

Informacja techniczna

Leading Leakage Currents

Wskazówki dotyczące projektowania beztransformatorowych inwerterów
Sunny Boy, Sunny Tripower, Sunny Highpower

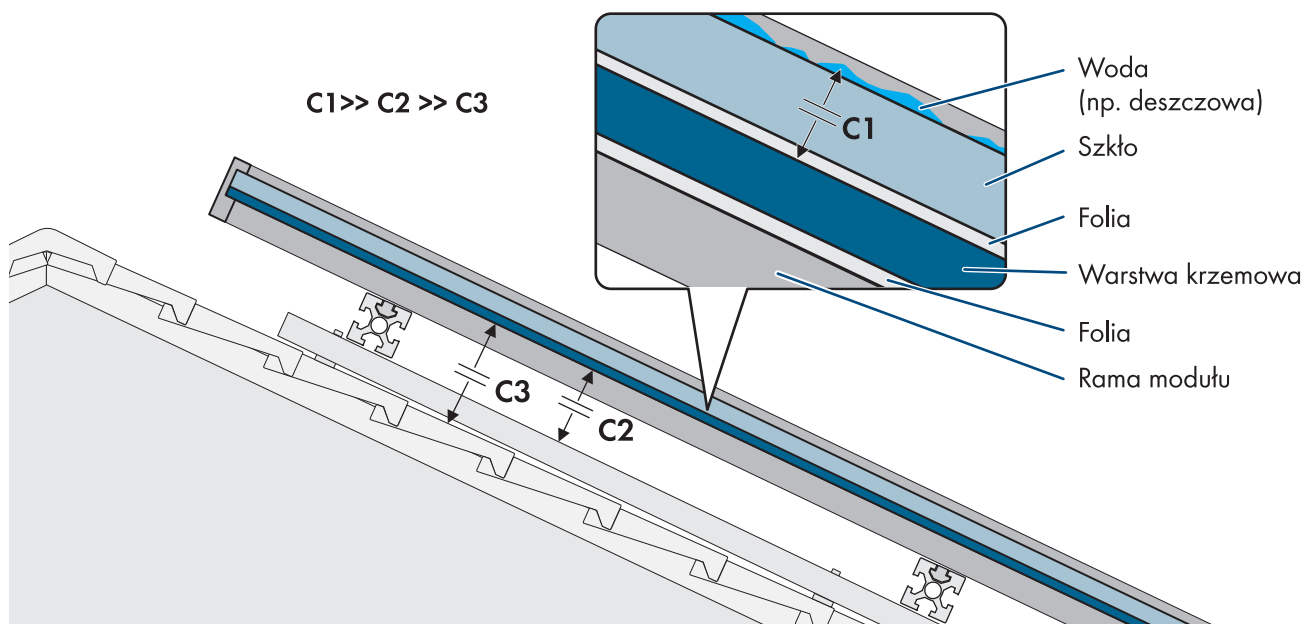


Wszystkie moduły fotowoltaiczne konstrukcyjnie mają określoną pojemność elektryczną względem ich otoczenia. Pojemność ta nie jest konieczna dla prawidłowego działania generatora fotowoltaicznego, lecz zasadniczo wynika z budowy mechanicznej modułów i sposobu ich montażu, wskutek czego jest też nazywana „pojemnością pasożytniczą”. W szczególności wzrasta ona tym bardziej im większe są powierzchnie przewodzące prąd wchodzące w skład generatora fotowoltaicznego. Duże pole fotowoltaiczne o dużej mocy ma z tego względu odpowiednio dużą pojemność pasożytniczą, która dodatkowo wzrasta, gdy powierzchnia modułów jest wilgotna (w wyniku deszczu lub rosy).

Efekt ten nie wpływa w żadnym wypadku na izolację modułów fotowoltaicznych, dzięki czemu ochrona osób jest w każdym momencie zapewniona. Pojemność pasożytnicza może mieć jednak wpływ na zachowanie inwerterów podczas pracy. Przy zastosowaniu inwerterów pozbawionych transformatora mogą występować tzw. prądy przesunięcia, które mogą wyzwać bezpieczniki różnicowe inwertera, a nawet przewodów zasilających. Prowadzi to najczęściej do tego, że inwerter na krótki czas odłącza się od publicznej sieci elektroenergetycznej, a następnie wznawia automatycznie tryb zasilania sieci. Inną możliwością to przerywanie zasilania sieci, dopóki znów nie zostanie ręcznie włączony wyłącznik różnicowoprądowy (RCD) przewodu zasilającego.

Takim przerwom w zasilaniu można zapobiec planując instalację w sposób staranny i fachowy. Dlatego poniżej objaśnione zostały warunki techniczne, które należy uwzględnić na etapie projektowania, jak również montażu i uruchomienia instalacji fotowoltaicznej. Te informacje techniczne są skierowane do dwóch grup czytelników: producentów wyżej wymienionych modułów fotowoltaicznych z prośbą o przekazanie tej informacji do klientów, a ponadto do instalatorów i projektantów instalacji.

1 W jaki sposób obliczyć pojemność generatora fotowoltaicznego do ziemi?



Ilustracja 1: Prezentacja modułu fotowoltaicznego na dachu i prezentacja schematyczna „pojemności pasożytniczych”

C1	Pojemność pasożytnicza związana z warstwą wody na szkłe
C2	Pojemność pasożytnicza związana z uziemionym stelażem
C3	Pojemność pasożytnicza związana z powierzchnią dachu

Moduł fotowoltaiczny tworzy powierzchnię przewodzącą elektrycznie, blisko której znajduje się uziemiony stelaż. Taki układ, który po przyłożeniu napięcia gromadzi ładunki, można nazwać kondensatorem, którego pojemność oznaczamy literą „C”. Ze względu na to, że pojemność ta jest niepożądanym efektem dodatkowym, mówimy tu o „pojemności pasożytniczej” C_{PE} , będącej sumą wszystkich indywidualnych pojemności:

$$C_{PE} = C1 + C2 + C3$$

Pojemność ta jest obliczana z następującego wzoru i zależy od czterech współczynników:

$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \cdot A/d$$

Znaczenie współczynników:

ϵ_0 : Przenikalność elektryczna próżni, stała naturalna ($8,85 \cdot 10^{-12}$ As/Vm)

ϵ_r : Przenikalność elektryczna względna, zależna od materiału ($\epsilon_{rPoW} = 1$;
 $\epsilon_{rSzkł} \approx 5-10$)

A: Czynna elektrycznie powierzchnia kondensatora

d: Odstęp między płytami kondensatora

Czym więc w naszym układzie będzie powierzchnia A i odległość d? Nie zawsze jest to proste do obliczenia, ponieważ obok parametrów modułu fotowoltaicznego należy tu uwzględnić również sposób montażu. Dlatego z reguły informacja ta nie jest podana w danych znamionowych. Na podstawie 2 przykładów przedstawimy poniżej, w jaki sposób można mimo to oszacować te wartości (dla wykorzystywanego gatunku szkła przyjmuje się $\epsilon_r = 6$).

Wzajemny stosunek pojemności pasożytniczych przedstawionych na ilustracji 1 podczas deszczu i w wilgotnych warunkach wygląda następująco:

$$C1 \gg C2 \gg C3$$

Wynika stąd, że przy deszczu oraz wilgoci całkowita pojemność C_{PE} jest zdominowana przez C_1 , wskutek czego C_2 i C_3 można pominąć podczas dalszych rozważań. Z kolei w suchych warunkach C_1 jest tak niska, że trzeba uwzględnić również inne pojemności pasożytnicze. Całkowita pojemność C_{PE} pozostaje jednak tak niska, że można pominąć jej wpływ na zachowanie instalacji fotowoltaicznej podczas pracy. Dlatego dalej będziemy rozpatrywać wielkość C_1 podczas deszczu lub w wilgotnych warunkach.

Przykłady szacowania pojemności pasożytniczej C_{PE} w różnych typach modułów, przyjmując zwilżenie wodą całej powierzchni szkła

Przykład 1: Popularny typ modułu z ogniwami zawierającymi kryształki krzemu (monokrystaliczne, polikrystaliczne)

- Typowa sprawność: od 15% do 20%
 - Grubość szkła: od 3 mm do 4 mm
 - Na każdy m^2 powierzchni modułu przypada pojemność od 12 nF do 17 nF
 - Na każdy kW zainstalowanej mocy DC instalacji przypada pojemność od 60 nF do 110 nF
 - Dla instalacji 5 kW można więc przyjąć na tej podstawie wartość C_{PE} od 330 nF do 550 nF
-

Przykład 2: Moduł cienkowarstwowy, np. CdTe

- Typowa sprawność: od 10% do 15%
 - Grubość szkła: 3,2 mm
 - Na każdy m^2 powierzchni modułu przypada pojemność 16 nF
 - Na każdy kW zainstalowanej mocy DC instalacji przypada pojemność od 100 nF do 160 nF
 - Dla instalacji 5 kW można więc przyjąć na tej podstawie wartość C_{PE} od 500 nF do 800 nF
-

2 Jak powstaje pojemnościowy prąd upływowy?

Podczas pracy moduł fotowoltaiczny jest połączony z siecią prądu przemiennego za pomocą inwertera. Zależnie od typu urządzenia część amplitudy prądu przemiennego przechodzi na moduł fotowoltaiczny. Prowadzi to do sytuacji, w której cały moduł fotowoltaiczny drga względem otoczenia z częstotliwością prądu przemiennego. Tutaj należy rozróżnić dwa przypadki:

W niemal wszystkich inwerterach beztransformatorowych **1-fazowych** ze względów konstrukcyjnych połowa amplitudy sieci jest przekazywana dalej do modułu fotowoltaicznego. W wielu europejskich publicznych sieciach elektroenergetycznych o parametrach 230 V/50 Hz układ ten drga z częstotliwością np. 115 V/50 Hz.

W **3-fazowych** falownikach beztransformatorowych drgania ze względów systemowych mają o wiele niższą amplitudę i generują niższe prądy upływowe. Przekazywanie napięcia AC do modułu PV jest w znacznym stopniu słumione.

Wahania napięcia stale zmieniają stan naładowania kondensatora pasożytniczego opisanego w poprzednim rozdziale. Jest z tym związany prąd przesunięcia, który jest proporcjonalny do pojemności oraz amplitudy przyłożonego do niego napięcia. Obwód elektryczny tego prądu przesunięcia zostaje zamknięty dopiero poprzez uziemienie modułów fotowoltaicznych oraz połączenie z szyną wyrównania potencjałów przyłącza domowego. Dlatego ten prąd jest też nazywany (pojemnościowym) prądem upływowym.

Dla ekspertów: wartość (rzeczywistą) prądu przesunięcia I można opisać w sposób fizyczny w następujący sposób:

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = C \cdot \frac{\Delta U}{\Delta t} = C \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot U$$

Przy tym $f = 50$ Hz to częstotliwość publicznej sieci elektroenergetycznej, a U to wartość rzeczywista zmiennego napięcia w przypadku generatorów fotowoltaicznych (115 V w przypadku 1-fazowych inwerterów beztransformatorowych). Ten prąd upływowy jest prądem biernym, którego faza jest przesunięta o 90° względem napięcia sieciowego. W pierwszym przybliżeniu jest on bezstratny.

3 W jaki sposób prąd upływowy ma wpływ na wykrywanie prądu uszkodzeniowego?

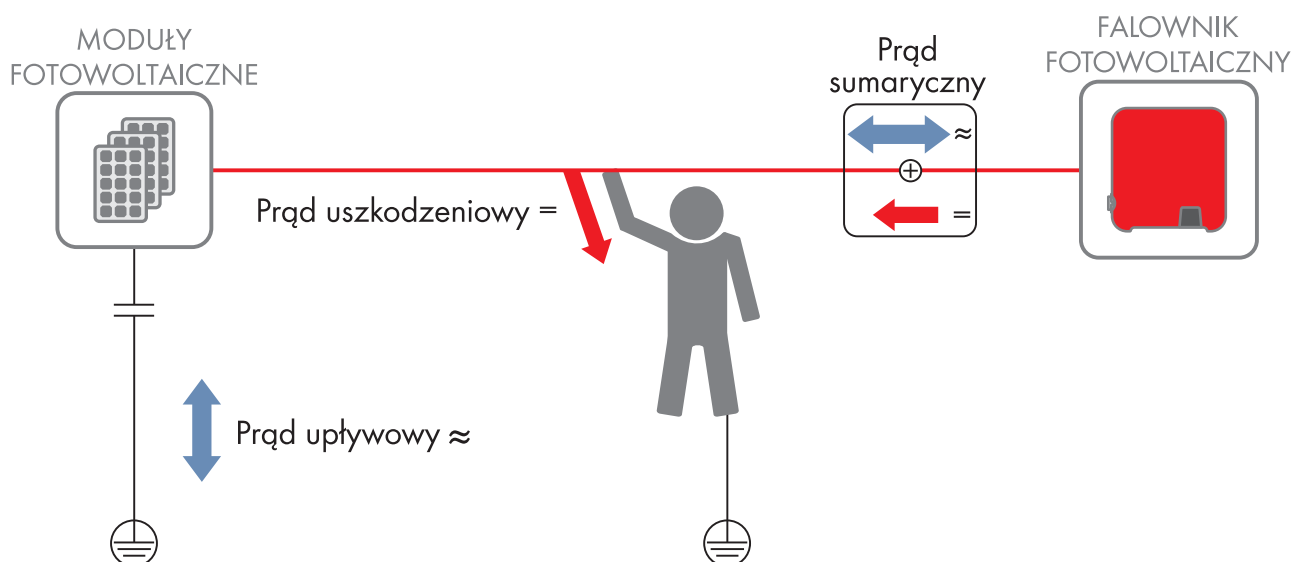
Pojemnościowy prąd upływowy opisany w punkcie 2 jest prądem biernym (bezstratnym).

Jeżeli z kolei w wyniku usterki, np. uszkodzenia izolacji, nastąpi kontakt przewodu pod napięciem z osobą uziemioną (patrz rys. 3), powstaje dodatkowy prąd płynący do ziemi. Ten niepożądany prąd powoduje straty i jest nazywany prądem uszkodzeniowym. Suma obydwu prądów (prąd upływowy i prąd uszkodzeniowy) to prąd różnicowy.

$$\text{Prąd różnicowy} = \text{prąd upływowy} + \text{prąd uszkodzeniowy}$$

Prądy uszkodzeniowe AC przekraczające 30 mA mogą stwarzać śmiertelne zagrożenie dla człowieka.

Aby zapewnić dodatkową ochronę osób (poza ochroną zapewnianą przez stopień ochrony), inwertery muszą odłączać się od publicznej sieci elektroenergetycznej najpóźniej przy wzroście prądu uszkodzeniowego do 30 mA (IEC 62109-2). Dlatego w trybie zasilania sieci prąd różnicowy (prąd upływowy+prąd uszkodzeniowy) jest mierzony przez urządzenie monitorujące prąd uszkodzeniowy wrażliwe na wszystkie rodzaje prądu (Residual Current Monitoring Unit). Z tej wartości pomiarowej obliczany jest prąd uszkodzeniowy. Przy dużym prądzie upływowym nie zawsze możliwe jest dokładne obliczenie prądu uszkodzeniowego. Wynikające stąd błędy w obliczeniach mogą prowadzić do niepożądanego wyłączenia inwertera.



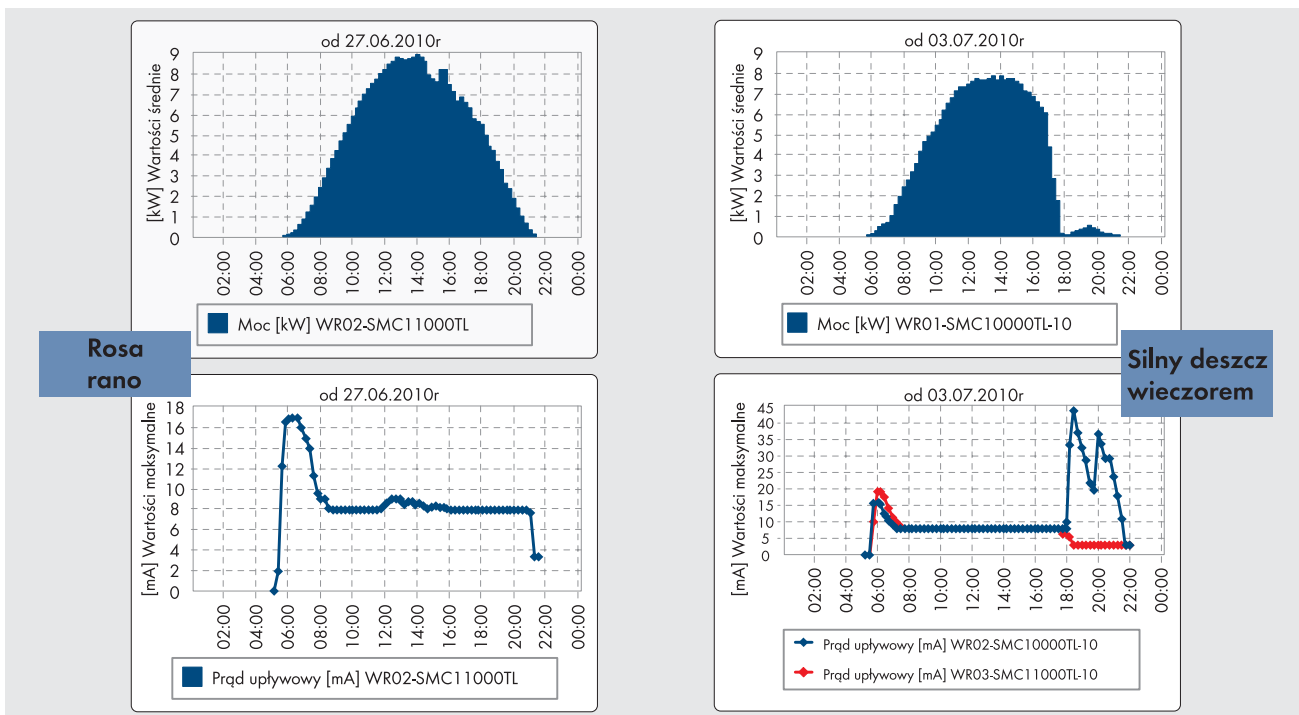
Ilustracja 2: Powstanie prądu uszkodzeniowego wskutek kontaktu osoby uziemionej z przewodem pod napięciem

4 Od którego momentu zjawisko to staje się problemem?

Pojemność graniczna

Zgodnie z wcześniejszym opisem, aby zapobiec błędnemu wyzwaniu układu monitorowania prądu upływowego w generatorze fotowoltaicznym należy zapobiec powstawaniu wysokich prądów upływowych. Ponieważ prąd upływowy zależy bezpośrednio od pojemności modułu fotowoltaicznego do ziemi, dla każdego napięcia przemiennego względem potencjału ziemi można podać odpowiednią pojemność graniczną, od której należy się liczyć z wystąpieniem szkodliwych zakłóceń. Pojemność graniczna inwertera jest podana w jego instrukcji.

Szeroko zakrojone badania w warunkach polowych pokazały, że w większości modułów z podwójną warstwą szklaną podana pojemność graniczna to wartość szczytowa, która jest osiągnięta tylko w warunkach bardzo silnej ulewy. Również podczas pokrycia rosą wartości te są podwyższone, jednak w momencie najwyższego uzysku (naśonecznienie) spadają one do bardzo niskiego poziomu. Na poniższej ilustracji przedstawiono reakcję prądu upływowego generatora fotowoltaicznego na tego rodzaju zdarzenia.



Ilustracja 3: Przebieg prądu upływowego jako reakcja na zmiany pojemności pasożytnej generatora w przypadku modułów z podwójną warstwą szklaną przy rosie i silnym deszczu

5 Lista kontrolna

Każdą instalację fotowoltaiczną należy sprawdzić już na etapie projektowania pod kątem wymogów podanych w poprzednich rozdziałach. Dodatkowo zalecamy przeprowadzenie następujących kontroli:

Krok 1

Rozpatrywany moduł fotowoltaiczny ma bardzo wysoką pojemność do ziemi C_{PE} uwarunkowaną konstrukcyjnie (laminat, zintegrowany spód metalowy) lub należy zapobiec w sposób niezawodny przerywaniu zasilania podczas deszczu/rosy. Ustal krytyczną pojemność do ziemi:

1. Oblicz całkowitą powierzchnię modułów fotowoltaicznych podłączonych do inwertera.
2. Oblicz najmniejszy odstęp ogniw fotowoltaicznych od powierzchni przewodzącej prąd.
Powierzchnia przewodząca może ewentualnie przewodzić prąd tylko tymczasowo (np. podczas deszczu lub rosy). Dla odstępu decydujące znaczenie w przypadku deszczu może mieć grubość warstwy wierzchniej, a podczas porannej rosy grubość izolacji na spodzie paneli.
3. Wstaw wartości powierzchni modułów i odstępu do wzoru (patrz rozdział 1 „W jaki sposób obliczyć pojemność generatora fotowoltaicznego do ziemi?”, strona 2) i oblicz pojemność.

Krok 2

Jeżeli pojemność do ziemi dojdzie do krytycznego poziomu (patrz instrukcja inwertera), należy sprawdzić działania pozwalające zapobiec przerwom w zasilaniu sieci:

- Zastosowanie zewnętrznego wyłącznika różnicowoprądowego (RCD) o wyższym znamionowym prądzie upływowym wyzwalania
- Zastosowanie inwertera o wyższej pojemności granicznej (dane zgodne z informacjami w instrukcji)
- Podział generatora fotowoltaicznego na mniejsze generatory częściowe i wykorzystanie dodatkowych inwerterów

Krok 3

Skonsultuj się z producentem modułu fotowoltaicznego. Czy znane są jakieś informacje dotyczące pojemności pasożytniczej?

W razie wątpliwości zalecamy włączenie producenta modułu fotowoltaicznego w proces projektowania. Dotyczy to w szczególności sytuacji, gdy nie dysponujemy własnymi doświadczeniami dotyczącymi kombinacji określonego typu modułu fotowoltaicznego z określonym inwerterem beztransformatorowym.

Kontakt

www.SMA-Solar.com