

Kriterien für die Auswahl einer Fehlerstrom-Schutzeinrichtung

Einsatz von Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen bei

SUNNY BOY, SUNNY MINI CENTRAL und SUNNY TRIPOWER



Inhalt

Bei der Installation von Wechselrichtern ergeben sich häufig Unsicherheiten beim Einsatz einer Fehlerstrom-Schutzeinrichtung. Bei PV-Anlagen kann dafür vor allem die DIN VDE 0100-410 (IEC 60364-4-41:2005) und die DIN VDE 0100-712 (IEC 60364-7-712:2002) herangezogen werden. Hier wird die Fehlerstrom-Schutzeinrichtung als Schutz gegen indirektes Berühren (Personenschutz) verwendet.

1 Begriffsklärung

1.1 Schutzmaßnahme nach DIN VDE 0100-410 (IEC 60364-4-41:2005)

Nach dieser Norm besteht eine Schutzmaßnahme gegen elektrischen Schlag aus zwei Schutzvorkehrungen:

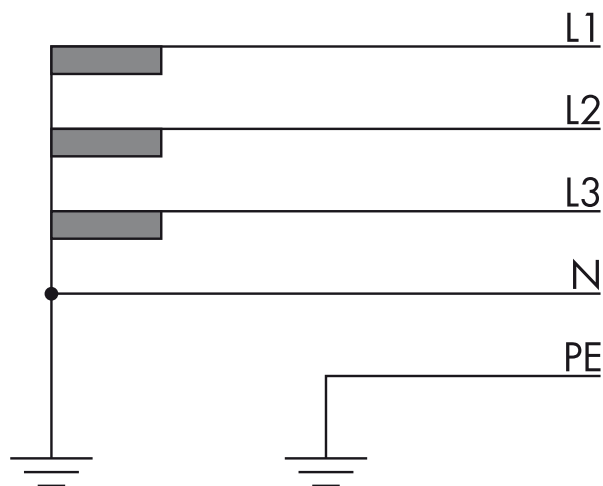
- Basisschutz: Schutz gegen direktes Berühren.
- Fehlerschutz: Schutz bei Auftreten eines Fehlers. Diese Schutzvorkehrung tritt in Kraft, wenn der Basisschutz nicht mehr wirkt und verhindert körperliche Schäden.

Als Schutzmaßnahme für die AC-seitige Installation einer PV-Anlage wird meist der Schutz durch automatische Abschaltung der Stromversorgung vorgesehen.

Neben der Isolierung aktiver Teile als Basisschutz wird der Fehlerschutz durch Schutzpotenzialausgleich und durch eine Abschaltvorrichtung hergestellt. Diese muss innerhalb der vorgeschriebenen Zeiten nach Auftreten des Fehlers abschalten (bei 230 V_{AC}: 0,2 s in TT-Netzen bzw. 0,4 s in TN-Netzen).

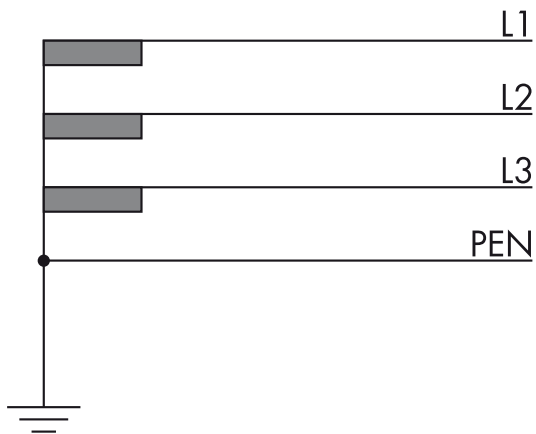
1.2 Netzformen

TT-Netz

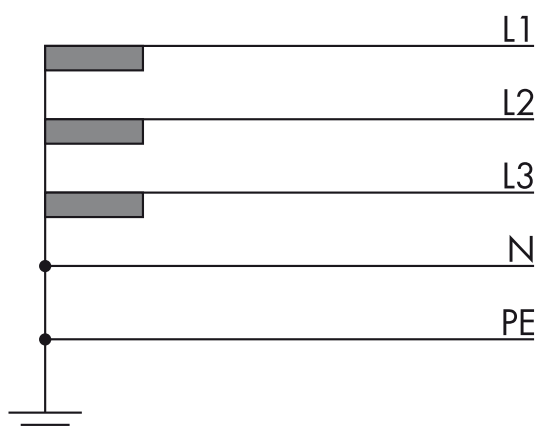


TN-Netze

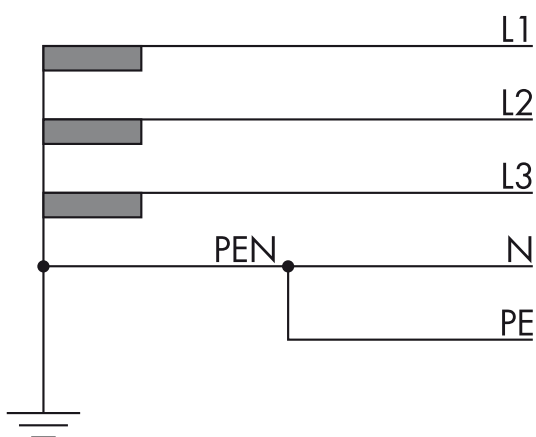
TN-C-Netz




TN-S-Netz



TN-C-S-Netz



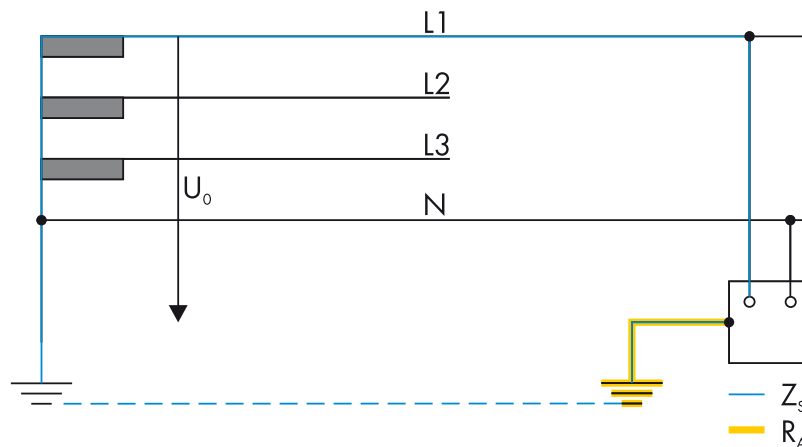
1.3 Abkürzungen, Symbole und Formelzeichen

- LS Leitungsschutzschalter
-  Schaltzeichen für Leitungsschutzschalter
- RCD Fehlerstrom-Schutzeinrichtung („Residual Current Device“)
- RCMU (Allstromsensitive) Fehlerstrom-Überwachungseinheit („Residual Current Monitoring Unit“)
- I_a Strom, der das automatische Abschalten innerhalb der geforderten Zeit bewirkt (Kurzschlusschutz).

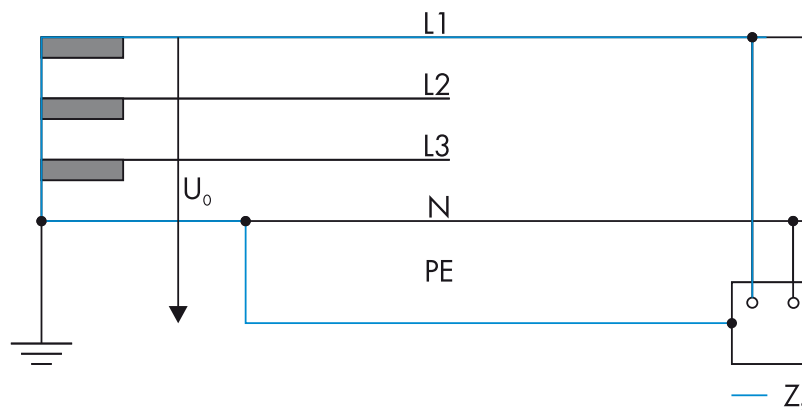
Bei B-Charakteristik des Leitungsschutzschalters ist dies das 5-fache des Nennstroms (I_{nenn}) des LS. Bei C-Charakteristik ist dies das 10-fache; z. B. LS C16A $\Rightarrow I_a = 160$ A.

- I_{nenn} Nennstrom des LS
- $I_{\Delta f}$ Bemessungsdifferenzstrom der Fehlerstrom-Schutzeinrichtung
- R_A Summe der Widerstände des Erders und des Schutzleiters des zu schützenden Körpers
- U_0 Nennwechselspannung Außenleiter gegen Erde
- Z_S Schleifenimpedanz der Fehlerschleife, bestehend aus Stromquelle, Außenleiter bis zum Fehlerort und Schutzleiter zwischen Fehlerort und Stromquelle

- R_A und Z_S im TT-Netz



- Z_S im TN-Netz



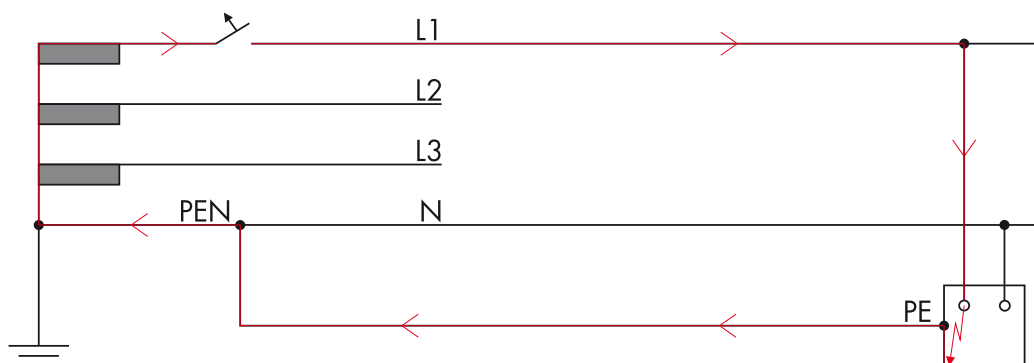
2 Möglichkeiten der Abschaltung

Die automatische Abschaltung kann nach DIN VDE 0100-410 (IEC 60364-4-41:2005) durch den Schutzpotenzialausgleich in Kombination mit einem Leitungsschutzschalter oder einer Fehlerstrom-Schutzeinrichtung erreicht werden.

2.1 Automatische Abschaltung durch einen Leitungsschutzschalter

Ein Leitungsschutzschalter gewährleistet die automatische Abschaltung, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:

- TN-Netz:
 - Wenn $Z_s \leq \frac{U_0}{I_a}$, kann der LS den Schutz durch automatische Abschaltung gewährleisten.
- TT-Netz:
 - Als Fehlerschutz ist vorrangig eine Fehlerstrom-Schutzeinrichtung vorgesehen.
 - Wenn $Z_s \leq \frac{U_0}{I_a}$, kann aber auch hier der LS den Schutz durch automatische Abschaltung gewährleisten.



Beispiel: Abschaltung durch Leitungsschutzschalter im Fehlerfall im TN-C-S-Netz

2.2 Automatische Abschaltung durch eine Fehlerstrom-Schutzeinrichtung

Eine Fehlerstrom-Schutzeinrichtung gewährleistet die automatische Abschaltung, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:

- TN-Netz:

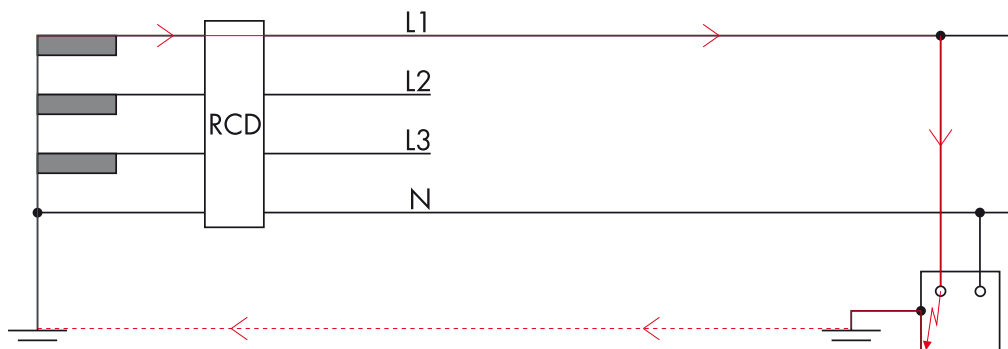
Im TN-Netz sind die Fehlerströme wesentlich höher als der Bemessungsdifferenzstrom $I_{\Delta f}$ der Fehlerstrom-Schutzeinrichtung, so dass die Abschaltzeiten mit der Fehlerstrom-Schutzeinrichtung immer eingehalten werden.

In TN-C-Netzen ist der Einsatz einer Fehlerstrom-Schutzeinrichtung nicht zulässig!

- TT-Netze:

- Als Fehlerschutz ist vorrangig eine Fehlerstrom-Schutzeinrichtung vorgesehen.

- Wenn $R_A < \frac{50 \text{ V}}{I_{\Delta f}}$, kann die Fehlerstrom-Schutzeinrichtung den Schutz durch automatische Abschaltung gewährleisten.



Beispiel: Abschaltung durch eine Fehlerstrom-Schutzeinrichtung im Fehlerfall im TT-Netz

2.3 Wahl der Abschaltmöglichkeit

Es ist zu prüfen, ob der zum Leitungsschutz vorgesehene Leitungsschutzschalter zur automatischen Abschaltung ausreicht (siehe Kapitel 2.1 „Automatische Abschaltung durch einen Leitungsschutzschalter“ (Seite 5)).

- Ist dies gegeben, fließt über die Fehlerschleife ein Strom (abhängig von der Höhe der Schleifenimpedanz), der höher als der Auslösestrom I_a (des Kurzschlusschutzes) ist. Der LS kann somit innerhalb der geforderten Zeiten abschalten.
- Ist die Schleifenimpedanz zu hoch, muss zusätzlich eine Fehlerstrom-Schutzeinrichtung eingesetzt werden (außer im TN-C-Netz).

3 Weitere Gründe für den Einsatz einer Fehlerstrom-Schutzeinrichtung

3.1 Installationen im Außenbereich

Häufig wird die Meinung vertreten, dass für Installationen im Außenbereich immer eine Fehlerstrom-Schutzeinrichtung eingesetzt werden muss. Nach DIN VDE 0100-410 (IEC 60364-4-41:2005) trifft dies allerdings nur auf Endstromkreise für im Außenbereich tragbare Betriebsmittel mit einem Bemessungsstrom bis 32 A zu.

3.2 Forderungen des Netzbetreibers

Einzelne Netzbetreiber passen die allgemeingültigen technischen Anschlussbedingungen (TAB) für deren Netz an und weichen somit von den Standards ab. In diesen spezifischen technischen Anschlussbedingungen kann auch der Einsatz einer Fehlerstrom-Schutzeinrichtung gefordert sein.

Falls seitens des Netzbetreibers eine Fehlerstrom-Schutzeinrichtung vorgeschrieben ist, sind Art und Einsatzbedingungen in der technischen Anschlussbedingungen (TAB) geregelt. Häufig fordern Netzbetreiber jedoch nicht explizit den Einsatz einer Fehlerstrom-Schutzeinrichtung, sondern nur eine „normgerechte Installation“.

3.3 Notwendigkeit aufgrund anderer Normen

Je nach Installationsort und den örtlichen Bedingungen, kann eine Fehlerstrom-Schutzeinrichtung aufgrund anderer Normen oder Vorschriften nötig sein.

Wird die Installation z. B. in einer Scheune oder in Holzhäusern ausgeführt, gilt auch die DIN VDE 0100-482 (IEC 60364-4-42:2001-08). Dann ist eine Fehlerstrom-Schutzeinrichtung mit einem Bemessungsdifferenzstrom von maximal 300 mA aus Brandschutzgründen erforderlich.

Die verschiedenen Einflüsse sind aber nur vom Installateur vor Ort zu beurteilen. Standardinstallationen und die Besonderheiten von PV-Anlagen sind in Kapitel 4 „Auswahl der Fehlerstrom-Schutzeinrichtung für eine PV-Anlage“ (Seite 8) erläutert.

3.4 Zusatzschutz

SMA Solar Technology AG empfiehlt, immer eine Fehlerstrom-Schutzeinrichtung als zusätzlichen Schutz zu installieren, um ein höchstmögliches Maß an Sicherheit zu erreichen. Dieser kann dann auch die Funktion eines allpoligen Trennschalters bieten, der häufig aus anderen Gründen nötig ist.

4 Auswahl der Fehlerstrom-Schutzeinrichtung für eine PV-Anlage

Neben den vorgenannten Kriterien gibt es bei PV-Anlagen weitere Kriterien zur Auswahl der Fehlerstrom-Schutzeinrichtung.

4.1 Forderung aus DIN VDE 0100-712 (IEC 60364-7-712:2002)

Falls als Fehlerschutz vorgesehen (siehe Kapitel 2.2 „Automatische Abschaltung durch eine Fehlerstrom-Schutzeinrichtung“ (Seite 6)), wird in der DIN VDE 0100-712 für transformatorlose Wechselrichter eine Fehlerstrom-Schutzeinrichtung Typ B gefordert.

Diese Forderung gilt auch für Wechselrichter mit Hochfrequenztransformator, weil keine galvanische Trennung zwischen Wechselstromseite und der Gleichspannungsseite vorhanden ist.

Für Wechselrichter mit Niederfrequenz-Transformator gilt diese Forderung nicht.

Eine Ausnahme von dieser Forderung besteht, wenn der Hersteller des Wechselrichters ausschließen kann, dass Gleichfehlerströme in der Anlage auftreten können. Dann kann die Fehlerstrom-Schutzeinrichtung, falls notwendig, Typ A sein.

Alle SMA Wechselrichter mit Transformator, einschließlich SB 2000HF-30, SB 2500HF-30, SB 3000HF-30, und die nachfolgend aufgeführten transformatorlosen SMA-Wechselrichter können konstruktiv bedingt keine Gleichfehlerströme einspeisen. Sie erfüllen diese Anforderung gemäß DIN VDE 0100-712 (IEC 60364-7-712:2002).

Sunny Boy:

SB 240-10, Multigate-10, SB 1300TL-10, SB 1.5-1VL-40, SB 1600TL-10, SB 2100TL, SB 2.5-1VL-40, SB 2500TLST-21, SB 3000TL-20, SB 3000TL-21, SB 3000TLST-21, SB 3600TL-21, SB 3600SE-10, SB 4000TL-20, SB 4000TL-21, SB 5000TL-20, SB 5000TL-21, SB 5000SE-10, SB 6000TL-21

Sunny Mini Central:

SMC 6000TL, SMC 7000TL, SMC 8000TL, SMC 9000TL-10, SMC 9000TLRP-10, SMC 10000TL-10, SMC 10000TLRP-10, SMC 11000TL-10, SMC 11000TLRP-10

Sunny Tripower:

STP 5000TL-20, STP 6000TL-20, STP 7000TL-20, STP 8000TL-10, STP 8000TL-20, STP 9000TL-20, STP 10000TL-10, STP10000TL-20, STP 12000TL-10, STP 12000TL-20, STP 15000TL-10, STP 15000TLHE-10, STP 15000TLEE-10, STP 17000TL-10, STP 20000TLHE-10, STP 20000TL-30, STP 20000TLEE-10, STP 25000TL-30

Unabhängig von der integrierten Fehlerstromüberwachungseinheit (RCMU) wurden die Fehlermöglichkeiten geprüft. Bei Betrachtung dieser Fehler nach den gültigen Installationsnormen kann keine Gefährdung in Kombination mit einer vorgeschalteten Fehlerstrom-Schutzeinrichtung Typ A entstehen. Danach können Fehler ausgeschlossen werden, die den Einsatz einer Fehlerstrom-Schutzeinrichtung Typ B aufgrund des Wechselrichters erfordern würden.

Die integrierte, allstromsensitive Fehlerstromüberwachungseinheit (RCMU) bietet darüber hinaus ein zusätzliches Maß an Sicherheit. Bei Wechselrichtern mit Schutzleiterüberwachung muss diese aktiviert sein. Diese Aussagen gelten ebenso für Varianten der genannten Geräte mit abweichender Leistung.

4.2 Betriebsbedingte Differenzströme

Bei Betrieb eines transformatorlosen Wechselrichters entstehen Differenzströme, die durch den Isolationswiderstand und durch Kapazitäten des PV-Generators bedingt sind. Um ein ungewolltes Auslösen während des Betriebs zu vermeiden, muss der Bemessungsdifferenzstrom der Fehlerstrom-Schutzeinrichtung mindestens 100 mA betragen.

Für jeden angeschlossenen Wechselrichter muss ein Bemessungsdifferenzstrom von 100 mA vorgesehen werden. Der Bemessungsdifferenzstrom der Fehlerstrom-Schutzeinrichtung muss mindestens der Summe der Bemessungsdifferenzströme der angeschlossenen Wechselrichter entsprechen. Das bedeutet, wenn z. B. 3 transformatorlose Wechselrichter angeschlossen sind, muss der Bemessungsdifferenzstrom der Fehlerstrom-Schutzeinrichtung mindestens 300 mA betragen.

Für die Wechselrichtertypen SB 1300TL-10, SB 1600TL-10, SB 2100TL, SMC 6000TL, SMC 7000TL und SMC 8000TL dürfen nur folgende Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen verwendet werden:

- Fehlerstrom-Schutzeinrichtung Typ A der Fa. ABB vom Typ F202A-xx/0,x oder F204A-xx/0,x
- Fehlerstrom-Schutzeinrichtung Typ A der Fa. Siemens vom Typ 5SM1 oder 5SM3....

Weitere Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen anderer Hersteller befinden sich noch in Prüfung.

Hier ist zu berücksichtigen, dass die Auslöseströme durch die betriebsbedingten Gleichdifferenzströme geringfügig (0 - 30 %) über dem Bemessungsdifferenzstrom der verwendeten Fehlerstrom-Schutzeinrichtung liegen können. Abweichend von den in Kapitel 2.2 „Automatische Abschaltung durch eine Fehlerstrom-Schutzeinrichtung“ (Seite 6) genannten Bedingung für den Einsatz einer Fehlerstrom-Schutzeinrichtung gilt in diesem Fall:

Wenn $R_A < \frac{50 \text{ V}}{1,3 \times I_{\Delta f}}$, kann die Fehlerstrom-Schutzeinrichtung den Schutz durch automatische Abschaltung gewährleisten.

Wenn der Einsatz der oben vorgeschlagenen Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen nicht möglich ist, wird empfohlen, auf andere Wechselrichter auszuweichen.

Bei Berücksichtigung der vorgenannten Kriterien können PV-Anlagen normgerecht und gleichzeitig kostenoptimiert errichtet werden. Insbesondere die Eignung der genannten transformatorlosen SMA Wechselrichter für Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen vom Typ A ermöglicht eine kostengünstige Installation.

5 Berechnungsbeispiele

Nachfolgend wird anhand von 2 Beispielen die Auswahl eines geeigneten Betriebsmittels als Fehlerschutz durch automatische Abschaltung dargestellt. Dabei wird immer davon ausgegangen, dass gleichzeitig der dafür notwendige Schutzpotenzialausgleich ausgeführt wird. Die verwendeten Werte sind Beispiele, die nicht als Richtwerte für die jeweilige Netzform oder Anwendung herangezogen werden können.

5.1 Berechnungsbeispiel 1

1 Sunny Boy SB 2100TL; Absicherung mit einem LS B16A; TN-Netz; Schleifenimpedanz $Z_s = 1,5 \Omega$; Scheunendach:

- Der LS B16A hat einen Kurzschlussauslösestrom I_a von 80 A
(B-Charakteristik: Faktor 5; I_{nenn} des LS = 16 A $\Rightarrow 5 \times 16 \text{ A} = 80 \text{ A}$).
- Bei 230 V können über die Fehlerschleife 153 A fließen ($\frac{230 \text{ V}}{1,5 \Omega} = 153,3 \text{ A}$).
- Die 153 A sind höher als die notwendigen 80 A Auslösestrom des LS. Der LS schaltet sicher innerhalb der vorgeschriebenen Zeit ab.
- Der LS B16A reicht als Fehlerschutz gegen indirektes Berühren aus.
- Da es sich um eine Scheune handelt, muss in diesem Fall noch zusätzlich eine Fehlerstrom-Schutzeinrichtung Typ A mit einem Bemessungsdifferenzstrom von höchstens 300 mA installiert werden. Dies ist aus Brandschutzgründen nach der DIN VDE 0100-482 (IEC 60364-4-42:2001-08) notwendig.

5.2 Berechnungsbeispiel 2

3 Sunny Mini Centrals SMC 6000TL; Absicherung mit je einem LS C32A; TT-Netz; Schleifenimpedanz $Z_s = 0,2 \Omega$; $R_A = 1,1 \Omega$:

- Der LS C32A hat einen Kurzschlussauslösestrom von 320 A (C-Charakteristik: Faktor 10; $I_{\text{nenn}} \text{ des LS} = 32 \text{ A} \Rightarrow 10 \times 32 \text{ A} = 320 \text{ A}$).
- Bei 230 V können über die Fehlerschleife 177 A fließen ($\frac{230 \text{ V}}{1,3 \Omega} = 177 \text{ A}$).
- Die 177 A sind niedriger als die notwendigen 320 A Auslösestrom des LS. Damit schaltet der LS **nicht sicher** innerhalb der vorgeschriebenen Zeit ab.
- Der LS C32A reicht als Fehlerschutz gegen indirektes Berühren **nicht** aus.

1. Möglichkeit: Einsatz eines anderen LS (sofern möglich)

- Bei Einsatz eines LS B32A liegt der Kurzschlussauslösestrom bei 160 A (B-Charakteristik: Faktor 5; $I_{\text{nenn}} \text{ des LS} = 32 \text{ A} \Rightarrow 5 \times 32 \text{ A} = 160 \text{ A}$).
- Der Auslösestrom des LS mit B-Charakteristik würde unter den 177 A liegen, die im Fehlerfall fließen würden. Damit würden diese Leitungsschutzschalter innerhalb der vorgeschriebenen Zeit abschalten.
- Der LS B32A reicht als Fehlerschutz gegen indirektes Berühren aus.

2. Möglichkeit: Einsatz einer Fehlerstrom-Schutzeinrichtung

- Falls kein anderer Leitungsschutzschalter eingesetzt werden kann, muss für den Fehlerschutz eine Fehlerstrom-Schutzeinrichtung verwendet werden.
- Da 3 transformatorlose Wechselrichter eingesetzt werden, muss der Bemessungsdifferenzstrom nach Kapitel 4.2 „Betriebsbedingte Differenzströme“ (Seite 9) mindestens 300 mA betragen. Es wird eine Fehlerstrom-Schutzeinrichtung mit einem Bemessungsdifferenzstrom $I_{\Delta f}$ von 500 mA ausgewählt.
- Darüber hinaus ist nach der Bedingung aus 4 b (vgl. Seite 9) zu prüfen, ob die Schutzwirkung ausreicht:
- $R_A = 1,1 \Omega < \frac{50 \text{ V}}{1,3 \times I_{\Delta f}}$, also $R_A < \frac{50 \text{ V}}{1,3 \times 0,5 \text{ A}} = 76,9 \Omega$
- Eine Fehlerstrom-Schutzeinrichtung Typ A mit einem Bemessungsdifferenzstrom $I_{\Delta f}$ von 500 mA gewährleistet den Fehlerschutz gegen indirektes Berühren.