

dr hab. inż. Andrzej Sowa

Urządzenia do ograniczania przepięć typu 1 w instalacji elektrycznej w obiekcie budowlanym



Białystok 2006

Urządzenia do ograniczania przepięć typu 1 w instalacji elektrycznej w obiektach budowlanych

Przeznaczeniem urządzeń do ograniczania przepięć SPD (ang. Surge Protective Device) jest ochrona instalacji i urządzeń przed działaniem przepięć atmosferycznych indukowanych, przepięć wewnętrznych oraz przed bezpośrednim oddziaływaniem części prądu piorunowego [23,31,33].

Urządzenia do ograniczania przepięć stosowane w sieciach rozdzielczych niskiego napięcia wewnątrz obiektów budowlanych zawierają, co najmniej, jeden element nieliniowy „ucinający przepięcie” lub ograniczający jego wartość szczytową. Podstawowe informacje o właściwościach typowych urządzeń zawierających elementy nieliniowe zestawiono w tabeli 1.

Tab. 1. Charakterystyka urządzeń do ograniczania przepięć stosowanych w sieci elektroenergetycznej niskiego napięcia [23,31]

Typ SPD	Właściwości
Ucinający napięcie	Duża impedancja przy braku przepięcia, która zmniejsza się gwałtownie w odpowiedzi na występowanie udaru napięciowego. Elementy stosowane do „ucinalnia napięcia” - iskierniki *, rury gazowe, tyrystory i triaki.
Ograniczający napięcie	Duża impedancja przy braku przepięcia, która zmniejsza się w sposób ciągły w miarę wzrostu prądu udarowego i napięcia. Podstawowe elementy - warystory* i diody ograniczające.
Kombinowany	Zawiera zarówno element ucinający napięcie jak i element ograniczający napięcie i mogą ucinąć napięcie, ograniczać napięcie lub spełniać te obie funkcje w zależności od charakteru doprowadzonego napięcia (np. równoległe lub szeregowo połączenie iskiernika z warystorem).
* najczęściej stosowane elementy,	

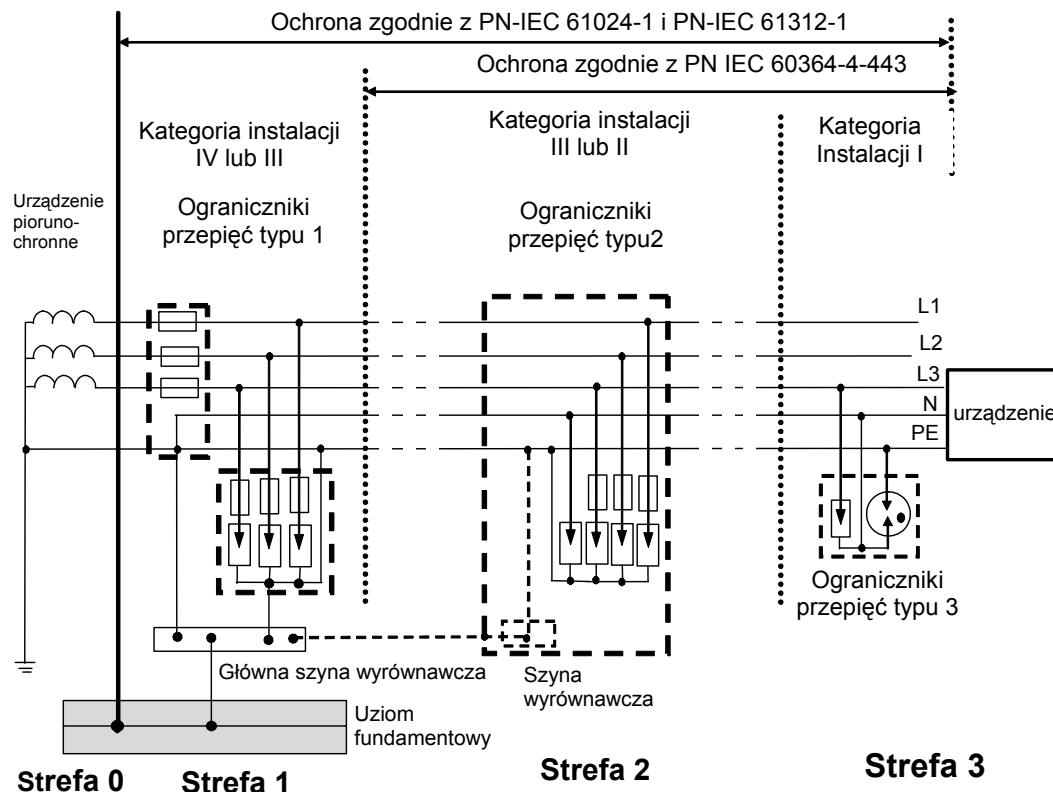
W zależności od przeznaczenia, urządzenia do ograniczania przepięć powinny być poddane próbom klasy I, II lub III. Właściwości różnych typów urządzeń oraz ich przeznaczenie w zależności od klasy próby przedstawiono w tabeli 2.

Tab. 2. Przeznaczenie urządzeń do ograniczania przepięć w zależności od klasy próby [23,31,34]

Klasy prób SPD	Przeznaczenie
Klasa I	Ochrona przed bezpośrednim oddziaływaniem części prądu piorunowego, przepięciami atmosferycznymi oraz wszelkiego rodzaju przepięciami łączeniowymi, wyrównywanie potencjałów instalacji wchodzących do obiektu budowlanego.
Klasa II	Ochrona przed przepięciami atmosferycznymi indukowanymi, wszelkiego rodzaju przepięciami łączeniowymi lub przepięciami „przepuszczonymi” przez urządzenia ochrony przepięciowej badane zgodnie z wymaganiami klasy I.
Klasa III	Ochrona przed przepięciami atmosferycznymi indukowanymi i przepięciami łączeniowymi powstającymi w instalacji elektrycznej wewnątrz obiektu budowlanego.

Urządzenia do ograniczania przepięć badane zgodnie z wymogami poszczególnych klas będą w dalszej części opracowania nazywane **ogranicznikami przepięć typu 1, 2 lub 3**.

Ogólną zasadę rozmieszczania ograniczników przepięć różnych typów w instalacji elektrycznej w obiekcie budowlanym w zależności od strefy zagrożenia piorunowego oraz kategorii instalacji przedstawia rys. 1.



Rys. 1. Przykład wielostopniowego systemu ograniczania przepięć w instalacji elektrycznej w obiekcie budowlanym

1. Ograniczniki przepięć typu 1

Ograniczniki przepięć typu 1 są zalecane do ochrony przed zagrożeniami stwarzanymi przez:

- część prądu piorunowego jaki może wystąpić w głównym punkcie wyrównywania potencjałów w obiekcie budowlanym podczas bezpośredniego wyładowania piorunowego w ten obiekt oraz wyładowania w przewody linii napowietrznych lub zakopane kable niskiego napięcia,
- przepięcia atmosferyczne indukowane oraz wszelkiego rodzaju przepięcia łączeniowe dochodzące do obiektu.

W tabeli 3 zestawiono podstawowe zadania, miejsca montażu oraz wymagany zakres badań ograniczników przepięć typu 1.

Możliwości ochrony odgromowej ograniczników typu 1 określone są na podstawie wyników ich badań na działanie prądów udarowych „impulsowych” I_{imp} , które scharakteryzowano [23,31], następującymi parametrami:

- | | | |
|--|---|----------------|
| • wartością szczytową | - | I_{imp} (kA) |
| • przenoszonym ładunkiem | - | Q (As) |
| • energią właściwą | - | W/R (kJ/Ω), |
| • czasem do osiągnięcia wartości szczytowej oraz wymaganych wartości | - | Q i W/R . |

Tab. 3. Zadania, miejsca montażu oraz wymagany zakres badań ograniczników typu 1

Parametr	Charakterystyka
Zadanie	Niedopuszczanie do wnikania części prądu piorunowego i wszelkiego rodzaju przepięć do instalacji elektrycznej wewnątrz obiektu budowlanego.
Montaż	Na szynie 35 mm lub w gniazdach bezpiecznikowych za głównymi zabezpieczeniami zasilania w miejscu wprowadzania instalacji elektrycznej do obiektu. Typowe miejsca montażu: złącze, dodatkowa szafka obok złącza, rozdzielnica główna.
Podstawowa procedura probiercza	Podstawowe wymagania elektryczne obejmują próby: • znamionowym napięciem udarowym 1,2/50, • prądem udarowym I_{imp}, (symulujący prąd piorunowy), • znamionowym prądem wyładowczym 8/20.
Podstawowe dane charakteryzujące właściwości ochronne	✓ rodzaj i poziom napięcia znamionowego (napięcie przemienne, stałe lub obydwa napięcia), ✓ największe trwałe napięcie pracy oraz znamionową częstotliwość, ✓ napięciowy poziom ochrony, ✓ największą zalecaną wartość dodatkowego zabezpieczenia nadprądowego (jeśli jest wymagane), ✓ wytrzymałość zwarciovą, ✓ sposób montażu (identyfikacja zacisków, określenie pozycji normalnej).
Typowe oznaczenie	

Zalecane wartości podstawowych parametrów charakteryzujących prąd impulsowy zestawiono tab. 4.

Tab. 4. Podstawowe parametry charakteryzujące prądy impulsowe stosowane do badań ograniczników typu I

PN EN 61643-11			DIN VDE 0675 Teil 6/A1			
I_{imp} (kA)	Q (As) w 10 ms	W/R (kJ/Ω) w 10 ms	I_{imp} (kA)	Q (As)	W/R (kJ/Ω)	Kształt udaru
20	10	100	50	25	625	10/350
10	5	25	20	10	100	
5	2,5	6,25	10	5	25	
2	1	1	5	2,5	6,3	
1	0,5	0,25	2	1	1	
			1	0,5	0,25	
			0,5	0,25	0,063	

W normie **PN EN 61643-11** nie określono kształtu prądowego udaru probierczego. Pojawiają się jedynie sugestie o możliwości zastosowania prądu udarowego 10/350 i takie zalecenie wprowadzono w normach niemieckich [6,7] (tabela 4). W przypadku stosowania prądu o innym kształcie wymagane jest ograniczenie czasu narastania prądu udarowego poniżej 50 μs.

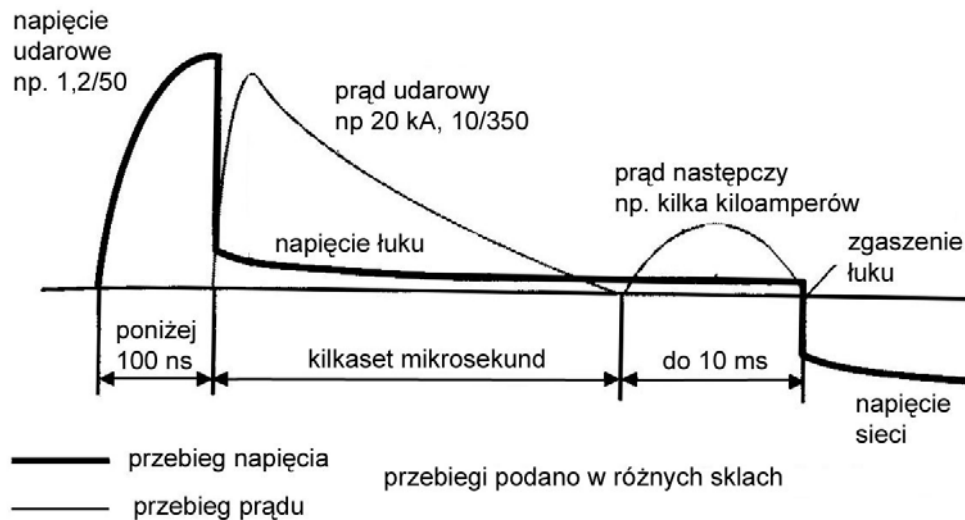
Zapewnienie ochrony instalacji elektrycznej w obiekcie budowlanym wymaga, aby wartości szczytowe udarów „przepuszczonych” przez układy ograniczników typu 1 nie przekraczały wartości 6 kV.

Normy opisujące wymagane zakresy badań ograniczników typu 1 nie określają dokładnie napięciowych poziomów ochrony, ale przedstawiają jedynie wartości zalecane.

W przypadku instalacji o napięciu znamionowych 230/400 V można wybrać napięciowy poziom ochrony ograniczników z następującego ciągu wartości: 600V, 700V, 800V, 900V, 1000V, 1200V, 1500V, 1800V, 2000V, 2500V, 3000V, 4000V, 5000V i 6000V.

Podstawowymi elementami ograniczników typu 1 są iskierniki, które najczęściej wytrzymują przepływ prądów udarowych o wartościach szczytowych 20 kA lub 50 kA i kształcie 10/350.

Przykładowy całkowity przebieg napięcia na ograniczniku iskiernikowym oraz płynącego w nim prądu przedstawiono na rys.2.



Rys. 2. Przebiegi prądu i napięcia w przypadku iskiernikowego ogranicznika przepięć typu 1

W ograniczniku „iskiernikowym” przepływ prądu udarowego następuje po przeskoku iskrowym i spadek napięcia na indukcyjności przewodów stosowanych do jego podłączenia dodaje się do spadku napięcia na łuku pomiędzy elektrodami iskiernika (najczęściej wartości kilkudziesięciu woltów). Jest to dodatkowa zaleta tego typu ograniczników.

W ogranicznikach typu 1 praktycznie nie wykorzystuje się warystorów ze względu na ich niewielkie, wynoszące tylko od 1 do 5 kA (warystory o średnicach 32-80 mm), zdolności odprowadzania prądów udarowych.

Stosując układy ograniczników typu 1 ograniczamy do dopuszczalnych wartości nie tylko napięcia i prądy udarowe dochodzące z zewnątrz do instalacji elektrycznej, ale również chronimy instalację i urządzenia przed działaniem części prądu piorunowego. Takie zagrożenie wystąpi podczas bezpośredniego wyładowania piorunowego w obiekt budowlany posiadający instalację piorunochronną lub wyładowania w przewody sieci elektroenergetycznej.

1.1. Ograniczniki przepięć typu 1 o napięciowym poziomie ochrony poniżej 4000 V

Większość dostępnych ograniczników przepięć typu 1 charakteryzuje napięciowy poziom ochrony poniżej 4000V. Wśród przyczyn wyboru takiego poziomu ochrony można wymienić następujące:

- urządzenia elektryczne i elektroniczne instalowane w złączu instalacji (np. liczniki energii elektrycznej) charakteryzuje wytrzymałość udarowa na poziomie 6 kV i obniżenie napięcia do 4 kV zapewnia odpowiedni margines koordynacyjny,
- jest to optymalne rozwiązanie w przypadku wielostopniowych systemów ograniczania przepięć gdyż ogranicza ilość zadziałań ograniczników typu 1 do niezbędnego minimum, co może znacznie wydłużyć czas ich eksploatacji.

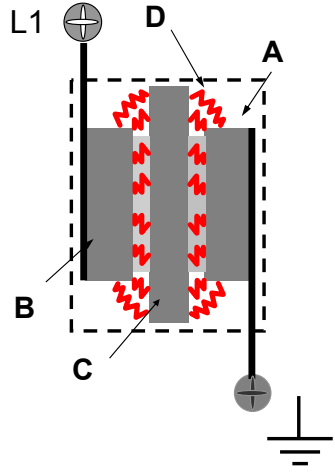
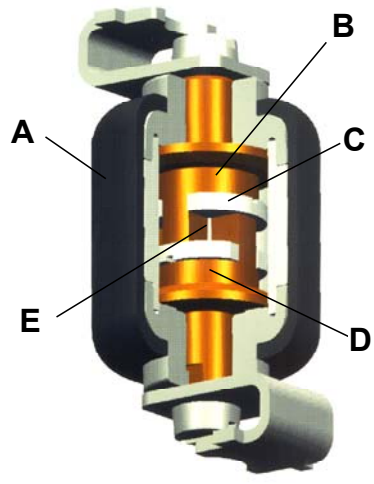
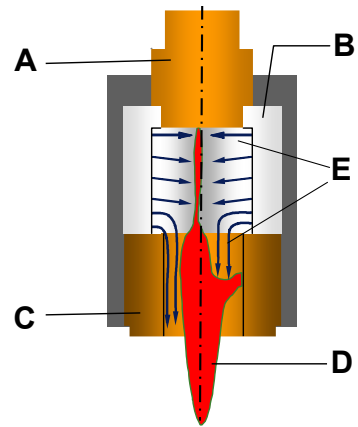
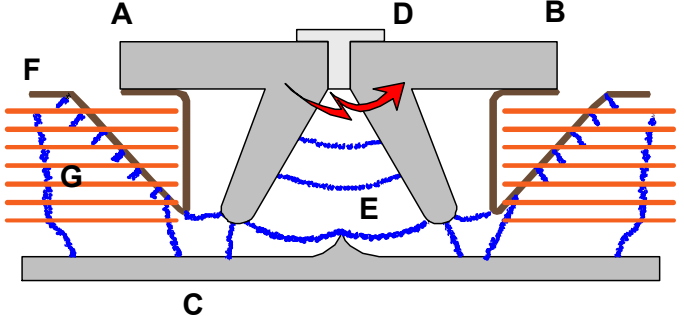
- normy niemieckie (tabela 5) zalecały taki napięciowy poziom ochrony dla ograniczników klasy B (odpowiedników typu 1).

Tab. 5. Maksymalne wartości napięciowych poziomów ochrony ograniczników przepięć [6]

Znamionowe napięcie pracy	Ograniczniki klasy B	Ograniczniki klasy C	Ograniczniki klasy D
150V do 300V	4 kV	2,5 kV	1,5 kV
300V do 600V	6 kV	4 kV	2,5 kV
600V do 1200V	8 kV	6 kV	4 kV

W ogranicznikach typu 1 o napięciowych poziomach ochrony poniżej 4000 V najczęściej stosowane są jedno- lub wieloprzerwowe niesterowalne iskierniki. Przykładowe rozwiązania iskierników przedstawiono w tabeli 6.

Tab. 6. Przykłady różnorodnych rozwiązań iskierników stosowanych w ogranicznikach przepięć typu 1 o napięciowym poziomie ochrony poniżej 4000 V [49,50,51,52]

 Prosty iskiernik A, B - elektrody, C - dodatkowa elektroda ułatwiająca gaszenie łuku D - palący się łuk	 Prosty obudowany iskiernik A - obudowa iskiernika, B, D - elektrody, C - materiał izolacyjny,	 Iskiernik z promieniowym i osiowym oddziaływaniem na łuk A, C – elektrody B - Obudowa izolacyjna, D - łuk, E – oddziaływanie osiowe i promieniowe na łuk
		Iskiernik rozrywający i gaszący łuk A, B - elektrody, C - dodatkowa elektroda rozrywająca łuk, D – wkładka izolacyjna, F - elektrody wynoszące łuk, E – palący się łuk, G – płytki gaszące

W celu ograniczenia obciążeń cieplnych dąży się do ograniczenia prądów następczych płynący przez iskierniki po ich zadziałaniu. Obecnie stosowane są różnorodne techniki samogaszenia łuku. Wśród najbardziej popularnych należy wymienić zapłon łuku w układzie dwu elektrod i jego roz-

ciąganie oraz wydmuch na wieloprzerwowy układ połączeń lub rozwiązanie, w którym następuje wydmuch łuku z jednoczesnym oddziaływaniem osiowym i promieniowym.

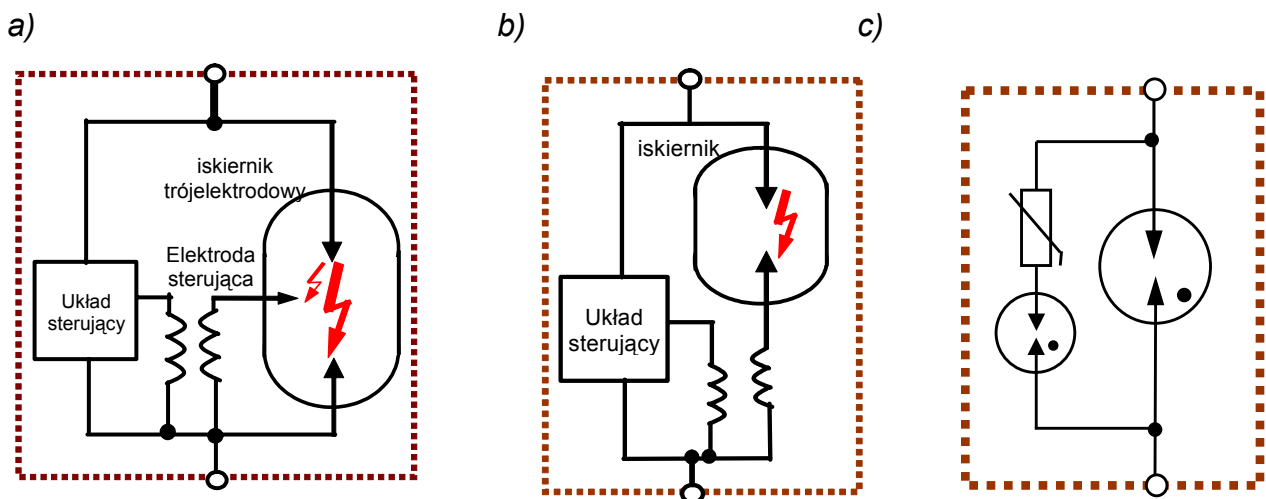
W tym ostatnim przypadku iskierniki ograniczają prąd następczy do wartości szczytowej poniżej 2 kA w miejscach o spodziewanym prądzie następczym o wartości skutecznej 50 kA.

1.2. Ograniczniki przepięć typu 1 o napięciowym poziomie ochrony poniżej 2500 V

Nowe typy ograniczników typu 1 bez kłopotów spełniają wymagania wynikające z zakresu badań klasy I oraz II, a stosowane iskierniki zapewniając osiągnięcia napięciowych poziomów ochrony poniżej 2500 V. Dzięki temu pojedynczy ogranicznik może zastąpić dotychczas stosowane rozwiązania składające się z układu ograniczników typu 1 – elementów odsprężających – ograniczników typu 2.

W celu wyróżnienia nowej generacji ograniczników producenci wprowadzili pojęcie ograniczników przepięć typu 1+2 lub, zgodnie z oznaczeniami norm niemieckich, klasy B+C.

Najczęściej do ograniczania zagrożeń wywołanych przez przepięcia lub prąd piorunowy wykorzystano iskierniki dwuelektrodowe lub trójelektrodowe z wymuszonym zapłonem. Ogólne zasady działania takich iskierników przedstawiono na rys. 3a i b.



Rys. 3. Przykłady różnorodnych rozwiązań ograniczników przepięć typu 1: a), b) ograniczniki z trójelektrodowymi sterowanymi iskiernikami, c) układ dwu iskierników i warystora

Innym ciekawym rozwiązaniem [50] jest zastosowanie ograniczników posiadających układ dwóch równolegle połączonych iskierników zmontowanych w jednym module z dodatkowym warystorem włączonym szeregowo z iskiernikiem w jednej z gałęzi ogranicznika (rys. 30c). W przedstawionym układzie, jeśli prądy udarowe nie przekraczają kilku kA (najczęstszy przypadek uderzeń w instalacji elektrycznej), działa tylko szeregowo połączony iskiernik z warystorem i prądy następcze nie występują. Prądy o większych wartościach szczytowych występują jedynie w przypadku bezpośrednich wyładowań piorunowych w obiekt lub wyładowań w bardzo bliskim jego sąsiedztwie. Jeśli takie zagrożenie wystąpi, to zadziała także dodatkowo iskiernik główny, który zapewnia ochronę przed prądami udarowymi 10/350.

Przedstawione ograniczniki typu 1 o poziomie ochrony poniżej 2500 V zapewniają ochronę podstawową w instalacji elektrycznej w obiektach budowlanych posiadających instalacje piorunochronne.

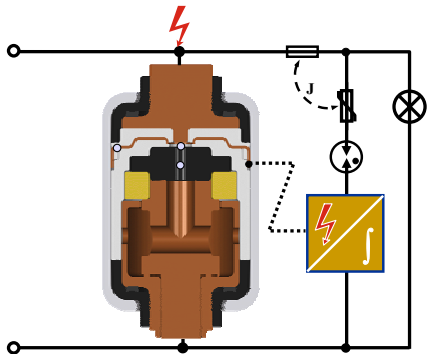
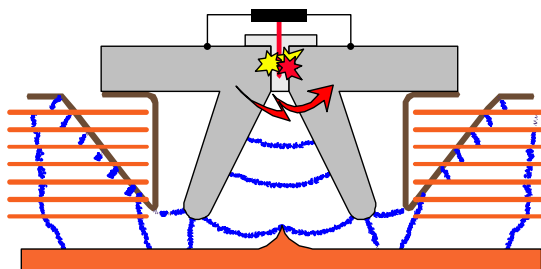
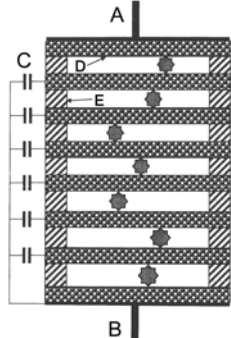
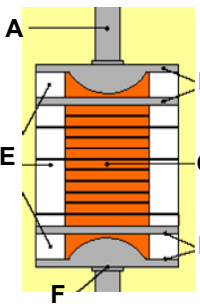
Wybranie napięciowego poziomu ograniczania przepięć poniżej 2500V ma jeszcze jedną zaletę. Stosowania ograniczników o takich poziomach ochrony wymaga norma PN-IEC 60364-443 w przypadku, gdy „instalacja jest zasilana napowietrzną linią niskiego napięcia lub z taką linią jest połączona”.

Zalecenie to dotyczy ochrony przed przepięciami atmosferycznymi dochodzącymi z zewnątrz do instalacji elektrycznej w obiektach budowlanych bez instalacji piorunochronnej, jeśli znajdują się one w obszarach, w których występuje więcej niż 25 dni burzowych w roku.

1.3. Ograniczniki przepięć typu 1 o napięciowym poziomie ochrony poniżej 1500 V

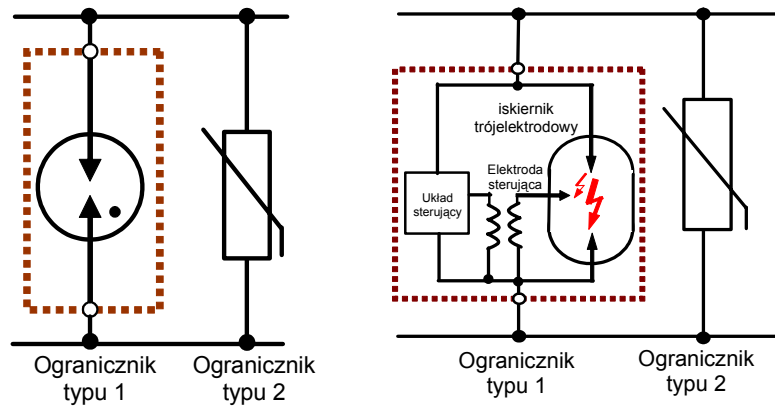
Kolejnym etapem rozwoju ograniczników typu 1 było zastosowanie iskierników umożliwiających otrzymanie napięciowego poziomu ochrony poniżej 1500V. Zapewniają one ochronę przed działaniem części prądu piorunowego oraz przed wszelkiego rodzaju przepięciami. Niski napięciowy poziom ochrony otrzymano wykorzystując iskierniki z dodatkowymi układami zapłonowymi przyspieszających przeskok pomiędzy elektrodami iskiernika lub stosując iskierniki wieloprzerwowe. Ogólne schematy takich układów przedstawiono w tabeli 7.

Tab. 7. Przykłady różnorodnych rozwiązań iskierników stosowanych w ogranicznikach przepięć typu 1 o napięciowym poziomie ochrony poniżej 1500 V [49,50,51,52]

 Sterowany trójelektrodowy Iskiernik z promieniowym i osiowym oddziaływaniem na łuk	 Sterowany Iskiernik rozrywający i gaszący łuk
 Iskiernik wieloprzerwowy z pojemnościowym układem sterującym rozkładem napięcia na poszczególnych przerwach A, B – elektrody główne, C – pojemności sterującym rozkładem napięcia na poszczególnych przerwach, D – elektrody grafitowe, 5 – przeskok iskrowy (w skali) pomiędzy poszczególnymi elektrodami	 Iskiernik wieloprzerwowy umieszczony w atmosferze gazu szlachetnego A - przewód, B, D – elektrody C - komora wyładowcza, E - ceramiczna obudowa, F – połączenia spawane impulsowo

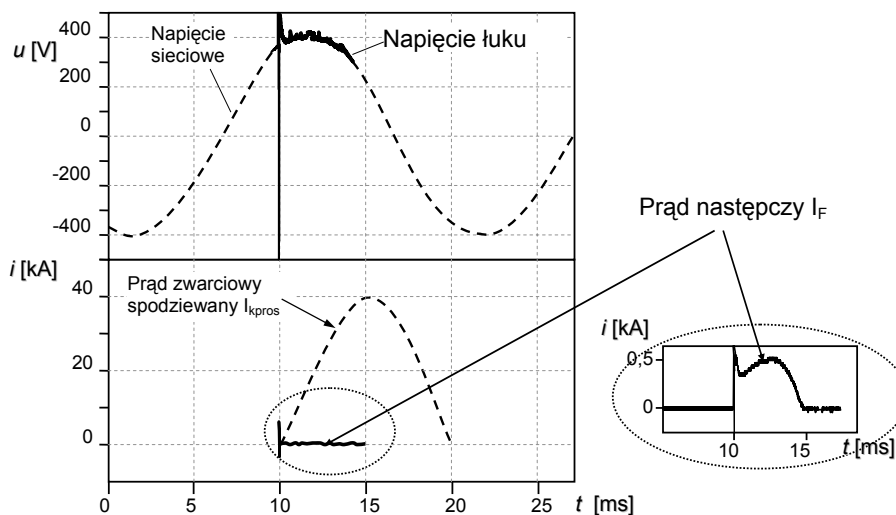
Niestety obniżenie poziomu zapłonu iskierników powoduje częstsze ich działanie i przepływ prądów następczych. Narażanie elektrod iskiernika na przepływ takich prądów może spowodować skrócenia czasu poprawnego działania ogranicznika.

Jednym z rozwiązań powyższego problemu jest równoległe łączenie ograniczników zawierających omówione iskierniki z ogranicznikami typu 2 (rys. 4). W takim układzie większość przepięć ograniczają warystorowi ograniczniki typu 2.



Rys. 4. Równoległe połączenie iskiernikowych ograniczników typu 1 o obniżonym napięciu zapłonu i warystorów (ograniczniki typu 2)

Innym rozwiązaniem jest ograniczanie wartości szczytowej prądu następczego. Stosując iskierniki z promieniowym i osiowym oddziaływaniem na łuk można ograniczyć spodziewany prąd następczy o wartości skutecznej dochodzącej do 50 kA do wartości szczytowej kilkuset amperów (rys. 5).



Rys. 5. Prądy przebiegi prądów płynących przez ogranicznik z osiowym i promieniowym oddziaływaniem na łuk [49]

Ograniczniki typu 1 o poziomie ochrony poniżej 1500 V znalazły szerokie zastosowanie w instalacjach elektrycznych stacji bazowych systemu telefonii komórkowej. Konieczność stosowania ograniczników o tak niskich napięciowych poziomach ochrony wyznaczył zakres badań odporności na napięcia udarowe urządzeń stacji.

Należy zaznaczyć, że w ogranicznikach iskiernikowych coraz częściej stosowane są układy kontrolujące pracę poszczególnych elementów ochronnych (iskierników i warystorów) i umożliwiające przekazywanie informacji o wzroście temperatury w ograniczniku ponad dopuszczalne wartości.

2. Zasady doboru i montażu ograniczników typu 1

Urządzenia ograniczające przepięcia typu 1 należy umieszczać w pobliżu miejsca wprowadzania instalacji elektrycznej do obiektu budowlanego. Takim miejscem może być:

- złącze kablowe,
- dodatkowa szafka obok złącza,

- rozdzielnica główna niskiego napięcia w obiekcie,
- dodatkowa skrzynka obok rozdzielnicy głównej.

Dobierając miejsca montażu układów ograniczników należy uwzględnić nie tylko optymalne warunki ograniczania przepięć, ale również obowiązujące przepisy i zalecenia.

Przykładowe miejsca montażu układu ograniczników typu 1 w zależności od stosowanej ochrony odgromowej obiektu oraz właściwości sieci elektroenergetycznej niskiego napięcia zestawiono w tabeli 8.

Tab. 8. *Typowe miejsca montażu układu ograniczników przepięć typu 1*

Obiekt	Sieć elektroenergetyczna nn	Miejsce montażu
Obiekt budowlany bez instalacji piorunochronnej	Ułożona w ziemi	Układy ograniczników przepięć typu 1 nie są wymagane
	Linie napowietrzne z długim podejściem kablowym	Układy ograniczników przepięć typu 1 nie są wymagane
	Linie napowietrzne z krótkim podejściem kablowym *	Złącze, szafka obok złącza
	Linie napowietrzne *	Złącze, szafka obok złącza
Obiekt budowlany posiadający instalację piorunochronną	Dowolny sposób doprowadzania sieci elektroenergetycznej	Złącze lub szafka obok złącza, jeśli są one na ścianach (lub we wnękach) obiektu
		Rozdzielnice główne w przypadku złącza na zewnątrz obiektu (np. na granicy posesji).
* - w obszarze gdzie występuje ponad 25 dni burzowych lub wymagana jest większa niezawodność urządzeń [24]		

Należy zaznaczyć, że w przypadku budynku posiadającego instalację piorunochronną i złącze kablowe na ścianie budynku, układy ograniczników mogą być montowane w złączu (szafce obok złącza), rozdzielny głównej lub obok rozdzielnicy w zależności od wymagań wynikających z zastosowania kolejnych stopni ograniczania przepięć.

Układy ograniczników przepięć typu 1 ograniczają zagrożenie piorunowe i przepięciowe do krótkotrwałych (trwających od kilkuset ns do kilku μ s) napięć udarowych, które nie powinny być groźne dla początkowej części instalacji elektrycznej, urządzeń tu zainstalowanych oraz dla kolejnych stopni ograniczników przepięć.

2.1. Układy połączeń ograniczników

Ograniczniki przepięć typu 1 należy instalować za głównymi zabezpieczeniami nadprądowymi w następujących układach połączeń [24,26]:

w systemach sieci TN i TT

- jeżeli przewód neutralny jest uziemiony na początku instalacji, między każdy nieuziemiony przewód fazowy a ziemię,
- jeżeli przewód neutralny nie jest uziemiony na początku instalacji, między każdy przewód fazowy a ziemię oraz między przewód neutralny a ziemię.

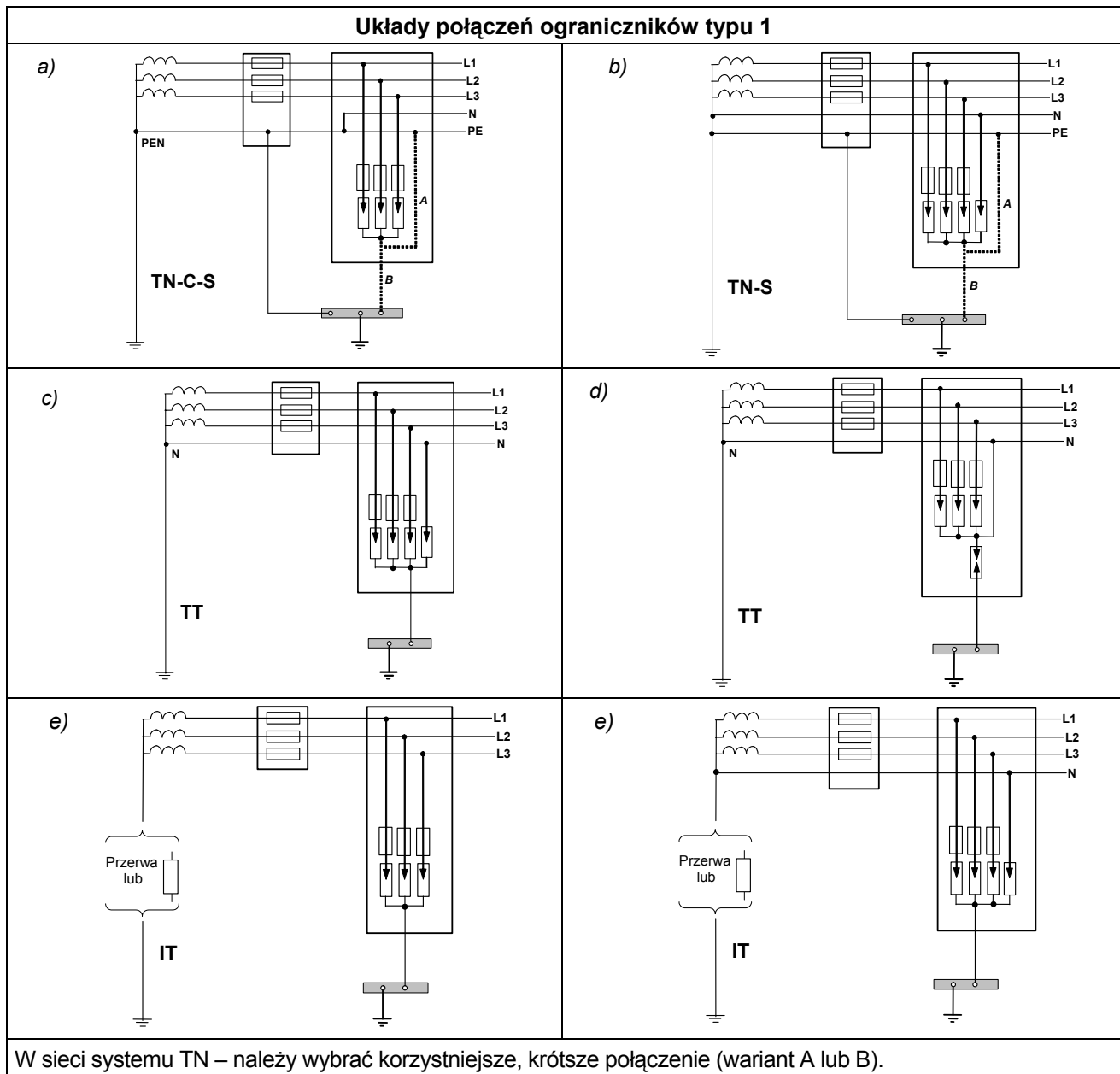
w systemach sieci IT

- między każdy przewód fazowy a ziemię oraz, jeżeli jest przewód neutralny, między przewód neutralny a ziemię.

W tabeli 9 zestawiono typowe układy połączeń ograniczników w różnych systemach sieci. Jeśli w systemie sieci TN występują długie połączenia pomiędzy ogranicznikami a szyną wyrównawczą to

wskazane jest łączenie ograniczników z przewodem PE (alternatywne połączenie na rysunkach w tabeli 9).

Tab. 9. Układy połączeń ograniczników typu 1 w różnych systemach sieci

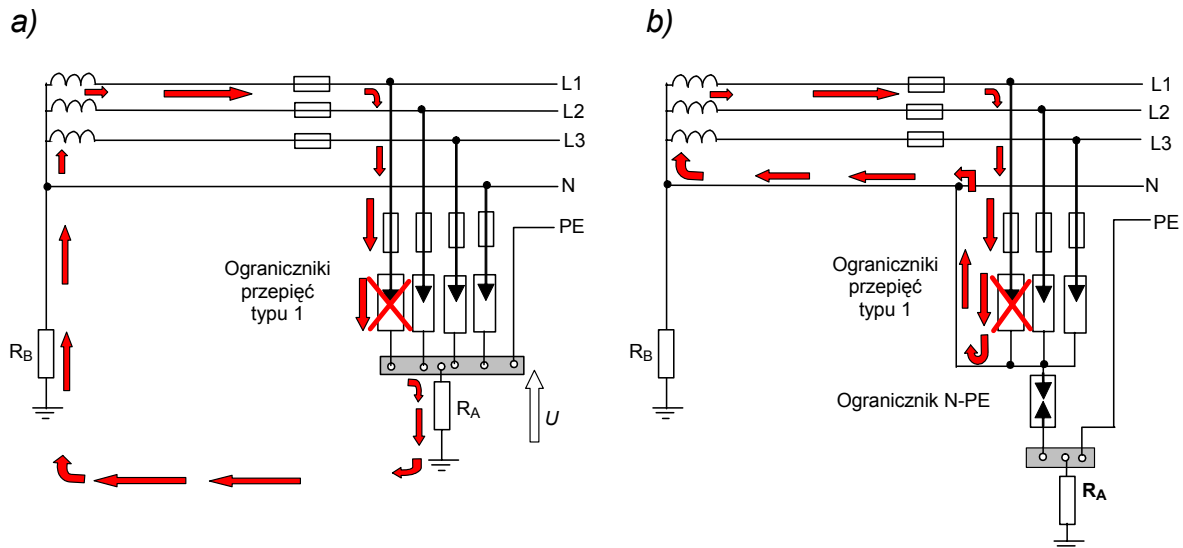


W systemie sieci TT istnieje możliwość zastosowania układu 4 ograniczników przepięć (tab. 9c) tzw. połączenie typu 1 [26] lub układu zawierającego 3 ograniczniki przepięć oraz iskiernik nazywany również ogranicznikiem N-PE (tab. 9d). Taki układ nazwano połączeniem typu 2.

Wadą układu połączeń typu 1 jest możliwość wystąpienia napięcia na przewodzie PE w przypadku uszkodzenia (np. zwarcie elektrod lub wyładowania między nimi) jednego z ograniczników (rys. 6a).

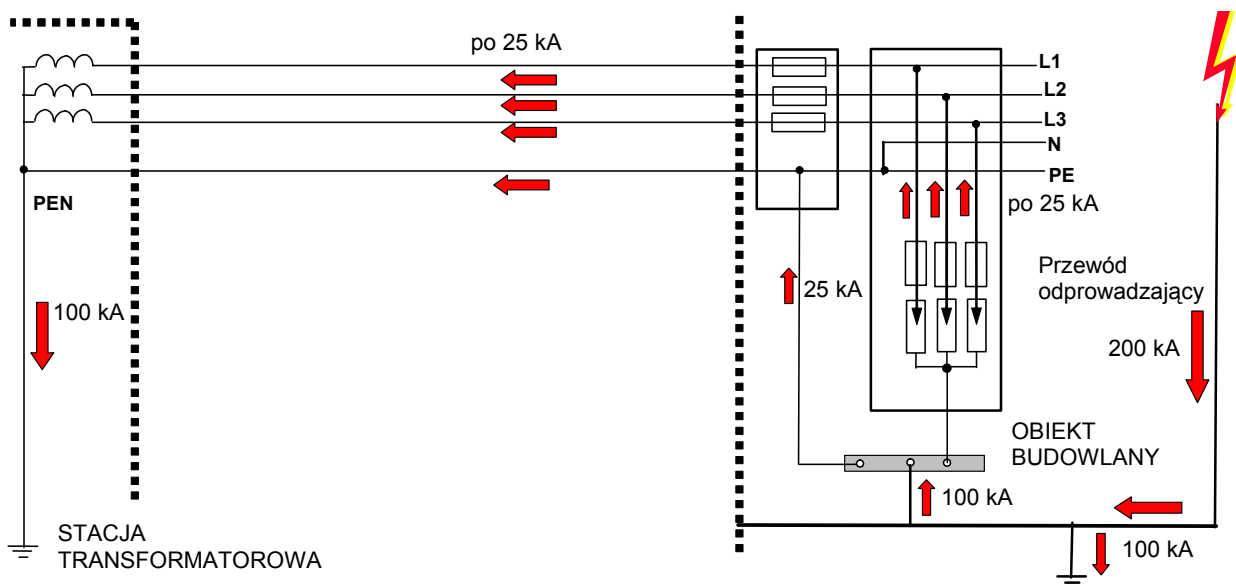
W takim układzie należy zapewnić skuteczną ochronę przed dotykiem pośrednim. Można to osiągnąć umieszczając układ połączeń typu 1 za urządzeniem różnicowoprądowym [26]. W takim rozwiązaniu należy uwzględnić możliwości oddziaływania na to urządzenie części prądu piorunowego.

Przedstawione zagrożenie nie wystąpi w przypadku układu połączeń typu 2 i jest on obecnie najczęściej stosowany w systemie sieci TT.



Rys. 6. Przepływ prądu w przypadku uszkodzenia jednego z ograniczników w systemie 4 ograniczników oraz 3 ograniczników i iskiernika

W obiektach niewielkich lub takich, do których doprowadzono instalacje wodno-kanalizacyjne z tworzyw sztucznych można przyjąć, że w układzie ograniczników popłynie połowa prądu piorunowego (rys. 7.).



Rys. 7. Najbardziej niekorzystny przypadek rozplywu prądu piorunowego w instalacji elektrycznej

Zakładając równomierny podział prądu piorunowego pomiędzy uziom obiektu i instalacje elektryczną można wyznaczyć wartości prądów udarowych płynące w poszczególnych ogranicznikach w różnych systemach sieci (tabela 10) i różnych poziomach ochrony odgromowej.

Do połączenia ograniczników typu 1 z przewodami fazowymi i neutralnym należy stosować przewody o minimalnym przekroju $16 \text{ mm}^2 \text{ Cu}$.

Połączenie z szyną wyrównawczą można wykonywać przewodem o przekroju min. $16 \text{ mm}^2 \text{ Cu}$, zaleca się jednak stosować przewód o przekroju 25 mm^2 , a w przypadku oddziaływania połowy prądu piorunowego nawet 35 mm^2 .

Tab. 10. Wartości prądu udarowego, jaki może popłynąć przez ogranicznik przepięć typu 1

Poziom ochrony	Wartości prądu				
	System sieci TN	System sieci TT*	System sieci TT ograniczniki **	System sieci TT Ogranicznik N-PE **	System sieci IT
I	≥ 100 kA / m		≥ 100 kA / m	≥ 100 kA	≥ 100 kA / m
II	≥ 75 kA / m		≥ 75 kA / m	≥ 75 kA	≥ 75 kA / m
III i IV	≥ 50 kA / m		≥ 50 kA / m	≥ 50 kA	≥ 50 kA / m
m - liczba przewodów instalacji dochodzących do budynku, w których może popłynąć prąd piorunowy , np. w systemie TN-S są to L1, L2, L3 N oraz PE - m = 5					

* - układ 4 ograniczników przepięć (połączenie typu 1),

** - układ 3 ograniczników przepięć i jednego iskiernika (połączenie typu 2).

Ograniczniki powinny poprawnie pracować przy długotrwałym wzroście napięcia sieci. Wartości skuteczne największego trwałego napięcia pracy ograniczników w zależności od systemu sieci [26] zestawiono w tabeli 11.

Tab. 11. Skuteczne wartości największego napięcia trwałej pracy

	Wartości skuteczne największego trwałego napięcia pracy				
	System sieci TN	System sieci TT*	System sieci TT ograniczniki **	System sieci TT ogranicznik N-PE**	System sieci IT
U_C	$U_C \geq 1.1 U_F$	$U_C \geq 1.5 U_F$	$U_C \geq 1.1 U_F$	$U_{C1} \geq 1.1 \cdot U_F$	$U_{C1} \geq 1.1 \cdot U_{pp}$
Sieć 230/400	$U_C \geq 253V$	$U_C \geq 345V$	$U_C \geq 253V$	$U_{C1} \geq 253V$	$U_{C1} \geq 440V$
gdzie: U_F jest wartością skuteczną napięcia fazowego sieci, U_{PP} jest wartością skuteczną napięcia przewodowego sieci					

* - układ 4 ograniczników przepięć (połączenie typu 1),

** - układ 3 ograniczników przepięć i jednego iskiernika (połączenie typu 2).

Ograniczniki typu 1 nie posiadają wewnętrznych zabezpieczeń zwarciovych i może powstać potrzeba ich ochrony przed skutkami zwarć. Dodatkowo należy uwzględnić wymóg unikania ograniczeń ciągłości zasilania elektrycznego wskutek uszkodzenia ograniczników przepięć.

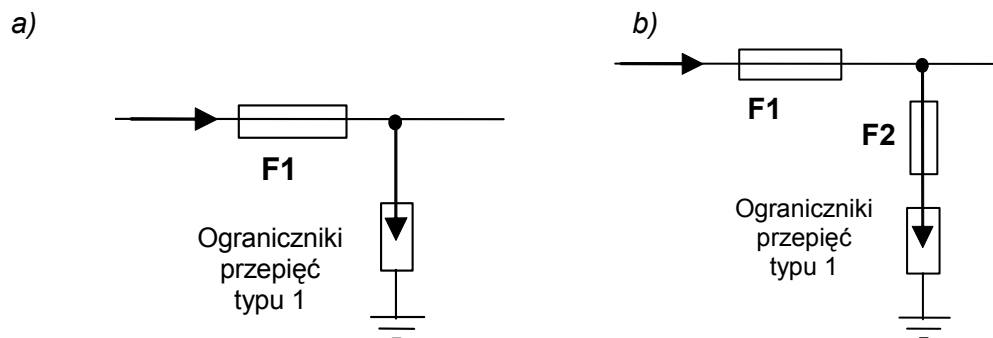
Rozwiązaniem tego problemu jest zamontowanie w połączeniu szeregowym z ogranicznikami przepięć dodatkowych urządzeń zabezpieczających przed prądami przetężeniowymi i ziemnozwarciowymi.

Najczęściej do „dobezpieczania” ograniczników stosowane są bezpieczniki klasy gG, które powinny wytrzymać przepływ prądu następczego przynajmniej do chwili jego naturalnego przejścia przez zero. Jeśli po tym czasie ogranicznik nie przerwał prądu następczego, to powinien zadziałać bezpiecznik.

Określając potrzebę stosowania dodatkowego zabezpieczenia nadprądowego należy porównać wartości znamionowych prądów I_{FI} zabezpieczeń nadprądowych, jakie występują przed ogranicznikami z dopuszczalnymi wartościami I_{DOP} zalecanymi przez producenta.

W zależności od wyników takiego porównania należy stosować układ:

- ♦ $I_{FI} \leq I_{DOP}$ - bez dodatkowych zabezpieczeń nadprądowych (rys.8a),
- ♦ $I_{FI} \geq I_{DOP}$ - posiadający dodatkowe zabezpieczenia nadprądowe włączone w szereg z ogranicznikami (rys.8b).



Rys. 8. Układy połączeń ograniczników przepięć typu 1:

- a) bez dodatkowego bezpiecznika,
- b) z dodatkowym bezpiecznikiem F2 włączanym w szereg z ogranicznikiem

Ograniczniki przepięć typu 1 i ich szeregowe zabezpieczenia powinny w sposób pewny wytrzymać wystąpienie napięć dorywczych [26].

2.2. Podstawowe zasady montażu

W celu zapewnienia niezawodnego działania urządzeń technicznych, ograniczniki typu 1 powinny charakteryzować się następującymi właściwościami:

- zdolnością gaszenia prądów następczych bez stosowania dodatkowych zabezpieczeń nadprądowych włączanych w szereg z ogranicznikami,
- nie powodować działania zabezpieczeń nadprądowych w instalacji przed ogranicznikami,
- łatwością montażu.

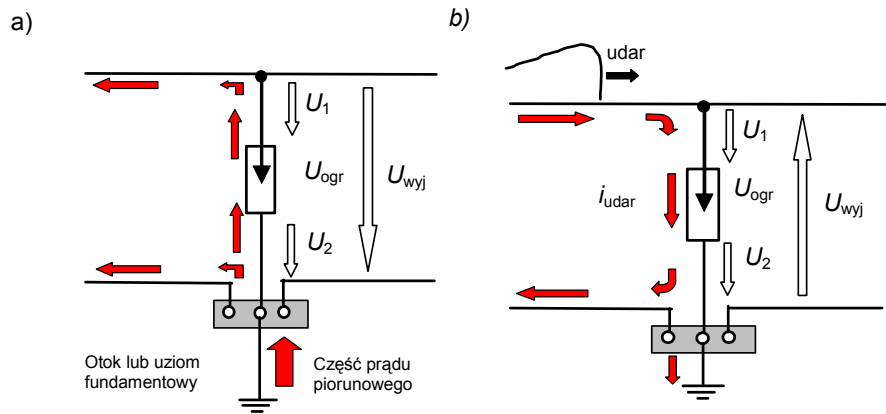
Instalując ograniczniki należy przestrzegać podstawowych zasad wynikających z zasadniczego zadania ograniczników typu 1, jakim jest ochrona przed działaniem części prądu piorunowego. Przepływ takiego prądu powoduje szereg negatywnych zjawisk, wśród których na szczególną uwagę zasługują następujące:

- oddziaływanie sił elektrodynamicznych pomiędzy przewodami, w których płyną prądy udarowe,
- wystąpienie spadków napięć na indukcyjnościach przewodów,
- zagrożenie wywołane przez wyprowadzane zjonizowanych, gorących gazów na zewnątrz ogranicznika przepięć w przypadku otwartego iskiernika.

Obecnie, dobierając odpowiednie ograniczniki przepięć i układy ich połączeń, można powyższe zagrożenia wyeliminować lub ograniczyć ich negatywne skutki.

2.2.1. Ograniczanie spadków napięć na przewodach

Oceniając poziomy przepięć „przepuszczonych” do instalacji, należy uwzględnić nie tylko spadki napięć na samych ogranicznikach, ale również spadki napięć na przewodach wykorzystywanych do połączenia tych ograniczników (rys.9a,b.).



Rys. 9. Właściwości ochronne układu z ogranicznikami typu 1:

- przypadek bezpośredniego wyładowania piorunowego w obiekt budowlany,
- przypadek uderzeń dochodzących do budynku z sieci elektroenergetycznej,

Napięcie na wyjściu układu ograniczającego przepięcia U_{wyj} , jest równe:

$$U_{\text{wyj}} = U_{\text{ogr}} + U_1 + U_2$$

gdzie: U_{ogr} - napięcie panujące na ograniczniku,

U_1 - spadek napięcia na przewodzie łączącym ogranicznik z przewodem fazowym lub neutralnym,

U_2 - spadek napięcia na przewodach łączących ogranicznik z szyną wyrównywania potencjałów lub przewodem ochronnym PE.

W przypadku przepływu prądów uderzeniowych podstawowe znaczenie mają spadki napięć na indukcyjnościach przewodów i zależność określająca U_{wyj} przyjmuje postać:

$$U_{\text{wyj}} = U_{\text{ogr}} + L \cdot l_1 \cdot \frac{di_1}{dt} + L \cdot l_2 \cdot \frac{di_c}{dt} \quad [\text{kV}]$$

gdzie: L - indukcyjność jednostkowa przewodów $[\mu\text{H}/\text{m}]$,

l_1, l_2 - odpowiednio długości przewodów łączących ogranicznik z przewodem fazowym i szyną wyrównywania potencjałów $[\text{m}]$,

$di_1/dt, di_c/dt$ - odpowiednio stromości narastania prądów uderzeniowych płynących w przewodach łączących ogranicznik z przewodem fazowym i szyną wyrównywania potencjałów $[\text{kA}/\mu\text{s}]$.

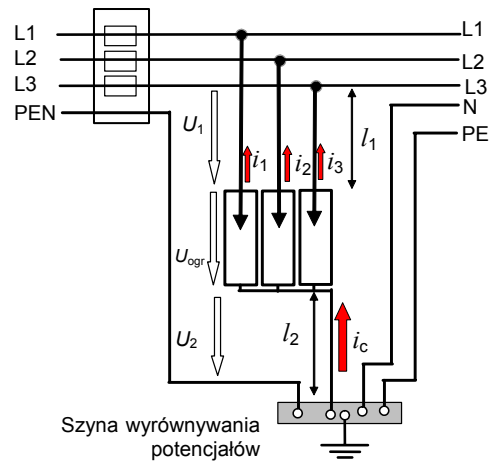
W typowym układzie ograniczania przepięć (rys. 10.), zakładając równomierny podział prądu w przewodach łączących ogranicznik z przewodami fazowymi, napięcie pomiędzy przewodem fazowym a przewodem ochronnym PE można określić z zależności:

$$U_{\text{wyj}} = U_{\text{ogr}} + L \cdot \left(\frac{l_1}{3} + l_2 \right) \cdot \frac{di_c}{dt} \quad [\text{kV}]$$

Do przybliżonego oszacowania zagrożenia można przyjąć, że przepływ prądu uderzeniowego o stromości narastania $1\text{kA}/\mu\text{s}$ wywołuje na przewodzie o długości 1m spadek napięcia o wartości ok. 1kV .

W przypadku rzeczywistych zagrożeń stromości narastania prądów uderzeniowych osiągają wartości od kilku do kilkunastu $\text{kA}/\mu\text{s}$ i spadki napięć będą proporcjonalnie większe.

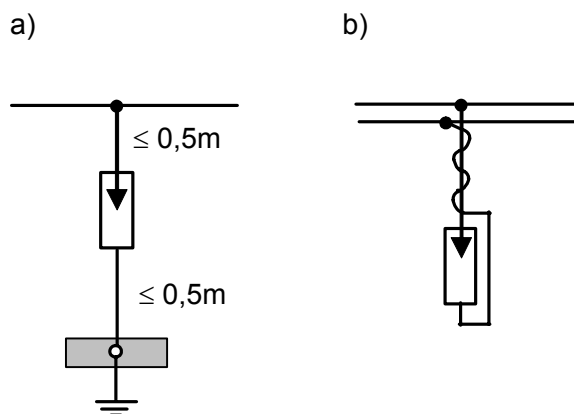
Szczególnie duży spadek napięcia występuje na przewodzie łączącym ogranicznik z szyną wyrównywania potencjałów. W przewodzie tym płynie prąd wielokrotnie większy od prądu w przewodach łączących ogranicznik z przewodami fazowymi, a dodatkowo długość tego przewodu może być znaczna.



Rys. 10. Spadki napięć w układzie połączeń ograniczników w systemie TN-C-S

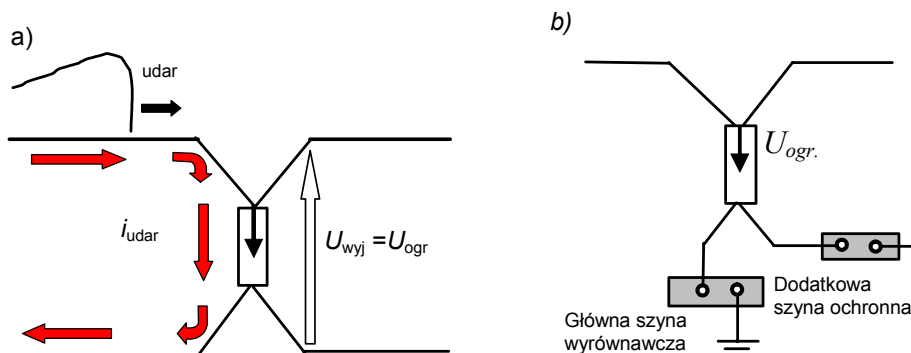
W celu zmniejszenia pojawiającego się zagrożenia należy ograniczniki umieszczać w takich miejscach, w których do ich połączenia można zastosować możliwie najkrótsze przewody. Obecnie pojawiają się zalecenia [26] ograniczenia długości przewodów poniżej 0,5m (rys. 11a.).

Spadki napięć na indukcyjnościach przewodów można ograniczyć stosując układ połączeń przedstawiony na rys. 11b.



Rys. 11. Połączenie ogranicznika typu 1: a) zalecane długości przewodów [N-48], b) przykład ograniczania wpływu indukcyjności połączeń

Całkowite wyeliminowanie spadków napięć na indukcyjnościach przewodów można osiągnąć stosując tzw. „połączenia V” (rys. 12.). Ograniczniki stosowane do takiego układu połączeń powinny posiadać możliwość podłączenia dwu przewodów do każdego bieguna (podwójne zaciski).



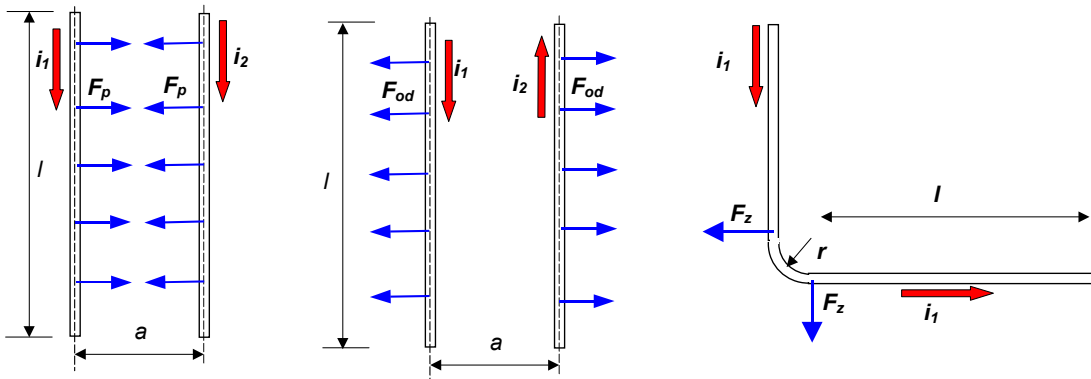
Rys. 12. Eliminacja wpływu spadków napięć na indukcyjnościach połączeń

2.2.2. Elektrodynamiczne działanie prądu udarowego

Zapewnienie poprawnego działania układu ograniczników typu 1 wymaga również uwzględnienia zagrożeń stwarzanych przez siły elektrodynamiczne działające pomiędzy przewodami, w których płyną prądy udarowe. Do przybliżonej oceny zagrożenia można przyjąć, że w przypadku przepływu prądu w układzie przewodów równoległych (rys. 13.) wystąpią siły elektrodynamiczne opisane równaniem:

$$F = \left(\frac{\mu_0}{2 \cdot \pi \cdot a} \right) \cdot i_1 \cdot i_2 \cdot l = 2 \cdot i_1 \cdot i_2 \cdot \left(\frac{l}{a} \right) \cdot 10^{-7}$$

gdzie: $i_1 \cdot i_2$ - chwilowe wartości prądów płynących w przewodach [A],
 a - odstęp między przewodami, l - długość równoległe ułożonych przewodów.

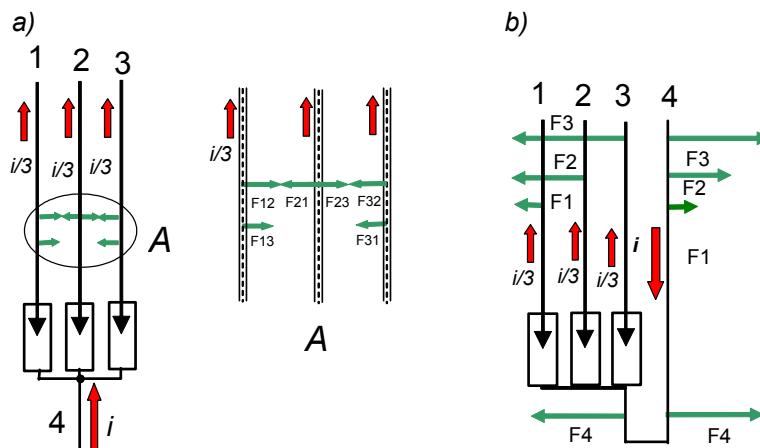


Rys. 13. Przykłady sił elektrodynamicznych działających na przewody z prądem

Przykład rozkładu sił działających na przewody w typowym układzie połączeń ograniczników przepięć typu 1 przedstawia rys. 14a.

Z punktu widzenia oddziaływania sił elektrodynamicznych, najbardziej niekorzystny jest układ połączeń, w którym wszystkie przewody dochodzące do ogranicznika ułożone są równoległe względem siebie (rys. 14b.). Prądy udarowe płynące w przedstawionym układzie powodują powstawanie sił działających:

- pomiędzy przewodami 1, 2 i 3 (rozkład tych sił nie został przedstawiony na rys. 14b gdyż jest analogiczny do przedstawionego na rys. 14a),
- pomiędzy przewodem 4 i przewodami 1, 2 i 3 (siły F_1 , F_2 i F_3),
- w samym przewodzie 4 w miejscach jego zginania (siły F_4).



Rys. 14. Siły elektrodynamiczne działające na układy przewodów łączących ograniczniki przepięć typu 1

Podejmowane są również próby wyznaczania sił elektrodynamicznych wykorzystując zależności określające tzw. energię właściwą prądu udarowego W wynoszącą:

$$W = \int i^2 dt$$

Jednostkowe impulsy sił są proporcjonalne do energii właściwej W

$$\int F dt = f \int i^2 dt$$

gdzie f jest współczynnikiem proporcjonalności, którego wartość uzależniona jest od wzajemnego ułożenia przewodów.

Należy zaznaczyć, że działanie sił elektrodynamicznych na przewody w układach ograniczników przepięć ogranicza się tylko do krótkiej chwili czasowej wynoszącej kilkadziesiąt kilkaset mikrosekund. Pomimo tak krótkiego czasu działania nie należy lekceważyć tego zagrożenia.

Występujące siły elektrodynamiczne dążą do wyrwania przewodów z zacisków mocujących i mogą spowodować uszkodzenia przewodów oraz sąsiednich urządzeń elektrycznych. W celu ograniczenia działania sił elektrodynamicznych należy unikać:

- równoległego układania przewodów stosowanych do podłączenia ograniczników,
- zaginania przewodów.

Jeśli w układzie połączeń ograniczników występują odcinki równoległe ułożonych przewodów to można zastosować dodatkowe elementy mocujące te przewody, np. uchwyty kablowe montowane co ok. 15 – 20 cm.

Dobierając ograniczniki należy również zwrócić uwagę na jakość wykonania zacisków śrubowych służących do mocowania przewodów. Odpowiednie ich wyprofilowanie zapobiega wysunięciu się przewodu z zacisku podczas działania sił elektrodynamicznych.

2.2.3. Wydmuch gazów na zewnątrz ograniczników

W części ograniczników typu 1 stosowane są iskierniki otwarte (nieobudowane), w których następuje wydmuch gorących, zjonizowanych gazów na zewnątrz ograniczników podczas przerywania prądu następczego, W takim przypadku rozmieszczając ograniczniki należy uwzględnić:

- kierunek wydmuchu gazów,
- obszar zagrożenia stwarzanego przez strumień gazów.

Strefę niebezpiecznego działania gazów określają zwykle producenci ograniczników. W strefie tej nie należy umieszczać:

- materiałów łatwopalnych,
- nieizolowanych, ułożonych blisko siebie przewodów elektrycznych,
- urządzeń elektrycznych i elektronicznych.

Montując ograniczniki w oddzielnych szafkach należy również uwzględnić wzrost ciśnienia, występującego podczas wydmuchu gazów i odpowiednio dobrać wymiary i właściwości szafek. Po wyższych zagrożeniach można uniknąć stosując ograniczniki typu 1 z obudowanymi iskiernikami.

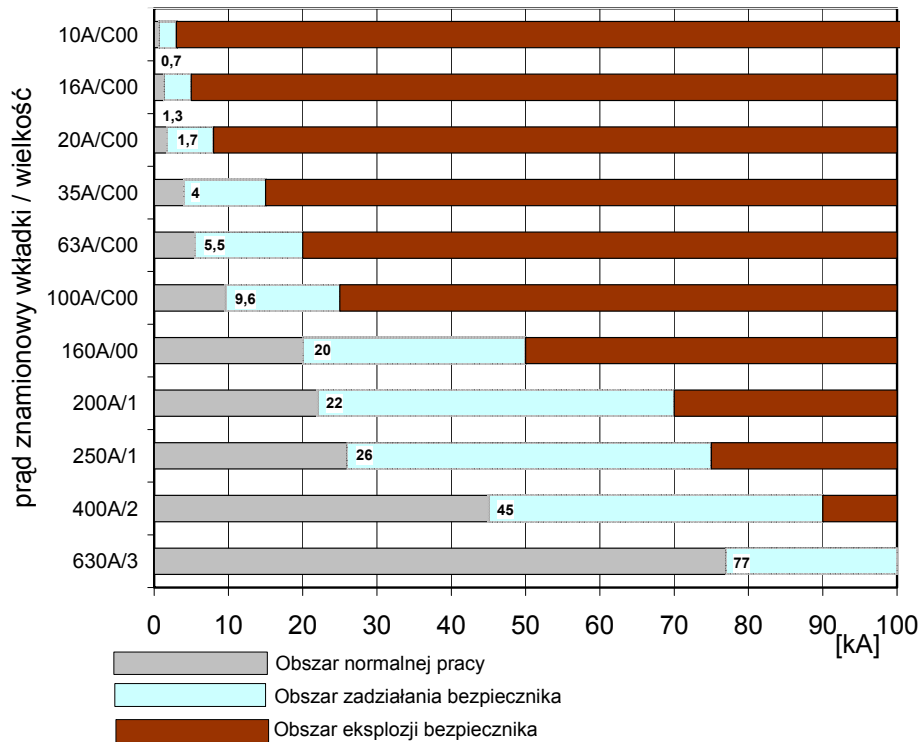
2.3. Oddziaływanie prądów udarowych na zabezpieczenia nadprądowe

W instalacji elektrycznej w obiekcie budowlanym, ograniczniki przepięć 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 nadprą-

dowe popłynie część prądu piorunowego (rys. 2) oraz prąd następny. 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. 15.



Rys. 15. Oddziaływania prądu piorunowego 10/350 na wkładki bezpiecznikowe [41]

Porównanie przedstawionych skutków przepływu prądów udarowych z wartościami prądów, jakie mogą popłynąć w bezpieczniku w przypadku wpłynięcia do instalacji piorunochronnej prądu wartości szczytowej 200 kA (I poziom ochrony) 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.

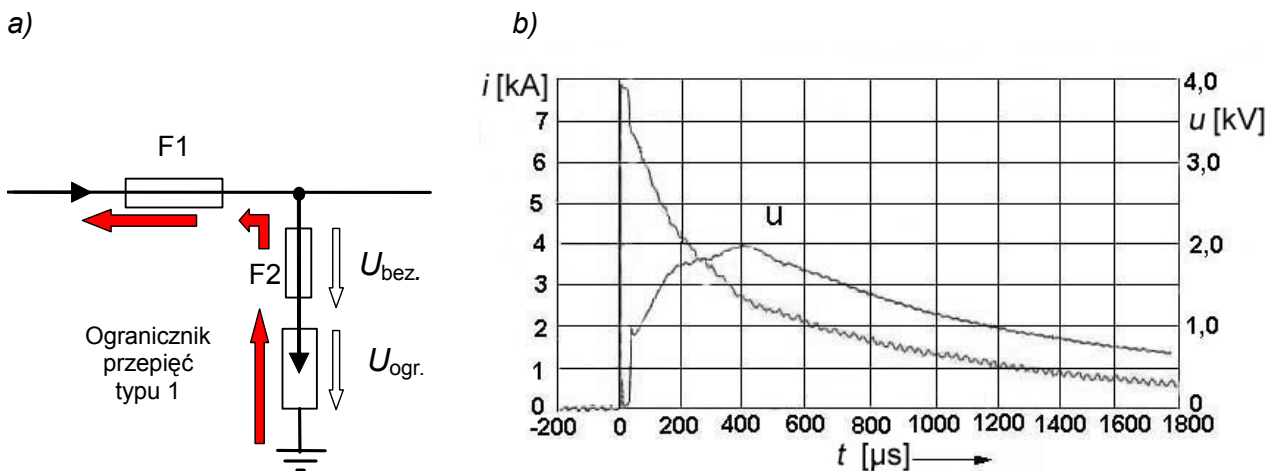
W obwodzie składających się z szeregowego połączenia ogranicznika typu 1 i bezpiecznika (rys.16) prąd piorunowy płynie również przez ten bezpiecznik.

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 łuków, co wywoła spadek napięcia na bezpieczniku (rys.16.).

Do instalacji elektrycznej w obiekcie, pomimo zastosowania ogranicznika przepięć, przepuszczane jest napięcie U będące sumą spadków napięć na ograniczniku, przewodach i bezpieczniku

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



Rys. 16. Spadki napięć podczas przepływu prądu piorunowego; a) schemat układu z ogranicznikiem, b) przebiegi prądu płynącego przez bezpiecznik i napięcia na nim panującego [41]

3. Eksploatacja i konserwacja ograniczników przepięć

Ograniczniki przepięć typu 1 jako część instalacji odgromowej powinny być poddawane oględzinom w terminach wymaganych przez obowiązujące normy ochrony odgromowej. Należy sprawdzić, czy nie ma znaków uszkodzeń urządzeń ograniczających przepięcia.

Dodatkowo w przypadku stosowania bezpieczników włączanych szeregowo z ogranicznikami wskazane jest sprawdzanie ich stanu po każdej burzy nad obiektem lub po zadziałaniu głównych zabezpieczeń nadprądowych.

Szczególnie informacje dotyczące konserwacji i sprawdzania urządzeń ochrony zawarto w PN-IEC 61024-1-2. W normie tej stwierdzono, że:

- sprawdzanie ograniczników przepięć jest częścią procedury sprawdzania instalacji piorunochronnej,
- programy sprawdzania i konserwacji powinny być sprecyzowane przed odpowiednią władzą lub przez projektanta instalacji piorunochronnej lub przez wykonawcę w uzgodnieniu z właścicielem lub ze wskazanym przez niego przedstawicielem,
- charakterystyki elektryczne urządzeń powinny być zachowane,
- jeśli w budynku dokonano modyfikacji lub zmieniono jego przeznaczenie to może okazać się niezbędna modyfikacja systemu ograniczania przepięć.

Tworząc programy przeglądów i konserwacji należy określić częstość ich przeprowadzania oraz dokładny zakres, który powinien obejmować:

- sprawdzenie dokumentacji technicznej,
- oględziny,
- dokonanie prób,
- wykonanie dokumentacji sprawdzania.

Program powinien również zawierać postanowienia dotyczące sprawdzania urządzeń do ograniczania przepięć. W przypadku rozbudowy, uzupełnień lub innych zmian w obiekcie lub w instalacji elektrycznej należy sprawdzić potrzebę uzupełnienia w systemie ochrony przepięciowej.

Sprawdzenia instalacji piorunochronnej i ograniczników przepięć powinien dokonywać specjalista z dziedziny ochrony odgromowej.

Okresy pomiędzy poszczególnymi sprawdzaniami instalacji piorunochronnej, a tym samym ograniczników przepięć zestawiono w tabeli 12.

Tab. 12. *Okresy pomiędzy sprawdzaniem instalacji piorunochronnej*

Poziom ochrony odgromowej	Odstęp pomiędzy dwoma kolejnymi sprawdzaniami	Okres pomiędzy krytycznym sprawdzeniem urządzeń.
I	2 lata	6 miesięcy
II	4 lata	12 miesięcy
III i IV	6 lat	12 miesięcy

W przedstawionej tablicy uwzględniono nie tylko pełne badania i sprawdzanie instalacji, ale również możliwości prowadzenia znacznie częstszych oględzin (przynajmniej raz w roku lub nawet, co 6 miesięcy)

Przestrzeganie powyższych zasad powinno zapewnić pewną i niezawodną ochronę urządzeń przed napięciami i prądami udarowymi, jakie mogą wystąpić w instalacji elektrycznej.

Literatura

Akty prawne

- 1 Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz. U. Nr 75, poz. 690).
- 2 Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 7 kwietnia 2004 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie – Dz. U. Nr 109, poz. 1156.
- 3 Zalecenia dla instalacji elektrycznych w obiektach telekomunikacyjnych TP S.A. z punktu widzenia kompatybilności elektromagnetycznej. Wprowadzone Zarządzeniem Nr 56 Prezesa Zarządu TP S.A. z dnia 18.12.1997

Normy

- 4 CEI IEC 61643-12:2002, Low-voltage surge protective devices. Part 12: Surge protective devices connected to low-voltage Power distribution systems. Selection and application principles.
- 5 Draft IEEE Guide on the Surge Environmental in Low-Voltage (1000V or less) AC Power Circuits. 1999.
- 6 E DIN VDE 0675 Teil 6:1989-11. Überspannung - Ableiter Teil 1: Überspannungs-Ableiter zur Verwendung in Wechselstromnetzen mit Nennspannung zwischen 100V und 1000V.
- 7 DIN VDE 0675-6/A1 (VDE 0675 Teil 6/A1) Überspannungsableiter. Verwendung in Wechselspannungsnetzen mit Nennspannungen zwischen 100 und 1000V. Änderung A1.
- 8 DIN VDE 0675-6/A2 (VDE 0675 Teil 6/A2) Überspannungsableiter. Teil 6: Verwendung in Wechselspannungsnetzen mit Nennspannungen zwischen 100 und 1000V. Änderung A2.
- 9 IEEE Recommended Practice on Surge Voltages in Low-Voltage AC Power Circuits, ANSI/IEEE Std. C62.41, 1991.
- 10 IEEE Guide on Surge Testing for Equipment Connected to Low-Voltage AC Power Circuits, ANSI/IEEE Std. C62.45, 1987.
- 11 Verband der Netzbetreiber - VDN- e.V. beim VDEW: Überspannungs- Schutzeinrichtungen Typ 1. Richtlinie für der Einsatz von Überspannungs- Schutzeinrichtungen Typ 1 (bisher Anforderungsklasse B) in Hauptstromversorgungssystemen. 2 Aufgabe 2004.
- 12 CEI IEC 60364-5-53:2001/ Amendment 1, 2002, Electrical installations of buildings – Part 5-53: Selection and erection of electrical equipment – Isolation, switching and control.
- 13 Draft prHD 60364-5-54:2004, Electrical installation of buildings. Part 5-54: Selection and erection of electrical equipment. Earthing arrangements, protective conductors and protective bonding conductors.
- 14 IEC 61312-4:Ed.1, 2005, Protection against lightning electromagnetic impulse. Part 4: Protection of equipment in existing structures.
- 15 IEC 61312-5:2002, Protection against lightning electromagnetic impulse. Part 5. Guide.

- 16 IEC 61662:1995, Assessment of risk of damages due to lightning.
- 17 IEC 61662/A1:1996, Assessment of risk of damages due to lightning. Annex C: Structures containing electronic systems.
- 18 ITU-T Recommendation K.20. (02/00) Resistibility of telecommunication equipment installed in a telecommunication centre to overvoltages and overcurrents.
- 19 ITU-T Recommendation K.27. (05/96) Bonding configurations and earthing inside a telecommunication building.
- 20 ITU-T Recommendation K.40. (10/96); Protection against interference: Protection against LEMP in telecommunication centers.
- 21 PC62.41.1-Draft 3: 1999, Draft IEEE Guide on the Surge Environment in Low-Voltage (1000 V and less) AC Power Circuits.
- 22 PN-IEC 60364-4-442:1999, Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych. Ochrona dla zapewnienia bezpieczeństwa. Ochrona przed przepięciami. Ochrona instalacji niskiego napięcia przed przejściowymi przepięciami i uszkodzeniami przy doziemieniach w sieciach wysokiego napięcia.
- 23 PN-EN 61643-11:2003(U), Niskonapięciowe urządzenia ograniczające przepięcia – Część 11: Urządzenie do ograniczania przepięć w sieciach rozdzielczych niskiego napięcia. Wymagania i próby.
- 24 PN-IEC 60364-4-443:1999, Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych. Ochrona dla zapewnienia bezpieczeństwa. Ochrona przez przepięciami. Ochrona przed przepięciami atmosferycznymi i łączeniowymi.
- 25 PN-IEC 60364-4-444:2001, Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych. Ochrona dla zapewnienia bezpieczeństwa. Ochrona przed przepięciami. Ochrona przed zakłóceniami elektromagnetycznymi (EMI) w instalacjach obiektów budowlanych.
- 26 PN-IEC 60364-5-534:2003, Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych. Dobór i montaż wyposażenia elektrycznego. Urządzenia do ochrony przed przepięciami.
- 27 PN-IEC 61024-1:2001, Ochrona odgromowa obiektów budowlanych. Zasady ogólne (oraz Poprawka PN-IEC 61024-1:2001/Ap1:2002).
- 28 PN-IEC 61024-1-1:2001, Ochrona odgromowa obiektów budowlanych. Zasady ogólne. Wybór poziomów ochrony dla urządzeń piorunochronnych (oraz Poprawka PN-IEC 61024-1-1:2001/Ap1:2002).
- 29 PN-IEC 61024-1-2:2002, Ochrona odgromowa obiektów budowlanych. Zasady ogólne. Przewodnik B – Projektowanie, montaż, konserwacja i sprawdzanie urządzeń piorunochronnych.
- 30 PN-IEC 61312-1:2001, Ochrona przed piorunowym impulsem elektromagnetycznym. Zasady ogólne.
- 31 PN-IEC 61643-1:2001. Urządzenia do ograniczania przepięć w sieciach rozdzielczych niskiego napięcia. Część 1. Wymagania techniczne i metody badań.
- 32 PN-T-45000-3:1998, Uziemienia i wyrównywanie potencjałów w obiektach telekomunikacji radiofonii i telewizji. Wymagania i badania. Systemy uziemiające w obiektach radiofonii i telewizji.
- 33 PN-T-83101:1996, Urządzenia zasilające w telekomunikacji. Określenia, wymagania i badania.
- 34 PN-IEC/TS 61312-2:2003, Ochrona przed piorunowym impulsem elektromagnetycznym (LEMP). Część 2. Ekranowanie obiektów, połączenia wewnątrz obiektów i uziemienia
- 35 PN-IEC/TS 61312-3:2004, Ochrona przed piorunowym impulsem elektromagnetycznym. Część 3: Wymagania dotyczące urządzeń do ograniczania przepięć (SPD).
- 36 TC 64/1034/CD General basic information regarding surge overvoltages and surge protection in low-voltage a.c. power systems. 1998

Publikacje

- 37 Bassi W., Janiszewski J.M." Evaluation of Currents and Charges in Low-Voltage Surge Arresters Due to Lightning Strikes" IEEE Trans. On Power Delivery, vol. 18, No 1, 2000.
- 38 Brocke R., Noack F., Hasse p., Zahlmen P.: Spark gap lightning current arresters without follow currents ICLP 2000, Greece 18-22 September 2002
- 39 Hasse P.: Überspannungsschutz von Niederspannungsanlagen. TÜV-Verlag 1998.
- 40 Hasse P.: Overvoltage protection of low voltage systems. 2nd Edition. IEE Power and Energy Series.

- 41 Noack F., Schönau J., Reichert F.: Lightning pulse current withstand of low-voltage fuses. 26th ICLP, Cracow - Poland, 2002,
- 42 Paul D.: Low-Voltage Power System Surge Overvoltage Protection. IEEE Trans. On Industry Applications, vol.37, N). 1, 2001.
- 43 Raab V. Überspannungsschutz in Verbraucheranlagen. Auswahl. Errichtung. Prüfung. Verlag Technik 1998.
- 44 Sowa A.: Analiza zagrożenia piorunowego urządzeń elektronicznych. Rozprawy Naukowe nr 2. Wydawnictwo Politechniki Białostockiej, 1990.
- 45 Sowa A., Jężak S.: Ochrona przed przepięciami w typowych obiektach Zakładów Energetycznych. PTPIREE, Poznań 1999,
- 46 Sowa A.: Kompleksowa ochrona odgromowa i przepięciowa. Biblioteka COSiW SEP Warszawa 2005.
- 47 Szpor St., Samuła J.: Ochrona odgromowa. Tom 1. Wiadomości podstawowe. WNT Warszawa 1983.
- 48 Überspannungsschutzeinrichtungen der Anforderungsklasse B. Richtlinie für den Einsatz in Hauptstromversorgungssystemen. VWEW 1998.
- 49 Materiały informacyjne firmy DEHN
- 50 Materiały informacyjne firmy LEUTRON.
- 51 Materiały informacyjne firmy OBO Betterman.
- 52 Materiały informacyjne firmy PHOENIX CONTACT.