



Wpływ sposobu przyłączenia ogranicznika przepięć na rzeczywisty poziom ochrony w instalacjach zasilających niskiego napięcia

Opracowanie:

dr inż. Tomasz Maksimowicz

RST Sp. z o.o.

15-620 BIAŁYSTOK
ul. Elewatorska 17/1

tel.: 792 350 100

www.rst.pl

e-mail: rst@rst.pl



Białystok, marzec 2021 r.

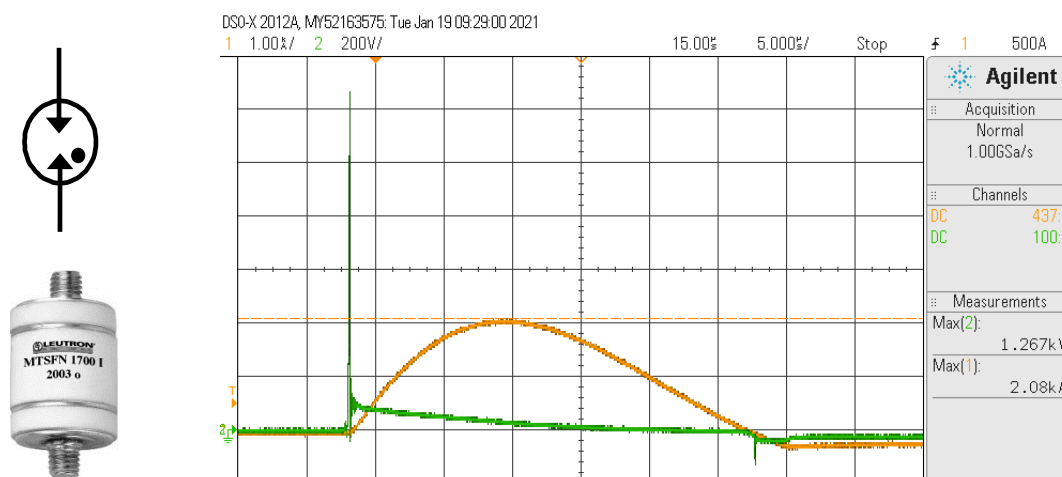
1. Wstęp

Podstawowym zadaniem ograniczników przepięć (SPD, ang. surge protecting device), jest zminimalizowanie różnicy potencjałów, jaka może wystąpić na skutek oddziaływania wyładowań atmosferycznych lub operacji łączeniowych w sieci. Wzrost potencjału w instalacji elektrycznej może prowadzić do przebicia izolacji wewnątrz urządzeń, powodując ich fizyczne uszkodzenie. Jednym z parametrów określających skuteczność SPD jest napięciowy poziom ochrony (U_p), który definiuje maksymalną wartość napięcia, jaka może wystąpić między zaciskami ogranicznika. Wartość napięcia widziana od strony chronionej instalacji w zależności od sposobu przyłączenia SPD może być jednak znacznie wyższa od deklarowanej przez producenta wartości U_p . W niniejszym artykule opisane zostaną czynniki wpływające na efektywny poziom ochrony instalacji niskiego napięcia, takie jak rodzaj SPD, długość przewodów przyłączeniowych, dobezpieczenie SPD oraz konfiguracja połączeń wyrównawczych. Wnioski zawarte w materiale stanowią weryfikację wytycznych norm na podstawie wyników doświadczalnych badań laboratoryjnych.

2. Elementy ograniczające i ucinające napięcie

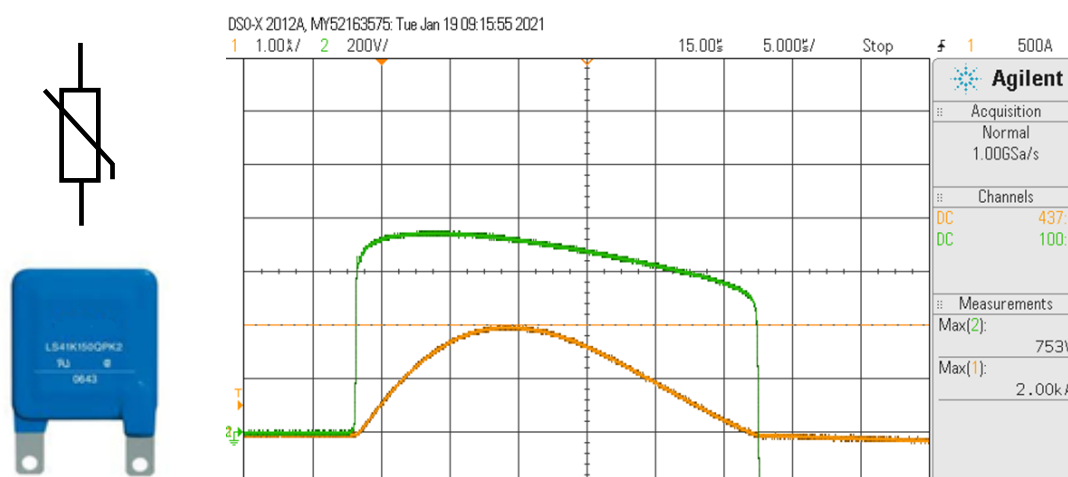
Rodzaj ogranicznika przepięć, a w zasadzie charakterystyka jego działania decyduje o tym, jak istotny wpływ ma sposób jego przyłączenia. Każdy ogranicznik składa się z co najmniej jednego elementu nieliniowego, który w przypadku wystąpienia zbyt wysokiej różnicy potencjałów między jego zaciskami zmienia swoją impedancję z bardzo dużej w bardzo małą. Podstawowa klasyfikacja wyróżnia elementy ucinające napięcie oraz elementy ograniczające napięcie.

Elementy ucinające napięcie to wszelkiego rodzaju iskierniki (odgromniki), czyli konstrukcje składające się z układu co najmniej dwóch elektrod, odizolowanych od siebie przerwą wypełnioną gazem. Elektrody mogą być wykonane jako przeciwstawne pręty, powierzchnie płaskie lub inne odpowiednio ukształtowane elementy przewodzące. Gaz, który wypełnia przestrzeń między elektrodami, może stanowić powietrze lub gaz szlachetny (odgromniki gazowe). Napięcie zadziałania elementów iskiernikowych zależy od kształtu elektrod, odstępu między nimi, gazu oraz kształtu impulsu napięciowego. W otwartych konstrukcjach iskierników napięcie zapłonu zależy także od ciśnienia powietrza i wilgotności. Elementy iskiernikowe cechują się przede wszystkim tym, że po zadziałaniu zmiana impedancji wewnętrznej następuje w sposób gwałtowny, powodując praktycznie zwarcie. Napięcie zapłonu zależy od stromości impulsu napięciowego i jest tym wyższe, im większa jest stromość (du/dt) udaru. Po zadziałaniu wartość napięcia na zaciskach iskiernika jest równa napięciu łuku międzyelektrodowego i wynosi typowo od kilkunastu do kilkudziesięciu woltów (rys. 1). Przepływ prądu następuje dopiero po zadziałaniu iskiernika – nie występuje zjawisko prądu upływu.



Rys. 1. Przykładowa charakterystyka zadziałania elementu ucinającego napięcie na przykładzie iskiernika (zielony – przebieg napięcia, pomarańczowy – przebieg prądu)

Elementy ograniczające napięcie to półprzewodniki, takie jak warystory i diody. W ogranicznikach przepięć do ochrony obwodów zasilania stosuje się najczęściej elementy warystorowe, diody stosowane są głównie w SPD do ochrony obwodów sygnałowych. Warystor zmienia swoją impedancję w sposób bardziej łagodny w zależności od wartości napięcia między jego elektrodami. W odróżnieniu od elementów ucinających napięcie, w warunkach normalnej pracy (przy napięciu znamionowym) przez elementy ograniczające napięcie przepływa tzw. prąd upływu o małej wartości (w instalacjach nn $\sim$ kilkunastu ÷ kilkudziesięciu μ A). W momencie zadziałania warystora, przy przepływie prądu udarowego na elemencie utrzymuje się napięcie o wartości zbliżonej do napięcia zadziałania – wartość maksymalna zależy nie od stromości udaru napięciowego a od wartości szczytowej prądu (rys. 2.).

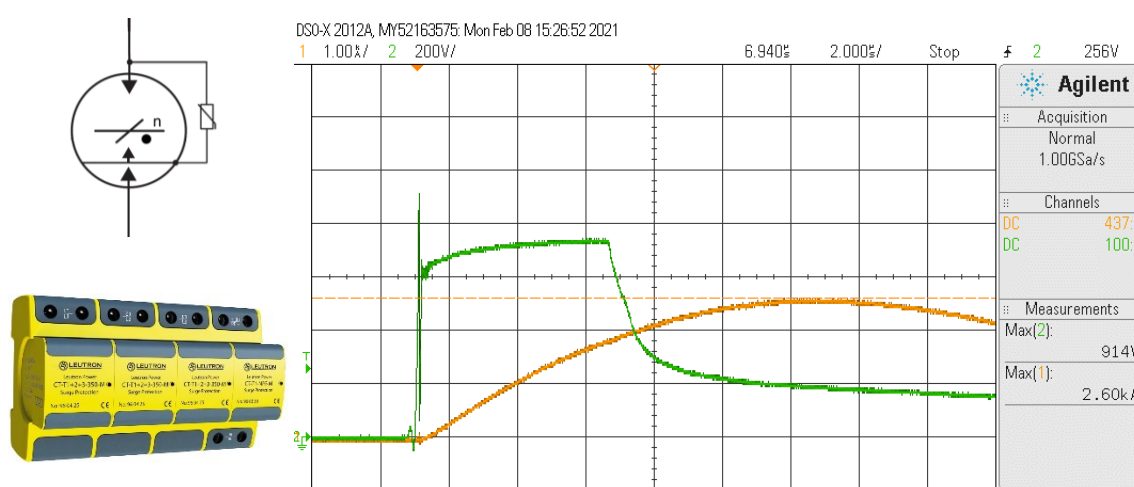


Rys. 2. Przykładowa charakterystyka zadziałania elementu ograniczającego napięcie na przykładzie warystora (zielony – przebieg napięcia, pomarańczowy – przebieg prądu)

Elementy iskiernikowe charakteryzują się wysoką odpornością na prądy udarowe (zarówno indukowane 8/20 μ s, jak i częściowe prądy pioruna I_{imp} np.: 10/350 μ s) oraz napięciem zadziałania zależnym od stromości zbocza impulsu napięciowego. Elementy warystorowe z kolei charakteryzują dobrą odpornością

jedynie na prądy indukowane ($8/20 \mu s$), ale za to poziom zadziałania nie jest zależny od stromości napięcia udaru. Istotną różnicą jest także poziom napięcia utrzymujący się na zaciskach ogranicznika w chwili jego zadziałania: bardzo mały na elementach iskiernikowych oraz równy napięciu zadziałania na elementach ograniczających napięcie.

Do budowy SPD wykorzystywane są bardzo często konfiguracje obu elementów jako połączenie szeregowe, równoległe lub mieszane (rys. 3.). Ograniczniki zawierające zarówno elementy ucinające napięcie, jak i ograniczające napięcie nazywane są ogranicznikami kombinowanymi lub typu kombinowanego [1]. Takie kombinacje elementów wykorzystywane są np.: dla uzyskania odpowiednio niskiego napięciowego poziomu ochrony (SPD typu 1) lub do wyeliminowania zjawiska prądu upływu (SPD typu 2).



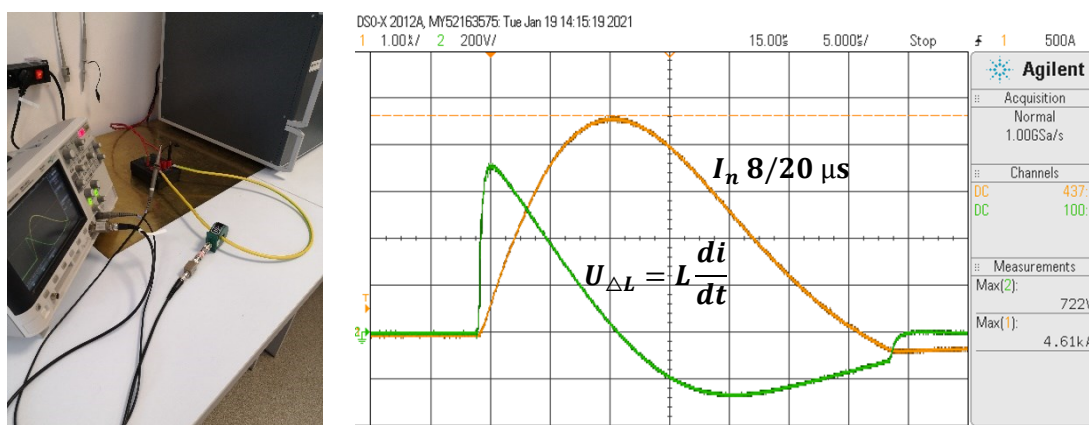
Rys. 3. Przykładowa charakterystyka zadziałania ogranicznika kombinowanego na przykładzie ogranicznika LEUTRON CT-T1+2+3/3+1-350-FM (zielony – przebieg napięcia, pomarańczowy – przebieg prądu)

3. Wpływ przewodów przyłączeniowych

Powszechnie przyjęto, że dla zapewnienia skutecznej ochrony przed przepięciami należy wykonać jak najkrótsze przewody przyłączeniowe do ogranicznika przepięć. Zarówno według norm dotyczących ochrony odgromowej [2], jak i instalacji elektrycznych nn [3], całkowita długość przewodów przyłączeniowych powinna być możliwie jak najkrótsza i nie powinna przekraczać 0,5 m. Jest to związane z dodatkowymi spadkami napięć na przewodach, jakie mogą wystąpić przy przepływie prądów odprowadzanych przez SPD.

Na rys. 4 przedstawiono przykładowy przebieg napięcia, zmierzony między końcami przewodu LgY 6 mm² o długości 1 m, przy przepływie prądu udarowego o kształcie $8/20 \mu s$. Jest to typowy przewód, który jest zalecany do uziemienia SPD typu 2 [2, 4]. Kształt przebiegu napięcia świadczy jednoznacznie, że wynika on z indukcyjności przewodu, a nie z jego rezystancji. Maksymalna wartość napięcia występuje na początku udaru prądowego, gdy jego zmiany (di/dt) są najbardziej

dynamiczne. Można zatem założyć, że przy takiej samej wartości szczytowej uderów prądowych o kształcie 8/20 μ s i 10/350 μ s maksymalna wartość napięcia na przewodzie będzie zbliżona. Zjawisko to dotyczy zatem zarówno prądów indukowanych, jak i prądów pioruna, a szczególnie groźne może być w przypadku częściowych prądów pioruna pierwszego i kolejnych uderów ujemnych, którym przypisuje się unormowane kształty 1/200 μ s i 0,25/100 μ s o znacznie większej stromości czoła impulsu [2].



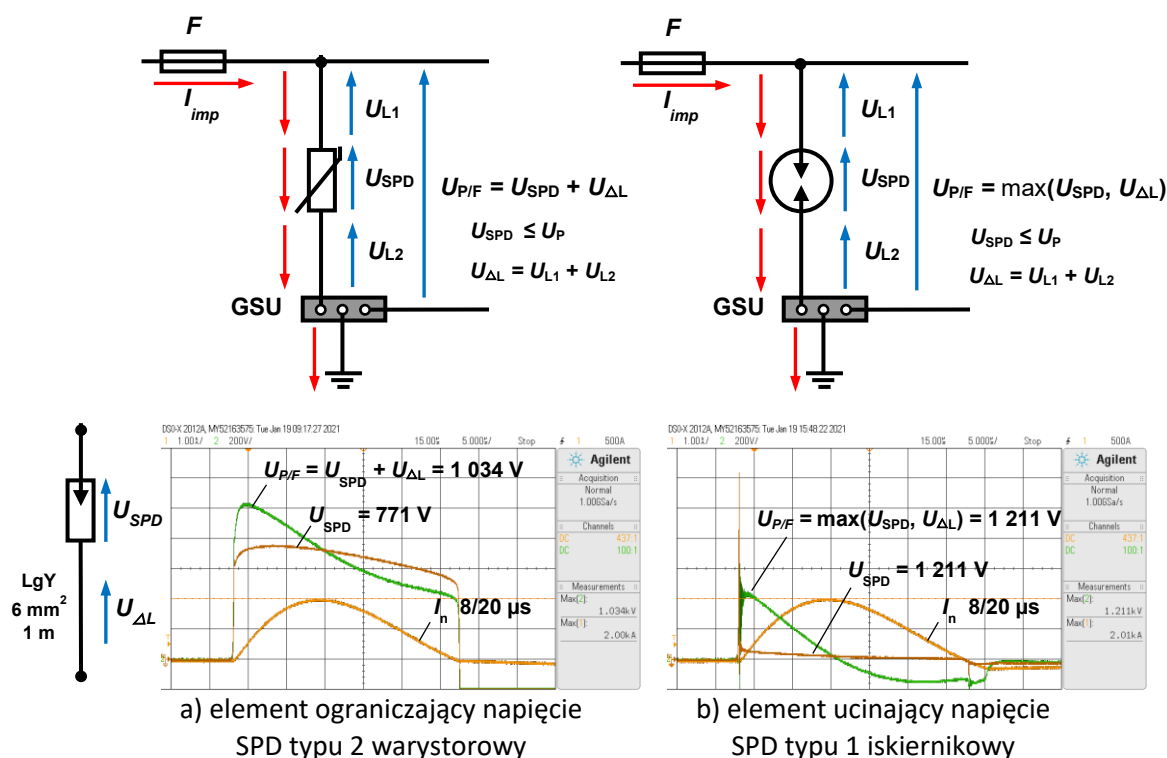
Rys. 4. Przebieg prądu uderowego (8/20 μ s) i napięcia na odcinku 1 m przewodu LgY 6 mm²

W tabelicy 1. przedstawiono wartości maksymalne napięć zmierzonych dla metrowych odcinków przewodów o różnym przekroju. Im większy przekrój, tym mniejszy spadek napięcia, co wynika z zależności indukcyjności od przekroju przewodu. Należy jednak zwrócić uwagę, że nawet w przypadku przewodu płaskiego, o przekroju 30×4 mm (120 mm²) przy uderze 4,5 kA 8/20 μ s spadek napięcia wynosi $U_{\Delta L} = 495$ V/m. Różnice między przewodami LgY 16 mm² i 6 mm², które stosowane są do uziemienia SPD odpowiednio typu 1 i typu 2, są nieznaczne. Otrzymane wartości szczytowe napięć, wynoszące od około 500 V do ponad 800 V, zmierzono przy przepływie prądów o wartości szczytowej 4,5 kA (8/20 μ s), zatem biorąc pod uwagę, że SPD typu 1 i typu 2 konstruowane są na prądy znamionowe o wartościach szczytowych 20 ÷ 25 kA, to w krytycznych sytuacjach można spodziewać się spadków napięć na przewodach przekraczających wartości 2,5 kV/m.

Tablica 1. Maksymalne wartości napięć zmierzone dla przewodów o długości 1 m i różnym przekroju

Przewód o długości 1 m	Maksymalna wartość napięcia $U_{\Delta L}$ przy prądzie		
	1 kA 8/20 μ s	2 kA 8/20 μ s	4,5 kA 8/20 μ s
LgY 1,5 mm ²	199 V	384 V	842 V
LgY 2,5 mm ²	175 V	336 V	762 V
LgY 4 mm ²	167 V	328 V	760 V
LgY 6 mm²	175 V	328 V	722 V
LgY 10 mm ²	161 V	306 V	692 V
LgY 16 mm²	150 V	294 V	664 V
LgY 25 mm ²	145 V	290 V	644 V
bednarka 30x4 mm	110 V	214 V	495 V

Problem związany z długościami przewodów przyłączeniowych jest często poruszany, ale zazwyczaj pomija się, jakie znaczenie ma w tej kwestii konstrukcja ogranicznika przepięć. Wpływ spadków napięć na przewodach jest bardziej znaczący w przypadku elementów ograniczających napięcie niż dla elementów iskiernikowych. Na rys. 5. przedstawiono zależności teoretyczne oraz rzeczywiste wyniki pomiarów wpływu długości przewodów dla SPD typu ograniczającego napięcie i SPD typu ucinającego napięcie. W przypadku SPD bazujących na warystorach, co dotyczy także ograniczników kombinowanych, maksymalna wartość napięcia w gałęzi ochronnej $U_{P/F}$ jest sumą spadku napięć na ograniczniku U_{SPD} oraz spadku napięć na przewodach przyłączeniowych $U_{\Delta L}$. Należy tu uwzględnić połączenie z przewodem fazowym (lub neutralnym), przewód uziemiający oraz jeżeli SPD wymaga dobezpieczenia – przewód łączący SPD z zabezpieczeniem nadprądowym (OCPD). W przypadku elementów iskiernikowych wartość $U_{P/F}$ jest z kolei, nie sumą, a większą z wartości U_{SPD} i $U_{\Delta L}$. Wynika to z faktu, że prąd udarowy przepływa przez SPD typu ucinającego napięcie dopiero po jego zadziałaniu, kiedy spadek napięcia na elemencie jest równy napięciu łuku międzyelektrodowego. W chwili zadziałania ogranicznika, gdy występuje maksymalna wartość napięcia U_{SPD} , spadki napięć na przewodach nie występują. W wielu przypadkach może wystąpić zatem sytuacja, w której długości przewodów nie będą wносиły dodatkowego zagrożenia, ponieważ napięcia $U_{\Delta L}$ będą mniejsze od napięcia zadziałania iskiernika.



Rys. 5. Wpływ spadków napięć na przewodach przyłączeniowych na rzeczywisty poziom ochrony

4. Dobezpieczenie SPD

Rzeczywista wartość napięcia w gałęzi ochronnej $U_{P/F}$ może być także zależna od spadku napięcia U_{OCPD} , jeżeli ogranicznik wymaga dobezpieczenia. W pierwszej kolejności należy jednak podkreślić, że w przypadku większości typowych instalacji elektrycznych, przy zastosowaniu profesjonalnych ograniczników przepięć, dobezpieczenie nie jest konieczne. Profesjonalne ograniczniki przepięć nie wymagają dobezpieczania, jeżeli prąd zabezpieczenia głównego instalacji jest nie większy niż 125 A lub nawet 250 A. Zastosowanie elementu OCPD szeregowo z SPD w gałęzi ochronnej ma dwa podstawowe zadania:

- ochrona SPD oraz
- ochrona przewodów przyłączeniowych

przed uszkodzeniem na skutek przepływu prądów roboczych z instalacji, które przepływają przez ogranicznik po jego zadziałaniu. Należy zdawać sobie sprawę, że SPD typu ucinającego napięcie oraz typu kombinowanego w momencie zadziałania mogą powodować zwarcie.

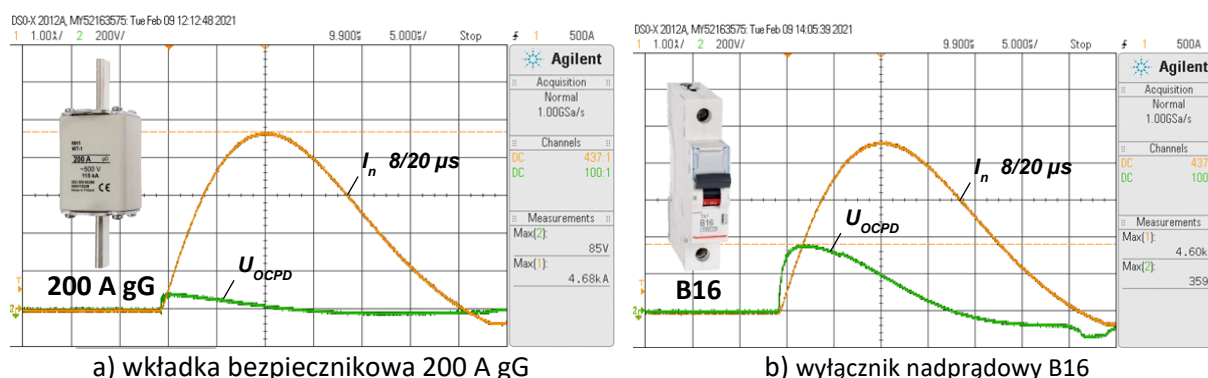
W tablicy 2 przedstawiono wyniki pomiarów spadków napięć na elementach OCPD różnego rodzaju. Przykładowe przebiegi napięcia przy przepływie prądu o kształcie $8/20 \mu\text{s}$ przedstawiono na rys. 6. Im wyższy prąd znamionowy OCPD, tym mniejsze napięcie U_{OCPD} wpływające na skuteczność ochrony instalacji. Kolejna kwestia to odporność zabezpieczeń na prądy udarowe. Wyłączniki nadprądowe (MCB) o małych prądach zadziałania charakteryzują się nie tylko wyższymi spadkami napięć, ale także znacznie mniejszą wytrzymałością udarową. Przepływ

prądu udarowego może powodować zadziałanie MCB lub jego fizyczne uszkodzenie (w krytycznych przypadkach eksplozję) powodując przerwę w obwodzie i pozbawienie instalacji dalszej ochrony. Producenci SPD zalecają najczęściej stosowanie wkładek bezpiecznikowych o charakterystyce gL/gG, które zapewniają mniejsze spadki napięć U_{OCPD} oraz charakteryzują się odpowiednią odpornością na prądy udarowe. Według wyników badań opisanych w literaturze [5, 6], wkładki bezpiecznikowe o charakterystyce gG i prądzie znamionowym 125 A zadziałają przy przepływie prądu udarowego o wartości około $I_{imp} = 12,1$ kA (10/350 μ s), natomiast wkładkom 250 A gG odpowiada prąd zadziałania $I_{imp} = 27,5$ kA. Nie należy zatem dobezpieczać ograniczników przepięć typu 1, o wytrzymałości $I_{imp} = 25$ kA, wkładkami o prądzie znamionowym mniejszym niż 250 A. Stosowane w starszych instalacjach wkładki topikowe, o charakterystyce gF, nawet pomimo małego prądu zadziałania zapewniają małe spadki napięcia, ale charakteryzują się najmniejszą odpornością na udary prądowe i mogą ulec uszkodzeniu już przy prądach indukowanych (8/20 μ s) o wartości kilku kA.

Tablica 2. Napięcia zmierzone dla różnych typów OCPD przy przepływie prądów indukowanych

Rodzaj zabezpieczenia nadprądowego	Maksymalna wartość napięcia ΔU przy prądzie		
	1 kA 8/20 μ s	2 kA 8/20 μ s	4,5 kA 8/20 μ s
200 A gG	21 V	37 V	85 V
B32	37 V	61 V	126 V
B16	53 V	93 V	190 V
B10	110 V	190 V	359 V
B6	110 V	198 V	375 V
C10	93 V	174 V	351 V
C2	1 332 V @0,58 kA	2 550 V @1,18 kA ✓	4 310 V @3,95 kA ✓
25 A gF	21 V	29 V	61 V
20 A gF	21 V	37 V	383 V ✗

✓ – zadziałanie zabezpieczenia nadmiarowo-prądowego
✗ – uszkodzenie wkładki bezpiecznikowej

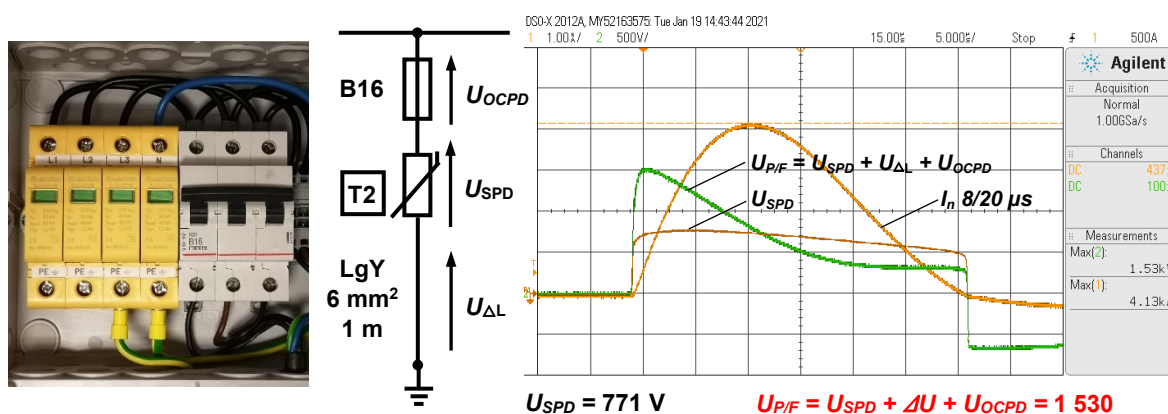


Rys. 6. Spadki napięć na elementach OCPD

Analizując otrzymane wyniki badania zabezpieczeń nadprądowych, należy zauważyć, że jeżeli stosowane są elementy OCPD o wyższych prądach zadziałania,

to spadki napięć U_{OCPD} są znacznie mniejsze w porównaniu do spadków napięć na przewodach przyłączeniowych $U_{\Delta L}$. Z punktu widzenia rodzaju SPD, wpływ napięcia U_{OCPD} jest analogiczny jak w przypadku spadków napięć na przewodach przyłączeniowych: przy SPD warytorowych lub typu kombinowanego U_{OCPD} jest dodawane do spadku napięcia na ograniczniku przepięć.

O niekorzystnym wpływie długości przewodów i doborze nieodpowiedniego zabezpieczenia (lub w przypadku nieuzasadnionego zabezpieczania SPD) jednoznacznie świadczy przykład przedstawiony na rys. 7. Przedstawiono tam porównanie spadku napięcia na ograniczniku przepięć (SPD typu 2, warystorowy) i całkowitego napięcia w gałęzi ochronnej z dodatkowym uwzględnieniem wyłącznika nadprądowego (B16) oraz przewodów o sumarycznej długości 1 m (LgY 6 mm²). Przykład ten pokazuje, że rzeczywisty poziom ochrony widziany od strony instalacji może być znacznie wyższy od napięcia na samym ograniczniku przepięć. Już przy prądzie udarowym 4 kA 8/20 μ s wartość $U_{P/F}$ dwukrotnie przekroczyła poziom ograniczania SPD.



Rys. 7. Porównanie całkowitego napięcia w gałęzi ochronnej $U_{P/F}$ w stosunku do napięcia na ograniczniku przepięć U_{SPD}

Jaki powinien być zatem prąd znamionowy zabezpieczenia? Odpowiedź jest jednoznaczna - największy z możliwych deklarowany przez producenta. Wynika to z kilku kwestii, jakie zapewnia stosowanie zabezpieczeń o większym prądzie znamionowym:

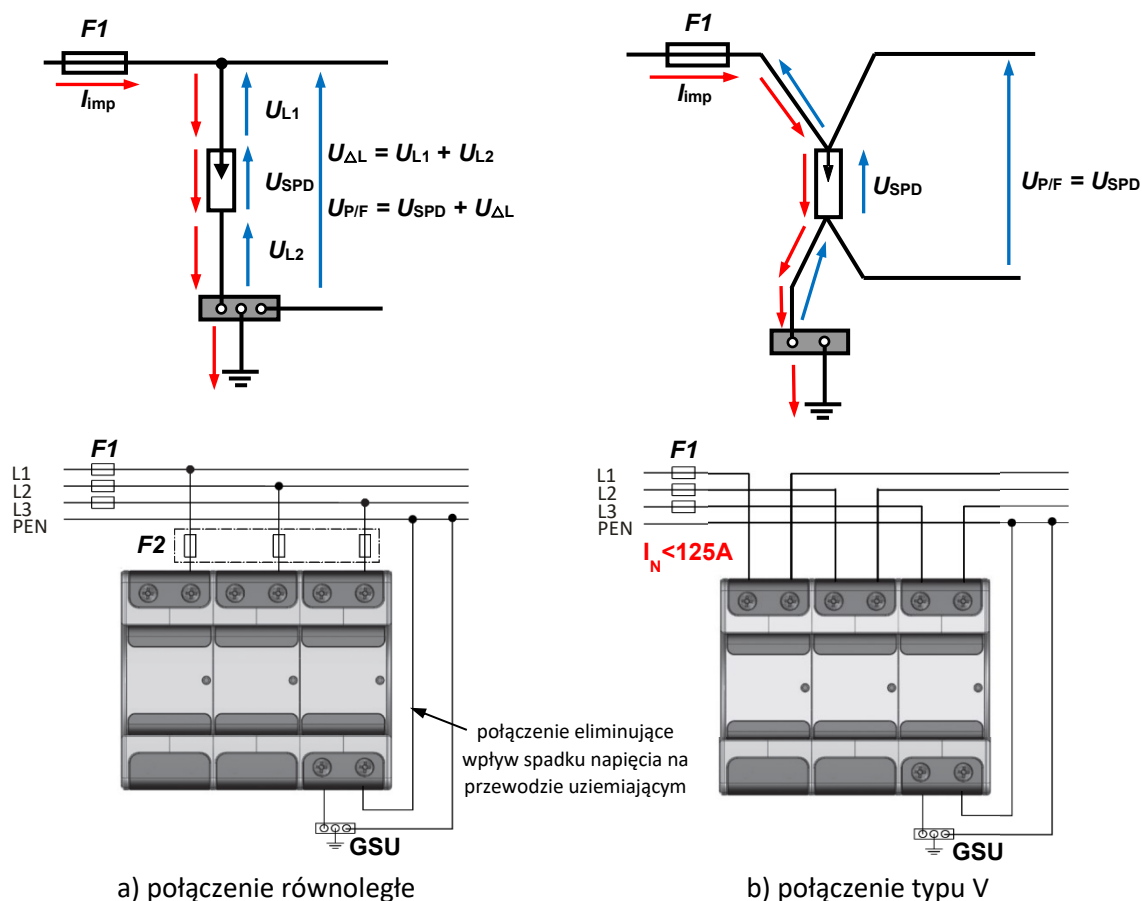
- większa wytrzymałość OCPD na prądy udarowe;
- mniejszy spadek napięcia U_{OCPD} przy przepływie prądu udarowego;
- mniejsza potencjalna liczba zadziałania OCPD, które w praktyce powoduje odłączenie gałęzi z SPD i pozostawienie instalacji bez dalszej ochrony.

Wpływu przewodów przyłączeniowych i OCPD nie zawsze da się wyeliminować. Taka sytuacja może wystąpić przykładowo w przypadku szafy rozdzielczej z mostem szynowym, gdzie konieczne jest zarówno zabezpieczenie SPD typu 1, jak i wykonanie dłuższych połączeń ze względu na rozmiary rozdzielnicy. W takich instalacjach konieczne jest zastosowanie dodatkowych SPD typu 2 w kolejnych punktach rozdziału energii. Ogranicznik typu 1, stanowiący pierwszy stopień ochrony będzie miał tu za zadanie wyłącznie odprowadzenie do uziemienia prądów udarowych, a do zapewnienia odpowiedniego napięciowego poziomu ochrony konieczne będzie stosowanie ograniczników typu 2 w rozdzielnicach lokalnych.

5. Połączenia wyrównawcze

Wyniki pomiarów przedstawione powyżej jednoznacznie świadczą, że długości przewodów mają bardzo duże znaczenie. W większości przypadków problem ten można jednak zminimalizować poprzez odpowiednie połączenia wyrównawcze.

Na rys. 8. przedstawiono dwa sposoby przyłączenia SPD typu 1. Najprostszą metodą eliminacji wpływu przewodów przyłączeniowych jest zastosowanie połączeń typu V.

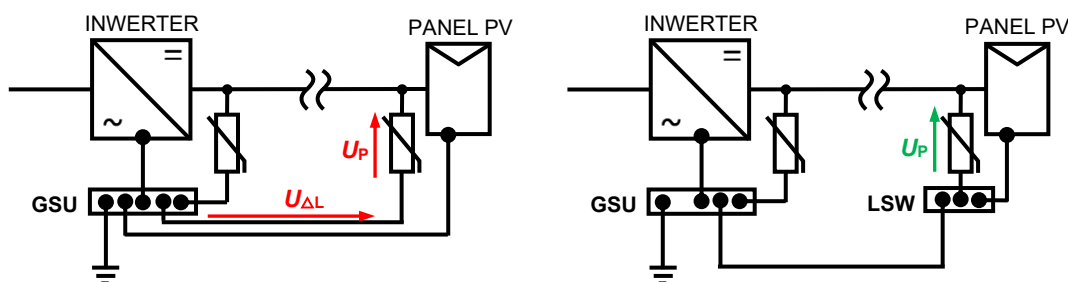


Rys. 8. Porównanie połączenia równoległego SPD oraz połączenia typu V na przykładzie ogranicznika typu 1 LEUTRON serii CT z podwójnymi zaciskami przyłączeniowymi

Jest to rodzaj przyłączenia mieszanego: z punktu widzenia schematu elektrycznego element ochronny włączany jest w chroniony obwód równoległe, fizyczne przyłączenie z zastosowaniem przewodów dochodzących i odchodzących jest z kolei połączeniem szeregowym. Połączenie typu V można wykonać niemal w każdym SPD typu 1 lub typu 2. Ograniczniki typu 1 iskiernikowe lub kombinowane o wytrzymałości $I_{imp} = 25 \text{ kA}$ (10/350 μs) posiadają zazwyczaj dwa osobne zaciski przyłączeniowe na każdy moduł ochronny (o szerokości 2TE). Jeżeli SPD nie ma osobnych zacisków umożliwiających wykonanie takiego połączenia (np.: SPD typu 2 o szerokości 1TE/moduł) to przyłączenie dwóch przewodów do jednego zacisku możliwe jest z zastosowaniem specjalnych końcówek. Dzięki połączeniu typu V, spadki napięć na przewodach przyłączeniowych, wywołane przepływem prądu udarowego, nie są „widoczne” od strony chronionej instalacji. Metoda ta posiada jednak ograniczenia prądowe wynikające z zacisków przyłączeniowych. W SPD

typu 1 z podwójnymi zaciskami najczęściej ograniczenie stanowi wartość 125 A prądu znamionowego chronionej instalacji. Ponadto połączenia typu V nie mogą być wykonane, gdy SPD wymaga dobezpieczenia, ponieważ to ograniczałoby tym samym natężenie prądu w całej instalacji za SPD.

Kolejnym sposobem ograniczenia wpływu długości przewodów jest stosowanie lokalnych szyn wyrównawczych (LSW). Ma to zastosowanie przede wszystkim do ochrony części instalacji oddalonych od rozdzielnic głównej lub rozdzielnic lokalnych jak, chociażby ochrona obwodów i urządzeń na dachu. Spadku napięcia na przewodach wyrównawczych i uziemiających nie da się uniknąć, ale poprzez odpowiednią konfigurację połączeń ich wpływ można wyeliminować. Ogranicznik przepięć ma za zadanie odprowadzenie energii przepięć i lokalne wyrównanie potencjałów. Jeżeli SPD jest stosowany na poddaszu lub określonym piętrze to nie należy wymagać, aby w miejscu jego instalacji potencjały były wyrównane względem uziemienia. Wykonanie lokalnych punktów wyrównawczych, do których przyłączane są zarówno ograniczniki przepięć, jak i urządzenia chronione, zapewnia skuteczną ochronę przed przebicciem izolacji bez względu na długość przewodu uziemiającego. Lokalną szynę wyrównawczą może stanowić zarówno płaskownik w rozdzielnicie lokalnej, jak i odpowiednia listwa zaciskowa.



Rys. 9. Eliminacja wpływu spadków napięć na przewodach uziemiających poprzez zastosowanie lokalnych połączeń wyrównawczych na przykładzie instalacji fotowoltaicznej

Połączenia wyrównawcze powinny być wykonane z zastosowaniem przewodów o przekrojach odpowiednich do spodziewanych zagrożeń. Przewód powinien wytrzymać możliwe skutki termiczne przepływu prądów zakłóceń – zarówno prądów udarowych (indukowanych lub częściowych prądów pioruna), jak i prądów zwarciovych. Należy jednak także uwzględnić odpowiednią wytrzymałość mechaniczną w zależności od lokalizacji – dotyczy to przede wszystkim połączeń zewnętrznych, elementów ruchomych lub połączeń wykonywanych w miejscach o dużym natężeniu ruchu. W tablicy 3. przywołano zalecane przekroje przewodów w zależności od ich zastosowania. Ogólnie można przyjąć, że dla połączeń, które mogą przewodzić znaczną część prądu pioruna, zaleca się stosowanie przewodu Cu o przekroju nie mniejszym niż 16 mm². Połączenia wyrównawcze oraz przeznaczone do przewodzenia prądów indukowanych powinny być wykonane przewodem 6 mm².

Tablica 3. Minimalne przekroje przewodów, połączeń wyrównawczych i uziemiających [2]

Zastosowanie	Przekrój przewodu Cu ¹⁾	
Szyny wyrównawcze	50 mm ²	
Przewody łączące szyny wyrównawcze z układem uziemiającym lub z innymi szynami wyrównawczymi (przewodzącymi całkowity prąd pioruna lub znaczną jego część)	16 mm ²	
Przewody łączące wewnętrzne metalowe instalacje z szynami wyrównawczymi (przewodzącymi częściowy prąd pioruna)	6 mm ²	
Przewody przyłączeniowe SPD ²⁾	typ 1	6 mm ²
	typ 2	2,5 mm ²
	typ 3	1 mm ²
Przewody uziemiające SPD	typ 1	16 mm ²
	typ 2	6 mm ²
	typ 3	1 mm ²
¹⁾ – mniejsze przekroje są dopuszczalne pod warunkiem odpowiedniej wytrzymałości termicznej i mechanicznej w zależności od spodziewanych wartości prądów zakłóceń (udarowych lub zwarciovych) i lokalizacji połączenia ²⁾ – wartości proponowane w projekcie roboczym IEC 62305-4 ed.3		

6. Wnioski

Przeprowadzone badania potwierdziły, że ze względu na możliwe spadki napięć na przewodach przyłączeniowych i urządzeniach ochronnych nadmiarowo-prądowych rzeczywisty poziom ochrony gałęzi z zainstalowanym ogranicznikiem przepięć może być znacznie większy niż napięciowy poziom ochrony deklarowany przez producenta.

Dobezpieczanie SPD powinno być stosowane wyłącznie, gdy jest to konieczne według zaleceń producenta. Jeżeli ogranicznik wymaga takiej ochrony, to należy stosować OCPD o maksymalnym dopuszczalnym prądzie i charakterystyce gL/gG.

Spadki napięć na przewodach przyłączeniowych i uziemiających mogą być porównywalne lub nawet większe niż napięciowy poziom ochrony SPD. Nawet zastosowanie przewodów o dużym przekroju nie eliminuje wpływu długości połączeń. Połączenia typu V i lokalne połączenia wyrównawcze powinny być stosowane, tam, gdzie to możliwe, do zwiększenia skuteczności ochrony przed przepięciami.

Wpływ dodatkowych spadków napięć w gałęzi ochronnej zależy od rodzaju ogranicznika przepięć i jest bardziej znaczący w przypadku ograniczników warystorowych oraz typu kombinowanego niż w przypadku ograniczników iskiernikowych.

W sytuacjach, w których wyeliminowanie niepożądanych spadków napięć jest niemożliwe, należy stosować dodatkowe SPD dla zapewnienia odpowiednio niskiego napięciowego poziomu ochrony urządzeń.

7. Literatura

- [1] PN-EN 61643-11:2013-06 - Niskonapięciowe urządzenia ograniczające przepięcia -
- Część 11: Urządzenia ograniczające przepięcia w sieciach elektroenergetycznych
niskiego napięcia -- Wymagania i metody badań
- [2] PN-EN 62305-4:2011 - Ochrona odgromowa -- Część 4: Urządzenia elektryczne i
elektroniczne w obiektach
- [3] PN-HD 60364-5-534:2016-04 - Instalacje elektryczne niskiego napięcia -- Część 5-
534: Dobór i montaż wyposażenia elektrycznego -- Odłączanie izolacyjne, łączenie
i sterowanie -- Urządzenia do ochrony przed przejściowymi przepięciami
- [4] IEC 61643-32:2017 Low-voltage surge protective devices - Part 32: Surge
protective devices connected to the d.c. side of photovoltaic installations - Selection
and application principles
- [5] Musiał E.: Dobrezpieczanie ograniczników przepięć. Biul. SEP INPE „Informacje o
normach i przepisach elektrycznych”, 2006, nr 76-77, s. 3-37
- [6] Raab V.: Blitz- und Überspannungsschutz-Maßnahmen in NS-Anlagen.
Elektropraktiker, 1996, nr 11, s. 944-950, nr 12, s. 1043-1046.