrichtungen auszuwählen. Tabelle 5 gibt hier eine Übersicht.

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

Tabelle 5: Auswahl der Schutzeinrichtungen im TN-System und im TT-System mit Nennspannungen AC 230/400V

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 $I_{\Delta n} \leq 30 \text{ mA}$ diese gleichzeitig den Schutz durch automatische Abschaltung der Stromversorgung zum Fehlerschutz und den zusätzlichen Schutz bei direktem Berühren übernehmen kann. Da aber der zusätzliche Schutz durch Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen mit einem 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 unterschiedlichen Schriften gestellt:

- DIN 18015-1:2013-09 „Elektrische Anlagen in Wohngebäuden Teil 1: Planungsgrundlagen“ fordert die Zuordnung von Anschlussstellen für Verbrauchsmittel zu einem Stromkreis so vorzunehmen, dass durch das automatische Abschalten der diesem Stromkreis zugeordneten Schutzeinrichtung (z. B. Überstrom-Schutzeinrichtung, Fehlerstrom-Schutzeinrichtung) im Fehlerfall oder bei notwendiger manueller Abschaltung nur ein kleiner Teil der Kundenanlage abgeschaltet wird.
- Der Musterwortlaut der TAB 2007 fordert bei Aufteilung von Stromkreisen die Zuordnung von Anschlussstellen für Verbrauchsgeräte zu einem Stromkreis so vorzunehmen, dass durch das automatische Abschalten der diesem Stromkreis zugeordneten Schutzeinrichtung im Fehlerfall oder bei notwendiger manueller Abschaltung nur ein Teil der Kundenanlage abgeschaltet wird.

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

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

Wie Tabelle 5 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 15 unterstützt bei der Auswahl der geeigneten FI-Schutzeinrichtung:

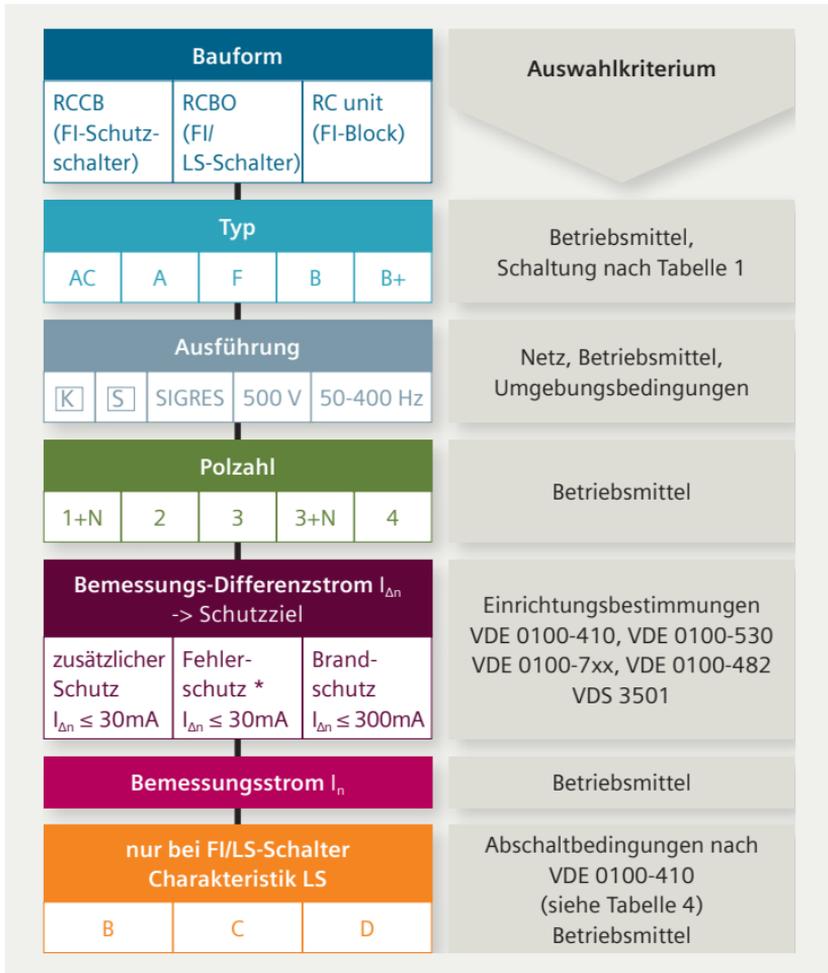


Bild 15: Auswahlhilfe zur Bestimmung der geeigneten FI-Schutzeinrichtung

Nachstehend wird auf einzelne Themen detailliert eingegangen.

5.2.1 Typ A, Typ F oder Typ B bzw. Typ B+?

Die Auswahl des für die Anwendung geeigneten Typs der Fehlerstrom-Schutzeinrichtung erfolgt nach Tabelle 2 (entsprechend DIN EN 50178/IVDE 0160 „Ausrüstung von Starkstromanlagen mit elektronischen Betriebsmitteln“ bzw. nach DIN VDE 0100-530).

Bei direkt am Drehstromnetz betriebenen elektronischen Betriebsmitteln (z. B. Frequenzumrichter) mit Schaltungen der Eingangsstromkreise Nr. 8 bis 13 (siehe Tabelle 2) wird der Einsatz von allstromsensitiven FI-Schutzschaltern (Typ B oder B+) notwendig. Ist mit höheren Frequenzanteilen im Fehlerstrom zu rechnen (z. B. Frequenzumrichter im 1+N-Netz) sind Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen des Typs F zu verwenden (Eingangsstromkreis 7 in Tabelle 2). In den übrigen Anwendungsfällen ist der Einsatz von Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen des Typs A (pulsstromsensitiv) ausreichend.

5.2.2 Welches Schutzziel muss erreicht werden?

Je nach Anwendungsfall und Einsatzbereich sind die vorgesehenen Schutzziele einzuhalten:

- **Zusätzlicher Schutz** mit Bemessungs-Differenzstrom $I_{\Delta n} \leq 30 \text{ mA}$:
Diese RCDs sind als zusätzlicher Schutz gegen elektrischen Schlag beim Versagen des Basisschutzes (Schutz gegen direktes Berühren) und/oder für den Fehlerschutz (Schutz bei indirektem Berühren) oder bei Sorglosigkeit durch 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 1kHz) treffen. Zu weiteren Effekten (thermisch, elektrolytisch) sind keine sicheren Aussagen zum Einfluss auf den menschlichen Organismus zu machen.
- **Fehlerschutz** mit Bemessungs-Differenzstrom $I_{\Delta n} > 30 \text{ mA}$:
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) zu realisieren.

Brandschutz mit Bemessungs-Differenzstrom $I_{\Delta n} \leq 300 \text{ mA}$

In Anlagen

- mit besonderem Brandrisiko (feuergefährdete Betriebsstätten),
- die vorwiegend aus brennbaren Baustoffen hergestellt sind,
- mit unersetzbaren Gütern von hohem Wert

wird entsprechend DIN VDE 0100-482 in Verbindung mit DIN VDE 0100-530 der Einsatz von FI-Schutzschaltern mit Bemessungs-Differenzströmen von maximal 300 mA gefordert. Ausnahmen sind nur erlaubt bei Verwendung von mineralisolierten Leitungen und Stromschienensystemen.

Für den gehobenen vorbeugenden Brandschutz von elektrischen Betriebsmitteln mit Eingangstromkreisen Nr. 8 bis Nr. 13 (siehe Tabelle 1) ist in den oben genannten Anlagen 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 $I_{\Delta n} = 300 \text{ mA}$ 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, so dass der gesamte Ableitstrom über den Messpfad zurückfließen kann. Um ungewünschte Auslösungen in diesen Anwendungsfällen zu vermeiden, wird der Einsatz von superresistenten FI-Schutzschalter (Typ $\overline{\text{KI}}$) 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 Kernspintomograf, Röntgenanlagen.

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

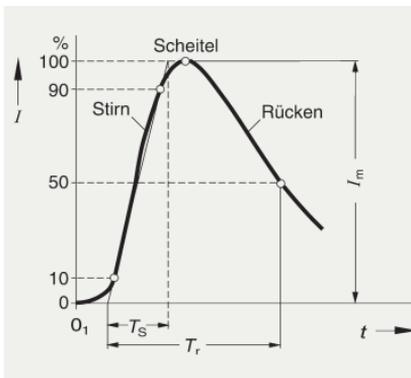
Überspannungen und Stoßstrombelastung

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 16) unterzogen. Diese Prüfung ist in den Gerätebestimmungen DIN EN 61008 (VDE 0664) nur für selektive Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen ($i = 3 \text{ kA}$) gefordert. Unsere FI-Schutzschalter des Typs A und B bieten in allen Ausführungen deutlich höhere Stoßstromfestigkeit. Dadurch sinkt die Neigung zu Fehlauflösungen 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 Fehlauflösungen gegeben und die Anwendung der Schutzmaßnahme auch mit Bemessungsströmen von 30 mA sogar für sensible Verbraucherstromkreise (z. B. Kühlschränke) möglich.



Kenngrößen eines Stromstoßes nach DIN VDE 0432 Teil 2

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

Bild 16: Form des Stoßstroms 8/20 μs

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

5.3.1 Anwendungsfälle

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

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

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

Als typisches Beispiel eines Betriebsmittels, bei dem je nach Fehlerort unterschiedliche Fehlerstromformen auftreten können, soll ein Frequenzumrichter (FU) betrachtet werden (siehe Bild 17).

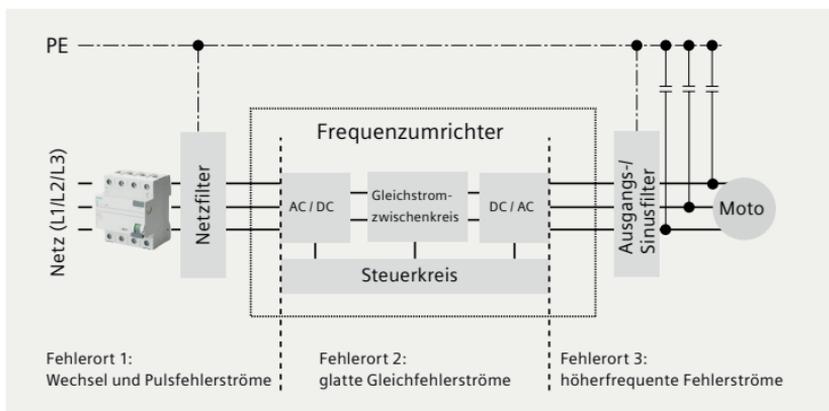


Bild 17: Stromkreis mit SQUENCE FI-Schutzschalter und Frequenzumrichter

Fehlerorte im Bereich 1 (vor dem FU)

Zwischen FI-Schutzeinrichtung und Frequenzumrichter treten netzfrequente Wechselfehlerströme auf (siehe Bild 18). 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.

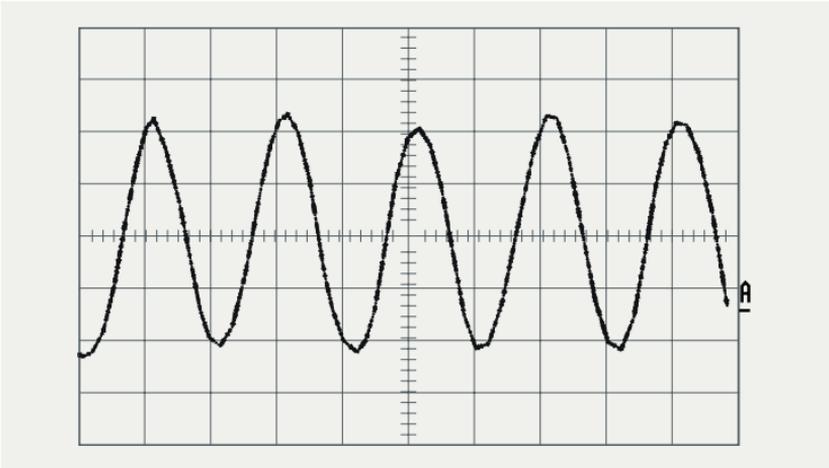


Bild 18: Fehlerstromform am Fehlerort 1

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 19). Bei Verwendung einer allstromsensitiven FI-Schutzeinrichtung vom Typ B erfolgt im Bereich 0,5 bis $2 I_{\Delta n}$ zuverlässige Abschaltung.

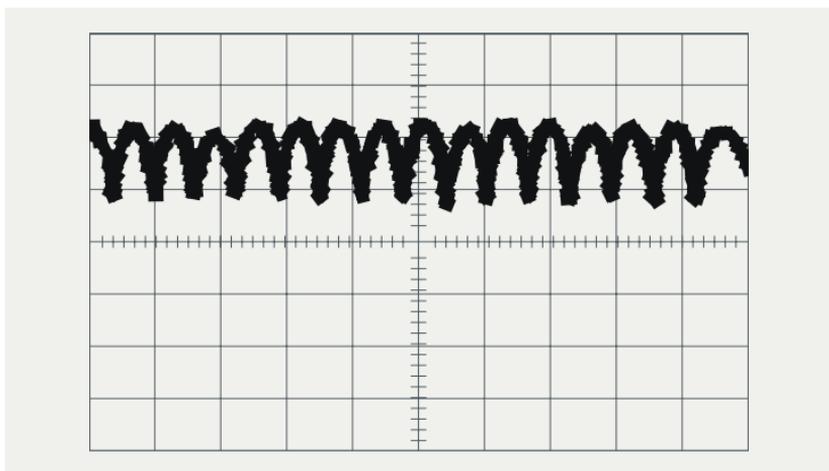
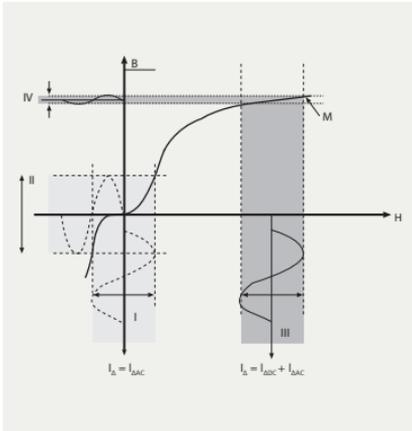


Bild 19: Fehlerstromform am Fehlerort 2

FI-Schutzschalter des Typs AC, A und F können in diesen Fällen keinen Schutz bieten. Es erfolgt keine Abschaltung, da der Gleichfehlerstrom keine zeitliche Veränderung der Induktion in dem Wandler der nach dem Induktionsprinzip arbeitenden FI-Schutzschalter bewirkt. Ein glatter Gleichfehlerstrom (oder Ableitstrom) in Folge eines schleichenden Isolationsfehlers führt zu einer Vormagnetisierung des Wandlermaterials der FI-Schutzeinrichtung Typ AC, A und F. Bild 20 zeigt den Unterschied zwischen einem Wandlerstrom ohne und mit Gleichfehlerstrom-Überlagerung. Ohne Gleichfehlerstrom ($I_{\Delta DC}$) erzeugt ein Wechselfehlerstrom ($I_{\Delta DC}$) 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 ($I_{\Delta DC}$) mit gleichgroßem Wert wie im Fall ohne Gleichfehlerstrom erzeugt eine gleichgroße Aussteuerung auf der Feldstärkeachse H von der Größe III. Obwohl die Änderung III den gleichen Wert wie I aufweist, wird im Wandler eine wesentlich kleinere Spannung der Größe IV induziert. Unter der Annahme, dass ein Signal von der Größe II für die Auslösung notwendig ist, wird klar, dass das deutlich kleinere Signal IV dafür nicht ausreicht. Erst weit höhere Wechselfehlerströme würden zum Erreichen der notwendigen Signalthöhe führen. Dies zeigt, dass eine 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 20: Vormagnetisierung durch Gleichfehlerstrom

Fehlerorte im Bereich 3 (nach dem FU)

Auf der Abgangsseite des Frequenzumrichters bis zum Motor treten von der Netzfrequenz und Sinusform abweichende Wechselfehlerströme auf. Es handelt sich hierbei um ein Frequenzgemisch mit unterschiedlichen Anteilen der einzelnen Frequenzen (siehe Bild 21). Je nach Betriebsart des Frequenzumrichters (z. B. als Gleichstrombremse, Gleichstromvorheizung) kann es auch zu glatten Gleichfehlerströmen kommen.

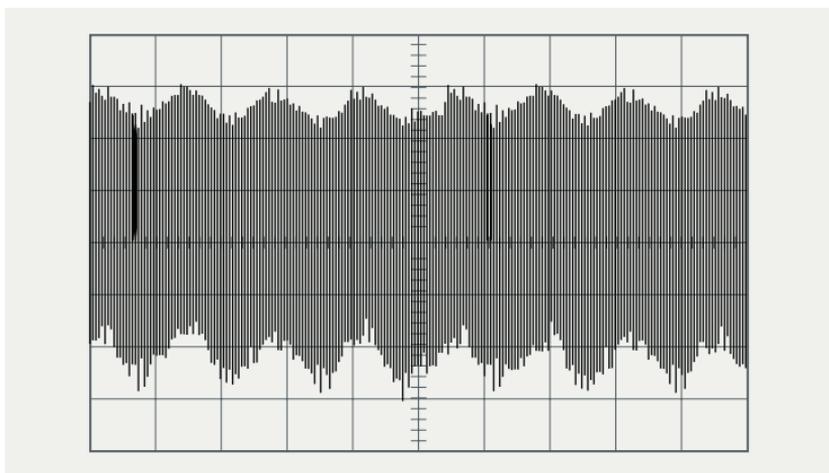


Bild 21: Fehlerstromform am Fehlerort 3

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 2 kHz definiert.

Frequenzanteile im Fehlerstrom eines Frequenzumrichters

Um die Schutzwirkung des FI-Schutzschalters bei Einsatz eines Frequenzumrichters beurteilen zu können, sind neben dem Auslöseverhalten des FI-Schutzschalters auch die Frequenzanteile im Fehlerstrom zu berücksichtigen. Am Fehlerort 3 treten folgende maßgeblichen 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 22 zeigt beispielhaft die einzelnen Frequenzanteile, die über einen Fehlerwiderstand von 1 k Ω im Bereich des Fehlerorts 3 (siehe Bild 21) 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.

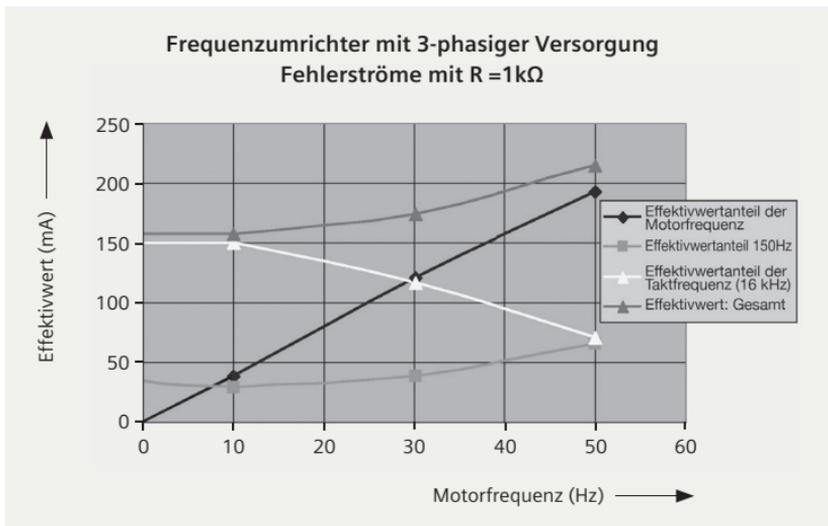


Bild 22: Frequenzanteile des Fehlerstroms am Beispiel eines Frequenzumrichters

5.3.3 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 13 aus Tabelle 2).

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-Schutzschalter 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 23 zeigt ein Projektierungsbeispiel.

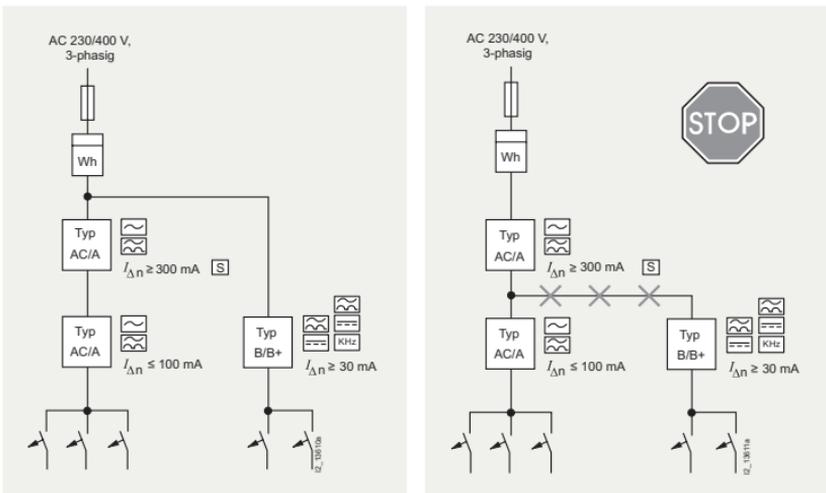


Bild 23: Projektierungsbeispiel mit FI-Schutzschalter des Typs A und B

5.3.4 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 Ausschaltungssymmetrien	hohe dynamische Ableitströme möglich
Summierung von Ableitströmen durch Anschluss mehrerer Verbraucher (insbesondere Frequenzumrichter) an einem FI-Schutzschalter	hohe dynamische und statische Ableitströme
Taktfrequenz von Frequenzumrichtern	statische Ableitströme über Kabelkapazität
Erdungsverhältnisse	statische Ableitströme
Oberschwingungsanteil der Ausgangsspannung des Frequenzumrichters	statische Ableitströme über Kabelkapazität

Tabelle 6: 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-EingangsfILTER möglich ist, z. B. wenn die Verwendung von ausgangsseitigem Sinusfilter oder du/dt-Filter oder Motordrosseln möglich ist.
- Leitungslängen minimieren (mit der Länge der Leitung nimmt entsprechend des Kapazitätsbelages pro Meter die Gesamtkapazität und damit der gegen PE abfließende Ableitstrom zu – Ableitstrom geschirmter Leitungen von ca. 0,2 mA/m bis 1 mA/m).
- Leitungen mit geringer Leiter-Erde-Kapazität auswählen. Symmetrische Kabel erreichen günstige Werte. Einzeladerverlegung bewirkt höhere Ableitströme.
- Verzicht auf den Einsatz geschirmter Leitungen, z. B., wenn die EMV-Forderungen auch mit ungeschirmten Leitungen erfüllt werden (z. B. bei Sinusfiltern im Ausgang).

- Vorhandenen Leitungsschirm entsprechend den Herstellerangaben des Frequenzumrichters anschließen.
- Verzicht auf den Einsatz handbetätigter Schaltgeräte für das betriebsmäßige Schalten, damit Ein- und Ausschaltungssymmetrien zeitlich eng begrenzt bleiben.
- Verwendung von allpoligen Schützen oder Schaltgeräten mit Sprungschaltwerk.
- Eigener Netzanschluss für den Antrieb (Unsymmetrie im Netz verursacht zusätzliche Ableitströme).
- Einschaltstrombegrenzung 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 ansteigendem Auslösewert aufweisen, kann unter Umständen mit höheren Taktfrequenzen trotz höherer kapazitiver Ableitströme insgesamt ein günstigeres Verhalten erzielt werden. In allen Fällen ist bei der Abstimmung mit EMV-Filter darauf zu achten, dass Resonanzfrequenzbereiche vermieden werden.

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

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

5.4 Back-up-Schutz

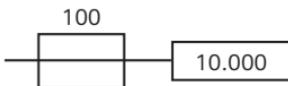
Je nach Netzsystem und Anlagenkonfiguration können Kurzschluss- und Fehlerströme bis zu mehreren hundert Ampère betragen. So fließt beispielsweise bei einem Isolationsfehler gegen den geerdeten Körper eines elektrischen Betriebsmittels bei entsprechend geringem Widerstand ein kurzschlussartiger Strom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

Dies erfordert eine 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 Symboles 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 Bemessungsstrom 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. Es sind dabei die nachstehenden Maximalwerte einzuhalten.

Baureihe	max. zul. Kurzschlussvorsicherung	maximum I ² t-Wert	max. Strom-Scheitelwert I _p
5SM3	63 A	25.000 A ² s	6,0 kA
5SM3	80 A	40.000 A ² s	7,0 kA
5SM3	100 A	70.000 A ² s	7,5 kA
5SM3	125 A	94.000 A ² s	8,0 kA

Baureihe	max. zul. Kurzschlussvorsicherung	maximum I ² t-Wert	max. Strom-Scheitelwert I _p
5SV	63 A	15.000 A ² s	5,4 kA
5SV	80 A	30.000 A ² s	6,2 kA
5SV	100 A	55.000 A ² s	7 kA

Tabelle 7: Maximalwerte

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 Kurzschlusschutz vorgesehen ist. Reicht dieses Eigenschaftvermögen nicht aus, so ist auch hier entsprechend der 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-Schutzschalters unter Beachtung von Herstellerangaben erfolgen.

DIN VDE 0100-530 erlaubt in einer Anmerkung, dass der zu erwartende Betriebsstrom als Bemessungsgrundlage zur Vermeidung der Überlastung des FI-Schutzschalters herangezogen werden kann, wenn die Angaben des Herstellers zu Bemessungsstrom und Art der Überstrom-Schutzeinrichtung beachtet werden.

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 24) vornehmen.

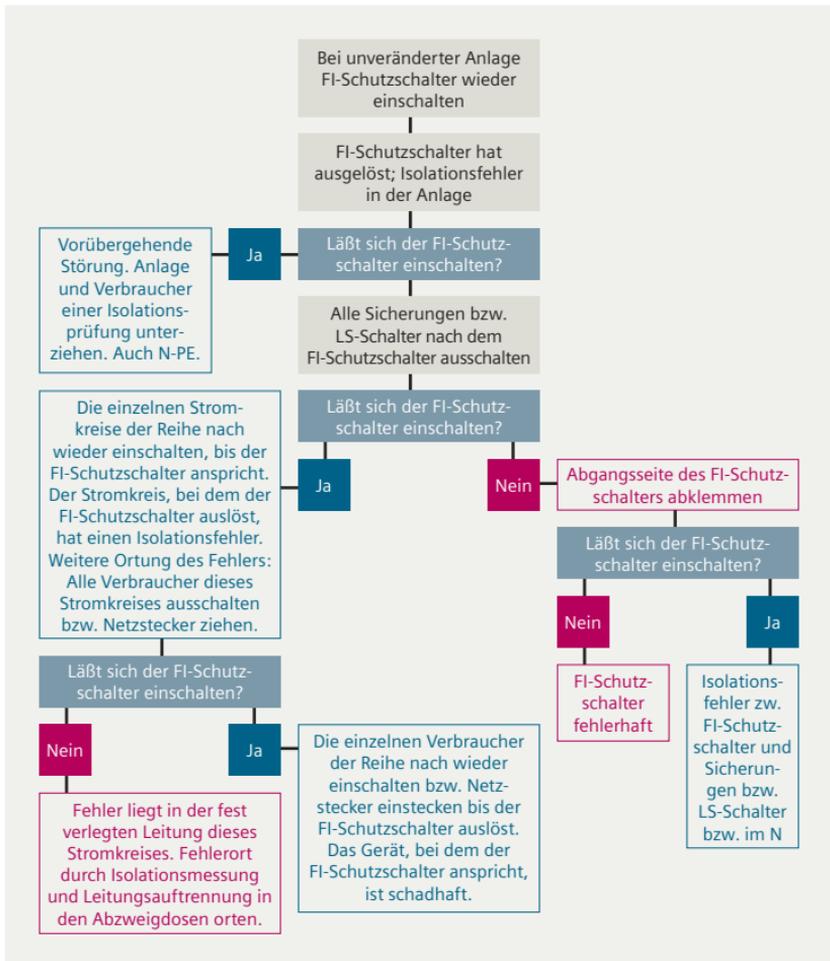


Bild 24: Ablaufdiagramm zur Fehlersuche

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).

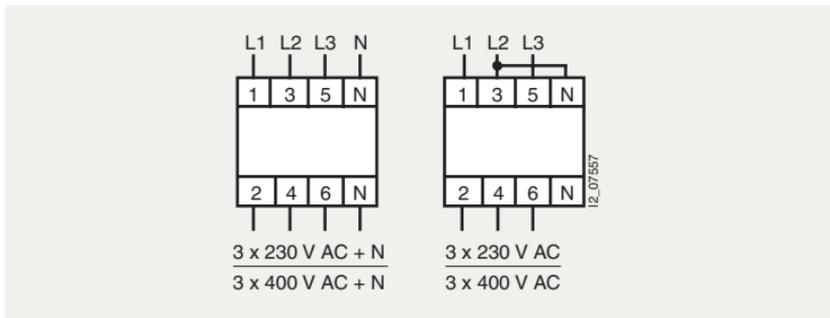


Bild 25: FI-Schutzschalter 4-polig in 3-poligem Netz

6. MRCD und RCM

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

Die Funktionsweise 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 Ampère 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 (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 26: 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, so dass mit diesen Gerätekombinationen die Vorgaben zum „Schutz durch automatische Abschaltung der Stromversorgung“ erfüllt werden.

Außerdem kann 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.

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

Differenzstrom-Überwachungsgeräte, auch Residual Current Monitor (RCM) genannt, überwachen Differenzströme in elektrischen Anlagen und melden, wenn diese einen festgelegten Wert überschreiten. Nach Produktnorm für Differenzstrom-Überwachungsgeräte DIN EN 62020 (VDE 0663) bzw. IEC 62020, sind 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. Zusätzlich gilt die Differenzstrom-Überwachung in elektrischen Anlagen als eine Maßnahme der vorbeugenden Instandhaltung.

Die Funktionsweise der Differenzstrom-Überwachungsgeräte ist die Gleiche wie auch bei den Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen. Der Summenstromwandler erfasst alle zur Stromführung benötigten Leiter, also ggf. auch den Neutralleiter. In einer fehlerfreien Anlage heben sich für den Wandler die magnetisierenden Wirkungen der stromdurchflossenen Leiter auf, und die Summe aller Ströme ist gleich Null (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 Stromwandler und auch externem Summenstromwandler verbreitet. Externe Summenstromwandler sind mit verschiedenen Innendurchmessern verfügbar. Dadurch können auch Installationen mit Bemessungsströmen von mehreren hundert Ampère überwacht werden. Weiterhin zeichnen sich Differenzstrom-Überwachungsgeräte durch einstellbare Werte für Ansprechdifferenzstrom, Ansprechzeit und ggf. Anzeige des momentanen Wertes des Differenzstroms aus.

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

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 die folgende Quellen verwendet und können auch für weitere Informationen genutzt werden:

- DIN 18015-1:2013-09
- DIN 18015-2:2000-08
- DIN EN 50178 (DIN VDE 0160)
- DIN EN 60947-2 (VDE 0660-101)
- DIN EN 61008-1 (VDE 0664-10)
- DIN EN 61009-1 (VDE 0664-20)
- DIN EN 62020 (VDE 0663)
- DIN EN 62423
- DIN VDE 0100-300
- DIN VDE 0100-410
- DIN VDE 0100-482
- DIN VDE 0100-530
- DIN VDE 0100-530
- DIN VDE 0662
- DIN VDE 0664-100
- DIN VDE 0664-400
- DIN VDE 0664-410
- IEC 60479-2
- IEC 62020
- RAL RG 678:2004-09
- VdS-Richtlinie 3501

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.

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 Netzsysteme und Schutzeinrichtungen

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

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

1. Buchstabe	Erdungsverhältnisse der Stromquelle
T	Direkte Erdung eines Punktes
I	Entweder Isolierung aller aktiven Teile von Erde oder Verbindung eines Punktes mit Erde über eine Impedanz
2. Buchstabe	Erdungsverhältnisse der Körper der elektrischen Anlage
T	Körper direkt geerdet, unabhängig von der etwa bestehenden Erdung eines Punktes der Stromquelle
N	Körper direkt mit dem Betriebserder verbunden (In Wechselspannungsnetzen ist der geerdete Punkt im Allgemeinen der Sternpunkt.)
Weitere Buchstaben	Anordnung des Neutralleiters und des Schutzleiters im TN-System
S	Neutralleiter- und Schutzleiterfunktion durch getrennte Leiter
C	Neutralleiter- und Schutzleiterfunktion kombiniert in einem Leiter (PEN-Leiter)

9.2.1 TN-System

Alle Körper der Anlage müssen mit dem geerdeten Punkt des speisenden Netzes, der am oder in der Nähe des zugehörigen Transformators oder Generators geerdet sein muss, durch Schutzleiter verbunden sein. Bild 27, Bild 28 und Bild 30 zeigen die unterschiedlichen Ausführungen des TN-Systems.

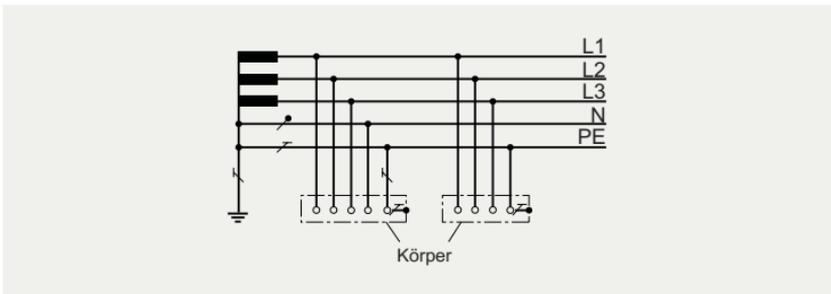


Bild 27: TN-S-System

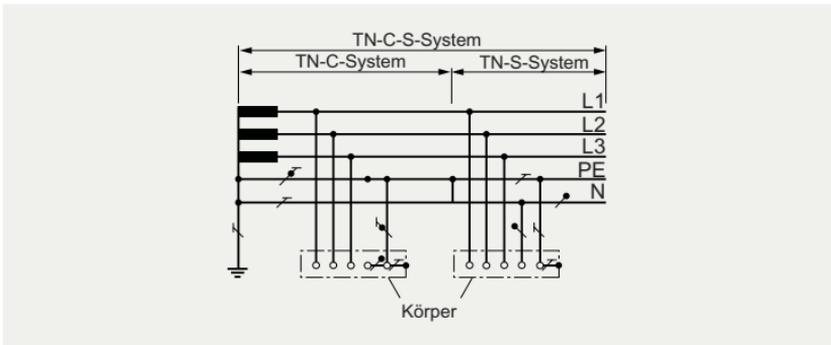


Bild 28: TN-C-S-System

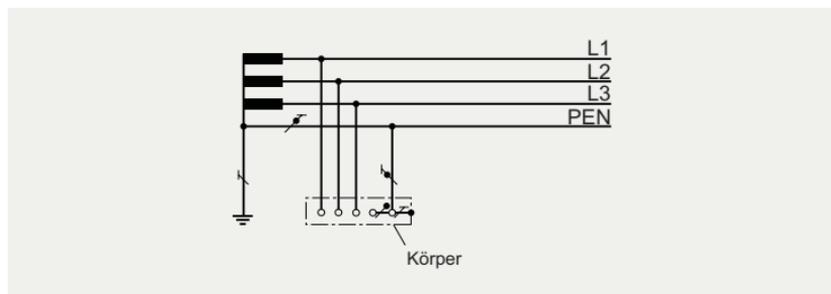


Bild 29: TN-C-System

Zulässige Schutzmaßnahmen in TN-Systemen:

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

9.2.2 TT-System

Alle Körper, die durch die gleiche Schutzeinrichtung geschützt sind, müssen durch Schutzleiter an einen gemeinsamen Erder angeschlossen werden (siehe Bild 30).

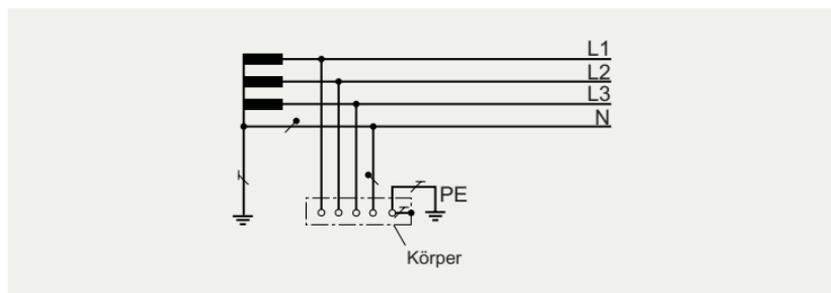


Bild 30: TT-System

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 8).

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	1.660 Ω	830 Ω
100 mA	500 Ω	250 Ω
300 mA	170 Ω	85 Ω
500 mA	100 Ω	50 Ω
1 A	50 Ω	25 Ω

Tabelle 8: 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 Abschnitt 4.4.3 zu beachten.

9.2.3 IT-System

In IT-Systemen (siehe Bild 31) 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.

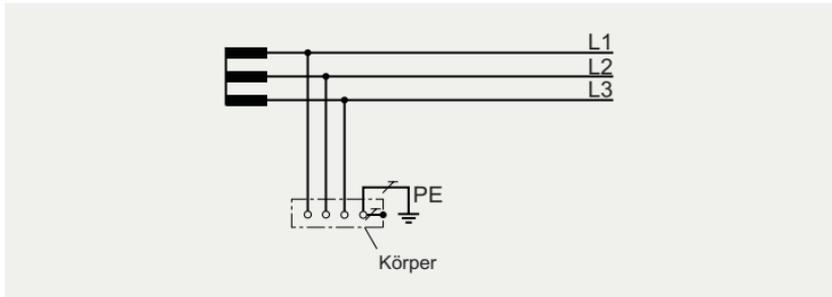


Bild 31: IT-System

Zulässige Schutzmaßnahmen:

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

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

9.2.4 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 Schutz-einrichtungen in ihrer Schutzwirkung überlegen, da sie neben dem Fehlerschutz (Schutz bei indirektem Berühren) bei Verwendung von Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen mit $I_{\Delta n} \leq 30 \text{ mA}$ auch zusätzlichen Schutz (Schutz bei direktem Berühren) bieten und mit $I_{\Delta n} \leq 300 \text{ mA}$ für den vorbeugenden Schutz vor elektrischen ge-zündeten Bränden durch Erdfehlerströme einen wirksamen Beitrag liefern.

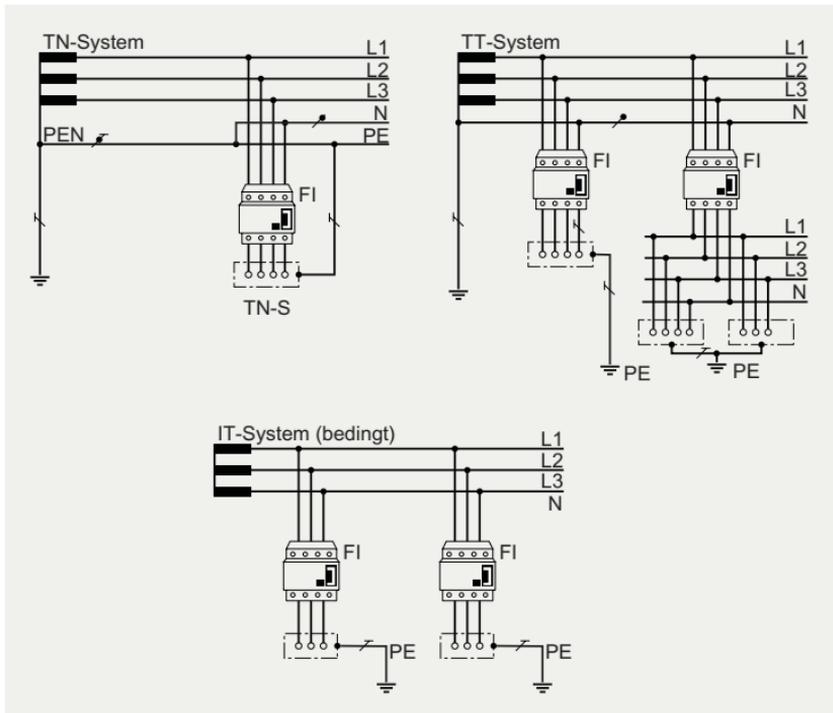


Bild 32: Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen in allen Netzsystemen

9.3 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-Kurzschlusschaltvermögens.

Bemessungs-Fehlerschaltvermögen $I_{\Delta m}$ (DIN EN 61008-1, DIN EN 61009-1)

Unbeeinflusster Effektivwert des **Fehlerstroms**, den die Fehlerstrom-Schutteinrichtung 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.

9.4 Errichtungsbestimmungen für Installationsanlagen mit Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen

Bestimmung (DIN VDE ... oder BGI ...)	Anwendungsbereich	Geforderter $I_{\Delta n}$ [mA]	Empfohlene Siemens FI-Schutzeinrichtung (Mögliche Art des Differenzstroms des Betriebsmittels berücksichtigen)			
			Typ A	Typ F	SEQUENCE Typ B/B+	SIGRES
0100-410	Schutz gegen elektrischen Schlag	30 ... 500	+	+	+	+
	Steckdosen bis 20 A, Anlagen im Freien	10 ... 30	+	+		
0100-482	Brandschutz bei besonderen Risiken oder Gefahren	30 und 300	+	+	+	
0100-701	Räume mit Badewanne oder Dusche, Steckdosen im Bereich 3	10 ... 30	+	+		
0100-702	Becken von Schwimmbädern und andere Becken	10 ... 30	+			+
0100-703	Räume und Kabinen mit Saunaheizungen	10 ... 30	+			+
0100-704 und BGI 608	Baustellen, Steckdosenstromkreise bis 32 A und für handgehaltene Betriebsmittel, Steckvorrichtungen $I_n > 32$ A	≤ 30 mA	+	+	+	+
		≤ 500 mA	+	+	+	+
0100-705	Landwirtschaftliche und gartenbauliche Anwesen allgemein, Steckdosenstromkreise	≤ 300	+	+		+
		10 ... 30	+	+		+
0100-706	Leitfähige Bereiche mit begrenzter Bewegungsfreiheit festangebrachte Betriebsmittel	10 ... 30	+			
0100-708	Elektrische Anlagen auf Campingplätzen, jede Steckdose einzeln und jeder Endstromkreis für die feste Verbindung zur Versorgung	10 ... 30	+			+

Bestimmung (DIN VDE ... oder BGI ...)	Anwendungsbereich	Geforderter $I_{\Delta n}$ [mA]	Empfohlene Siemens FI-Schutz- einrichtung (Mögliche Art des Differenzstroms des Betriebsmittels berücksichtigen)			
			Typ A	Typ F	SEQUENCE Typ B/B+	SIGRES
0100-710	Medizinische genutzte Bereiche im TN-S-System je nach Anwendungs- gruppe 1 oder 2 und nach Betriebsmittel	10 ... 30 oder ≤ 300	+		+	
0100-712	Solar-PV-Stromversor- gungssysteme (ohne einfache Trennung)	≤ 300			+	
0100-723	Unterrichtsräume mit Experimentierständen	10 ... 30			+	
0100-739	Zusätzlicher Schutz bei direktem Berühren in Wohnungen	10 ... 30	+			
DIN EN 50178 (VDE 0160)	Ausrüstung von Stark- stromanlagen mit elekt- ronischen Betriebsmitteln	Allgemeine Anforderungen an korrekte Auswahl bei Einsatz von FI	+	+	+	
0832-100	Straßenverkehrs- Signalanlagen Klasse T1 Klasse U1	≤ 300 ≤ 30	+			+
	Nahrungsmittel- und chemische Industrie	empfohlen: ≤ 30 mA	+			+

Tabelle 9: Errichtungsbestimmungen für Installationsanlagen mit Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen

Anmerkung

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

10. Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Bild 1:	Schutz bei direktem Berühren: Zusätzlicher Schutz bedeutet direkter Kontakt mit einem betriebsmäßig unter Spannung stehenden aktiven Teil	10
Bild 2:	Wirkungsbereiche von Wechselstrom 50/60 Hz auf den Menschen	11
Bild 3:	Schutz bei indirektem Berühren: Unter Fehlerschutz versteht man den Kontakt mit einem betriebsmäßig nicht unter Spannung stehenden, elektrisch leitfähigen Teil	14
Tabelle 1:	Einteilung der FIs in unterschiedliche Typen mit Auslösebereichen	15
Tabelle 2:	Mögliche Fehlerstromformen und geeignete FI-Schutzschalter	16
Bild 4:	Einteilung von Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen (RCDs)	20
Bild 5:	Prinzipdarstellung eines FI-Schutzschalters	22
Bild 6:	Funktionsprinzip eines Haltemagnet-Auslösers	23
Bild 7:	Aufbau eines SIQUEENCE allstromsensitiven FI-Schutzschalters Typ B und Typ B+	24
Bild 8:	Installation mit zentralem FI-Schutzschalter und LS-Schaltern für Abzweige	27
Bild 9:	Beispiel einer Installation mit FI/LS-Schaltern	28
Bild 10:	Auslösestrom Typ B in Abhängigkeit von der Frequenz	31
Bild 11:	Auslösestrom Typ B+ in Abhängigkeit von der Frequenz	33
Tabelle 3:	Empfohlene maximale Erdunswiderstände für SIQUEENCE FI-Schutzschalter Typ B und Typ B+	34
Bild 12:	Abschaltzeit t_A in Abhängigkeit des Auslösestroms I_{Δ}	38
Bild 13:	Anordnung unterschiedlicher Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen und deren Auslösezeiten	39
Bild 14:	Beispiel für Fernantrieb mit FI-Schutzschalter 5SV3	42
Tabelle 4:	Kenngrößen für die Abschaltbedingungen im TN-System und im TT-System mit Nennspannungen 230/400 V a.c.	44
Tabelle 5:	Auswahl der Schutzeinrichtungen im TN-System und im TT-System mit Nennspannungen 230/400V	45
Bild 15:	Auswahlhilfe zur Bestimmung der geeigneten FI-Schutzeinrichtung	48
Bild 16:	Form des Stoßstroms 8/20 μ s	52
Bild 17:	Stromkreis mit SIQUEENCE FI-Schutzschalter und Frequenzumrichter	54
Bild 18:	Fehlerstromform am Fehlerort 1	55
Bild 19:	Fehlerstromform am Fehlerort 2	56
Bild 20:	Vormagnetisierung durch Gleichfehlerstrom	58
Bild 21:	Fehlerstromform am Fehlerort 3	59

Bild 22:	Frequenzanteile des Fehlerstroms am Beispiel eines Frequenzumrichters	60
Bild 23:	Projektierungsbeispiel mit FI-Schutzschalter des Typs A und B	61
Tabelle 6:	Ursachen von Ableitströmen	62
Tabelle 7:	Maximalwerte	65
Bild 24:	Ablaufdiagramm zur Fehlersuche	67
Bild 25:	FI-Schutzschalter 4-polig in 3-poligem Netz	68
Bild 26:	MRCB Typ B und Summenstromwandler	69
Bild 27:	TN-S-System	79
Bild 28:	TN-C-S-System	79
Bild 29:	TN-C-System	80
Bild 30:	TT-System	80
Tabelle 8:	Max. zulässige Erdungswiderstände in Abhängigkeit von $I_{\Delta n}$	81
Bild 31:	IT-System	82
Bild 32:	Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen in allen Netzsystemen	83
Tabelle 9:	Errichtungsbestimmungen für Installationsanlagen mit Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen	86



Herausgeber Siemens AG 2018

Siemens AG
Energy Management
Siemensstr. 10
93055 Regensburg
Deutschland

Bestell-Nr. EMLP-T10158-00-00DE
Dispostelle 25600-0218-2.0
Gedruckt in Deutschland

Immer für Sie da: Unser umfassender Support
www.siemens.de/online-support

Änderungen vorbehalten

Die Informationen in diesem Dokument enthalten allgemeine Beschreibungen der technischen Möglichkeiten, welche im Einzelfall nicht immer vorliegen. Die gewünschten Leistungsmerkmale sind daher im Einzelfall bei Vertragsschluss festzulegen.

www.siemens.de/fehlerstromschutz