

Radosław Lenartowicz*

WYMAGANIA DOTYCZĄCE WEWNĘTRZNEJ OCHRONY ODGROMOWEJ OBIEKTÓW BUDOWLANÝCH

W dziedzinie wewnętrznej ochrony odgromowej i przepięciowej wprowadzono ostatnio wiele nowych wymagań. Wymagania te są zawarte we wprowadzanych stopniowo do realizacji nowych normach. W artykule przedstawiono aktualny stan normalizacji w zakresie ochrony odgromowej i przepięciowej. Opisano wprowadzone przez normy nowe pojęcia i definicje. Podano zalecane wymagania dotyczące takich preferowanych w wewnętrznej ochronie odgromowej środków ochrony, jak ekranowanie, eliminacje pętli indukcyjnych, połączenia wyrównawcze, uziemienia i inne. Omówiono także wymagania związane ze strefową ochroną odgromową (LPZ) i stosowanymi urządzeniami (SPD).

1. Normy i definicje

Aktualny stan norm z zakresu ochrony odgromowej i przepięciowej charakteryzuje się przejściem od norm IEC serii 61024, 61312 i 61662 do norm serii 62305. W chwili obecnej wszystkie normy serii EN 62305 zostały zastąpione przez PN-EN 62305 (4 części).

Tablica 1. Aktualny stan norm z zakresu ochrony odgromowej i przepięciowej
Table 1. Present state of standards in the field of lightning protection and overvoltage protection

Norma EN	Dawna PN EN	Nowa PN-EN
EN 62305-1:2006	PN-EN 62305-1:2006	PN-EN 62305-1:2008 Ochrona odgromowa Część 1: Wymagania ogólne (oryg.)
EN 62305-1:2006	PN-EN 62305-1:2006, PN-EN 62305-1:2006/ /AC:2007 PN-IEC 61024-1-1:2001 PN-IEC 61024-1-1:2001/ /Ap1:2002	PN-EN 62305-1:2008 Ochrona odgromowa. Część 1: Zasady ogólne

* inż. – gt. specjalista w Zakładzie Badań Ogniwych – Pracownia Sygnalizacji, Automatyki Pożarowej i Instalacji Elektrycznych

cd. tablicy 1

Norma EN	Dawna PN-EN	Nowa PN-EN
EN 62305-1:2006/ /AC:2006	PN-EN 62305-1:2006/ /AC:2007	PN-EN 62305-1:2008 Ochrona odgromowa. Część 1: Wymagania ogólne (oryg.)
EN 62305-2:2006	PN-EN 62305-2:2006	PN-EN 62305-2:2008 Ochrona odgromowa. Część 2: Zarządzanie ryzykiem (oryg.)
EN 62305-2:2006	PN-EN 62305-2:2006,	PN-EN 62305-2:2008 Ochrona odgromowa. Część 2: Zarządzanie ryzykiem
EN 62305-2:2006/ /AC:2006	PN-EN 62305-2:2006/ /AC:2007	PN-EN 62305-2:2008 Ochrona odgromowa. Część 2: Zarządzanie ryzykiem (oryg.)
EN 62305-3:2006	—	PN-EN 62305-3:2006 Ochrona odgromowa. Część 3: Uszkodzenia fizyczne obiektów budowlanych i zagrożenie życia (oryg.)
EN 62305-3:2006/ /AC:2006	—	PN-EN 62305-3:2006/AC:2008 Ochrona odgromowa. Część 3: Uszkodzenia fizyczne obiektów budowlanych i zagrożenie życia (oryg.)
EN 62305-4:2006 PKN-CLC/TS 61643- -12:2007	—	PN-EN 62305-4:2006 Ochrona odgromowa. Część 4: Urządzenia elektryczne i elektroniczne w obiektach budowlanych (oryg.)
EN 61643-11:2002	PN-EN 61643-11:2003	PN-EN 61643-11:2006 Niskonapięciowe urządzenia ograniczające przepięcia. Część 11: Urządzenia do ograniczenia przepięć w sieciach rozdzielczych niskiego napięcia. Wymagania i próby (oryg.)
EN 61643-11:2002/ /A11:2007	—	PN-EN 61643-11:2006/A11:2007 Niskonapięciowe urządzenia do ograniczania przepięć. Część 11: Urządzenia do ograniczania przepięć w sieciach rozdzielczych niskiego napięcia. Wymagania i próby (oryg.)
EN 61643-21:2001	PN-EN 61643-21:2002	PN-EN 61643-21:2004 Niskonapięciowe urządzenia ograniczające przepięcia. Część 21: Urządzenia ograniczające przepięcia w sieciach telekomunikacyjnych i sygnalizacyjnych. Wymagania eksploatacyjne i metody badań (oryg.)

Norma EN	Dawna PN-EN	Nowa PN-EN
EN 61643-311:2001	—	PN-EN 61643-311:2002 Elementy do niskonapięciowych urządzeń ograniczających przepięcia. Część 311: Wymagania dla iskierników gazowych (GDT) (oryg.)
EN 61643-321:2002	—	PN-EN 61643-321:2003 Elementy do niskonapięciowych urządzeń ograniczających przepięcia. Część 321: Wymagania dla diod lawinowych (ABD) (oryg.)
EN 61643-331:2003	PN-EN 61643-331:2004	PN-EN 61643-331:2008 Elementy do niskonapięciowych urządzeń ograniczających przepięcia. Część 331: Specyfikacja dla warystorów z tlenków metali (MOV) (oryg.)
EN 61643-341:2001	—	PN-EN 61643-341:2003 Elementy do niskonapięciowych urządzeń ograniczających przepięcia. Część 341: Wymagania dla ograniczników tyrystorowych (oryg.)
—	—	PN-EN 61643-12 (2002-02) Niskonapięciowe urządzenia do ograniczania przepięć. Część 12: Urządzenia do ograniczania przepięć w sieciach rozdzielczych niskiego napięcia. Zasady wyboru i stosowania

Jednocześnie w trakcie ustanawiania są normy:

- PN-EN 60364-4-44 Instalacje elektryczne budynków. Część 4-44: Ochrona dla bezpieczeństwa. Ochrona przed zakłóceniami napięciowymi i elektromagnetycznymi (zastępująca PN-IEC 60364-4-443) i wprowadzająca normę HD 60364-4-443:2006),
- PN-EN 60364-5-53 Instalacje elektryczne budynków. Część 5-53: Wybór i montaż urządzeń elektrycznych. Izolowanie, łączenie i sterowanie (zastępująca PN-IEC 60364-5-534:2003 oraz wprowadzająca normę HD 364-5-534:2008).

Przewidywane jest również ustanowienie PN-EN 62305-5 Ochrona odgromowa obiektów budowlanych. Część 5: Usługi (ostatniej normy z nowej serii norm IEC 62305).

Nowe normy zawierają następujące ważniejsze pojęcia i definicje:

Środki ochrony – środki do zainstalowania w obiekcie w celu zredukowania ryzyka szkód.

LPS (Lighting Protection System) – urządzenie piorunochronne.

Urządzenie piorunochronne (LPS) – kompletne urządzenie stosowane do redukcji szkód fizycznych przy wyładowaniach piorunowych skierowanych w obiekt (składa się z zewnętrznego i wewnętrznego urządzenia piorunochronnego).

Zewnętrzne urządzenie piorunochronne – część LPS składająca się ze zwodów, przewodów odprowadzających i uziomów.

Wewnętrzne urządzenie piorunochronne – część LPS składająca się z piorunochronnych połączeń wyrównawczych i/lub elektrycznego odizolowania zewnętrznego LPS.

LPZ – strefa ochronna (Lighting Protection Zone).

Obserwuje się pewną dowolność w zakresie pojęć i definicji dotyczących ochrony przed oddziaływaniem napięć i prądów wyładowań piorunowych na instalację elektryczną. Niektóre z tych pojęć są przedmiotem kontrowersji.

Przed wszystkim chodzi tutaj o pojęcie **udaru** (surge) i urządzeń do jego ograniczania. Udar jest to fala przejściowa zjawiająca się w instalacji jako napięcie i/lub prąd. W odniesieniu do urządzeń do ograniczania przepięć są stosowane w publikacjach, a nawet i w normach, następujące pojęcia: **odgromnik** (surge arrester), **odgromnik niskonapięciowy** (low-voltage surge arrester), **odgromnik prądowy** (current surge arrester), **odgromnik napięciowy** (voltage surge arrester), **odgromnik prądowy piorunowy** (lightning current arrester) i **odgromnik napięciowy piorunowy** (lightning voltage arrester) oraz **ogranicznik przepięć** (surge protective device) lub – niespodziewanie – **krótki odgromnik** (short arrester).

Odgromnik jest definiowany jako urządzenie przeznaczone do ochrony aparatów elektrycznych przed wysokim napięciem przejściowym oraz do ograniczania czasu trwania i – często – amplitudy pływającego prądu, przy czym pojęcie „odgromnik” obejmuje dowolny zewnętrzny iskiernik, który ma zasadnicze znaczenie dla działania wyposażenia, bez względu na to, czy stanowi integralną część tego wyposażenia, czy nie.

SPD jest definiowane jako urządzenie przeznaczone do ograniczania przepięć przejściowych i odprowadzenia prądów udarowych.

Pewne kontrowersje są związane również z pojęciem „klasa próby”.

Używane są bowiem takie wyrażenia, jak: klasa prób SPD, klasa SPD, klasa A, B, C i D, klasa I (B), II (C), III (D), a nie wszystkie są obecnie właściwe.

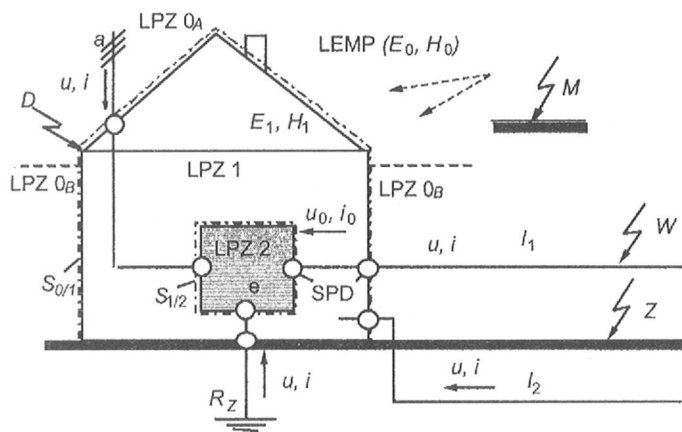
Pojęcie klasy I, II i III (wg IEC 61643-1) dotyczy klasy próby, zgodnie z którą powinny być prowadzone badania SPD. Na tym tle wydawałoby się rzeczą oczywistą, że po wprowadzeniu takich pojęć jak SPD (urządzenie do ograniczania przepięć), SPD typu ucinającego napięcie, SPD typu ograniczającego napięcie, SPD spełniające wymagania próby klasy I, II i III, powrót do pojęć odgromnika i klasy SPD staje się niemożliwy.

2. Przegląd zalecanych wymagań dotyczących wewnętrznej ochrony odgromowej

2.1. Ekranowanie

Szczególnie ważną rolę w ochronie LPS według nowych norm odgrywa ekranowanie.

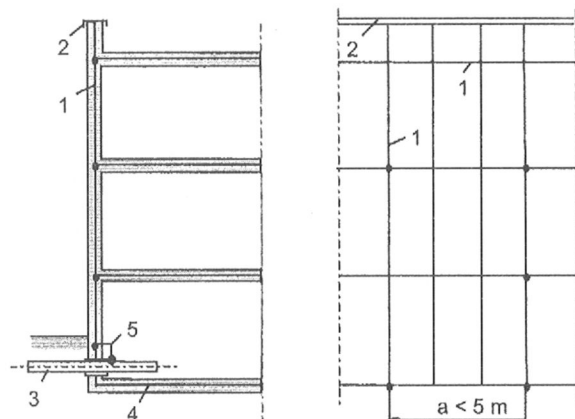
Zgodnie ze strefową zasadą ochrony piorunowa strefa ochronna (LPZ) jest przestrzenią obiektu (rys. 1), w której znajdują się urządzenia o określonej odporności na oddziaływanie piorunowych impulsów elektromagnetycznych (LEMP). Kolejne strefy (0, 1, 2 itd.) obejmują zewnętrzną część obiektu, wewnątrz całego obiektu i kolejno wyodrębniane w nim pomieszczenia lub urządzenia.



Rys. 1. Przykład obiektu z wyodrębnionymi piorunowymi strefami ochronnymi LPZ, miejscami trafień piorunowych i lokalizacji SPD [1], [2]

Fig. 1. Example of the object with isolated LPZ and SPD localization [1], [2]

a – antena, R_z – uziemienie, e – zagrożone urządzenie elektroniczne, $S_{0/1}$, $S_{1/2}$ – granice stref, LPZ 0, 1, 2 – strefy ochronne, E, H – pola (elektryczne i magnetyczne), u, u_0 , u_1 oraz i , i_0 , i_1 – napięcia i prądy w linii l_1 , l_2 , SPD – urządzenia ograniczające napięcia na granicach stref; D, M, W, Z – miejsca różnych trafień piorunowych



Rys. 2. Przykład naturalnego ekranu przestrzennego [1], [2]

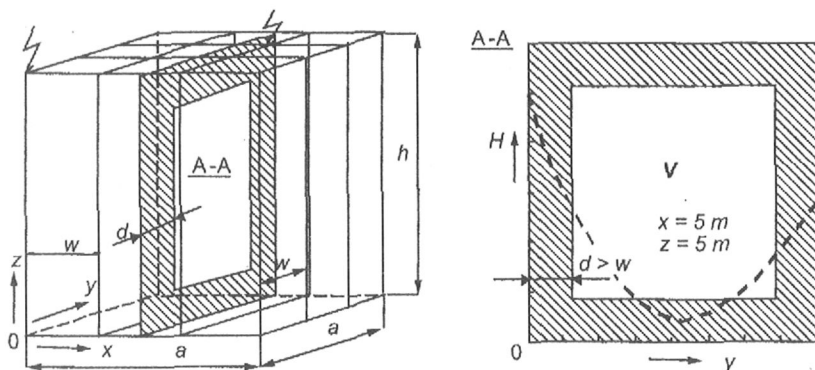
Fig. Natural special screen example [1], [2]

1 – zbrojenie betonu, 2 – obróbka metalowa, 3 – wspólne wprowadzenie różnych instalacji, 4 – uziom fundamentowy, 5 – połączenie wyrównawcze

Stosowanie ekranów i połączeń wyrównawczych przewidziane jest na granicy stref. Wśród ekranów przestrzennych wyróżnia się:

- ekrany obiektów, pomieszczeń i urządzeń,
- ekrany klatkowe naturalne (rys. 2),

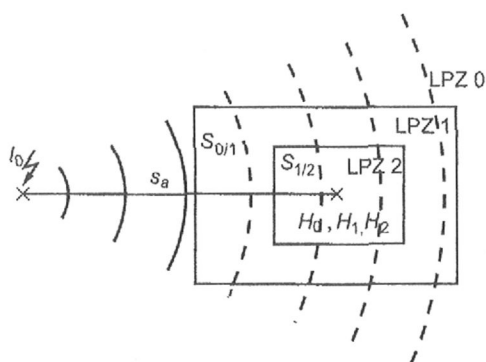
- ekrany podstawowe tworzone przez LPS o zagęszczonych elementach (rys. 3) – przy uderzeniach bezpośrednich (aparaturę chronioną należy odsunąć od ścian zewnętrznych na odległość d),
- ekrany podstawowe tworzone przez LPS o zagęszczonych elementach (rys. 4) – przy uderzeniach pobliskich.



Rys. 3. Przykład ekranu $10 \times 10 \times 10$ m z rozkładem pola magnetycznego H wzdłuż linii y przy $x = 5$ m i $z = 5$ m [2]

Fig. 3. Example of the $10 \times 10 \times 10$ m screen with magnetic field (H) distribution – inside screen lines (y), $x = 5$ m, $z = 5$ m [2]

A-A – przekrój przestrzeni chronionej, V – przestrzeń bezpieczna dla chronionych urządzeń, d – odległość V od ścian budynku, w – odstępy między przewodami ekranu, x, y, z – współrzędne układu



Rys. 4. Wyznaczanie rozkładu natężenia pola magnetycznego wewnątrz ekranów ($S_{0/1}$, $S_{1/2}$) przy wyładowaniu pobliskim [2]

Fig. 4. Magnetic field intensity distribution – inside screens ($S_{0/1}$, $S_{1/2}$) – assuming nearby discharge [2]

W przypadku braku ekranów natężenie pola w punkcie X przyjmuje wartość

$$H_0 = \frac{i_0}{2 \pi s_a} \quad (1)$$

Przy obecności ekranu $S_{0/1}$ – natężenie pola magnetycznego wynosi

$$H_1 = \frac{H_0}{10^{S_{0/1(\text{dB})}/20}} \quad (2)$$

Przy obecności obu ekranów natężenie pola magnetycznego jest

$$H_2 = \frac{H_1}{10^{S_{1/2(\text{dB})}/20}} \quad \text{lub} \quad H_2 = \frac{H_1}{10^{S_{0/2(\text{dB})}/20}} \quad (3)$$

przy czym wielkości $S_{0/1(\text{dB})}$, $S_{1/2(\text{dB})}$ i $S_{0/2(\text{dB})}$ oznaczają skuteczność ekranowania i wynikają z zależności

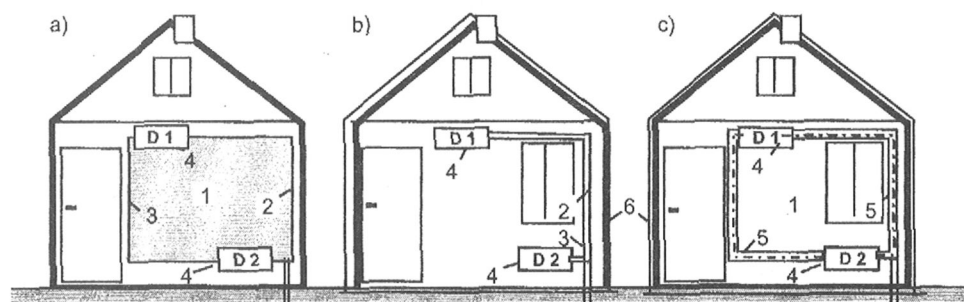
$$S_{0/1(\text{dB})} = 20 \lg \frac{H_0}{H_1}; \quad S_{1/2(\text{dB})} = 20 \lg \frac{H_1}{H_2}; \quad S_{0/2(\text{dB})} = 20 \lg \frac{H_0}{H_2} \quad (4)$$

Zakłada się, że piorun nie może uderzyć w odległości d mniejszej od obiektu niż trzy jego wysokości h ($d > 3h$). Pozwala to uznać pole wewnątrz obiektu za jednorodne.

2.2. Eliminacja pętli indukcyjnych tworzonych przez instalację i części metalowe w obiekcie

Istotnym wprowadzonym nowym wymaganiem jest eliminacja pętli indukcyjnych tworzonych przez instalację i ekranowanie przewodów w obiekcie budowlanym (budynku).

Przykłady standardowych środków służących redukcji napięć indukowanych w wyniku eliminacji pętli i ekranowania przewodów przedstawiono na rysunku 5.



Rys. 5. Standardowe środki redukcji efektów indukcyjnych: a) brak środków, b) wspólna trasa przewodów + LPS, c) ekranowanie przewodów + LPS [2]

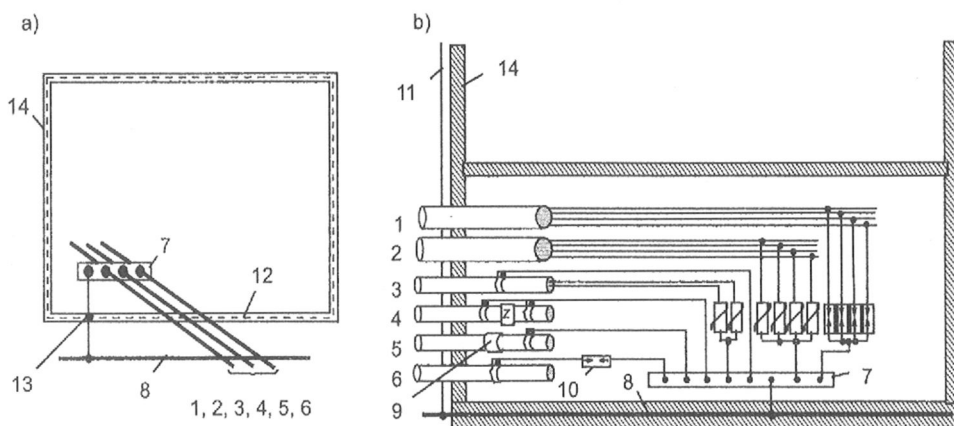
Fig. 5. Standard measures of inductive effects reduction: a) no measures, b) common wires route + LPS, c) wires screening + LPS [2]

1 – pętla, 2 – przewody telekomunikacyjne, 3 – przewody zasilania, 4 – urządzenia wyposażeniowe (D1 i D2), 5 – ekrany przewodów, 6 – LPS

2.3. Połączenia wyrównawcze i uziemienia

Połączenia wyrównawcze i uziemienia stanowią system uziemiający, który odprowadza do ziemi prąd piorunowy i wyrównuje potencjały. Jego części składowe to:

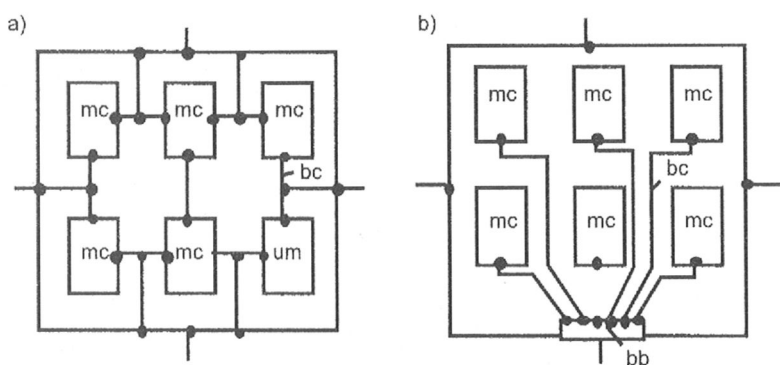
- sieć wyrównawcza, która nie ma kontaktu z ziemią,
- system uziomowy, który zapewnia szczególny kontakt z ziemią poprzez połączenia elementów przewodzących w obiekcie.



Rys. 6. Przykłady zalecanych zasad wprowadzania instalacji [2]: a) wspólne wprowadzenie instalacji, b) połączenia wyrównawcze [2]

Fig. 6. Examples of recommended rules for implementation of installation: a) common implementation of installation, b) equipotential bondings [2]

1 – instalacja elektryczna, 2 – system informatyczny, 3 – telekomunikacja, 4 – instalacja wodna, 5 – instalacja gazowa, 6 – rura przewodząca, 7 – szyna wyrównawcza, 8 – uziomy, 9 – wstawka izolacyjna, 10 – iskiernik, 11 – przewód odprowadzający, 12 – zbrojenie, 13 – połączenie zbrojenia, 14 – obiekt



Rys. 7. Główne konfiguracje połączeń wyrównawczych: a) oczkowa, b) promieniowa [3]

Fig. 7. Main configurations of equipotential bondings [3]

mc – metal component (e.g. cabinet, housing), bb – bonding bar, bc – bonding conductor

Połączenia wyrównawcze minimalizują różnice potencjałów i mogą redukować pola magnetyczne.

Wyróżnia się dwa rodzaje połączeń wyrównawczych:

- połączenia bezpośrednie dokonywane za pomocą przewodów,
- połączenia dokonywane za pomocą SPD.

Jednym z najważniejszych wymagań jest wspólne wejście do budynku (rys. 6a) oraz dokonywanie głównych połączeń wyrównawczych przy ziemi na wejściu do obiektu (rys. 6b), przy czym potrzebna jest zgoda właściciela lub administratora instalacji na dokonanie połączenia. Jeżeli zgody brak, połączenie należy wykonać za pomocą iskierników.

Preferowana jest oczkowa konfiguracja połączeń wyrównawczych (rys. 7a) i konfiguracja promieniowa (rys. 7b).

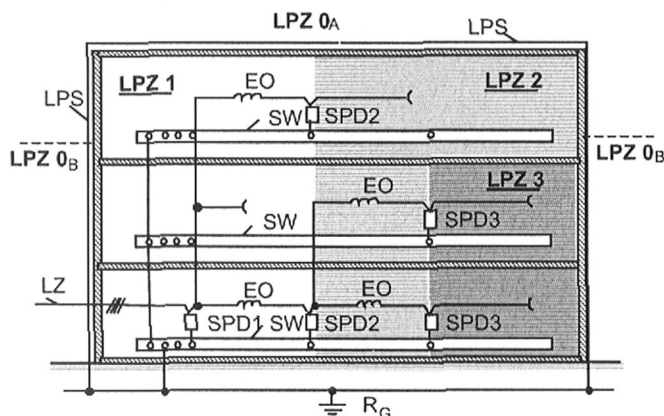
3. Wymagania związane ze strefową ochroną odgromową (LPZ) i stosowanymi urządzeniami (SPD)

3.1. Urządzenia ochrony przepięciowej (SPD) a koncepcja strefowej ochrony odgromowej (LPZ)

Lokalizacja SPD w obiekcie chronionym powinna odpowiadać koncepcji piorunowych stref ochronnych (LPZ).

Strefa LPZ może być utworzona przez całą przestrzeń obiektu lub przez wyodrębnione z niej części. Na granicach stref powinny być lokowane urządzenia SPD. Prowadzi to do stopniowania ich układu.

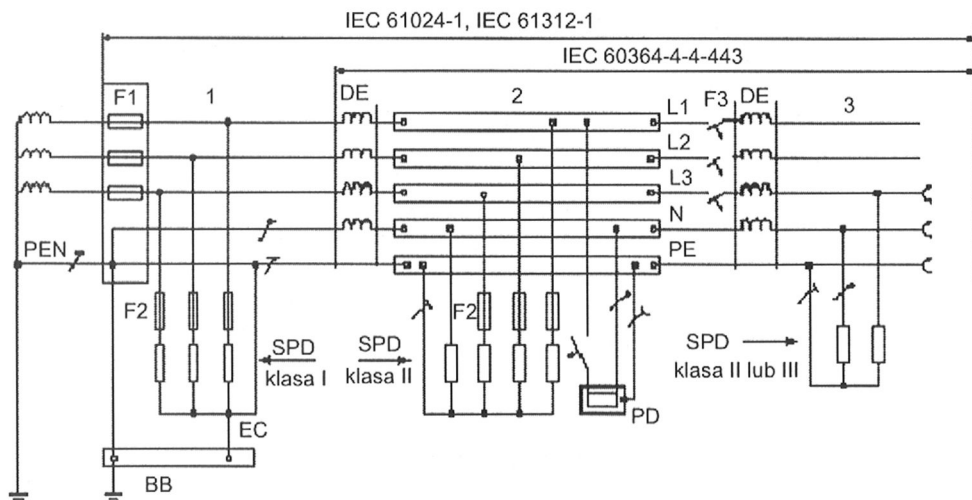
Przykłady typowych układów SPD zostały podane na rysunkach 8 i 9. Odpowiadają one wymaganiom norm [1], [2], [4], [5], [6], [7].



Rys. 8. Sekwencje SPD w układzie trójstopniowym według koncepcji LPZ [2]

Fig. 8. SPD sequences in three – step configuration – according to LPZ [2]

SPD 1, 2, 3 – kolejne SPD, LPZ 0, 1, 2, 3 – kolejne strefy LPZ, EO – element odłączający, SW – szyna wyrównawcza, LPS – urządzenie piorunochronne, RG – uziemienie, LZ – linia zasilająca

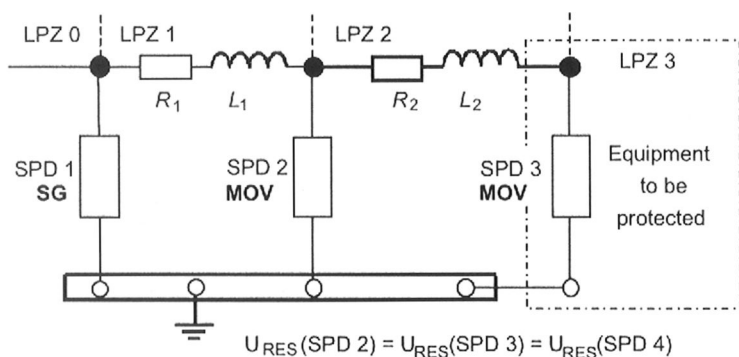


Rys. 9. Usytuowanie SPD próby I, II, III w układzie TN-C-S [6]
 Fig. 9. Location of SPD of categories I, II, III in TN-C-S system [6]

1 – łącze instalacji, 2 – rozdzielnica, 3 – gniazda, BB – szyna wyrównawcza, DE – element odsprężający, EC – przewód uziemiający, F1, F2, F3 – urządzenia zabezpieczające, PD – urządzenia chronione stałe

Jak uprzednio pokazano, SPD są lokowane na granicach kolejnych stref. Liczba stref jest identyfikowana z liczbą stopni SPD. Zwykle stosuje się dwa stopnie. Często wystarczający jest jeden stopień, ale czasami są niezbędne trzy lub większa liczba stopni.

Układ 3-stopniowy, według wariantu 3 właściwej normy (PN-EN 61312-3), został przedstawiony na rysunku 10.



$$U_{RES}(SPD 2) = U_{RES}(SPD 3) = U_{RES}(SPD 4)$$

Rys. 10. Koordynacyjny wariant III: SG – SPD ucinający napięcie, MOV – SPD ograniczający napięcie [7]
 Fig. 10. Coordination variant III: SG – SPD cutting – off voltage, MOV – SPD limiting voltage [7]

Aby układ stopniowany SPD mógł skutecznie redukować uszkodzenia skoordynowanych systemów elektrycznych i elektronicznych, to SPD poszczególnych stopni powinny być prawidłowo wybrane, skoordynowane i zamontowane.

3.2. Wybór i warunki skutecznej pracy urządzeń ochrony przepięciowej (SPD)

Do parametrów i właściwości mających wpływ na wybór i skuteczne działanie SPD należą:

- dobór SPD według klasy prób SPD (I, II, III),
- standardowe wartości: U_c , I_c , I_n , I_{imp} , U_p , I_{max} , U_{oc} ,
- rozkład prądu pioruna w różnych układach,
- poziomy odporności chronionych urządzeń,
- kategorie przepięć (tabl. 3),
- typ SPD (ucinający, ograniczający, inny),
- własności środowiskowe (typ wnętrзовy, napowietrzny, stały, przenośny, obudowa),
- charakterystyki koordynacyjne SPD i urządzeń,
- odporność SPD na przepięcia dorywcze U_T ,
- odporność SPD na prądy zwarcia.

Standardowe impulsowe próby SPD to:

- próba klasy I, przy znamionowym prądzie wyładowczym I_n (10/350 μ s), napięciu 1,2/50 μ s i prądzie impulsowym I_{imp} : $I_{peak} = 1, 2, 5, 10, 20$ kA; $Q = 0,5; 1; 2,5; 5; 10$ As,
- próba klasy II, przy znamionowym I_n (8/20 μ s), maksymalnym I_{max} prądzie wyładowczym, napięciu 1,2/50 μ s; $I_n = 0,05; 0,1; 0,25; 0,5; 1,0; 1,5; 2; 2,5; 3; 5; 10; 15; 20$ kA,
- próba klasy III, przy udarach złożonych: U_{oc} 1,2/50 μ s (obwód otwarty), ISC 8/20 μ s (obwód zwarty); impedancja obwodu $U_{oc}/I_{sc} = 2 \Omega$ przy $U_{oc} = 0,1; 0,2; 0,5; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 10; 20$ kV.

Wymagania napięciowo-prądowe (SPD) są następujące:

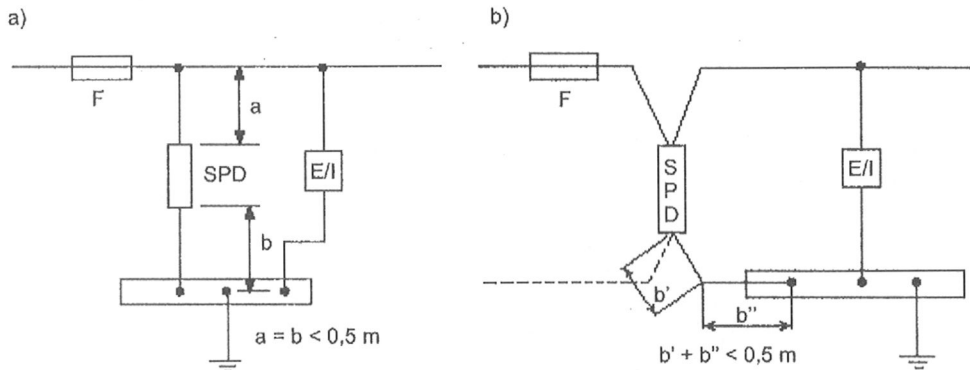
- w układzie IT: $U_c \leq 1,73 U_0$ (U_0 – faza – przewód neutralny), a w układach TT i TN: $U_c \leq 1,1 U_0$,
- przy czasie $t < 5$ s: $U_T < U_0 + 1,2$ kV, a przy czasie $t > 5$ s: $U_T < U_0 + 0,25$ kV,
- w każdym przypadku: $I_n \geq 5$ kA (8/20 μ s) i $I_{imp} \geq 12,5$ kA (lub obliczony),
- w przypadku połączenia typu 2 (rys. 14) w układzie 3-fazowym: $I_n \geq 20$ kA (8/20 μ s) i $I_{imp} \geq 50$ kA, a w układzie 1-fazowym $I_n \geq 10$ kA (8/20 μ s) i $I_{imp} \geq 25$ kA.

Przykład doboru parametrów SPD jest podany w tablicy 2.

Tablica 2. Klasy, poziomy ochrony, obciążenia prądowe SPD
Table 2. Classes protection levels, SPD current – carrying capacity

Klasa	Poziom ochrony	Prąd wyładowczy
A, linie zewnętrzne	wg IEC 99-1	5 kA
I (B), kategoria IV	< 4 kV	100 kA, 50 As 10/350 μ s
II (C), kategoria III	< 2,5 kV	5–15 kA, 8/20 μ s
III (D), kategorie II i I	< 1,5 kV	1,5–5 kA, 8/20 μ s

Jednym z warunków skutecznego działania prawidłowo dobranych SPD jest wymaganie, by spadek napięcia w gałęzi SPD był zredukowany przez ograniczenie długości łączących przewodów do minimum (do długości nie większej niż 0,5 m (rys. 11a) i skoordynowany z odpornością chronionego urządzenia, a nawet by był wyeliminowany przez zastosowanie konfiguracji w postaci litery V, jak na rysunku 11b.



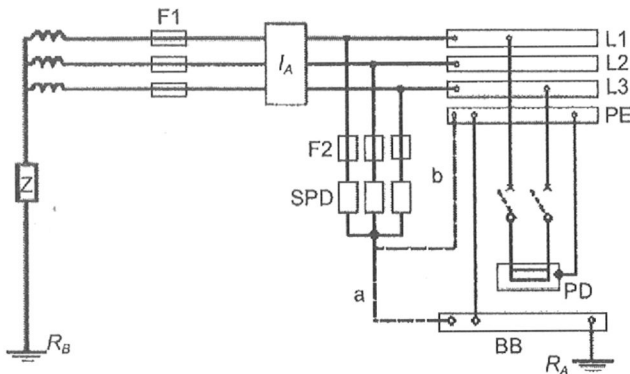
Rys. 11. Gałęzie SPD: a) skrócone, wyeliminowane układem „V” [7]

Fig. 11. SPD branches: a) limited by „V” system [7]

SPD – surge protective device, E/I – protected device, F – fuse, a, b – branch conductors

SPD instalowane przy złączu instalacji powinny być przyłączone najkrótszą drogą do: a) przewodów L1, L2, L3 i głównej szyny wyrównawczej/przewodu PE, jeżeli w złączu nie ma przewodu N, jak pokazano na rysunku 12, lub jeżeli przewód ten jest połączony z przewodem PE, jak to jest widoczne na rysunku 13,

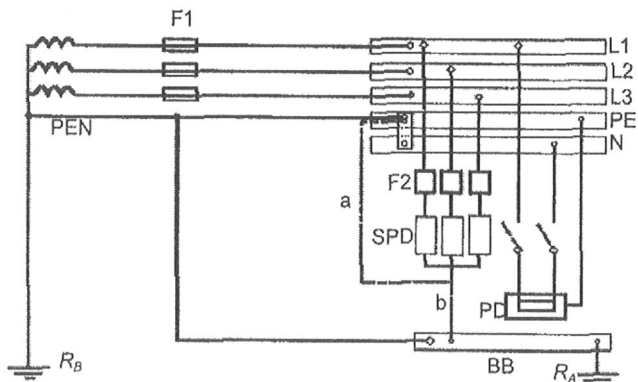
b) przewodów L1, L2, L3, N i głównej szyny wyrównawczej/przewodu PE (połączenie typu 1) jak pokazano na rys. 14, lub do przewodów L1, L2, L3 i przewodu N oraz do przewodu N i głównej szyny wyrównawczej/przewodu PE (połączenie typu 2), jak pokazano na rys.15, jeżeli przy złączu nie ma połączenia między przewodami N i PE.



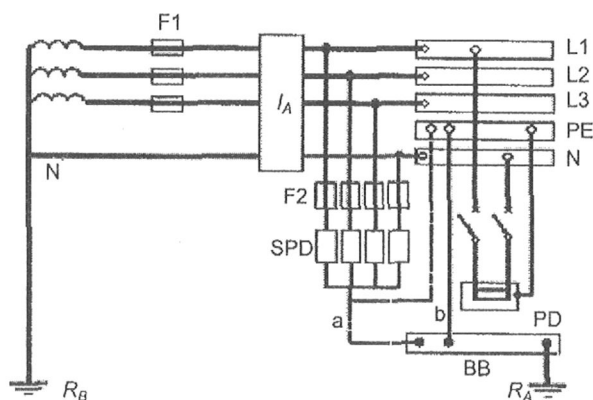
Rys. 12. Przykład SPD w układzie IT przy złączu instalacji chronionej przez RCD od strony zasilania [4]

Fig. 12. SPD example in IT configuration near connect or of installation protected by RCD from power supply side [4]

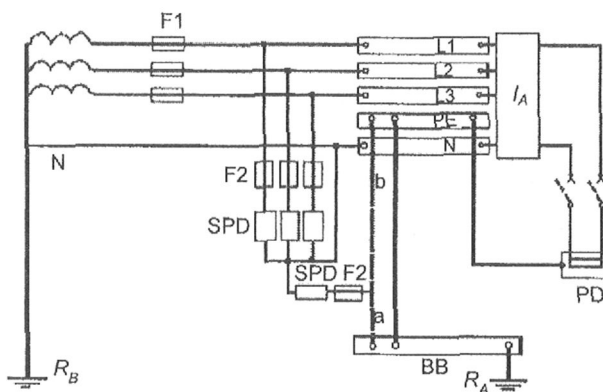
Rys. 13. Przykład SPD w układzie TN przy złączu instalacji wewnętrznej [4]
 Fig. 13. SPD example in TN configuration near connector of internal installation [4]



Rys. 14. Przykład SPD w układzie TT przy złączu instalacji chronionej przez RCD od strony zasilania [4]
 Fig. 14. SPD example in TT configuration near connector of installation protected by RCD from power supply side [4]



Rys. 15. Przykład SPD w układzie TT przy złączu instalacji chronionej przez RCD od strony odbiorów [4]
 Fig. 15. SPD example in TT configuration near connector of installation protected by RCD from receivers (collectors, plugs) side [4]



Oznaczenia zastosowane na rysunkach od 12 do 15 należy odczytywać następująco:
 BB – główna szyna wyrównawcza; PD – urządzenie chronione; F1, F2 – bezpieczniki;
 SPD – urządzenie do ograniczania przepięć; a, b – alternatywne przewody uziemiające

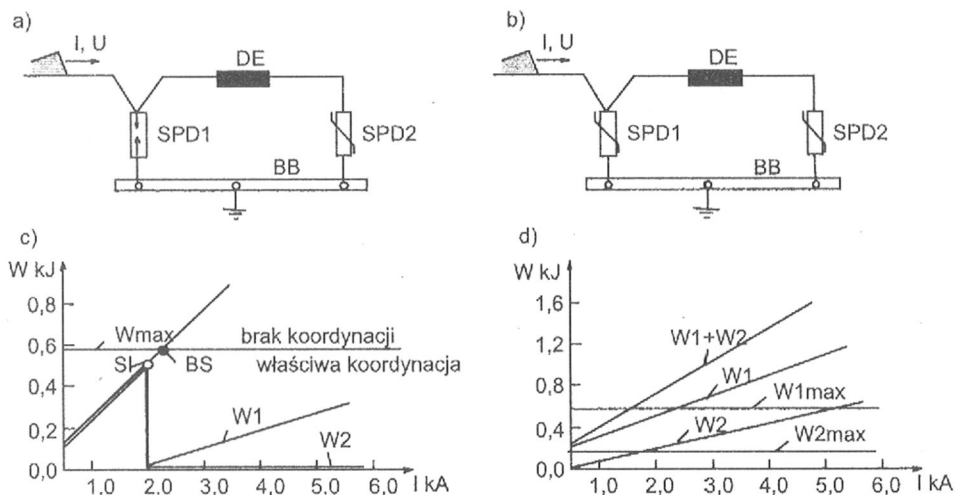
SPD; R_A , R_B – rezystancja uziemienia odpowiednio instalacji i układu zasilającego; I_D – urządzenie ochronne różnicowoprądowe (RCD); Z – duża impedancja lub przerwa sieci nn .

Połączenia SPD zależą od konfiguracji układu i mogą być obowiązkowe, nie stosowane lub opcjonalne. Na przykład w układzie TT i TN-S połączenie typu 1 jest obowiązkowe dla SPD między L1, L2, L3 a PE oraz między N a PE (rys. 14), a połączenie typu 2 – obowiązkowe dla SPD między L1, L2, L3 a N oraz między N a PE (rys. 15). Bezpieczeństwo istot żywych przy uszkodzeniu SPD uzyskuje się w układzie TN dzięki RCD instalowanemu przy SDP od strony zasilania, a w układzie TT – dzięki RCD instalowanemu przy SPD od strony zasilania przy połączeniu typu 1 (rys. 14), lub od strony odbioru, z uwagi na uszkodzenie SPD między N a PE, przy połączeniu typu 2 (rys. 15). W układzie IT nie wymaga się dodatkowych środków ochrony.

Koordinacja SPD powinna spełniać warunki napięciowe i energetyczne. Warunki napięciowe wynikają z charakterystyk udarowych ($V - t$) i napięciowo-prądowych ($V - I$) SPD oraz chronionego urządzenia.

3.3. Koordinacja energetyczna urządzeń ochrony przepięciowej (SPD)

Warunki energetyczne wynikają z dopuszczalnych strat energii w SPD. Zostało to wyjaśnione na rysunku 16.



Rys. 16. Zasady energetycznej koordynacji SPD [7]

Fig. 16. Rules of SPD energetic coordination [7]

BB – szyna wyrównawcza, BS – punkt martwy, DE – element odsprężający, Sl – zapłon iskiernika, W_1 , W_2 – energie SPD1 i SPD2, W_{1max} , W_{2max} – maksymalne energie absorbowane przez SPD1 i SPD2

W przypadku pokazanym na rysunkach 16a oraz 16c cała energia jest pochłaniana przez SPD2 do chwili zapłonu SPD1. Po zapłonie prawie całą energię pochłania SPD1.

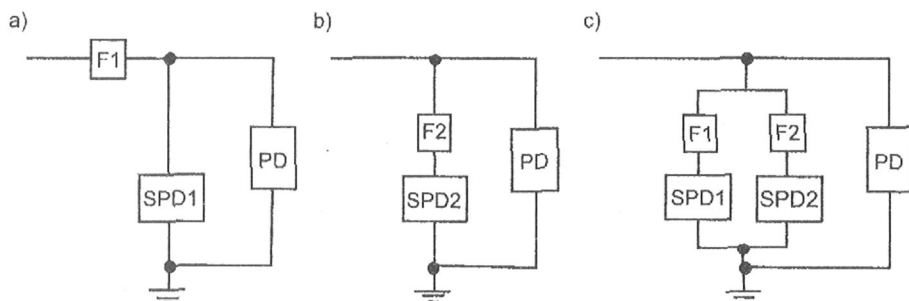
Zapłon musi nastąpić przed osiągnięciem martwego punktu, gdy napięcie osiąga wartość

$$U_{SG} = U_{res} + U_{DE} \quad (5)$$

gdzie: U_{res} – napięcie obniżone SPD2,
 U_{DE} – spadek napięcia na elemencie DE.

W przypadku pokazanym na rysunkach 16b i 16d przez cały czas energia rozkłada się pomiędzy SPD1 a SPD2 i dzięki DE większa część energii jest pochłaniana przez SPD1. Energie $W1_{max}$ i $W2_{max}$ nie mogą być przekroczone.

Oprócz zapewnienia właściwej, koordynacyjno-energetycznej odporności SPD należy zadbać o ich odporność zwarciovą lub o zabezpieczenie ich przed prądami zwarciovymi. Przy doborze zabezpieczeń należy mieć na uwadze możliwość wyboru priorytetu dla ciągłości ochrony – jak na rysunku 17a, dla ciągłości zasilania – jak na rysunku 17b lub dla ciągłości zasilania i ochrony – jak na rysunku 17c. W tym ostatnim przypadku uszkodzenie jednego SPD nie wpływa na działanie drugiego.



Rys. 17. Układy z priorytetami dla ciągłości: a) ochrony, b) zasilania, c) zasilania i ochrony [7]
 Fig. 17. Systems with priorities for continuity of: a) protection, b) power supply, c) power supply and protection [7]

F1, F2 – bezpieczniki, SPD1, SPD2 – identyczne urządzenia, PD – urządzenie chronione

3.4. Przepięcia przy występujących w praktyce różnych miejscach trafienia piorunów

Przy rozważaniu różnych trafień piorunowych i wywoływanych nimi przepięć należy brać pod uwagę: wyładowanie doziemne (składające się z jednego lub więcej udarów), udar pojedynczy wyładowania doziemnego, udary wielokrotne (średnio 3–4 udary co 50 ms), punkt uderzenia (punkt, w który uderza piorun). Jak pokazano na rysunku 1, piorun może uderzyć w obiekt, blisko obiektu (powodując w nim przepięcia), we wprowadzaną do obiektu linię (powodując w niej przepięcia bezpośrednie) i blisko wprowadzanej linii (powodując w niej przepięcia indukowane).

Przepięcia mogą być wywoływane przez (częściowe) prądy piorunowe (typowy kształt fali 10/350) oraz przez efekty indukcyjne w pętach instalacji i mogą mieć postać udarów przechodzących przez SPD (typowy kształt fali 8/20).

Parametry przepięć odbieranych przez SPD nie mogą przekraczać parametrów określonych w próbach:

- klasy I, przy parametrach porównywalnych z udarem 10/350,
- klasy II, przy impulsie prądu I_p 8/20,
- klasy III, przy falach złożonych: U_{oc} 1,2/50 obwodu otwartego I_{sc} 8/20 obwodu zwartego.

Przepięcia wnikające do instalacji obiektu wskutek trafień w urządzenie piorunochronne zależą od: podziału prądu, układu i parametrów instalacji, rezystancji uziemienia transformatora i odbiorów oraz od liczby równoległych odbiorców i długości przewodów (mających wpływ na podział prądu i na charakterystyki czasowe ze względu na stosunek L/R).

Przepięcia od wyładowań w linii powinny być rozważane z uwzględnieniem typowego kształtu 10/350, rozdziału prądu na obie strony linii i ewentualnego przebicia izolacji doziemnej. Przepięcia od wyładowań w pobliżu linii są przepięciami indukowanymi i o dużo mniejszej amplitudzie niż przepięcia od wyładowań bezpośrednich, jednak występują częściej.

Przepięcia przechodzące przez SPD charakteryzują się znacznie zredukowaną energią (przez SPD na granicy LPZ 0/1), skróconym kształtem fali (typowy 8/20) i nałożonymi efektami indukcyjnymi od prądów piorunowych częściowych i całkowitych. Przepięcia te powinny być rozpatrywane na zaciskach urządzeń i na granicach kolejnych stref. W strefie 1, przy LPS z odstępami przewodów > 5 m, przez SPD1 – spełniający wymagania próby klasy I – mogą odbierać względnie duże przepięcia, a znaczne przepięcia może również indukować pełne pole magnetyczne. Przepięcia przechodzące przez SPD1 w ekranowanych obiektach (w odstępach < 5 m) mają tę samą wielkość, ale przepięcia indukowane są stosunkowo małe. W kolejnych strefach ekranowanych oba rodzaje przepięć są zredukowane (wskutek SPD spełniającego wymagania próby klasy II lub III oraz z powodu kaskadowego efektu ekranów LPZ 1 i LPZ2).

3.5. Odległości ochronne w układach urządzeń ochrony przepięciowej (SPD)

Na wejściu linii do obiektu, SPD redukuje przepięcia od sprzężeń przewodowych przez bezpośrednie trafienia w obiekt i przepięcia powodowane w linii przez bezpośrednie i pośrednie (pobliskie) trafienia w linię. Wskutek połączenia SPD z przewodem czynnym i szyną wyrównawczą poziom ochrony U_p wzrasta o spadek napięcia ΔU do „rzeczywistego poziomu ochrony”

$$U_{prot} = U_p + \Delta U = U_p + L_1 \frac{di}{dt} + L_2 \frac{di}{dt} \quad (6)$$

przy czym L_1 i L_2 – indukcyjności połączeń a i b (rys. 18b), a di/dt – stromość prądu w gałęzi SPD.

Urządzenie o napięciu wytrzymałym U_w jest chronione, gdy:

$$U_{prot} \leq U_w \quad (6)$$

W zależności od charakterystyki przewodów obwodu, impedancji wejściowej urządzenia i kształtu fali napięciowej, napięcie U_{prot} na urządzeniu może ulec modyfikacji do wartości wyższej U_{mod} .

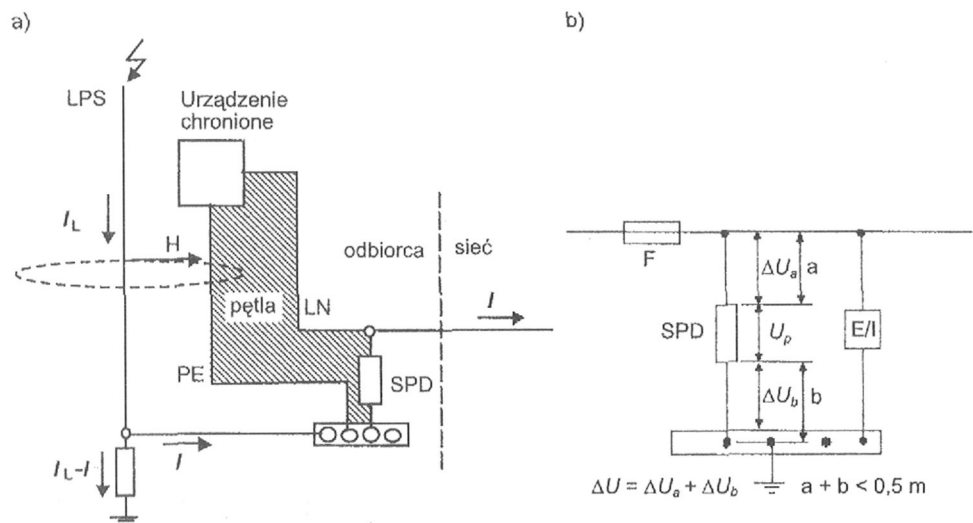
W obwodzie mogą bowiem wystąpić zjawiska oscylacji i U_{mod} może osiągać wartość równą nawet $2 U_{prot}$. Odległości ochronne między SPD a urządzeniem chronionym powinny być ograniczone do

$$l_c = \frac{U_w - U_{prot}}{h} \quad (8)$$

gdzie: h – współczynnik, kV/m,

$h = 2 U_{prot} / T_b / v$; T_b – czas do przeskoku w SPD (typu ucinającego), v – prędkość fali przepięciowej.

Przy trafieniach piorunowych w obiekt lub blisko niego w ziemię przepięcie jest indukowane w pętli tworzonej przez SPD, urządzenie chronione i łączące przewody (rys. 18a).



Rys. 18. Pętla (a) i gałąź SPD (b) [7]
Fig. 18. Loop (a) and branch SPD (b) [7]

Czynniki wpływające na wielkość indukcji to długość obwodów, trasa przewodów (odległość między PE a L i N), amplituda, stromość prądu i pola magnetycznego oraz ekranowanie przewodów i pomieszczeń.

Maksymalna wartość przepięć U_0 indukowanych w pętli może być wyrażona jako

$$U_0 = \frac{\mu_0 a I_{max}}{T_1 (2 \pi s_a)} \quad (9)$$

gdzie: $\mu_0 = 4 \pi 10^{-7} \frac{Vs}{Am}$,

- I_{\max} – maksymalny prąd pioruna, A,
- a – szerokość pętli, m,
- l – długość pętli, m,
- T_1 – czas trwania czoła prądu i pola magnetycznego, s,
- s_a – odległość kanału pioruna od środka pętli, m.

Jeżeli pętla ma ekran przestrzenny o wymiarach oka sieci ekranu $w \leq 5$ m, to przepięcie redukuje się do wartości

$$U_0 = \mu_0 a / 0,12 w \frac{I_{\max}}{T_1 (2 \pi s_a)} \quad (10)$$

Jeżeli natomiast piorun uderza w LPS chronionego obiektu, można rozważyć następujące trzy przypadki:

- 1) obiekt chroniony oddzielnym zwodem pionowym,
 - 2) obiekt chroniony zwodami poziomymi niskimi,
 - 3) obiekt chroniony ekranem przestrzennym, przy $w \leq 5$ m.
- W pierwszych dwóch przypadkach napięcie indukowane

$$U_{i1} = K_c K_s 0,2 l \ln \left(\frac{d+a}{d} \right) \frac{I_{\max}}{T_1} \quad (11)$$

- gdzie: I_{\max} – prąd pioruna (właściwy dla uderów następnych),
 T_1 – czas czoła prądu ($T_1 = 0,25 \mu\text{s}$ dla uderów następnych),
 d – odległość pomiędzy przewodem odprowadzającym a obwodem pętli,
 K_s – współczynnik ekranowania przewodów,
 K_c – współczynnik rozptyłu prądu na n odprowadzeń ($K_c = (1/2 n) + 0,3$).

W trzecim przypadku napięcie indukowane

$$U_{i2} = \mu_0 l \ln \left(\frac{d_w + a}{d_w} \right) K_h K_s \frac{w}{\sqrt{d_r}} \frac{I_{\max}}{T_1} \quad (12)$$

- gdzie: d_w – odległość pętli od ściany,
 d_r – odległość pętli od dachu,
 K_h – współczynnik ($K_h = 0,01; \text{m}^{-1/2}$).

Napięcia U_i i U_{prot} nakładają się.

Urządzenie jest chronione przez SPD typu ograniczającego, jeżeli

$$U_{prot} + U_i = U_p + \Delta U + U_i \leq U_w \quad (13)$$

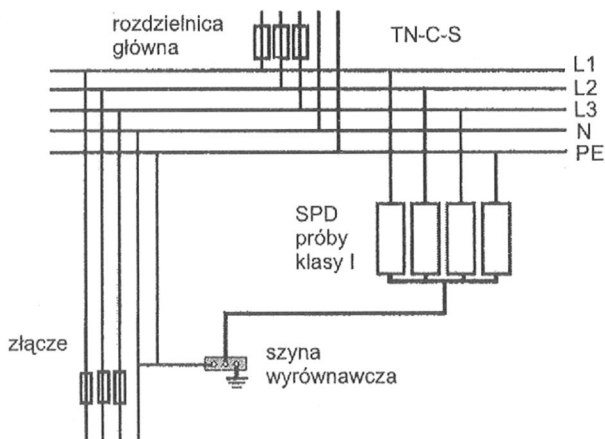
a przez SPD typu ucinającego, jeżeli

$$U_{prot} + U_i = U_{arc} + \Delta U + U_i \leq U_w \quad (14)$$

gdzie U_{arc} – spadek napięcia na iskierniku (tuku).

Przyjęte zostało, że maksyma ΔU i U_i zjawiają się jednocześnie, co daje pewien margines bezpieczeństwa.

Na rysunku 19 zamieszczono przykład typowego – występującego często w praktyce – układu, w którym mogą występować znaczne spadki napięć ΔU i napięcia indukowane U_j . Wynika to zarówno z długich połączeń w gałęziach SPD, jak i dużych pętli tworzonych przez te połączenia z pozostałymi przewodami.



Rys. 19. Przykład typowego układu połączeń SPD [4]
Fig. 19. Example of typical SPD connection systems [4]

Maksymalna odległość SPD od urządzenia, w obiekcie chronionym przez zwody niskie poziome, wynika z zależności:

$$l_c = (U_w - U_{prot}) \frac{T_1}{h_1 I_{max}} \quad (15)$$

a w obiekcie chronionym za pomocą przestrzennego ekranu ($w < 5$ m)

$$l_c = (U_w - U_{prot}) \frac{T_1}{h_2 I_{max}} \quad (16)$$

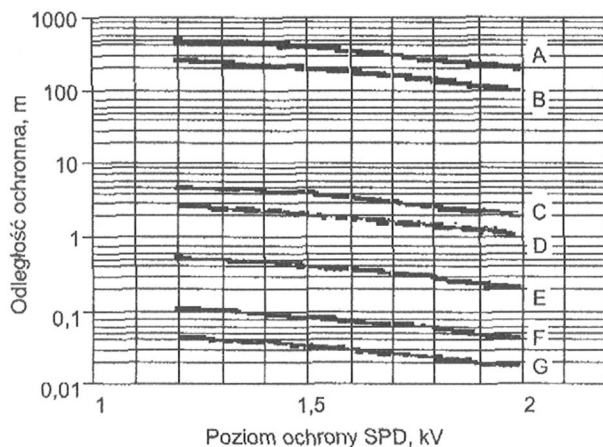
gdzie h_1 i h_2 – współczynniki wyrażone w H/m jako:

$$h_1 = 0,2 \ln \frac{d+a}{d} K_s K_c$$

$$h_2 = \mu_0 \ln \frac{1+a}{d_w} K_h \frac{w}{d_r^{1/2}} K_s 10^6$$

Przykład wyników obliczeń dopuszczalnych długości połączeń, przy $I_{max} = 50$ kA i $T_1 = 0,25$ μ s, pokazano na rysunku 20.

Z rysunku 20 wynika że, w niektórych przypadkach mogą być wymagane długości nie większe niż kilkucentymetrowe.



Rys. 20. Odległość ochronna w funkcji poziomu ochrony SPD [7]
 Fig. 20. Chart of protection distance depending on degree of safety [7]

- A) LPS – 4 przewody odprowadzające, $d = 1$ m, $a = 0,015$ m, $K_s = 0,01$,
 B) LPS – 4 przewody odprowadzające, $d = 1$ m, $a = 0,015$ m, $K_s = 0,02$,
 C) LPS – 4 przewody odprowadzające, $d = 1$ m, $a = 0,015$ m, $K_s = 1$,
 D) ekran przestrzenny – $w = d = a = 1$ m; $K_s = 1$,
 E) LPS – 4 przewody odprowadzające, $d = 1$ m, $a = 0,15$ m,
 F) LPS – 4 przewody odprowadzające, $d = 1$ m, $a = 1$ m,
 G) LPS – 1 przewód odprowadzający, $d = a = 1$ m.

Jeżeli $d = a = 1$ m, $h_1 = 0,14 \mu\text{H/m}$, $I_{\max} = 50$ kA, $T_1 = 0,25$ s, to odległość ochronna

$$I_{cw} \approx \frac{U_w - U_{prot}}{30} \quad (17)$$

Przyjmując I_{cw} za wielkość odniesienia, można na podstawie tej zależności ocenić skutek oddziaływania różnych środków ochrony (podziału prądu, ekranowania i trasowania przewodów, ekranowania przestrzennego) na odległość I_c przez zastosowanie odpowiednich współczynników redukcyjnych K_{si} ($i = 0, 1, 2, 3$), jak następuje:

$$I_c = \frac{U_w - U_{prot}}{30 K_{s1} K_{Ks2} K_{Ks3}} \quad (18)$$

przy czym, zgodnie z PN-IEC 62305-2:

- $K_{s1} = K_c$ – LPS liczne przewody odprowadzające,
- $K_{s1} \approx 0,06 w^{1/2}$ – bezpośrednie trafienie w ekran przestrzenny, przy $w = d_f$,
- $K_{s2} = 0,12 w$ – trafienie w ziemię i pętla ekranowana przestrzennie,
- $K_{s3} = 0,69/\ln[(d+a)/d]$ – trasy nieekranowanych przewodów,
- $K_{s3} = K_s = 0,1$ – przewody ekranowane (rezystancja ekranu $R > 5 \Omega/\text{km}$),
- $K_{s3} = K_s = 0,02$ – przewody ekranowane (rezystancja ekranu $1 \leq R < 5 \Omega/\text{km}$),
- $K_{s3} = K_s = 0,01$ – przewody ekranowane (rezystancja ekranu $R < 1 \Omega/\text{km}$).

4. Wnioski [8]

W związku z coraz większym nasyceniem obiektów budowlanych (budyneków) urządzeniami elektronicznymi (telewizorami, kinami domowymi, komputerami itp.), bardzo ważne jest stosowanie praktycznie w każdym obiekcie budowlanym skutecznej ochrony odgromowej. Istotne jest, aby obiekt budowlany posiadał obok ochrony zewnętrznej także ochronę wewnętrzną. Zastosowanie tylko ochrony zewnętrznej nie uchroni urządzeń elektronicznych w budynku przed negatywnymi skutkami przepięć atmosferycznych i łączeniowych. Wynika to także z tego, że w miarę postępu technicznego (technologii wykonania urządzeń) poziom odporności (wrażliwości) zastosowanych urządzeń jest coraz niższy, więc wyładowania atmosferyczne nawet w odległości około 1,5 km od obiektu mogą spowodować uszkodzenie lub całkowite zniszczenie drogich urządzeń elektronicznych.

Skuteczna ochrona może być zapewniona, jeśli obok zastosowanej niezbędnej kilkustopniowej ochrony w strefach 0, I, II (2–3 stopnie ochrony budynku – zabezpieczenie pierwotne pochodzenia zewnętrznego) wprowadzimy także ochronę dalszego stopnia, ograniczającego i filtrującego stany przejściowe. Ochrona w tym przypadku ma na celu ograniczanie nanosekundowych zakłóceń impulsowych realizowanych poprzez filtry przeciwzakłóceniu ochronie indywidualnej w postaci umieszczenia w instalacji elektrycznej i liniach przesyłowych ograniczników wysokiej klasy. Zgodnie z wymaganiami są to ograniczniki klasy III (D). Umieszczać je można na szynie montażowej TS-35 w miejscach rozgałęzienia instalacji elektrycznej obiektu budowlanego (tablice rozdzielcze) lub instalować ograniczniki przenośne w gniazdach wtyczkowych, z których są zasilane bezpośrednio chronione odbiorniki.

Z analizy wymagań zawartych w nowych normach oraz doświadczeń eksploatacyjnych instalacji odgromowych w obiektach budowlanych wynika, że warunki lokalne, w jakich znajduje się budynek lub obiekt budowlany, mogą istotnie wpływać na sposób rozwiązania ochrony przepięciowej i muszą być uwzględniane w sposób indywidualny.

Dobór i montaż urządzeń ochrony odgromowej i przepięciowej powinien być dokonywany w sposób profesjonalny przez wykwalifikowanych pracowników.

Nie można polegać bezkrytycznie na wytycznych producentów lub firm marketingowych, które podają jedynie ogólne wymagania dotyczące parametrów technicznych aparatów ochronnych, bez podania zasady jego montażu i przewidywanych możliwości ochronnych.

Bibliografia

- [1] PN-EN 62305-1:2008 Ochrona odgromowa. Część 1: Zasady ogólne
- [2] PN-EN 62305-4:2006 Ochrona odgromowa. Część 4: Urządzenia elektryczne i elektroniczne w obiekcie
- [3] PN-EN 62305-3:2006 Ochrona odgromowa. Część 3: Uszkodzenia fizyczne obiektów budowlanych i zagrożenie życia (oryg.)
- [4] PN-IEC 60364-4-443 Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych. Ochrona dla zapewnienia bezpieczeństwa. Ochrona przed przepięciami. Ochrona przed przepięciami łączeniowymi i atmosferycznymi

- [5] PN-EN 60364-5-53 Instalacje elektryczne budynków. Część 5-53: Wybór i montaż urządzeń elektrycznych. Izolowanie, łączenie i sterowanie
- [6] PN-EN 61312-1 Ochrona przed piorunowym impulsem elektromagnetycznym. Zasady ogólne
- [7] PN-IEC/TS 61312-3:2004 Ochrona przed piorunowym impulsem elektromagnetycznym. Część 3: Wymagania dotyczące urządzeń do ograniczania przepięć (SPD)
- [8] Artykuł prof. Z. Flisowskiego pt. „Wybrane zagadnienia ochrony odgromowej i przepięciowej”, Warszawa, SEP, 2006
- [9] Sowa A: Kompleksowa ochrona odgromowa i przepięciowa. COSiW-SEP, Warszawa 2005

REQUIREMENTS FOR INTERNAL LIGHTNING PROTECTION SYSTEMS IN BUILDING CONSTRUCTIONS

Summary

In the field of internal lightning and overvoltage protection, a new requirements were introduced recently. There requirements are given in a newly implemented standards. In this paper, the present state of standards describing the lightning and overvoltage protection is shown, as well as a new terms and definitions. It also contains the basic requirements for internal lightning protection such as screening, inductive loop elimination, equipotential bondings, earthing. The paper also describes requirements for zonal lightning protection (LPZ) and the system of protection devices (SPD). The last part of paper contains the conclusions resulting from carried out research work.

Praca wpłynęła do Redakcji 15 XII 2008