

Zagrożenie pożarowe oraz porażeniowe pochodzące od ograniczników przepięć (SPD)

mgr inż. Julian Wiatr

Elektro.info

Wyładowanie piorunowe lub przepięcie pochodzące z sieci elektroenergetycznej może spowodować zniszczenie urządzeń, narazić ludzi znajdujących się w obiekcie, a w skrajnych przypadkach wywołać pożar. Tworzona ochrona odgromowa oraz przeciwprzepięciowa ma na celu zabezpieczenie budynku przed skutkami takich zjawisk. Okazuje się jednak, że niewłaściwie zaprojektowana lub niewłaściwie wykonana może stwarzać niebezpieczeństwo dla budynku oraz dla ludzi, zwierząt lub urządzeń, które się w nim znajdują. Projektanci oraz wykonawcy nie określają przekrojów przewodów instalowanych w gałęzi zawierającej ogranicznik przepięć. Zastosowanie przewodu łączącego ogranicznik przepięć w instalacji odbiorczej o zbyt małym przekroju może stać się przyczyną pożaru wskutek zapłonu izolacji tego przewodu a nawet jego stropienia podczas przepływu prądu o znacznej wartości.

Zastosowanie warystorowego ogranicznika przepięć w instalacji wykonanej w układzie zasilania TT, w przypadku zniszczenia struktury warystora może stwarzać zagrożenie porażenia prądem elektrycznym.

W celu wyeliminowania tego zagrożenia w instalacjach wykonanych w układzie zasilania TT, należy stosować ograniczniki przepięć będące połączeniem warystora i iskiernika.

Powszechnie stosowane ograniczniki przepięć mogą stwarzać zagrożenie pożarowe lub wybuchowe wskutek przepływu prądu następczego, którego wartość jest uzależniona od parametrów obwodu zwarciovego w miejscu przyłączenia ogranicznika przepięć (SPD). Prąd następczy jest prądem zwarciovym płynącym przez pół okresu zmienności napięcia tj. do chwili naturalnego przejścia przez zero. Częstkowy prąd wpływający do instalacji budynku podczas wyładowania atmosferycznego wywołuje określony skutek cieplny podczas przepływu przez ogranicznik, który jest wzmacniany przez skutek cieplny powodowany przepływem prądu następczego. Sumujące się skutki cieplne powodowane przepływem cząstkowego prądu pochodzącego od wyładowania oraz prądu następczego mogą w przypadku przyłączenia ogranicznika przepięć przewodem o zbyt małym przekroju spowodować zapłon jego izolacji a nawet go stopić. Tak sytuacja będzie miała miejsce, gdy nieprawidłowo zostanie dobrane zabezpieczenie poprzedzające ogranicznik przepięć.

W instalacjach elektrycznych stosuje się dwie kategorie ograniczników przepięć:

- a) iskiernikowe,
- b) warystorowe.

Ograniczniki iskiernikowe

Ograniczniki iskiernikowe podczas normalnej pracy stanowią przerwę w obwodzie. W momencie pojawienia się przepięcia, następuje przepływ prądu wyładowczego, po którym następuje przepływ prądu następczego. Problem prądu następczego występuje tylko w ogranicznikach iskiernikowych. W ogranicznikach warystorowych ten problem nie wstępuje ze względu na ich dużą szybkość działania.

W instalacjach narażonych na wnikanie prądu piorunowego z sieci zasilającej lub urządzenia piorunochronnego wymaga się instalowania w złączu lub rozdzielnicy głównej, ograniczników iskiernikowych. Ograniczniki te posiadają nieciągłą charakterystykę napięciowo-prądową, ucinającą przepięcia. Są one zdolne do odprowadzania prądu piorunowego o kształcie 10/350 μ s.

Działanie ogranicznika przepięć można opisać w następujący sposób:

- a) stan izolowania (normalny stan pracy),
- b) przewodzenie prądu wyładowczego po zapłonie odgromnika,
- c) przewodzenie prądu następczego, który płynie pod działaniem napięcia roboczego dzięki zjonizowaniu przestrzeni międzyelektrodowej przez prąd wyładowczy,
- d) wyłączenie prądu następczego (przejście w stan izolowania).

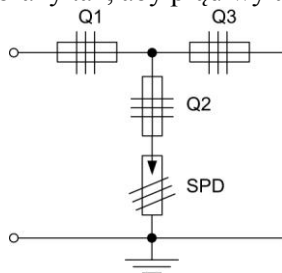
Prąd następczy jest praktycznie równy spodziewanemu prądowi zwarciovemu, który może wystąpić w miejscu zainstalowania odgromnika.

Produkowane są dwa rodzaje ograniczników przepięć (SPD):

- a) nieograniczające prądu następczego,
- b) ograniczające prąd następczy.

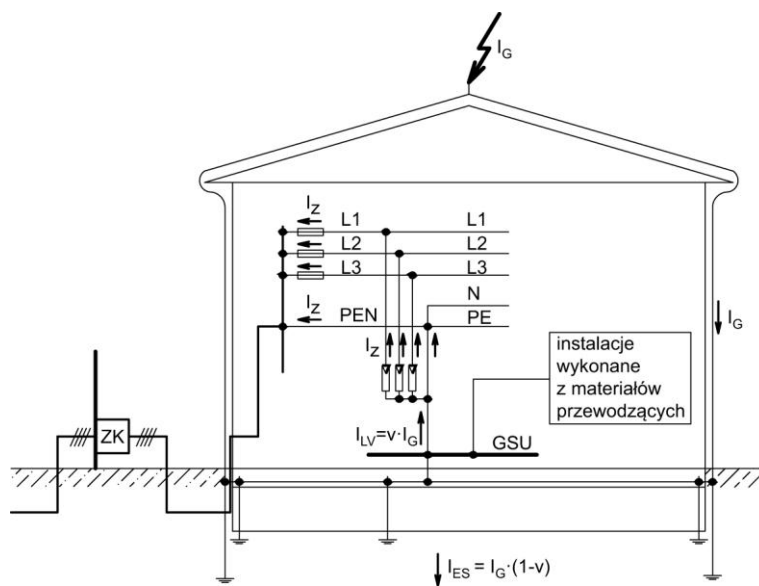
SPD nieograniczające posiadają zdolność wyłączenia prądu następczego w zakresie $1,5 \text{ kA} \leq I_f \leq 4 \text{ kA}$. Jeżeli spodziewany prąd następczy I_f posiada większą wartość od podawanego przez producenta ogranicznika, wymaga się zastosowania dobezpieczenia. Bezpiecznik ten musi przez czas $t = 10 \text{ ms}$ (pierwsze naturalne przejście prądu następczego przez zero) wytrzymać sumaryczną całość Joule'a prądu piorunowego oraz prądu następczego i zadziałać w przypadku trwałego zwarcia elektrod odgromnika lub w przypadku niewyłączenia prądu następczego przez ogranicznik iskiernikowy po naturalnym przejściu przez zero prądu następczego. Przykładowe rozwiązanie instalacji ogranicznika przepięć na początku instalacji odbiorczej przedstawia **rysunek 1** Zastosowany w gałęzi

zawierającej ogranicznik przepięć bezpiecznik F_1 musi być skorelowany pod względem wybiórczości z poprzedzającym go bezpiecznikiem F_2 oraz dobrany tak, aby prąd wyładowczy nie spowodował jego uszkodzenia.



Rysunek 1. Umieszczenie SPD względem złącza

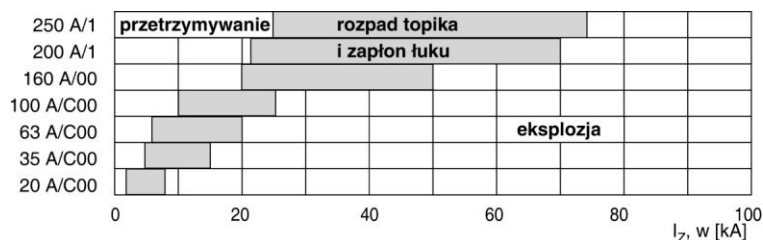
Piorun uderzający w budynek nie jest w całości odprowadzony do ziemi. Jego część wpływa do instalacji stanowiącej wyposażenie budynku. Wartość prądu wpływającego do budynku jest bardzo trudna do ustalenia i uzależniona w głównej mierze od wartości rezystancji uziemienia odgromowego. Im rezystancja uziemienia jest mniejsza to tym większa wartość prądu piorunowego zostanie odprowadzona do ziemi. Ponieważ problem ten jest trudny do rozstrzygnięcia na etapie projektowania, dopuszczalnym jest przyjęcie upraszczającego założenia, że 50 % prądu piorunowego zostanie odprowadzone do ziemi przez urządzenie piorunochronne, a 50 % wpłynie do instalacji budynku. Przyjęcie takiego założenia pozwala przyjąć warunki ekstremalne jakie mogą pojawić się przy wyładowaniu piorunowym w budynek. Zgodnie z przyjętym uproszczonym założeniem dotyczącym rozplywu prądu wyładowczego na **rysunku 2** został przedstawiony uproszczony schemat rozplywu prądu piorunowego w instalacji elektrycznej budynku zasilanego linią kablową.



Rysunek 2 Rozplyw prądu piorunowego w instalacji zasilanej linią kablową

v – współczynnik rozplywu prądu (przyjęto $v = 0,5$), I_G – prąd piorunowy, I_{ES} – prąd odprowadzony przez instalację odgromową do ziemi, I_{LV} – prąd wpływający do instalacji elektrycznej budynku, I_Z – cząstkowy prąd wpływający do przewodów instalacji, m – liczba przewodów w instalacji

Wpływający do instalacji prąd I_Z w zależności od wartości może powodować różne zachowanie się wkładek bezpieczników topikowych. Zachowanie się wkładek bezpieczników topikowych klasy gG, przez które przepływa prąd piorunowy o kształcie $10/350 \mu s$, przedstawia **rysunek 3**. Natomiast w **tabeli 1**, zostały podane parametry pierwszego udaru piorunowego $10/350 \mu s$, w zależności od poziomu ochrony obiektu budowlanego.



Rysunek 3: Efekt, jaki wywołuje przepływ prądu piorunowego o kształcie 10/350 μ s przez bezpiecznik o charakterystyce gG i napięciu znamionowym 500 V [1]

Przeptywający przez ogranicznik iskiernikowy cząstkowy prąd piorunowy może spowodować zwarcie jego elektrod, co w konsekwencji doprowadzi do długotrwałego przepływu prądu następczego. W celu uniknięcia tego niekorzystnego zjawiska koniecznym jest odbezpieczanie ogranicznika przepięć (SPD). Przepływający przez SPD prąd następczy może spowodować szybki wzrost temperatury przewodów, a w przypadku ich zbyt małego przekroju zapłon izolacji a nawet stopienie się przewodów. Problem ten może szczególnie uwypuklić się w budynku zasilanym bezpośrednio ze stacji transformatorowej, gdzie ze względów eksploatacyjnych w złączu kablowym zamiast bezpieczników zainstalowano zwory. W tabeli 2. przedstawiono wartości udarowych prądów zadziałania wkładek bezpieczników topikowych oraz odpowiadające im wartości całek Joule'a.

Tabela 1: Obliczeniowe parametry pierwszego udaru piorunowego 10/350 μ s w zależności od poziomu ochrony [3, 4]

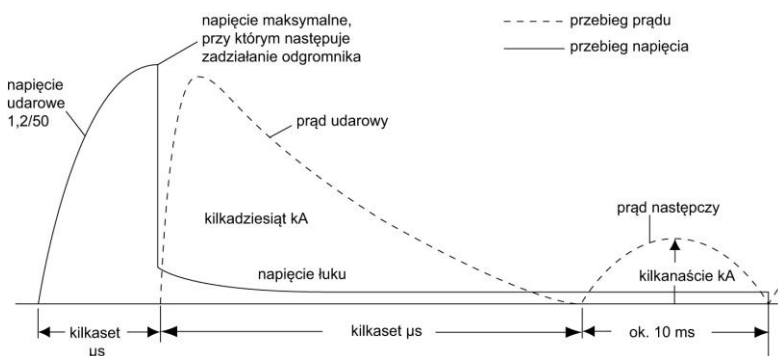
Poziom ochrony	I	II	III i IV
Wartość szczytowa prądu I_G , w [kA]	200	150	100
Całka Joule'a W_G , w [kA ² s]	10 000	5600	2500

Tabela 2: Udarowy prąd zadziałania wkładek bezpiecznikowych klasy gG [5]

Prąd znamionowy wkładki, w [A]	Przedłukowa całka Joule'a $I^2 t_p$ przy prądzie 50 Hz, w [A ² s]	Prąd zadziałania bezpiecznika przy udarze o kształcie, w [kA]	
		10/350 μ s	8/20 μ s
25	1210	2,2	9,3
32	2500	3,2	13,4
40	4000	4,0	16,9
50	5750	4,8	20,3
63	9000	6,0	25,4
80	13 700	7,5	31,3
100	21 200	9,3	38,9
125	36 000	12,1	50,7
160	64 000	16,1	67,6
200	10 400	20,6	86,2
250	18 500	27,5	115

--	--	--	--

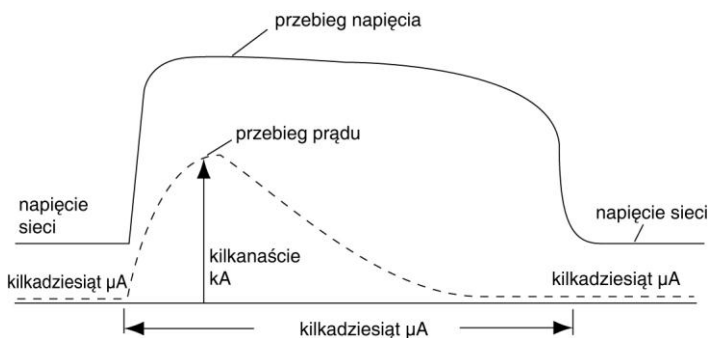
Przebiegi prądu i napięcia na iskiernikowym ograniczniku przepięć typu 1 przedstawia **rysunek 4**.



Rysunek 4: Przebieg prądu i napięcia na iskiernikowym ograniczniku przepięć typu 1 [2]

Ograniczniki warystorowe

W instalacjach stosowane są również warystorowe ograniczniki przepięć. Głównym elementem tych ograniczników są warystorowe krążki, które w normalnych warunkach wykazują przepływ prądu o niewielkiej wartości. Z biegiem czasu prąd ten może się zwiększyć na skutek procesów starzeniowych oraz przyjmowania przepięć, które mogą naruszyć strukturę spieku. Wzrost wartości prądu przepływającego przez warystor w sposób ciągły prowadzi do wzrostu strat mocy, a w konsekwencji wzrostu temperatury na elemencie. Postępująca degradacja struktury spieku może nabrać charakteru lawinowego, co w konsekwencji doprowadzi do zniszczenia ogranicznika oraz może doprowadzić do pożaru wskutek przepływu prądu zwarciovego o wartości uzależnionej od parametrów obwodu zwarciovego w miejscu jego przyłączenia do instalacji elektrycznej. W celu uniknięcia tego zjawiska, producenci wyposażają ograniczniki warystorowe w zabezpieczenia termiczne. Przebieg prądu oraz napięcia ogranicznika warystorowego przedstawia **rysunek 5**.



Rysunek 5. Przebieg prądu i napięcia ogranicznika warystorowego.

Dobezpieczenie ograniczników przepięć

Praktyka wykazuje, że zabezpieczenie termiczne, którego zadaniem jest odłączenie ogranicznika spod napięcia, nie zawsze jest skuteczne. W przypadku przekroczenia dopuszczalnego maksymalnego prądu wyładowczego I_{max} , może nastąpić zniszczenie struktury spieku, prowadzące w konsekwencji do zwarcia krążków warystorowych. W celu niedopuszczenia do zniszczenia lub zapłonu obudowy krążków warystorowych, należy ograniczniki zabezpieczyć

bezpiecznikiem zainstalowanym w gałęzi poprzecznej. Bezpiecznik ten powinien mieć prąd znamionowy nie większy niż określony przez producenta ogranicznika. Nie mniej ważny jest właściwy dobór przewodów w wyodrębnionej poprzecznej gałęzi ochrony. Przewody te przyłączone są do torów głównych, które zostały dobrane na długotrwałą obciążalność prądową i przeciążalność wynikającą z obciążenia go mocą szczytową oraz na spodziewane prądy zwarciove.

W przypadku iskiernikowych ograniczników przepięć, przewody którymi są one przyłączone, nie są narażone na skutki przeciążeń (w normalnych warunkach przez iskiernik prąd nie płynie). Wskutek przepływu prądu piorunowego o kształcie 10/350 μ s przestrzeń międzyelektrodowa ulega zjonizowaniu i następuje przepływ prądu następczego w czasie do 10 ms. W tabelach 3 oraz 4. podano przyrosty temperatury osiągane przez przewody miedziane o izolacji polwinitowej powodowane przepływem prądu piorunowego o kształcie 10/350 μ s oraz prądu następczego około 10 ms.

Tabela 3. Przyrost temperatury przewodów miedzianych wywołany prądem piorunowym [1]

Prąd piorunowy 10/350 μ s		Przyrost temperatury przewodu miedzianego o przekroju, w [K]			
Wartość szczytowa, w [kA]	Całka Joule'a, w [kA ² s]	4 mm ²	6 mm ²	10 mm ²	16 mm ²
5	6,25	2,5	1	0,5	0,2
10	25	10	4	2	1
15	56	22	10	4	1,5
25	156	62	27	10	4
50	625	248	110	40	15
75	1406	560	247	89	35
100	2500	?	440	158	62

Tabela 4: Przyrost temperatury przewodów miedzianych wywołany w ciągu jednego półokresu (10 ms) przepływem prądu następczego poprawnie wyłączanego przez odgromnik nieograniczający [1]

Prąd następczy		Przyrost temperatury przewodu miedzianego o przekroju, w [K]			
Wartość szczytowa, w [kA]	Całka Joule'a, w [kA ² s]	4 mm ²	6 mm ²	10 mm ²	16 mm ²
1	10	4	2	0,6	0,3
2,5	62,5	26	11	4	1,5
4	160	63	28	10	4
6	360	142	63	22	9
10	1000	369	176	63	25
16	2560	?	450	162	63

25	6250	?	?	396	155
----	------	---	---	-----	-----

Analiza wyników zestawionych w tabelach pozwala wyciągnąć wniosek, że prąd następczy powoduje większy przyrost temperatury niż prąd piorunowy 10/350 μ s. Wynika z tego, że przekrój przewodu w gałęzi poprzecznej musi być dobrany do spodziewanych zwarciovych narażeń cieplnych. Poprawnie dobrane przewody oraz ich zabezpieczenia w gałęzi poprzecznej bezpiecznie zniosą skutek cieplny prądu piorunowego i poprawnie wyłączą prąd następczy.

Przykład

Należy dobrać przekrój przewodu do przyłączenia odgromników zainstalowanych w złączu dla następujących danych: $I_{k1} = 1,6$ kA – spodziewany prąd zwarcia jednofazowego, poziom ochrony III, prąd znamionowy odgromników zainstalowanych w złączu $I_n = 25$ kA, zdolność ograniczenia prądu następczego przez odgromniki wynosi 3 kA. Zabezpieczenie zainstalowane w złączu – bezpieczniki topikowe WTNgG 160.

Zgodnie z przyjętym założeniem, że podczas bezpośredniego trafienia pioruna w budynek 50% prądu wyładowczego wpływa do budynku, można przy założonym III poziomie ochrony wyznaczyć prąd, jaki popłynie pojedynczym przewodem oraz wymagany minimalny przekrój przewodu w torze ogranicznika przepięć:

$$I_z = \frac{0,5 \cdot I_G}{m} = \frac{0,5 \cdot 100}{4} = 12,5 \text{ kA}$$

$$W_z = W_G \cdot \left(\frac{I_z}{I_G}\right)^2 = 2500 \cdot \left(\frac{12,5}{100}\right)^2 = 39,0625 \approx 39,10 \text{ kA}^2\text{s}$$

$$I_f = 0,8 \cdot I_{k1} = 0,8 \cdot 1,6 = 1,28 \text{ kA}^*$$

$$W_f = I_f^2 \cdot 0,5 \cdot T = 1280^2 \cdot 0,5 \cdot 0,2 = 16\,384 \approx 16,4 \text{ kA}^2\text{s}$$

$$W_{zf} = W_z + W_f = 39,10 + 16,40 = 55,50 \text{ kA}^2\text{s}$$

$$\tau_{sr} = \frac{\tau_0 + \tau_{dz}}{2} = \frac{35 + 160}{2} = 97,5^\circ\text{C}$$

$$\gamma_{sr} = \frac{\gamma_{20}}{1 + \alpha(\tau_{sr} - 20)} = \frac{56}{1 + 0,004(97,5 - 20)} = 42,75 \text{ m}/(\Omega \cdot \text{mm}^2)$$

$$k = \sqrt{\gamma_{sr} \cdot c \cdot \frac{\tau_{dz} - \tau_0}{T_k}} = \sqrt{42,75 \cdot 3,55 \cdot \frac{160 - 35}{1}} = 138 \text{ A}/\text{mm}^2$$

$$S \geq \frac{1}{k} \sqrt{W_{zf}} = \frac{1}{138} \sqrt{55\,500} = 1,71 \text{ mm}^2$$

$$\text{czyli } S = 2,5 \text{ mm}^2$$

Współczynnik 0,8 występujący we wzorze na prąd I_f uwzględnia zmniejszenie prądu wskutek pojawiającej się rezystancji łuku elektrycznego

gdzie:

I_z – cząstkowy prąd piorunowy płynący w pojedynczym przewodzie przyłącza, w [kA],

m – liczba przewodów przyłącza, w [-],

W_G – całka Joule'a przypisywana prądowi piorunowemu 100 kA 10/350 μ s (**tab. 1.**), w [kA²s],

W_z – całka Joule'a odpowiadająca prądowi cząstkowemu wpływającemu pojedynczym przewodem przyłącza, w [kA²s],

I_G – wartość szczytowa prądu piorunowego przyjmowana w zależności od poziomu ochrony (**tab. 1.**), w [kA],

I_f – prąd powstający przy zwarciu łukowym obliczony na podstawie wartości spodziewanego prądu zwarciovego powstającego przy zwarciu metalicznym, w [kA],

I_{k1} – spodziewany prąd zwarcia jednofazowego, w [kA],

W_f – skutek cieplny (całka Joule'a) spodziewany wskutek przepływu prądu następczego przez ogranicznik iskernikowy przez pół okresu ($T = 0,02$ s – okres sinusoidalnego napięcia zasilającego), w [kA²s],

W_{zf} – łączna całka Joule'a prądu piorunowego i prądu następczego mogącego przepłynąć przez ogranicznik przepięciowy, w [kA²s],

τ_0 – temperatura początkowa przewodów, w [°C],

τ_{dz} – dopuszczalna temperatura przewodu przy zwarciu (w przykładzie przyjęto przewód miedziany o izolacji polwinitowej, którego temperatura dopuszczalna przy zwarciu wynosi 160°C), w [°C],

τ_{sr} – temperatura średnia, w [°C],

c – ciepło właściwe materiału przewodzącego, w [J/cm³ · m] (dla Al: $c = 2,48$, w [J/cm³ · m], dla Cu: $c = 3,55$, w [J/cm³ · m]),

k – dopuszczalna jednosekundowa gęstość prądu zwarciovego, w $[A/mm^2]$,

γ_{20} – konduktywność materiału przewodzącego odniesiona do temperatury $20^\circ C$,

w $[m/(\Omega \cdot mm^2)]$, przyjmowana jako: dla Cu: 55, w $[m/(\Omega \cdot mm^2)]$, dla Al: 35, w $[m/(\Omega \cdot mm^2)]$,

γ_{sr} – konduktywność materiału przewodzącego odniesiona do temperatury średniej, w $[m/(\Omega \cdot mm^2)]$,

α – temperaturowy współczynnik rezystancji (dla metali stosowanych do budowy kabli i przewodów $\alpha = 0,0040$), w $[K^{-1}]$,

T_k – czas trwania zwarcia, w [s],

T – czas trwania okresu przy częstotliwości 50 Hz, w [s],

S – przekrój przewodu, w $[mm^2]$.

Taki przekrój mógłby zostać przyjęty w przypadku całkowitej pewności poprawnego działania ogranicznika. Jednak z powodów wcześniej opisanych, należy założyć sytuację, że ogranicznik nie wyłączy prądu następczego.

Przy spodziewanym prądzie jednofazowego zwarcia $I_{k1} = 1,6$ kA i zabezpieczeniu WTNgG 160 zainstalowanym w złączu, w przypadku zwarcia, wyłączenie zasilania nastąpi w czasie $T_k = 0,8$ s (patrz charakterystyki $t = f(I_k)$ zamieszczone w katalogach producentów bezpieczników topikowych). W tym czasie prąd I_{k1} wywoła skutek cieplny $W_{0,8s} = (0,8 \cdot I_{k1})^2 \cdot T_k = 1280^2 \cdot 0,8 = 1\,310\,720$ A²s. Zatem minimalny wymagany przekrój przewodu wyniesie:

$$S \geq \frac{1}{k} \sqrt{\frac{W_z + W_{0,8s}}{1}} = \frac{1}{138} \sqrt{\frac{39\,100 + 1\,310\,720}{1}} \approx 8,42 \text{ mm}^2$$

czyli $S = 10 \text{ mm}^2$

Przyjęcie jako podstawy obliczeń całki Joule'a wyłączenia podawanej dla celów oceny wybiórczości zadziałania zabezpieczeń podczas zwarcie prowadzi do błędnych wyników:

$$W = I^2 t_w = 185\,000 \text{ A}^2\text{s}$$

$$S \geq \frac{1}{k} \sqrt{\frac{W}{1}} = \frac{1}{138} \sqrt{\frac{185\,000}{1}} \approx 3,12 \text{ mm}^2$$

czyli $S = 4 \text{ mm}^2 < 10 \text{ mm}^2$

Przyjęcie tak wyznaczonego przekroju przewodu w przypadku pojawienia się prądu zwarciovego w gałęzi ogranicznika skończy się zapłonem izolacji, a w konsekwencji pożarem budynku. Obliczony przekrój przewodu $S = 10 \text{ mm}^2$ jest absolutnym minimum, jakie należy uznać za poprawne w rozpatrywanym przypadku.

Można w uproszczonym rozumowaniu przyjąć czas trwania zwarcia $T_k = 5$ s, dopuszczony jako maksymalny dla obwodów rozdzielczych zgodnie z wymaganiami normy PN-HD 60364-4-41, co w rozpatrywanym przypadku z zabezpieczeniem topikowym realizowanym z wykorzystaniem bezpiecznika WTNgG160 odpowiada prądowi wyłączającemu $I_a = 915$ A (patrz charakterystyka $t = f(I_k)$ zamieszczona w katalogach producentów bezpieczników topikowych).

Wówczas:

$$W_{5s} = I_a^2 \cdot T_k = 915^2 \cdot 5 = 4\,186\,125 \text{ A}^2\text{s}$$

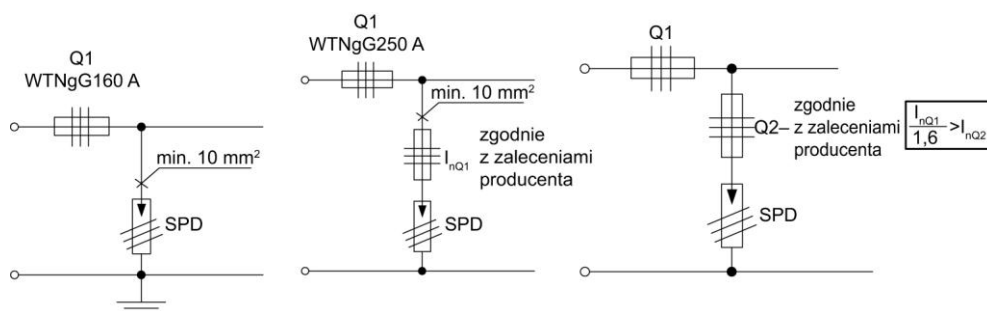
$$S \geq \frac{1}{k} \sqrt{\frac{W_{5s}}{1}} = \frac{1}{138} \sqrt{\frac{4\,186\,125}{1}} \approx 14,83 \text{ mm}^2$$

czyli $S = 16 \text{ mm}^2$

Przekrój ten jest dobrany ze względu na wszelkie możliwe zagrożenia mogące pojawić się wskutek przepływu prądów w ograniczniku iskiernikowym podczas wyładowania atmosferycznego przy bezpośrednim trafieniu w budynek. Przewody o takim przekroju należy dobierać do łączenia ograniczników przepięć instalowanych na początku każdej instalacji elektrycznej.

W przypadku, gdy spodziewany prąd zwarcia jednofazowego byłby większy od zdolności wyłączenia prądu następczego ogranicznika, konieczna stałaby się instalacja bezpiecznika topikowego w gałęzi poprzecznej zawierającej ogranicznik przepięć. W takiej sytuacji kryterium doboru przewodu związane ze skutkiem cieplnym 5-sekundowego prądu wyłączającego nie ulegnie zmianie ale konieczne staje się sprawdzenie selektywności zainstalowanych zabezpieczeń.

Dla rozpatrywanego przykładu, w złączu konieczne będzie zainstalowanie bezpiecznika o prądzie znamionowym 250 A lub większego (**rys. 6**).



Rysunek 6. a) Ogranicznik przepięć bez zabezpieczenia, b) ogranicznik przepięć z zabezpieczeniem poprzedzającym, c) dobór bezpiecznika dobezpieczającego – przypadek ogólny

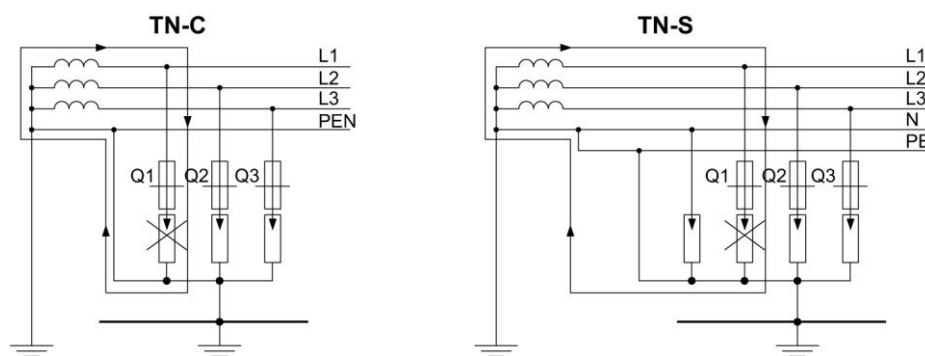
Innym rozwiązaniem może być przyjęcie bezpiecznika instalowanego w gałęzi zawierającej ogranicznik, o mniejszym prądzie znamionowym, o ile dopuszcza to producent ogranicznika podając minimalną wartość zabezpieczenia w katalogach wyrobów.

Ograniczniki przepięć w instalacjach zasilanych w układzie TT

Powstające zwarcie w ograniczniku przepięć spowodowane prądem udarowym lub prądem następczym powoduje uszkodzenie izolacji podstawowej i stwarza zagrożenie porażenia prądem elektrycznym. Nie ma znaczenia w tym przypadku rodzaj zastosowanego ogranicznika. Problem występuje zarówno przy zastosowaniu ogranicznika przepięć warystorowego lub iskiernikowego.

W celu wyeliminowania powstających zagrożeń, zabezpieczenie poprzedzające ogranicznik przepięć powinno wyłączyć zasilanie w czasie określonym w normie **PN-HD 60364-4-41**.

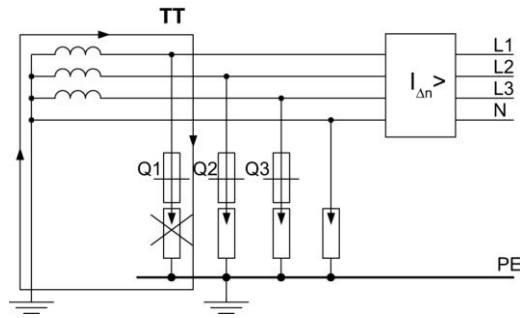
Powstałe zwarcie wskutek uszkodzenia ogranicznika przepięć w układzie 4+0 w instalacji o układzie zasilania TN zostanie wyłączone w określonym czasie, o ile instalacja została poprawnie zaprojektowana. Prąd zwarciowy zamknie się przez niskoimpedancyjny obwód (**rys. 7**).



Rysunek 7. Zastosowanie ograniczników przepięć w układzie sieci: a) TN-C, b) TN-S

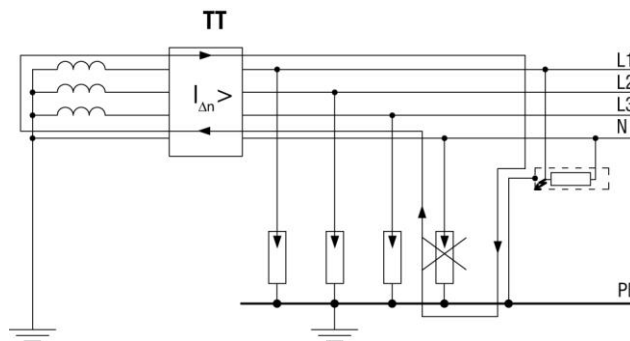
W przypadku, gdy instalacja odbiorcza wykonana jest w układzie zasilania TT, uszkodzony ogranicznik o układzie 4 + 0 może stwarzać zagrożenie porażeniowe w przypadku trwałego uszkodzenia ogranicznika.

Prąd zwarciowy oznaczony na **rysunku 8**. posiada zbyt małą wartość, by spowodować samoczynne wyłączenia zasilania ze względu na duże wartości rezystancji uziomów punktu neutralnego transformatora oraz przewodu ochronnego PE (zgodnie z wymaganiami **PN-HD 60364-4-41**, w układzie zasilania TT uznaje się ochronę przeciwporażeniową przy uszkodzeniu za skuteczną, jeżeli nastąpi wyłączenie zasilania podczas zwarcia w czasie nie dłuższym od określonego w normie **PN-HD 60364 – 4-41**).



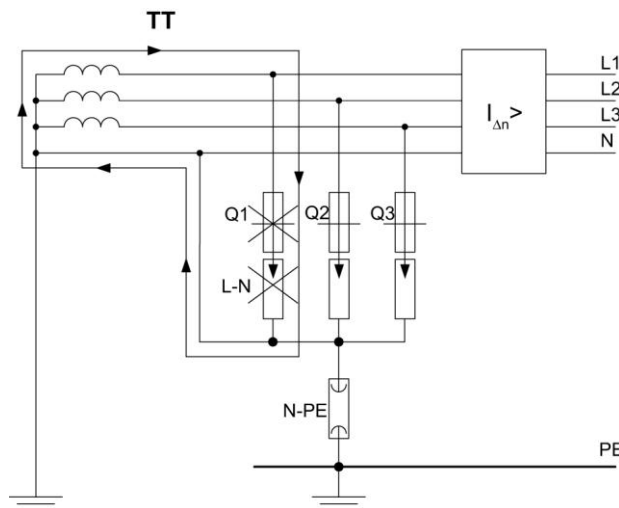
Rysunek 8: Zastosowanie ograniczników przepięć w układzie 4+0 (sieć TT)

W takim przypadku nieskuteczne jest również instalowanie wyłącznika różnicowoprądowego, nawet wysokoczułego. W przypadku zwarcia w ograniczniku przepięć w gałęzi N-PE, znaczna część prądu zwarcia doziemnego wraca do źródła przez wyłącznik, a prąd różnicowy może być za mały dla zadziałania wyłącznika. Problem ten został wyjaśniony na **rysunku 9**.



Rysunek 9. Nieprawidłowe działanie wyłącznika różnicowo-prądowego w układzie sieci TT spowodowane uszkodzeniem ogranicznika przepięć

W celu wyeliminowania tych zagrożeń w instalacji elektrycznej o układzie zasilania TT, należy stosować ograniczniki w układzie 3+1 przedstawione na **rysunku 10**.

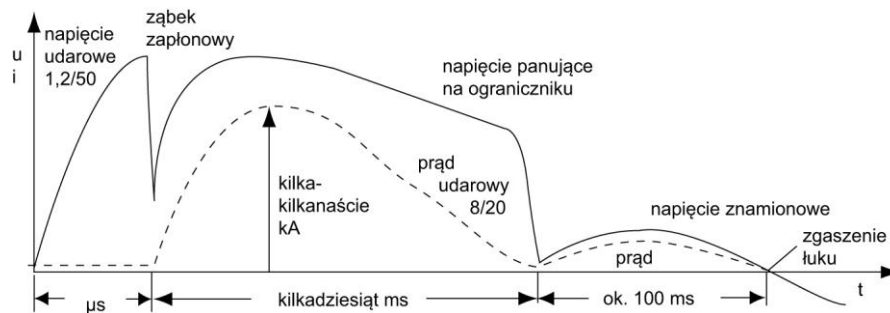


Rysunek 10. Zastosowanie ograniczników przepięć w układzie 3+1 (sieć TT)

Ograniczniki typu 3+1 posiadają specjalną konstrukcję stanowiącą połączenie elementów warystorowych z iskiernikiem, który zapewnia galwaniczne oddzielenie przewodu PE od pozostałych przewodów. Zwarcie w ograniczniku pomiędzy przewodem L a przewodem N spowoduje przepływ dużego prądu, który pod warunkiem poprawnego zaprojektowania instalacji spowoduje samoczynne wyłączenie zasilania w czasie określonym w normie **PN-HD 60364-4-41**. Układ ogranicznika 3+1 zabezpiecza również przed ewentualnym zwarcie przewodu N z przewodem PE. Zwarcie przewodów fazowych z przewodem ochronnym PE bez jednoczesnego zwarcia z przewodem

neutralnym N w tego typu ogranicznikach nie jest możliwe. Ogranicznik iskiernikowy łączący przewód N z przewodem PE nie jest narażony na przepływ prądu następczego. Jednocześnie zostaje wyeliminowane zagrożenie przypadkowego wyłączenia wyłącznika różnicowoprądowego powodowane krótkotrwałymi przepięciami.

Na **rysunku 11**. został przedstawiony przebieg napięcia i prąd płynący w ograniczniku składającym się z szeregowego połączenia warystora i iskiernika oraz płynącego w nim prądu.



Rysunek 11: Przebieg napięcia i prąd płynący w ograniczniku składającym się z szeregowego połączenia warystora i iskiernika oraz płynącego w nim prądu [2]

Literatura

1. E. Musiał, Dobezpieczanie ograniczników przepięć, „INPE” nr 76–77, luty 2006.
2. A. Sowa, Kompleksowa ochrona odgromowa i przepięciowa, COSiW SEP, Warszawa 2006.
3. PN-IEC 61024-1-1:2001 Ochrona odgromowa obiektów budowlanych. Zasady ogólne. Wybór poziomów ochrony dla urządzeń piorunochronnych.
4. PN-IEC/TS 61312-3:2004 Ochrona przed impulsem elektromagnetycznym. Część 3: Wymagania dotyczące urządzeń do ograniczania przepięć (SPD).
5. V. Raab, Blitz- und Überspannungsschutz-Maßnahmen in NS-Anlagen, „Elektropraktiker”, 1996, nr 11 i nr 12.
6. J. Brikl, Überspannungs-Schutzeinrichtungen – Stoßstromgerecht installiert und normenkonform getestet, VEÖ Journal, 2001 nr 9.