

Bezpieczniki prądu stałego – urządzenia fotowoltaiczne PV

Roman Kłopotcki

Artykuł przedstawia niektóre aspekty działania bezpieczników topikowych w obwodach prądu stałego. Zaprezentowano także kilka przykładów stosowania bezpieczników firmy ETI w systemach fotonapięciowych hiszpańskiej firmy Telergon, podłączonych do publicznej sieci energetycznej.

Bezpiecznik topikowy jest jedynym aparatem spośród zabezpieczeń nadprądowych włączonych w obwód prądowy, który jest przeznaczony do „zniszczenia”. Bezpieczniki są skonstruowane tak, że przerywają obwód elektryczny, kiedy pojawi się w nim nadmierny prąd elektryczny. Przerwanie obwodu zapobiega dalszym uszkodzeniom innych jego elementów, które by nastąpiły, gdyby nie włączony aparat zabezpieczający – w tym przypadku bezpiecznik.

Jak wspomniano bezpiecznik jest w pewien sposób „przeznaczony na straty”, ponieważ po zadziałaniu jest uszkodzony – przepalony i trzeba go wymienić (po usunięciu przyczyny, która go przepaliła) na nowy. Prawidłowo dobrana wkładka topikowa może więc zapobiec pożarowi lub innym zniszczeniom, kiedy np. po odkręceniu się śruby zaciskowej w nieprzewidziany sposób poluzują się przyłączone na zaciskach przewody, kiedy odłączony przewód w rozdzielniczy niespodziewanie dotknie uziemionego zacisku i dojdzie do zwarcia, lub kiedy nastąpi zniszczenie izolacji i pojawi się zagrożenie porażeniem.

W przypadku długotrwałego przeciążenia lub jakiegokolwiek zdarzenia powodu-

jącego zwarcie, element topikowy wewnątrz bezpiecznika przepali się. Kiedy przyłączony do bezpiecznika kabel jest prawidłowo dobrany (jego obciążalność prądowa powinna być większa od prądu znamionowego bezpiecznika), bezpiecznik prawidłowo zadziała – przepali się, przerwie obwód i zapobiegnie zniszczeniu izolacji i powstaniu innych szkód.

Bezpieczniki AC i DC

Bezpieczniki przeznaczone do pracy w obwodach prądu AC i DC nie są jedna-

kowe. Ich elementy topikowe różnią się między sobą. Porównując zdolność wyłączenia prądów przemiennych lub stałych należy wiedzieć, że przy prądzie przemiennym AC w bezpieczniku wartość prądu ponad dziesięć razy w ciągu jednej sekundy osiąga wartość zerową i w tym punkcie możliwość przerywania (zgaszenia) łuku elektrycznego jest ułatwiona. Zupełnie inaczej przebiega przerywanie prądu stałego, które jest nieporównywalnie trudniejsze. Przyczyna tego leży w fakcie, że prąd płynie tylko w jednym kierunku i nigdy nie osiąga wartości zerowej sprzyjającej zgaszeniu łuku elektrycznego.

Element topikowy w bezpiecznikach DC powinien być zaprojektowany tak, żeby z zapasem „mocy” mógł wyłączyć zbyt duży prąd w obwodzie i w jak najkrótszym czasie zgasić łuk elektryczny, który w tym czasie się pojawi. Bezpieczniki DC są więc bardziej skomplikowanymi aparatami zabezpieczającymi, które zawierają dużo wzajemnych, zgodnych właściwości z bezpiecznikami standardowymi na prąd AC. Z tego powodu zwykle cena bezpieczników

Tabela 1. Standardowe testy dla bezpieczników mocy WT-NH dla prądu stałego DC

Próba wg 8.5.5.2					
	nr 1	nr 2	nr 3	nr 4	nr 5
Średnia wartość napięcia powrotnego *	115,5 % napięcia znamionowego **				
Spodziewany prąd probierczy	I_1	I_2	$I_3 = 3,2 I_1$	$I_4 = 2,0 I_1$	$I_5 = 1,25 I_1$
Odchyłka wartości prądu	+10 -0 % **	nie dotyczy	± 20 %	+20 -0 %	
Stała czasowa **	15 ms do 20 ms				

* Odchyłka uwzględnia tętnienie.
** Wartość ta może być przekroczona za zgodą wytwórcy.
 I_1 : prąd, przy którym wyznacza się znamionową zdolność wyłączenia (patrz 5.7).
 I_2 : prąd, który należy dobrać tak, aby próba była przeprowadzona w warunkach zbliżonych do takich, które dają największą energię łuku.
UWAGA – Warunek ten może być uznany za spełniony, jeżeli prąd w chwili zapłonu łuku osiągnął wartość między 0,5 a 0,8 prądu spodziewanego.
 I_3, I_4, I_5 : próby wykonane tymi prądami probierczymi uważa się za sprawdzenie, że bezpiecznik działa poprawnie w zakresie małych prądów przeciążeniowych.
 I_1 : prąd probierczy górny (patrz 8.4.3.1) dla czasu umownego wg tablicy 2.

Parametry bezpieczników

Bezpieczniki dzielą się ze względu na różne parametry elektryczne, takie jak prąd znamionowy, napięcie znamionowe, znamionowa zdolność wyłączenia. Innym kryterium podziału jest ich zastosowanie: do obwodów prądu przemiennego AC lub prądu stałego DC. Podstawowe parametry bezpieczników to:

- znamionowy prąd bezpiecznika – wartość prądu, który może płynąć przez bezpiecznik nieskończenie długo bez jego przepalenia,
- znamionowe napięcie bezpiecznika – wartość napięcia panującego na bezpieczniku, przy którym, w przypadku jego zadziałania, łuk elektryczny wewnątrz bezpiecznika zostanie dostatecznie szybko ugaszony bez wpływu na otoczenie bezpiecznika, a obwód prądowy zostanie przerwany,
- znamionowa zdolność zwarciova bezpiecznika – maksymalna wartość prądu zwarciowego, który bezpiecznik jest w stanie wyłączyć bez wpływu na jego otoczenie i bez ponownego zapłonu łuku elektrycznego.

Tabela 2. Standardowe testy dla bezpieczników mocy WT-NH dla prądu przemiennego AC

		Próba wg 8.5.5.1				
		nr 1	nr 2	nr 3	nr 4	nr 5
Napięcie powrotne o częstotliwości sieci		110 ⁺⁵ ₋₀ % napięcia znamionowego *				
Spodziewany prąd probierczy	wkładek topikowych „g”	I_1	I_2	$I_3 = 3,2 I_1$	$I_4 = 2,0 I_1$	$I_5 = 1,25 I_1$
	wkładek topikowych „a”			$I_3 = 2,5 k_{21} I_1$	$I_4 = 1,6 k_{21} I_1$	$I_5 = k_{21} I_1$
Odchyłka wartości prądu		+10% -0%	nie dotyczy	± 20 %		
Współczynnik mocy		0,2÷0,3 przy prądach spodziewanych do 20 kA włącznie 0,1÷0,2 przy prądach spodziewanych powyżej 20 kA	ten sam co w próbie nr 1	0,3 ÷ 0,5 **		
Kąt załączenia po przejściu napięcia przez zero		nie dotyczy	0 ⁺²⁰ -0°	nie wymaga się		
Chwile zaptynu łuku po przejściu napięcia przez zero ***		w jednej próbie: 40°÷65° w dwóch następujących próbach: 65°÷90°	nie dotyczy	nie dotyczy		

na prąd stały DC jest nieco wyższa od bezpieczników AC. Niektóre bezpieczniki są oznaczone zarówno AC jak i DC, z podanymi wartościami napięć znamionowych.

Niskonapięciowe bezpieczniki mocy (bezpieczniki przeznaczone głównie do zastosowań przemysłowych – norma PN-IEC 60269-2, Ed. 3, 11/2006) posiadają minimalną (według powyższej normy) dozwoloną zdolność zwarciovą 50 kA AC i 25 kA DC. Zdolność zwarciovą bezpieczników w obwodach prądu stałego z większą stałą czasową T (silniki prądu stałego dużej mocy) jest odpowiednio dopasowana – zmniejszana.

Istnieje również sytuacja odwrotna: w obwodach, gdzie nie jest oczekiwana duża indukcyjność (np. zasilacze akumulatorowe) można spodziewać się większej zdolności zwarcioviej. Przy zdolności zwarcioviej bezpiecznika dla prądu stałego DC należy zawsze brać pod uwagę stałą czasową dla rozpatrywanego obwodu.

Bardziej szczegółowe dane zwykle pochodzą od konstruktora bezpieczników lub otrzymuje się je w czasie laboratoryjnego testowania bezpieczników. Od konstruktora bezpieczników zależy, czy są one testowane tylko prądem AC (co jest popularne), czy również prądem stałym DC.



Rys. 1. Kolektory słoneczne



Rys. 2. Uszkodzona instalacja zasilająca kolektora

W tabelach 1 i 2 przedstawiono standardowe testy dla bezpieczników mocy WT-NH, oddzielnie dla prądu AC i DC. W tabeli 1 podano dodatkowe wymagania dla wartości stałej czasowej T obwodu prądu stałego, która w czasie testowania bezpieczników powinna mieć wartość pomiędzy 15 i 20 ms.

Stała czasowa obwodu

W praktyce w obwodzie prądu stałego DC aparaty zabezpieczające nadprądo-

we (wyłącznik, bezpiecznik) nie działają prawidłowo, jeżeli stała czasowa obwodu jest za wysoka – inaczej mówiąc, aparat nie może dokładnie zgasić łuku elektrycznego. Zbyt duże stałe czasowe obwodu są bardzo uciążliwe dla prawidłowego działania aparatów zabezpieczających. Trudności mogą pojawić się także przy napięciach, które są niższe od znamionowych i przy prądach zwarciovych mniejszych od znamionowej zdolności zwarciowej aparatu zabezpieczającego. Wraz z długością przyłączonych przewodów wzrasta re-



Rys. 3. Ogniwa polikrystaliczne – silikonowe

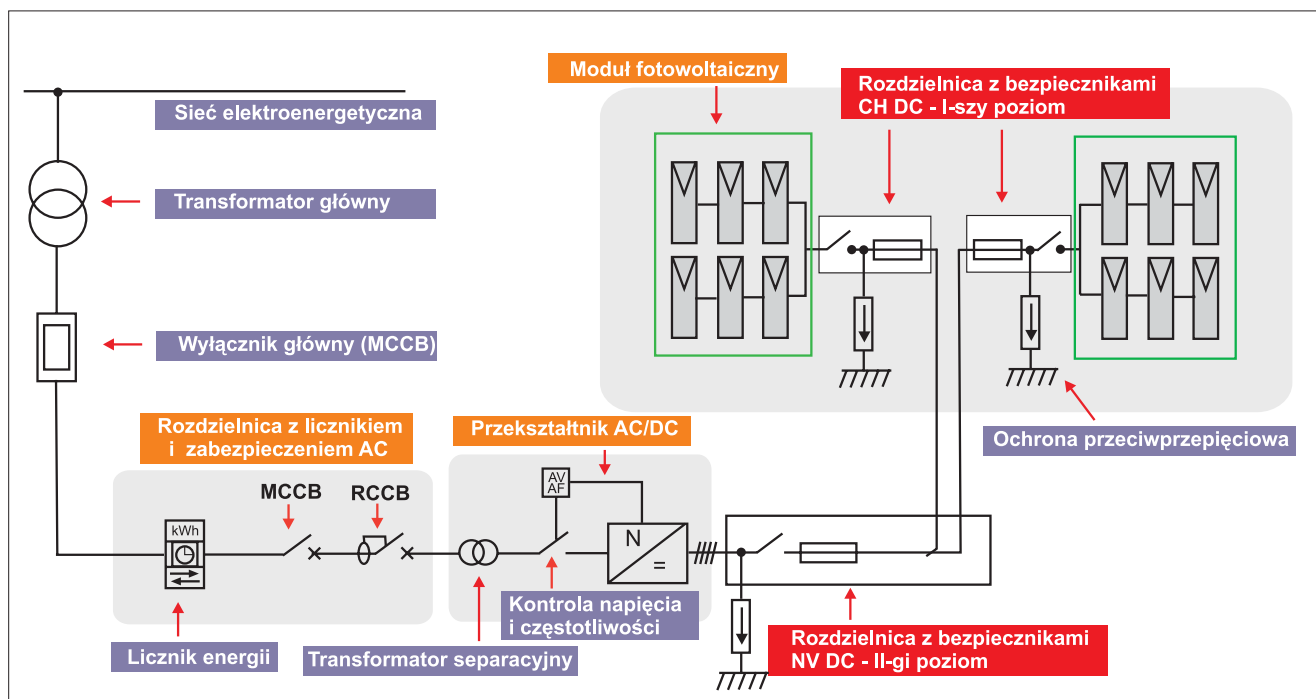
zystancja obwodu R, a z powiększaniem odległości pomiędzy równoległymi przewodami (przeciwnie bieguny) wzrasta indukcyjność L. Podobnie jest z pojemnością C, jednakże jej zmiana nie przebiega proporcjonalnie.

Wymienione trzy wielkości (rezystancja – R, indukcyjność – L, pojemność – C) definiują więc stałą czasową obwodu T, wyrażoną w jednostkach – ms (milisekundy).

Przy projektowaniu obwodów prądu stałego szczególną uwagę należy poświęcić sposobowi montażu wszystkich łączonych w obwód elementów.

Bezpieczniki DC w urządzeniach OZE

Sektor odnawialnych źródeł energii (OZE) jest obecnie jedną z najbardziej rozwijających się gałęzi energetyki. Szczególnie dotyczy to pozyskiwania energii elektrycznej z energii słonecznej – tzw. foto-



Rys. 4. Schemat instalacji systemu fotowoltaicznego PV



Rys. 5. Rozdzielnica z rozłącznikami PCF i bezpiecznikami CH PV

woltaiki. W dalszej części artykułu elementy systemów fotonapięciowych będą nazywane PV, (od terminu *PhotoVoltaic*): bezpieczniki PV, moduły PV, system PV itd. Elektryczny schemat standardowego systemu fotonapięciowego przyłączonego na stałe do sieci elektroenergetycznej pokazany jest na rys. 4.

Zastosowanie bezpieczników w systemach PV jest dość zróżnicowane, zależne przede wszystkim od przepisów i od praktyki technicznej w poszczególnych krajach. W USA, Kanadzie i Meksyku przy projektowaniu systemów PV w większości wykorzystuje się dokumenty – przepisy zawarte w publikacji pod tytułem „Fotowoltaiczne systemy mocy – Porady praktyczne”, wydane przez instytut NEC – Narodowe Przepisy Elektryczne (*National Electrical Code*). Praktyka tych krajów wymaga, aby we wszystkich systemach PV, które są przyłączone do publicznej sieci elektroenergetycznej były obowiązkowo stosowane odpowiednie bezpieczniki PV.

W Europie nie ma jednoznacznych regulacji. W Niemczech od stosowania specjalnych bezpieczników w systemach PV podchodzi się raczej sceptycznie. Z kolei np. w Hiszpanii i we Włoszech sytuacja jest zupełnie inna: po problemach i awariach, które pojawiły się w przeszłości (zniszczenie instalacji i rozdzielnic – rysunki 1 i 2), zdecydowano się obowiązkowo stosować bezpieczniki PV.

Działanie systemów fotowoltaicznych – instalacje PV firmy Telergon

Przy pozyskiwaniu energii elektrycznej z energii słonecznej używa się półprzewodników (monokrystalicznych lub poli-

A
M
A
L
K
E
R



Rys. 6. Rozłącznik PCF

krystalicznych) krzemowych ogniw słonecznych (przykład polikrystalicznych ogniw jest pokazany na rys. 3), które generują energię elektryczną, kiedy są oświetlane słońcem. Ogniwa słoneczne wielkości około 12,5 x 12,5 cm generują w przybliżeniu napięcie 0,6 V i największy prąd do 3,5 A.

Aby osiągnąć wyższe napięcia (w praktyce używane 400 V), ogniwa słoneczne łączone są szeregowo. Aby osiągnąć wyższe prądy należy połączyć je równolegle. Takie zestawy, nazywane modułami, są dostarczane przez producentów. Połączone elektrycznie ogniwa mogą osiągnąć powierzchnię od 1,5 do 2,5 m² – moduł PV tej wielkości generuje napięcie stałe DC od 30 do 60 V.

Na schemacie elektrycznym, według którego instalacje systemów PV buduje kooperant firmy ETI – hiszpańska firma Telergon (rys. 4) pokazano połączoną w zestaw większą ilość modułów, z których uzyskiwane jest napięcie wyjściowe od 500 do 700 V DC. Napięcie to nie jest przez cały czas jednakowe i nie jest tak duże w przypadku, kiedy promienie słoneczne nie dosięgają panela baterii PV.

Każdy moduł PV generuje także prąd wyjściowy w wysokości od 4 do 7 A, w zależności od typu. Moduły PV połączone równolegle generują prąd wyjściowy w granicach od 250 do 300 A. Prąd ten zasila przekształtnik, który jest urządzeniem energoelektronicznym, i przetwarza prąd stały DC w prąd przemienny AC (rys. 4). Następnie prąd przemienny AC płynie poprzez pozostałe elementy – transformator separacyjny, licznik energii elektrycznej i główny wyłącznik nadprądowy MCCB – do sieci elektroenergetycznej.

Do zabezpieczania systemów PV firma Telergon stosuje dwa poziomy ochrony złożone z bezpieczników topikowych.

Poziom I bezpieczników topikowych

Ten poziom zabezpieczeń używany jest szczególnie do wyłączania prądów zwarciovych DC w obszarze paneli PV – w bezpośredniej bliskości kolektorów słonecznych. Zbudowany jest ze specjalnie zaprojektowanych i zbadanych bezpieczników topikowych cylindrycznych (w dalszej części CH10 DC) umieszczonych w rozłączniku CH lub PCF 10 DC (rys. 6). Dostawcą tych elementów zabez-

pieczających jest firma ETI (rozdzielnica na rys. 5). Rozłączniki CH dla systemów PV, wkładki topikowe i rozłączniki PCF posiadają znamionowe napięcie 1000 V DC.

Pierwszy poziom umożliwia fizyczne i elektryczne odłączenie każdego pojedynczego panela. Istotne jest, że rozłączniki są zainstalowane zarówno w polu „+” (pozytywnym), jak i w polu „-” (negatywnym).

W przykładzie na rysunku 5 połączono siedem modułów w jeden panel, tak więc dla ich zabezpieczenia zwarciovego potrzeba 14 rozłączników PCF z odpowiednimi wkładkami topikowymi CH PV.

Poziom II bezpieczników topikowych

Poziom II bezpieczników topikowych jest zwykle umiejscowiony w pobliżu zacisków wejściowych przekształtnika i jest elektrycznie połączony z rozłącznikami pierwszego poziomu. Wkładki topikowe NV DC są zwykle przystosowane do prądu stałego na napięcie znamionowe DC 750 V i umieszczone w rozłączniku, który umożliwia bezpieczne i szybkie odłączenie przekształtnika od paneli PV i całego obwodu prądu stałego.

Na tym poziomie zwykle używa się wkładek NV DC na napięcie DC 440 V lub 750 V, które również znajdują się w programie produkcyjnym firmy ETI.

Przedstawione powyżej przykłady wykorzystania wkładek DC nie są jedynym zastosowaniem. Jednym z tematów najbliższych publikacji będzie także opis stanu normalizacji w zakresie bezpieczników na prąd stały DC i w modułach PV. Przytoczone zostaną również najczęściej popełniane błędy i ich następstwa przy projektowaniu systemów PV, instalacji i wyposażenia.

inż. Roman Kłopocki
Autor pracuje jako product manager
w firmie ETI Polam



KONTAKT

ETI-Polam Sp. z o.o.

06-100 Pułtusk
ul. Jana Pawła II 18
tel. (23) 691 93 00
fax (23) 692 32 12

e-mail: etipolam@etipolam.com.pl
www.etipolam.com.pl