

Poznań, 27-28 listopada 2007 r.

WPŁYW WŁAŚCIWOŚCI OGRANICZNIKÓW PRZEPIĘĆ NA BEZPRZERWOWE ZASILANIA URZĄDZEŃ

Andrzej W. SOWA

Politechnika Białostocka, Wydział Elektryczny

Słowa kluczowe: wyładowanie piorunowe, zagrożenie przepięciowe, ograniczanie przepięć,

Streszczenie. Stworzenie warunków zapewniających pewne i niezawodne działanie urządzeń oraz systemów elektrycznych i elektronicznych wymaga zastosowania ograniczników przepięć wytrzymujących oddziaływanie różnorodnych napięć i prądów udarowych występujących w instalacji elektrycznej i ograniczających wartości udarów do poziomów wytrzymywanych przez instalację i chronione urządzenia. Dobierając urządzenia ograniczające przepięcia należy również zwrócić uwagę na możliwości ich oddziaływania na samą instalację oraz urządzenia w tej instalacji.

1. WPROWADZENIE

Poprawnie dobrane i zainstalowane układy urządzeń ograniczających przepięcia, które w dalszej części artykułu będą nazywane SPD (ang. Surge Protective Devices), powinny zapewnić ochronę instalacji elektrycznej oraz zasilanych urządzeń przed oddziaływaniem wszelkiego rodzaju napięć i prądów udarowych. Dotyczy to szczególnie udarów dochodzących do obiektu budowlanego z zewnętrznej sieci elektroenergetycznej oraz powstających w instalacji wewnątrz obiektu.

Podstawowym zadaniem układów SPD typu 1 jest ochrona instalacji elektrycznej i ewentualnie urządzeń w złączu przed bezpośrednim oddziaływaniem części prądu piorunowego (najczęściej stosowane SPD ograniczają przepięcia poniżej wytrzymałości udarowej kategorii IV).

Do bezpośredniej ochrony urządzeń wewnątrz obiektów budowlanych wykorzystywane są SPD typu 2 i 3. Taki, wielostopniowy system ograniczania przepięć jest optymalnym rozwiązaniem w obiektach, w których można odpowiednio rozmieścić układy SPD poszczególnych typów.

Poniżej omówione zostaną podstawowe właściwości ochronne, jakimi powinny się charakteryzować układy SPD różnych typów.

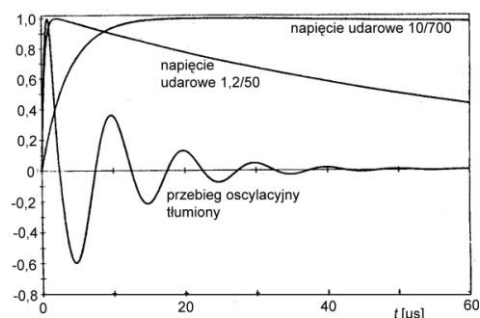
2. ODPORNOŚĆ UDAROWA PRZYŁĄCZY ZASILANIA URZĄDZEŃ

Zapewnienie pewnego i bezprzerwowego działania urządzeń wymaga doprowadzenia do takiego stanu, w którym wartości szczytowe napięć i prądów udarowych występujących w instalacji elektrycznej nie przekraczają poziomów odporności udarowej zasilanych urzą-

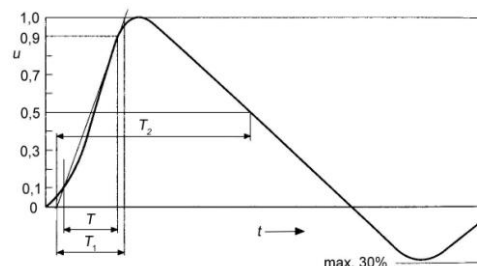
dzeń. Dodatkowo należy także porównać kształty występujących udarów z kształtami udarów stosowanych w badaniach odporności udarowej chronionych urządzeń.

Zawężając zakres rozważań tylko do udarów wywołanych przez wyładowania piorunowe oraz procesy łączeniowe należy uwzględnić wymagania dotyczące poziomów odporności przyłączy zasilania urządzeń na działanie udarów jednokierunkowych o mikrosekundowym charakterze zmian oraz tłumionych przebiegów oscylacyjnych (rys. 1.).

a)



b)



Rys. 1. Urazy stosowane do badań odporności przyłączy zasilania urządzeń; a) udary napięciowe, b) udar prądowy 8/20

Zestawienie wymaganych wartości poziomów odporności przyłączy zasilania typowych urządzeń na działanie uderzeń o kształcie 1,2/50-8/20 zestawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Wymagane poziomy odporności udarowej przyłączy wejściowych zasilania urządzeń prądem przemiennym

Badane urządzenia	Poziomy napięcie przy udarze 1,2/50-8/20
Urządzenia powszechnego użytku, narzędzia elektryczne, podobne urządzenia elektryczne (PN-EN 55014-2)	2000 V/1000 V
Urządzenie automatyki przemysłowej (NAMUR NE 21)	
Urządzenia informatyczne (PN-EN 55024)	
Bezprzewodowe systemy zasilania (PN-EN 50091-2)	
Urządzenia stosowane w kolejnictwie (PN-EN 50121-4)	
Medyczne urządzenia elektryczne (PN-EN 60601-1-2)	$\pm 2000 \text{ V} / \pm 1000 \text{ V}$
Sprzęt radiowy stacji bazowych oraz współpracujące wyposażenie dodatkowe bazowych (PN-ETS 300 342-2)	1000 V / 500 V
Urządzenia w ośrodkach telekomunikacyjnych (PN-ETSI EN 300 386)	
Urządzenia systemów alarmowych (PN-EN 50130-4)	500 V i 1000 V 500 V, 1000 V i 2000 V
Podano poziomy odporności pomiędzy przewodami: fazowym i neutralnym a przewodem ochronnym / przewodami fazowymi oraz między przewodami fazowymi a przewodem neutralnym.	

Informacje przedstawione w tabeli 1 wskazują, że zapewnienia bezpiecznego działania większości urządzeń wymaga ograniczenia przepięć dochodzących do ich przyłączy zasilania do poziomu poniżej wartości 2000V/ 1000 V. Dodatkowo należy zwrócić uwagę na fakt stosowania w czasie badań udaru 1,2/50-8/20 μs . Tylko w wyjątkowych przypadkach wymagane jest badanie przyłącza zasilania urządzeń uderzeniem 10/700 μs . Wykorzystanie uderzeń o takich kształtach powoduje, że przebiegi czasowe przepięć dochodzących do przyłączy zasilania, po zadziałaniu SPD typu 1, powinny nie odbiegać znacznie od stosowanych w czasie testów.

3. ZAGROŻENIE UDAROWE PRZYŁĄCZY ZASILANIA URZĄDZEŃ

Podstawowym zadaniem SPD typu 1 jest wyrównywanie potencjałów pomiędzy przewodami instalacji elektrycznej podczas bezpośredniego wyładowania piorunowego w urządzenie piorunochronne obiektu budowlanego. W takim przypadku prąd piorunowy sływa przewodami odprowadzającymi do uziomu i powoduje wzrost potencjału połączonej z uziomem szyny wyrównawczej i przewodu PEN (lub PE) instalacji elek-

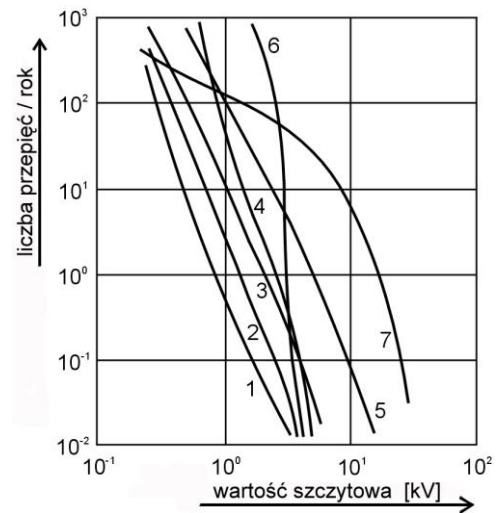
trycznej i część prądu piorunowego wypływa tym przewodem na zewnątrz obiektu budowlanego.

Wzrost potencjału szyny wyrównawczej powoduje zadziałanie SPD typu 1 i prąd piorunowy zaczyna wypływać również przewodami fazowymi. Zadziałanie SPD ogranicza do dopuszczalnych wartości różnice potencjałów pomiędzy przewodem PEN lub PE a przewodami fazowymi i neutralnym, jeśli taki występuje.

W najbardziej niekorzystnym przypadku (I poziom ochrony odgromowej obiektu) w poszczególnych SPD może popłynąć prąd piorunowy o wartości szczytowej przekraczającej nawet 25 kA. W przypadku III i IV poziomu ochrony prądy płynące w poszczególnych SPD mogą osiągnąć mniejsze wartości dochodzące do 12,5 kA.

Należy jednak zauważyć, że w naszej strefie klimatycznej zagrożenie stwarzane przez przepływ prądu piorunowego nie występuje zbyt często. Podstawowym źródłem zagrożeń przyłączy zasilania urządzeń są przepięcia atmosferyczne indukowane oraz przepięcia łączeniowe.

Przewidywaną liczbę przepięć o równych wartościach szczytowych, jaka może wystąpić w ciągu roku w instalacji elektrycznej można określić na podstawie wyników rejestracji prowadzonych w rzeczywistych instalacjach. Przykładowe wyniki rejestracji prowadzonych w szwajcarskich instalacjach elektrycznych w różnorodnych obiektach budowlanych zestawiono na rys. 2.



Rys. 2. Liczby przepięć, o różnych wartościach szczytowych występujących w ciągu roku w instalacji elektrycznej zasilającej: 1 - mała kotłownia, 2 - pokój w budynku, 3 - całe piętro w budynku, 4 - laboratorium, 5 - cały budynek, 6 - bank, 7 - budynek

W Polsce dotychczas nie prowadzono długotrwałych obserwacji przepięć w sieciach elektroenergetycznych niskiego napięcia. Należy jednak przypuszczać, że może wystąpić w nich porównywalna lub nawet większa liczba przepięć o dużych wartościach szczytowych.

4. WYMAGANE WŁAŚCIWOŚCI SPD TYPU 1

Dobierając układy SPD typu 1 należy uwzględnić szereg wymagań wynikających ze specyfiki występującego zagrożenia i wymagań EMC przyłączy zasilania urządzeń. Układy SPD typu 1 powinny:

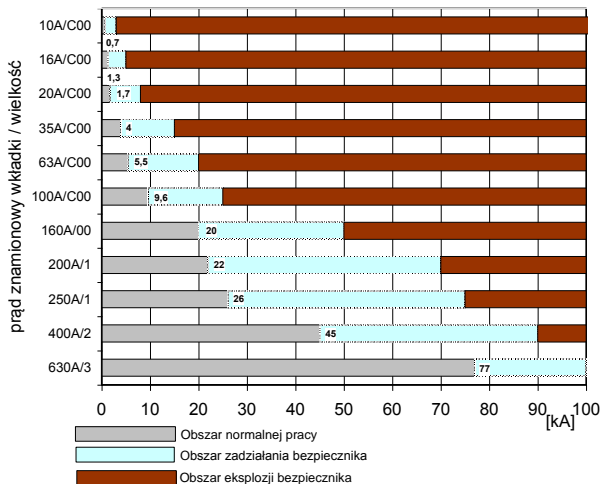
- ograniczać wartości szczytowe napięć udarowych do poziomów poniżej 4000 V, 2500V lub 1500 V,
- ograniczać energię udarów przepuszczanych do poziomów poniżej odporności udarowej chronionych urządzeń,
- zapewnić ochronę przed prądami piorunowymi o wartościach szczytowych przekraczających 12,5 kA,
- podczas działania nie wpływać na pracę innych aparatów elektrycznych w instalacji elektrycznej ,
- poprawnie współpracować z układami SPD typu 2 i 3 lub z warystorami zainstalowanymi bezpośrednio wewnątrz chronionych urządzeń,
- być proste w montażu i zajmować stosunkowo niewiele miejsca.

Należy również zwrócić na konieczność ograniczenia energii udarów „przepuszczonych” przez ograniczniki do poziomów odpowiadających testom stosowanym w badaniach odporności udarowej przyłączy zasilania.

4.1. Oddziaływanie prądów udarowych na zabezpieczenia nadprądowe

W instalacji elektrycznej w obiekcie budowlanym, SPD typu 1 należy umieścić za głównymi zabezpieczeniami nadprądowymi. W takim układzie, po zadziałaniu ograniczników (np. podczas bezpośredniego wyładowania piorunowego w obiekt lub uderzenia w przewody instalacji elektrycznej), przez zabezpieczenie nadprądowe popłynie część prądu piorunowego oraz prąd następczy. Przepływ tych prądów może spowodować zadziałania lub nawet zniszczenia zabezpieczeń nadprądowych.

Źródłem informacji o działaniu prądu piorunowego na zabezpieczenia nadprądowe są wyniki analiz teoretycznych oraz badań laboratoryjnych oddziaływania prądu udarowego o kształcie 10/350 i o wzrastających wartościach szczytowych na wkładki bezpiecznikowe o różnych parametrach. Przykładowe wyniki takich badań zestawiono na rys. 3.



Rys. 3. Oddziaływania prądu piorunowego 10/350 na wkładki bezpiecznikowe[3,4]

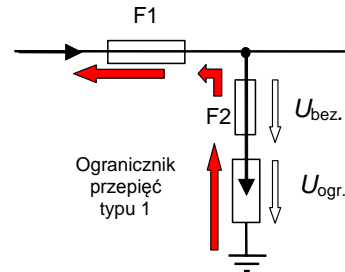
Porównanie przedstawionych skutków przepływu prądów udarowych z wartościami prądów, jakie mogą popłynąć w bezpieczniku w przypadku wpłynięcia do instalacji piorunochronnej prądu 200 kA (I poziom ochro-

ny), wskazuje, że:

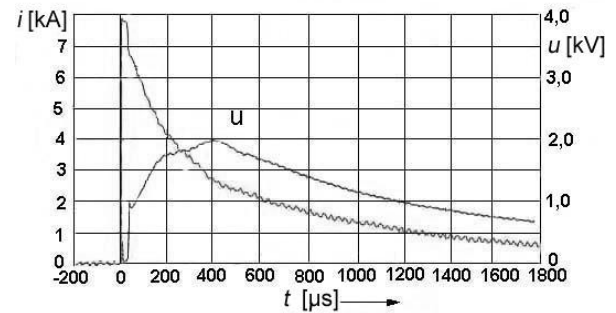
- wkładki bezpiecznikowe do 200 A mogą zadziałać podczas wyładowania piorunowego,
- w przypadku wkładek o prądach znamionowych do 63 A przepływ prądu piorunowego może nawet spowodować ich eksplozję.

W obwodzie składających się z szeregowego połączenia SPD typu 1 i bezpiecznika (rys. 4a) prąd piorunowy płynie również przez ten bezpiecznik.

a)



b)



Rys. 4. Spadki napięć podczas przepływu prądu piorunowego; a) schemat układu z ogranicznikiem, b) przebiegi prądu płynącego przez bezpiecznik i napięcia na nim panującego[3,4]

Skutki oddziaływania prądu będą analogiczne jak w przypadku zabezpieczeń nadprądowych głównych (zadziałanie lub nawet eksplozja bezpiecznika). Dodatkowo przepływ prądu udarowego o dużych wartościach szczytowych (duża gęstość prądu w elementach topikowych) spowoduje rozpad topika i równoczesny zapłon wielu luków, co wywoła spadek napięcia na bezpieczniku (rys. 4b.) i do instalacji elektrycznej w obiekcie, pomimo zastosowania ogranicznika przepięć, przepuszczane jest napięcie U będące sumą spadków napięć na ograniczniku, przewodach i bezpieczniku

$$U = U_{ogr.} + U_{bezp.} + U_{przew.}$$

4.2. Iskernikowe SPD typu 1

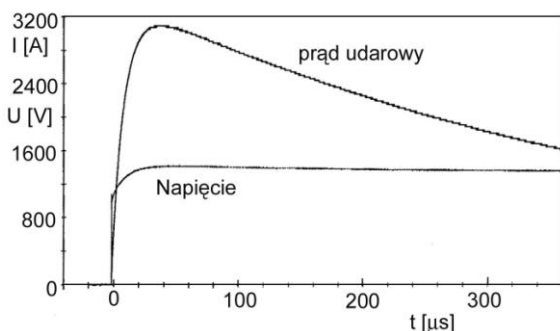
W chwili obecnej przedstawione wymagania spełniają jedynie SDP typu 1 „ucinające przepięcia”. Podstawowymi elementami takich SPD są sterowane lub niesterowalne iskerniki o niskich napięciowych poziomach zadziałania.

Podejmowane są również próby stosowania warystorowych SPD typu 1. Posiadają one szereg zalet, ale do ich podstawowych wad, które praktycznie eliminują możliwość stosowania warystorów do ochrony przyłą-

czy zasilania urządzeń przed bezpośrednim oddziaływaniem rozplywającego się prądu piorunowego, należą:

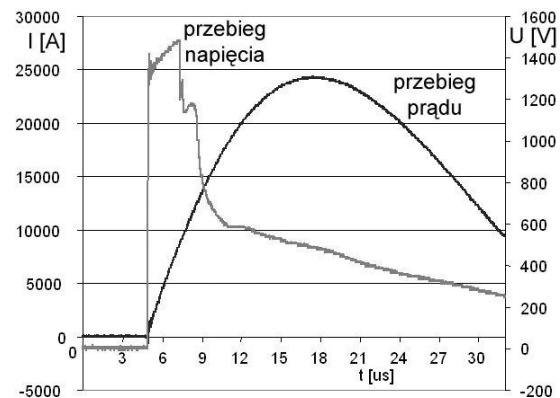
- możliwość zapewnienie ochrony przed prądami impulsowymi (symulującymi prądy piorunowe) o stosunkowo niewielkich wartościach szczytowych dochodzących do 7 - 9 kA [1,2],
- pomimo ograniczania przez warystory przepięć do stosunkowo niskich poziomów (dochodzących nawet do 800 - 900 V) „przepuszczone” udary charakteryzuje długi czas trwania i energia udarowa dochodząca do przyłączy zasilania urządzeń, znacznie większa od energii udarów 1,2/50-8/20 stosowanych do ich testowania.

Przykładowe przebiegi napięcia na warystorze i prądu w nim płynącego przedstawia rys. 5.



Rys. 5. Przebiegi napięcia na warystorze przy przepływie prądu impulsowego 10/350

W przypadku iskiernikowych układów SPD typu 1, czas trwania i kształt napięcia na iskierniku i „przepuszczonego” do chronionego przyłącza jest zbliżonych do udarów stosowanych w badaniach EMC (rys. 6.)

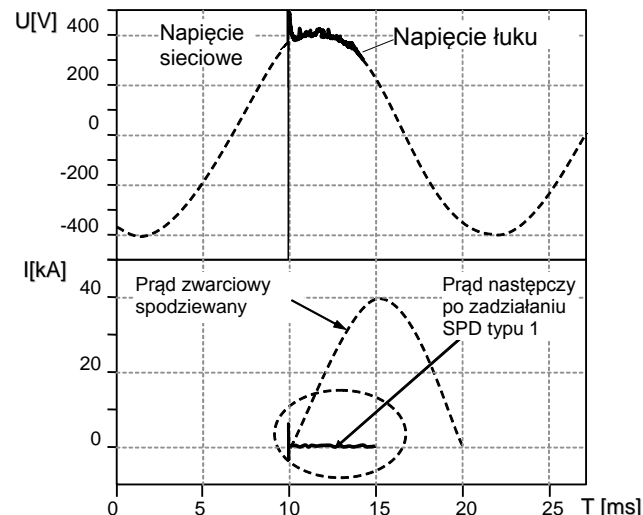


Rys. 6. Przebieg napięcia na iskiernikowym SPD i płynącego w nim prądu

Niestety obniżenie napięciowych poziomów ochrony SPD typu 1 powodujemy gwałtowny wzrost liczby ich zadziałań w ciągu roku. W większości przypadków po zadziałaniu typowych iskiernikowych SPD typu 1 następuje przepływ prądów następczych o znacznych wartościach szczytowych i energiach. Przepływ takich prądów może przepalić wkładki bezpieczników zamontowanych w instalacji przed układem SPD i spowodować przerwę w zasilaniu urządzeń.

W celu ograniczenia wartości prądów płynących po zadziałaniu ogranicznika wprowadzane są różnorodne metody zwiększania impedancji łuku i gaszenia prą-

dów płynących w iskierniku. W ten sposób można ograniczyć wartości prądów następczych do kilkuset amperów. Przykładowo, na rys. 7 porównano przebieg prądu następczego płynącego przez iskiernik z aktywnym oddziaływaniem na prąd następczy z tzw. prądem zwarciovym spodziewanym, jaki popłynie w obwodzie, jeśli ogranicznik zostanie zastąpiony połączeniem o pomijalnej impedancji.



Rys. 7. Przebieg prądu i napięcia po zadziałaniu SPD typu 1 z aktywnym oddziaływaniem na prąd następczy

Dodatkową zaletą takiego rozwiązania jest wprowadzenie nieznacznego zniekształcenia napięcia w instalacji elektrycznej jakie wystąpi po zadziałaniu SPD.

5. SPD TYPU 2

SPD typu 2 mogą być instalowane na wejściu instalacji elektrycznej do obiektu budowlanego (np. w obiektach bez instalacji piorunochronnej) lub jako drugi stopień ograniczania przepięć (obiekty posiadające instalację piorunochronną). Właściwości ochronne SPD typu 2 określane są na podstawie wyników badań prądami o czasie narastania czoła 8 μ s, czasie trwania do półszczytu na grzbiecie udaru 20 μ s i o wartościach szczytowych wybieranych z szeregu od kilkuset amperów do 20 kA. W instalacji elektrycznej SPD typu 2 umieszczane są najczęściej w sąsiedztwie urządzeń różnicowoprądowych. Koordynując współdziałanie SPD i urządzeń różnicowoprądowych, należy uwzględnić następujące uwagi:

- wzajemne rozmieszczenie tych urządzeń nie powinno ograniczać ciągłości dostaw energii elektrycznej,
- nie może nastąpić zmniejszenie możliwości wykonywania zadań ochronnych przez te urządzenia.

Z punktu widzenia ograniczania przepięć, umieszczenie układu SPD typu 2 za wyłącznikiem różnicowoprądowym powoduje narażenie tego wyłącznika na działanie przepływających prądów wyładowczych, które może spowodować jego zniszczenie lub zbędne zadziałanie.

Zainstalowanie układu ograniczników przed wyłącznikiem praktycznie eliminuje tego rodzaju zagrożenie. Takie rozmieszczenie uniemożliwia również wystąpienie wadliwego działania sprawnego technicznie wyłącznika

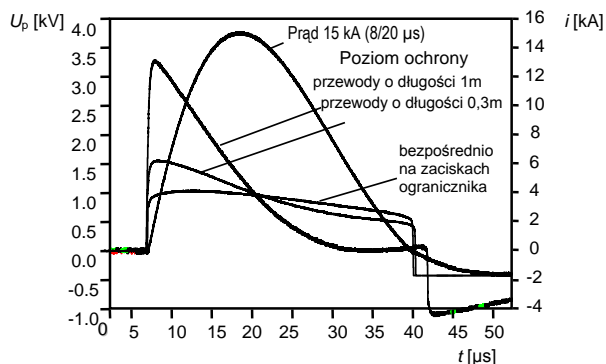
różnicowoprądowego, jeśli wystąpi uszkodzenie ogranicznika łączącego przewody N i PE [4].

Uwzględniając powyższe uwagi w systemach sieci TN, oraz TT (3 ograniczniki przepięć i iskiernik – układ połączeń typu 2) zalecanym rozwiązaniem jest umieszczenie SPD typu 2 przed wyłącznikami różnicowoprądowym [5].

W systemie sieci TT (4 ograniczniki przepięć - układ połączeń typu 1) powinna być zapewniona skuteczna ochrona przed dotykiem pośrednim i należy zainstalować urządzenie różnicowoprądowe typu S o odporności na działanie prądów udarowych o wartości co najmniej 3 kA i kształcie 8/20 [5] przed układem ograniczników.

Do połączenia SPD należy zastosować możliwie najkrótsze przewody o długości nieprzekraczającej 0,5 m. Przestrzeganie tego wymogu jest bardzo ważne, gdyż stosowanie dłuższych połączeń ograniczników typu 2 wprowadza do chronionej części instalacji przepięcia o znacznych wartościach.

Przykłady napięć rejestrowanych w układzie składającym się z SPD typu 2 z dołączonymi przewodami o równych długościach przy przepływie prądu wyładowczego o wartości szczytowej 15 kA i kształcie 8/20 przedstawiono na rys. 8.



Rys. 8. Spadek napięcia w na SPD typu 2 i przewodach łączących przy przepływie prądu 15 kA 8/20.

Wielokrotny przepływ prądów wyładowczych o znacznych wartościach szczytowych przyspiesza procesy starzeniowe warystorów stosowanych w SPD typu 2. Wzrastający prąd upływu warystora powoduje wzrost jego temperatury, co może zniszczyć nie tylko warystor i sąsiednie urządzenia, ale również spowodować zagrożenie pożarowe w obiekcie.

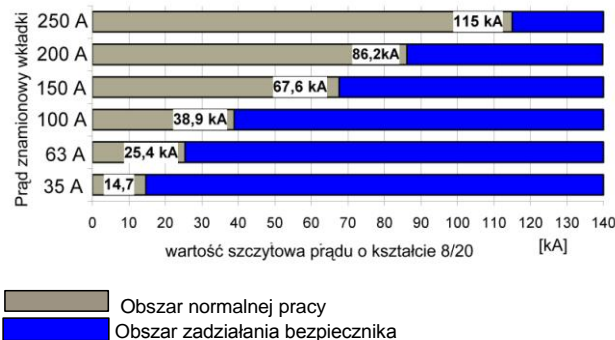
Przedstawionemu niebezpieczeństwu zapobiega zainstalowane w ograniczniku urządzenie monitorujące temperaturę warystora i w przypadku jej niebezpiecznego wzrostu odłączające napięcie od warystora oraz przekazujące informację o dokonanej wyłączeniu.

W przypadku przepływu przez ogranicznik prądów udarowych o wartościach energiach przekraczających wartości dopuszczalne może nastąpić uszkodzenie struktury warystora i jego zwarcie.

Przed podjęciem decyzji o dodatkowych środkach ochronnych przed tego rodzaju zagrożeniem należy sprawdzić wartości prądu znamionowego bezpieczników poprzedzających układ ograniczników. Jeśli dla danego typu ograniczników ta wartość jest większa od wartości określonej przez producenta to należy zastosować urządzenia zabezpieczające wskazane przez wy-

twórcę połączone w szereg z SPD. Najczęściej są to bezpieczniki klasy gG.

Oceniając wpływ działających SPD typu 2 na pracę bezpieczników należy również posiadać podstawowe informacje o ich odporności na działanie prądów udarowych. Przykładowe wartości szczytowe prądów udarowych 8/20, których przepływ spowoduje zadziałanie wkładek bezpiecznikowych o różnych prądach znamionowych zestawiono na rys. 9.



Rys. 9. Oddziaływanie na bezpieczniki prądu udarowego 8/20 [3,4]

6. PODSUMOWANIE

Przedstawione rozważania wyraźnie wykazały konieczność stosowania w instalacjach elektrycznych układów „iskiernikowych” SPD typu 1. Tylko takie układy zapewniają ochronę przed prądami impulsowymi 10/350 μ s o wartościach szczytowych 12,5 kA lub nawet wyższych, a kształt „przepuszczonych” przepięć nie stwarza zagrożenia dla przyłączy zasilania urządzeń elektrycznych i elektronicznych badanych zgodnie w wymaganiami EMC. W przypadku rozległych instalacji należy dodatkowo stosować warystorowe SPD typu 2.

BIBLIOGRAFIA

- Flisowski Z., Krasowski D.: Problemy doboru ograniczników przepięć do ochrony urządzeń elektrycznych i elektronicznych w obiektach budowlanych (1). Elektroinstalator 10/2006.
- Flisowski Z., Krasowski D.: Problemy doboru ograniczników przepięć do ochrony urządzeń elektrycznych i elektronicznych w obiektach budowlanych (1). Elektroinstalator 11/2006.
- Noack F., Schönau J., Reichert F.: Lightning pulse current withstand of low-voltage fuses. 26th ICLP, Cracow - Poland, 2002.
- Raab V. Überspannungsschutz in Verbraucheranlagen. Auswahl. Errichtung. Prüfung. Verlag Technik 1998.
- PN-IEC 60364-5-534:2003, Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych. Dobór i montaż wyposażenia elektrycznego. Urządzenia do ochrony przed przepięciami.
- IEC 61643-12:2005. Low-voltage surge protection devices. Surge protection devices connected to low-voltage power distribution systems - Part 2: Selection and application principles.
- Materiały informacyjne firmy DEHN