

# Kryteria doboru wyłącznika różnicowo-prądowego

Stosowanie wyłączników różnicowo-prądowych w falownikach **SUNNY BOY**,  
**SUNNY ISLAND**, **SUNNY BOY STORAGE** i **SUNNY TRIPower**



## Zawartość dokumentu

Przy instalacji falowników często występują wątpliwości dotyczące stosowania prawidłowego wyłącznika różnicowo-prądowego. W przypadku instalacji fotowoltaicznych można sięgnąć przede wszystkim do norm DIN VDE 0100-410 (IEC 60364-4-41) i DIN VDE 0100-712 (IEC 60364-7-712). W tym przypadku wyłącznik różnicowo-prądowy zapewnia ochronę przed dotykem pośrednim (ochrona osób).

# 1 Omówienie terminologii

## 1.1 Środek ochrony wg wymogów normy DIN VDE 0100-410 (IEC 60364-4-41)

Według tej normy środek ochrony przed porażeniem prądem elektrycznym obejmuje dwa elementy:

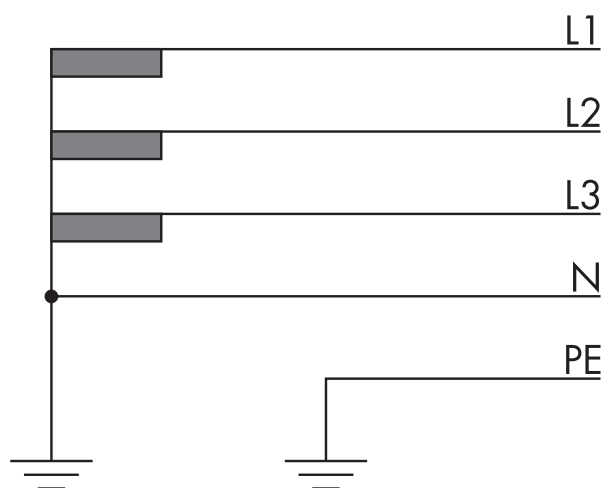
- Środek (system) ochrony podstawowej zapewniający ochronę przed dotykiem pośrednim.
- Środek (system) ochrony przy uszkodzeniu zapewniający ochronę w przypadku usterki. Ten środek ochrony zapewnia ochronę w przypadku braku funkcjonowania środka (systemu) ochrony podstawowej i chroni przed odniesieniem obrażeń ciała.

Najczęściej stosowanym środkiem po stronie AC instalacji fotowoltaicznej jest samoczynne wyłączenie zasilania.

Oprócz izolacji części przewodzących prąd, stanowiącej środek (system) ochrony podstawowej, stosowany jest środek (system) ochrony przy uszkodzeniu w postaci nieziemionego połączenia wyrównawczego oraz urządzenia rozłączającego. Urządzenie rozłączające musi zapewnić rozłączenie w przypadku wystąpienia błędu w wymaganym okresie czasu (przy 230 V<sub>AC</sub>: 0,2 sek. w sieciach TT lub 0,4 sek. w sieciach TN).

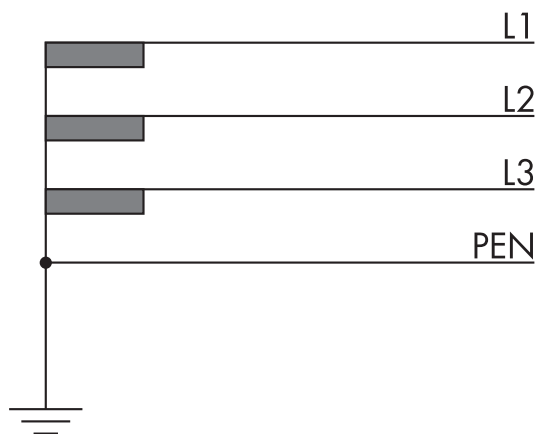
## 1.2 Układy sieci

### Sieć TT

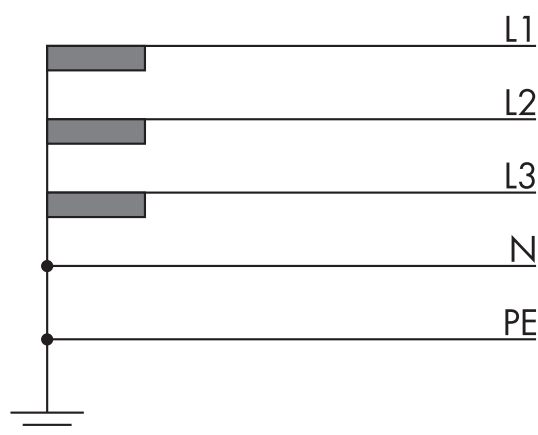


## Sieci TN

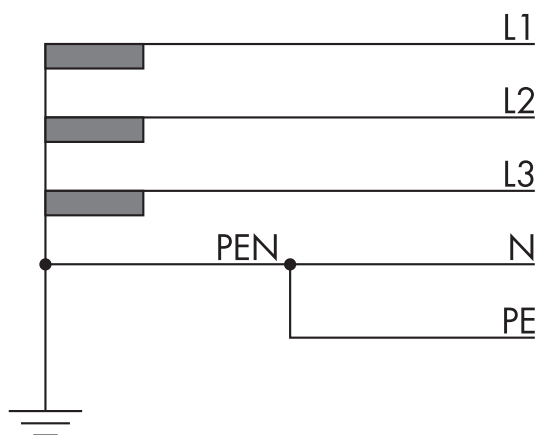
### Sieć TN-C




### Sieć TN-S



### Sieć TN-C-S



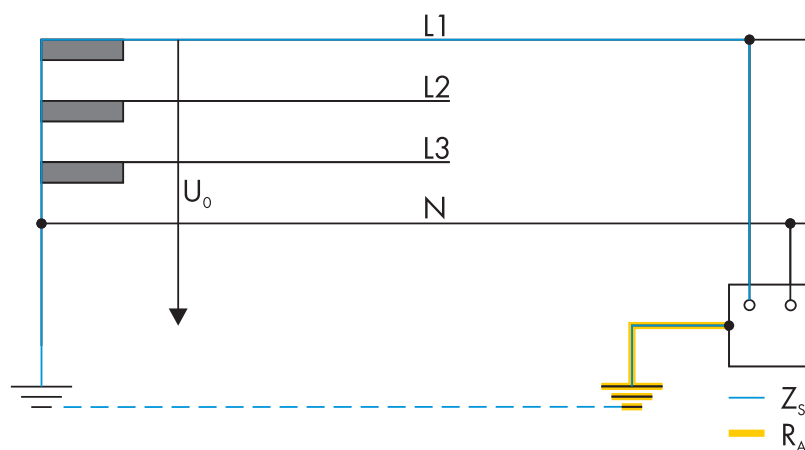
## 1.3 Skróty, symbole i oznaczenia stosowane we wzorach

- LS Wyłącznik nadmiarowo-prądowy (wyłącznik instalacyjny)
-  Symbol oznaczający wyłącznik nadmiarowo-prądowy (wyłącznik instalacyjny)
- RCD Wyłącznik różnicowo-prądowy („Residual Current Device“)
- RCMU Uniwersalny moduł monitorowania prądu uszkodzeniowego („Residual Current Monitoring Unit“)
- $I_a$  Natężenie prądu, przy którym następuje samoczynne wyłączenie w wymaganym okresie czasu (ochrona przeciwzwarceniowa).

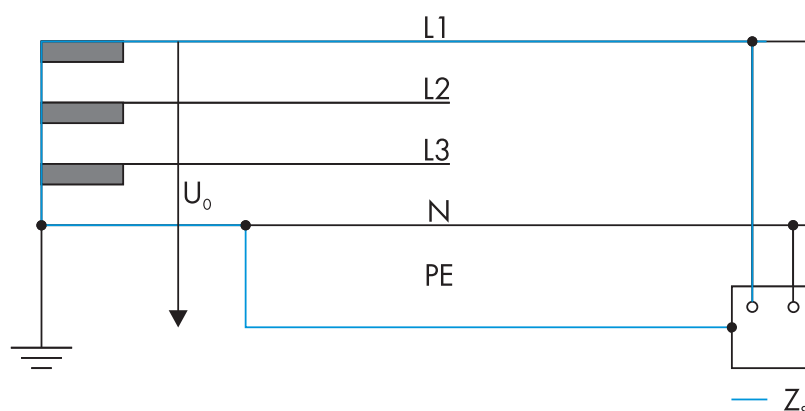
W przypadku wyłączników nadmiarowo-prądowych o charakterystyce B wynosi ono pięciokrotną wartość prądu znamionowego ( $I_{\text{znam}}$ ) wyłącznika. W przypadku wyłączników instalacyjnych o charakterystyce C wynosi ono 10-krotną wartość, np. LS C16A  $\Rightarrow I_a = 160$  A.

- $I_{\text{znam}}$  Prąd znamionowy wyłącznika instalacyjnego
- $I_{\Delta f}$  Prąd zadziałania wyłącznika różnicowo-prądowego
- $R_A$  łączna rezystancja uziomu oraz przewodu ochronnego zabezpieczonego elementu
- $U_0$  Znamionowe napięcie przemiennie przewodu zewnętrznego do ziemi
- $Z_S$  Impedancja obwodu, przez który przepływa prąd uszkodzeniowy, składającego się ze źródła prądu, odcinka przewodu zewnętrznego do miejsca wystąpienia usterki i odcinka przewodu ochronnego pomiędzy miejscem wystąpienia usterki a źródłem prądu

- $R_A$  i  $Z_S$  w sieci TT



- $Z_s$  w sieci TN



## 2 Sposoby wyłączenia zasilania

Według wymogów normy DIN VDE 0100-410 (IEC 60364-4-41) samoczynne wyłączenie zasilania może być realizowane poprzez nieziemione połączenie wyrównawcze w połączeniu z wyłącznikiem instalacyjnym lub wyłącznikiem różnicowo-prądowym.

### 2.1 Samoczynne wyłączenie zasilania za pomocą wyłącznika nadmiarowo-prądowego

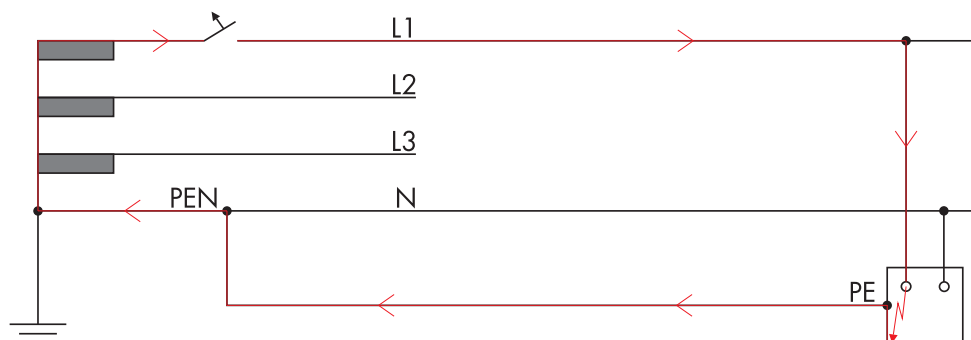
Wyłącznik nadmiarowo-prądowy zapewnia samoczynne wyłączenie zasilania, jeśli spełnione są poniższe warunki:

- Sieć TN:

Jeśli  $Z_s \leq \frac{U_0}{I_a}$ , to wyłącznik nadmiarowo-prądowy zapewnia ochronę poprzez samoczynne wyłączenie zasilania.

- Sieć TT:

- Jako środek (system) ochrony przy uszkodzeniu stosowany jest głównie wyłącznik różnicowo-prądowy.
- Jeśli  $Z_s \leq \frac{U_0}{I_a}$ , samoczynne rozłączenie zasilania może zapewnić także wyłącznik instalacyjny.



Przykład: wyłączenie zasilania w sieci TN-C-S w przypadku uszkodzenia za pomocą wyłącznika nadmiarowo-prądowego

## 2.2 Samoczynne wyłączenie zasilania za pomocą wyłącznika różnicowo-prądowego

Wyłącznik różnicowo-prądowy zapewnia samoczynne wyłączenie zasilania, jeśli spełnione są poniższe warunki:

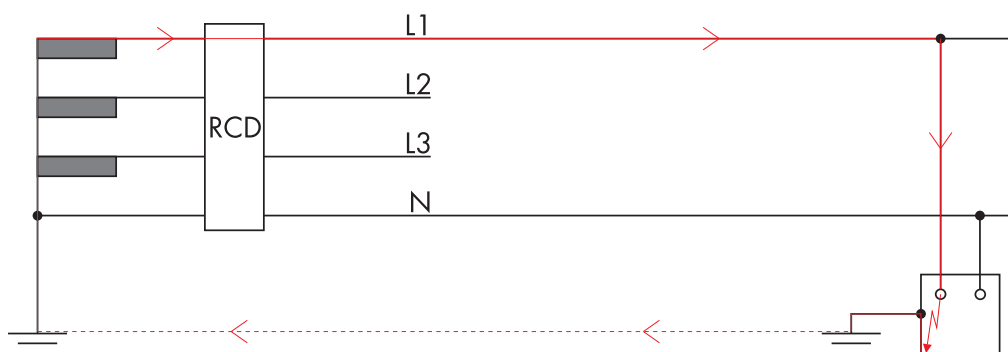
- Sieć TN:

Występujące w sieci TN prądy uszkodzeniowe są znacznie wyższe niż prąd zadziałania  $I_{\Delta f}$  wyłącznika różnicowo-prądowego, tak że wyłączenie zasilania za pomocą wyłącznika różnicowo-prądowego w wymaganym czasie jest zawsze zagwarantowane.

W sieciach TN-C stosowanie wyłącznika różnicowo-prądowego jest zabronione!

- Sieci TT:

- Jako środek (system) ochrony przy uszkodzeniu stosowany jest głównie wyłącznik różnicowo-prądowy.
- Jeśli  $R_A < \frac{50 \text{ V}}{I_{\Delta f}}$ , wyłącznik różnicowo-prądowy może zapewnić ochronę poprzez samoczynne wyłączenie zasilania.



Przykład: wyłączenie zasilania w sieci TT w przypadku uszkodzenia za pomocą wyłącznika różnicowo-prądowego

## 2.3 Wybór rozwiązania zapewniającego rozłączenie zasilania

Należy sprawdzić, czy przewidziany wyłącznik nadmiarowo-prądowy jest wystarczającym środkiem w celu zapewnienia samoczynnego wyłączenia zasilania (patrz rozdział 2.1 „Samoczynne wyłączenie zasilania za pomocą wyłącznika nadmiarowo-prądowego” (strona 5)).

- Jeśli ten warunek jest spełniony, przez obwód przepływa prąd uszkodzeniowy (o natężeniu zależnym od impedancji tego obwodu) o natężeniu wyższym niż prąd zadziałania  $I_a$  (zabezpieczenia przeciwzwarceniowego). W ten sposób wyłącznik nadmiarowo-prądowy może zapewnić wyłączenie zasilania w wymaganym czasie.
- Jeśli natomiast impedancja obwodu, przez który przepływa prąd uszkodzeniowy, jest wysoka, należy stosować dodatkowo wyłącznik różnicowo-prądowy (z wyjątkiem sieci TN-C).

## 3 Inne powody stosowania wyłączników różnicowo-prądowych

---

### 3.1 Instalacja na zewnątrz budynku

Często się słyszy opinię, że w przypadku instalacji znajdujących się na zewnątrz należy zawsze stosować wyłącznik różnicowo-prądowy. Zgodnie z wymogami normy DIN VDE 0100-410 (IEC 60364-4-41) obowiązuje to tylko w odniesieniu do końcowych obwodów prądowych w ustawionych na zewnątrz urządzeniach o prądzie znamionowym do 32 A.

### 3.2 Wymogi operatora sieci

Niektórzy operatorzy sieci przesyłowych modyfikują ogólne techniczne warunki przyłączenia pod kątem własnej sieci elektroenergetycznej i w ten sposób odbiegają od wymogów normy. Ogólne techniczne warunki przyłączenia do sieci elektroenergetycznej mogą również wymagać stosowania wyłącznika różnicowo-prądowego.

Jeśli operator sieci wymaga zastosowania wyłącznika różnicowo-prądowego, szczegóły dotyczące jest rodzaju i warunków zastosowania podane są w ogólnych technicznych warunkach podłączenia do sieci elektroenergetycznej. Często jednak operatorzy sieci nie wymagają jednoznacznie zastosowania wyłącznika różnicowo-prądowego, lecz tylko oczekują „instalacji spełniającej wymogi norm”.

### 3.3 Wymogi wynikające z innych norm

W zależności od miejsca instalacji i lokalnych warunków, konieczność stosowania wyłącznika różnicowo-prądowego może wynikać z innych norm lub przepisów.

Jeśli na przykład instalacja znajduje się na stodole lub drewnianym budynku, to obowiązuje także norma DIN VDE 0100-482 (IEC 60364-4-42). W takim przypadku, ze względów ochrony przeciwpożarowej, konieczne jest stosowanie wyłącznika różnicowo-prądowego o prądzie zadziałania równym 300 mA.

Ostateczną ocenę przy uwzględnieniu warunków w miejscu instalacji powinien dokonać instalator. Standardowe instalacje oraz specyfika instalacji fotowoltaicznych są omówione w rozdziale 4 „Kryteria doboru wyłącznika różnicowo-prądowego do instalacji fotowoltaicznej z falownikiem wyspowym lub bez” (strona 8).

### 3.4 Dodatkowa ochrona

Firma SMA Solar Technology AG zaleca, aby zawsze stosować wyłącznik różnicowo-prądowy jako dodatkowy środek (system) ochrony, mający na celu zapewnienie maksymalnego bezpieczeństwa. Może on również służyć jako wyłącznik wielobiegunowy, którego montaż jest często konieczny z innych względów.

## 4 Kryteria doboru wyłącznika różnicowo-prądowego do instalacji fotowoltaicznej z falownikiem wyspowym lub bez

Oprócz wymienionych powyżej kryteriów w instalacjach fotowoltaicznych istnieją dodatkowe kryteria doboru wyłącznika różnicowo-prądowego.

### 4.1 Wymóg normy DIN VDE 0100-712:2016 (HD 60364-7-712:2016)

Jeśli wyłącznik różnicowo-prądowy ma spełnić funkcję elementu (systemu) ochrony przy uszkodzeniu (patrz rozdział 2.2 „Samoczynne wyłączenie zasilania za pomocą wyłącznika różnicowo-prądowego” (strona 6)), przy używaniu falowników beztransformatorowych norma DIN VDE 0100-712:2016 wymaga zastosowania wyłącznika różnicowo-prądowego typu B.

Ten wymóg obowiązuje także wobec falowników z transformatorami wysokiej częstotliwości, gdyż w tym wypadku nie ma separacji galwanicznej pomiędzy falownikiem a stroną stałego napięcia.

Wobec falowników z transformatorem niskiej częstotliwości ten wymóg nie ma zastosowania.

Wyjątkiem od tej reguły jest sytuacja, gdy producent falownika może zapewnić, że w instalacji nie będą występowały uszkodzeniowe prądy stałe. W takim wypadku można zastosować, o ile jest to konieczne, wyłącznik różnicowo-prądowy typu A.

Wszystkie wymienione poniżej falowniki firmy SMA z przyczyn konstrukcyjnych nie oddają uszkodzeniowych prądów stałych. Spełniają one ten wymóg zgodnie z normą DIN VDE 0100-712:2016 (HD 60364-7-712:2016).

#### **Sunny Boy:**

SB1.5-1VL-40, SB2.0-1VL-40, SB2.5-1VL-40, SB3.0-1AV-41, SB3.6-1AV-41, SB4.0-1AV-41, SB5.0-1AV-41, SB6.0-1AV-41

#### **Sunny Boy Storage:**

SBS2.5-1VL-10, SBS3.7-10, SBS5.0-10, SBS6.0-10

#### **Sunny Island:**

SI4.4M-12, SI6.0H-12, SI8.0H-12

#### **Sunny Tripower:**

STP 5000TL-20, STP 6000TL-20, STP 7000TL-20, STP 8000TL-20, STP 9000TL-20, STP10000TL-20, STP 12000TL-20, STP 15000TL-30, STP 20000TL-30, STP 25000TL-30



Niezależnie od montażu zintegrowanego uniwersalnego modułu monitorowania prądu różnicowego (RCMU) przeanalizowano potencjalne błędy. Na podstawie analizy owych błędów w świetle obowiązujących norm instalacji wykluczono zagrożenia przy włączeniu w obwodzie wyłącznika różnicowo-prądowego typu A. Stąd też można wykluczyć błędy, których ewentualne wystąpienie mogłoby prowadzić do konieczności stosowania w danym typie falownika wyłącznika różnicowo-prądowego typu B.

Ponadto, zintegrowany uniwersalny moduł monitorowania prądu różnicowego (RCMU) zapewnia wyższy poziom bezpieczeństwa. W falownikach z układem monitorowania przewodu ochronnego musi być on włączony. Powyższe wskazówki dotyczą również wersji wymienionych urządzeń o innej mocy.

## 4.2 Uwarunkowane eksploatacją prądy różnicowe

W trakcie eksploatacji beztransformatorowego falownika powstają prądy różnicowe, których wartość zależy od rezystancji izolacji i wydajności generatora fotowoltaicznego. Aby uniknąć przypadkowego zadziałania wyłącznika w trakcie eksploatacji instalacji, prąd zadziałania wyłącznika różnicowo-prądowego musi wynosić przynajmniej 100 mA.

Wartość prądu zadziałania 100 mA dotyczy każdego podłączonego falownika. Prąd zadziałania wyłącznika różnicowo-prądowego musi przynajmniej odpowiadać sumie prądów różnicowych w podłączonych falownikach. To znaczy, że przykładowo przy podłączeniu 3 beztransformatorowych falowników prąd zadziałania wyłącznika różnicowo-prądowego musi wynosić przynajmniej 300 mA.

Uwzględnienie powyższych kryteriów pozwoli zapewnić zgodność instalacji fotowoltaicznej z obowiązującymi normami oraz jej ekonomiczny montaż. Ekonomiczny montaż instalacji umożliwia zwłaszcza możliwość stosowania w beztransformatorowych falownikach firmy SMA wyłącznika różnicowo-prądowego typu A.

## 5 Przykładowe obliczenia

---

Na poniższych 2 przykładach przedstawimy dobór odpowiedniego rozwiązania jako środka (systemu) ochrony przy uszkodzeniu poprzez samoczynne wyłączenie. W każdym przypadku obowiązuje założenie, że jednocześnie jest wykonane wymagane niezziemione połączenie wyrównawcze. Podane wartości stanowią jedynie przykłady, a nie wartości zadane, które można by zastosować do danego typu sieci lub zastosowania.

### 5.1 Przykład 1

**1 Sunny Boy SB2.5-1VL-40; zabezpieczony wyłącznikiem instalacyjnym B16A; sieć TN; impedancja obwodu uszkodzeniowego  $Z_s = 1,5 \Omega$ ; montaż na dachu stodoły:**

- W wyłączniku instalacyjnym B16A prąd zadziałania zabezpieczenia przeciwzwarcioviego  $I_a$  wynosi 80 A  
(charakterystyka B: współczynnik 5;  $I_{z\text{nam}}$  wyłącznika instalacyjnego LS = 16 A  $\Rightarrow 5 \times 16 \text{ A} = 80 \text{ A}$ ).
- Przy napięciu 230 V w obwodzie, przez który przepływa prąd uszkodzeniowy, może wystąpić prąd o natężeniu 153 A ( $\frac{230 \text{ V}}{1,5 \Omega} = 153,3 \text{ A}$ ).
- Wartość 153 A przekracza wymaganą wartość prądu zadziałania wyłącznika instalacyjnego wynoszącą 80 A. Dlatego wyłącznik instalacyjny zapewnia bezpieczne wyłączenie zasilania w wymaganym okresie czasu.
- Wyłącznik instalacyjny LS B16A spełnia rolę środka (systemu) ochrony przed dotykiem pośrednim przy uszkodzeniu.
- Ponieważ w tym wypadku instalacja znajduje się na stodole, należy dodatkowo zastosować wyłącznik różnicowo-prądowy typu A o prądzie zadziałania wynoszącym maksymalnie 300 mA. Wynika to wymogów ochrony przeciwpożarowej określonych normą DIN VDE 0100-482 (IEC 60364-4-42).

## 5.2 Przykład 2

**STP 15000TL-30; zabezpieczony wyłącznikiem instalacyjnym C32A; sieć TT;  
impedancja obwodu uszkodzeniowego  $Z_s = 0,2 \Omega$ ;  $R_A = 1,1 \Omega$ :**

- W wyłączniku instalacyjnym C32A prąd zadziałania zabezpieczenia przeciwzwarciovowego wynosi 320 A (charakterystyka C, współczynnik 10;  $I_{z\text{nam}}$  wyłącznika instalacyjnego = 32 A  $\Rightarrow 10 \times 32 \text{ A} = 320 \text{ A}$ ).
- Przy napięciu 230 V w obwodzie przez który przepływa prąd uszkodzeniowy, może wystąpić prąd o natężeniu 177 A ( $\frac{230 \text{ V}}{1,3 \Omega} = 177 \text{ A}$ ).
- Wartość 177 A jest niższa niż wymagana wartość prądu zadziałania wyłącznika instalacyjnego wynosząca 320 A.  
Dlatego wyłącznik instalacyjny **nie zapewnia bezpiecznego** wyłączenia zasilania w wymaganym okresie czasu.
- Wyłącznik instalacyjny LS V32A **nie spełnia** roli środka (systemu) ochrony przed dotykiem pośrednim przy uszkodzeniu.

### 1. rozwiązanie: zastosowanie innego wyłącznika instalacyjnego (o ile jest to możliwe)

- W wyłączniku instalacyjnym B32A prąd zadziałania zabezpieczenia przeciwzwarciovowego wynosi 160 A (charakterystyka B; współczynnik 5;  $I_{z\text{nam}}$  wyłącznika instalacyjnego = 32 A  $\Rightarrow 5 \times 32 \text{ A} = 160 \text{ A}$ ).
- Prąd zadziałania wyłącznika instalacyjnego o charakterystyce B jest niższy od wartości natężenia prądu 177 A, który wystąpiłby w obwodzie przy uszkodzeniu. Dlatego ten wyłącznik instalacyjny zapewniłby wyłączenie zasilania w wymaganym okresie czasu.
- Wyłącznik instalacyjny LS B32A spełnia rolę środka (systemu) ochrony przed dotykiem pośrednim przy uszkodzeniu.

### 2. rozwiązanie: zastosowanie wyłącznika różnicowo-prądowego

- Jeśli nie można zastosować innego wyłącznika instalacyjnego, ochronę przy uszkodzeniu należy zapewnić poprzez zastosowanie wyłącznika różnicowo-prądowego.
- Ponieważ używany jest jeden falownik beztransformatorowy, zgodnie z treścią rozdziału 4.2 „Uwarunkowane eksploatacją prądy różnicowe” (strona 9) prąd zadziałania wyłącznika musi wynosić przynajmniej 300 mA. Zostanie zastosowany wyłącznik różnicowo-prądowy o prądzie zadziałania  $I_{\Delta f}$  wynoszącym 500 mA.
- Ponadto, należy sprawdzić, czy to zabezpieczenie jest wystarczające i spełnia warunek 4b (patrz strona 9):
- $R_A = 1,1 \Omega < \frac{50 \text{ V}}{1,3 \times I_{\Delta f}}$ , a zatem  $R_A < \frac{50 \text{ V}}{1,3 \times 0,5 \text{ A}} = 76,9 \Omega$
- Wyłącznik różnicowo-prądowy typu A o prądzie zadziałania  $I_{\Delta f}$  wynoszącym 500 mA zapewnia ochronę przed dotykiem pośrednim przy uszkodzeniu.