



**Polski Komitet
Normalizacyjny**

POLSKA NORMA

ICS 29.020; 91.120.40

PN-EN 62305-4

kwiecień 2009

Wprowadza

EN 62305-4:2006, IDT
IEC 62305-4:2006, IDT

Zastępuje

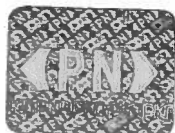
PN-EN 62305-4:2006
PN-IEC 61312-1:2001
PN-IEC/TS 61312-2:2003
PN-IEC/TS 61312-3:2004

**Ochrona odgromowa
Część 4: Urządzenia elektryczne i elektroniczne
w obiektach**

Norma Europejska EN 62305-4:2006 ma status Polskiej Normy

© Copyright by PKN, Warszawa 2009

nr ref. PN-EN 62305-4:2009



**Wszelkie prawa autorskie zastrzeżone. Żadna część niniejszej publikacji nie może być
zwielokrotniana jakkolwiek techniką bez pisemnej zgody Prezesa Polskiego Komitetu
Normalizacyjnego**

Załącznik krajowy NA (informacyjny)

Wykaz terminów polskich podanych i zdefiniowanych w Rozdziale 3 i ich angielskich odpowiedników

Termin polski	Termin angielski	Nr punktu
piorunowy impuls elektromagnetyczny LEMP	lightning electromagnetic impulse LEMP	3.4
poziom ochrony odgromowej LPL	lightning protection level LPL	3.7
przestrzenny ekran ażurowy	grid-like spatial shield	3.10
sieć połączeń wyrównawczych	bonding network	3.12
skoordynowany układ SPD	coordinated SPD protection	3.21
SPD badane prądem I_{imp}	SPD tested with I_{imp}	3.15
SPD badane prądem I_n	SPD tested with I_n	3.16
SPD badane udarem złożonym	SPD tested with a combination wave	3.17
SPD typu ograniczającego napięcie	voltage-limiting type SPD	3.19
SPD typu ucinającego napięcie	voltage switching type SPD	3.18
SPD typu złożonego	combination type SPD	3.20
strefa ochrony odgromowej LPZ	lightning protection zone LPZ	3.8
udar	surge	3.5
układ elektroniczny	electronic system	3.2
układ elektryczny	electrical system	3.1
układ uziemiający	earthing system	3.13
układ uziomów	earth-termination system	3.11
układy wewnętrzne	internal systems	3.3
urządzenie do ograniczania przepięć SPD	surge protective device SPD	3.14
system środków ochrony przed LEMP LPMS	LEMP protection measures system LPMS	3.9
znamionowe udarowe napięcie wytrzymywane U_w	rated impulse withstand voltage level U_w	3.6

Wersja polska

Ochrona odgromowa
Część 4: Urządzenia elektryczne i elektroniczne w obiektach
(IEC 62305-4:2006)

Protection against lightning
Part 4: Electrical and electronic
systems within structures
(IEC 62305-4:2006)

Protection contre la foudre
Partie 4: Réseaux de puissance et de
communication dans les structures
(CEI 62305-4:2006)

Blitzschutz
Teil 4: Elektrische und elektronische
Systeme in baulichen Anlagen
(IEC 62305-4:2006)

Niniejsza norma jest polską wersją Normy Europejskiej EN 62305-4:2006 ma ten sam status co wersje oficjalne. Została ona przetłumaczona przez Polski Komitet Normalizacyjny i ma ten sam status co wersje oficjalne.

Niniejsza Norma Europejska została przyjęta przez CENELEC 2006-02-01. Zgodnie z Przepisami wewnętrznymi CEN/CENELEC członkowie CENELEC są zobowiązani do nadania Normie Europejskiej statusu normy krajowej bez wprowadzania jakichkolwiek zmian.

Aktualne wykazy norm krajowych, łącznie z ich danymi bibliograficznymi, można otrzymać na zamówienie w Sekretariacie Centralnym lub w krajowych jednostkach normalizacyjnych będących członkami CENELEC.

Niniejsza Norma Europejska istnieje w trzech oficjalnych wersjach (angielskiej, francuskiej i niemieckiej). Wersja w każdym innym języku, przetłumaczona na odpowiedzialność danego członka CENELEC na jego własny język i notyfikowana w Sekretariacie Centralnym, ma ten sam status co wersje oficjalne.

Członkami CENELEC są krajowe jednostki normalizacyjne następujących państw: Austrii, Belgii, Cypru, Danii, Estonii, Finlandii, Francji, Grecji, Hiszpanii, Holandii, Irlandii, Islandii, Litwy, Luksemburga, Łotwy, Malty, Niemiec, Norwegii, Polski, Portugalii, Republiki Czeskiej, Rumunii, Słowenii, Słowacji, Szwajcarii, Szwecji, Węgier, Włoch i Zjednoczonego Królestwa.

CENELEC

Europejski Komitet Normalizacyjny Elektrotechniki
European Committee for Electrotechnical Standardization
Comité Européen de Normalisation Electrotechnique
Europäisches Komitee für Elektrotechnische Normung

Sekretariat Centralny: rue de Stassart 35, B-1050 Brussels

Przedmowa

Tekst dokumentu 81/265/FDIS – przyszłe 1. wydanie IEC 62305-4 – przygotowany przez IEC TC 81, Ochrona odgromowa^{N1)}, został poddany pod głosowanie jednocześnie w IEC i CENELEC i 2006-02-01 został zatwierdzony przez CENELEC jako EN 62305-4.

Ustalono następujące daty:

- ostateczny termin opublikowania normy krajowej identycznej z niniejszą Normą Europejską lub wprowadzenia EN notą uznaniową (dop) 2006-11-01
- ostateczny termin wycofania norm krajowych sprzecznych z niniejszą normą EN (dow) 2009-02-01

Załącznik ZA został dodany przez CENELEC.

Treść poprawki z listopada 2006 została włączona do niniejszego egzemplarza.

Nota uznaniowa

Tekst Normy Międzynarodowej IEC 62305-4:2006 został zatwierdzony przez CENELEC jako Norma Europejska bez żadnych modyfikacji.

^{N1)} Odsyłacz krajowy: Odpowiednia nazwa w języku angielskim – IEC Technical Committee TC 81, Lightning protection.

SPIS TREŚCI

stronica

PRZEDMOWA ^{N2)}	
WPROWADZENIE	5
1 Zakres normy	7
2 Powołania normatywne.....	7
3 Terminy i definicje	8
4 Projekt i instalacja systemu środków ochrony przed LEMP (LPMS)	11
4.1 Projekt LPMS	14
4.2 Strefy ochrony odgromowej (LPZ).....	14
4.3 Podstawowe środki ochrony w LPMS	18
5 Uziemienia i połączenia wyrównawcze.....	18
5.1 Układ uziomów	19
5.2 Sieć połączeń wyrównawczych	21
5.3 Szyny połączeń wyrównawczych	26
5.4 Połączenia wyrównawcze na granicy LPZ	26
5.5 Materiał i wymiary elementów łączących	26
6 Ekranowanie magnetyczne i trasowanie linii	27
6.1 Ekranowanie przestrzenne.....	27
6.2 Ekranowanie linii wewnętrznych.....	27
6.3 Trasowanie linii wewnętrznych.....	27
6.4 Ekranowanie linii zewnętrznych	28
6.5 Materiał i wymiary ekranów magnetycznych	28
7 Skoordynowany układ SPD	28
8 Zarządzanie systemem LPMS.....	29
8.1 Plan zarządzania LPMS	29
8.2 Badanie LPMS	31
8.3 Konserwacja.....	32
Załącznik A (informacyjny) Podstawy oceny środowiska elektromagnetycznego w LPZ	33
Załącznik B (informacyjny) Stosowanie środków ochrony urządzeń elektronicznych przed LEMP w istniejących obiektach	59
Załącznik C (informacyjny) Koordynacja SPD	74
Załącznik D (informacyjny) Dobór i instalowanie skoordynowanego układu SPD.....	91
Bibliografia.....	96
Rysunek 1 – Ogólna zasada podziału na różne LPZ	11
Rysunek 2 – Ochrona przed LEMP – Przykłady możliwych środków ochrony przed LEMP (LPMS).....	13
Rysunek 3 – Przykłady wzajemnego łączenia stref LPZ	16
Rysunek 4 – Przykłady wydłużonych stref ochrony odgromowej	17
Rysunek 5 – Przykład trójwymiarowego układu uziemień, złożonego z sieci połączeń wyrównawczych połączonych wzajemnie z układem uziomów	19
Rysunek 6 – Układ kratowy uziomów zakładu przemysłowego	20

^{N2)} Odsyłacz krajowy: W niniejszej normie pominięto tekst przedmowy według normy IEC.

Rysunek 7 – Wykorzystanie prętów zbrojenia obiektu do połączeń wyrównawczych.....	22
Rysunek 8 – Połączenia wyrównawcze w obiekcie ze stalowym zbrojeniem	23
Rysunek 9 – Integracja urządzeń elektronicznych w sieć połączeń wyrównawczych.....	24
Rysunek 10 – Kombinacja metod integracji urządzeń elektronicznych w sieć połączeń wyrównawczych ...	25
Rysunek A.1 – Sytuacja LEMP podczas wyładowania piorunowego	35
Rysunek A.2 – Symulacja narastania pola magnetycznego za pomocą tłumionych oscylacji	37
Rysunek A.3 – Ekran wieloprzestrzenny wykonany z metalowego zbrojenia i metalowych ram	38
Rysunek A.4 – Przestrzeń dla elektrycznych i elektronicznych urządzeń w wewnętrznej strefie LPZ n	39
Rysunek A.5 – Ograniczanie efektów indukcyjnych za pomocą trasowania linii i środków ekranujących	41
Rysunek A.6 – Przykład LPMS w zastosowaniu do budynku biurowego	42
Rysunek A.7 – Oszacowanie wartości pola magnetycznego w przypadku bezpośredniego wyładowania piorunowego.....	44
Rysunek A.8 – Oszacowanie wartości pola magnetycznego w przypadku pobliskiego wyładowania piorunowego.....	46
Rysunek A.9 – Odległość s_a zależna od promienia toczącej się kuli i od wymiarów obiektu.....	49
Rysunek A.10 – Typy ażurowych ekranów wieloprzestrzennych.....	51
Rysunek A.11 – Natężenie pola magnetycznego $H_{1/max}$ wewnątrz ażurowego ekranu Typu 1	52
Rysunek A.12 – Natężenie pola magnetycznego $H_{1/max}$ wewnątrz ażurowego ekranu Typu 1	52
Rysunek A.13 – Próba niskopoziomowa do oceny pola magnetycznego wewnątrz ekranowanego obiektu ...	54
Rysunek A.14 – Napięcia i prądy indukowane w pętach tworzonych przez linie.....	55
Rysunek B.1 – Modernizacja środków ochrony przed LEMP i kompatybilność elektromagnetyczna w istniejącym obiekcie	61
Rysunek B.2 – Możliwości ustalenia stref LPZ w istniejących obiektach	66
Rysunek B.3 – Ograniczenie powierzchni pętli przez zastosowanie ekranowanych kabli blisko metalowej płyty	68
Rysunek B.4 – Przykład płyty metalowej dla dodatkowego ekranowania	69
Rysunek B.5 – Ochrona anten i innych zewnętrznych urządzeń	71
Rysunek B.6 – Naturalne ekranowanie w postaci połączonych drabin i rur	72
Rysunek B.7 – Idealne miejsca dla linii na maszcie (przekrój stalowego masztu kratowego)	73
Rysunek C.1 – Przykład stosowania SPD w elektroenergetycznym układzie rozdzielczym	75
Rysunek C.2 – Podstawowy model koordynacji energetycznej SPD	76
Rysunek C.3 – Kombinacja dwu SPD typu ograniczającego napięcie.....	78
Rysunek C.4 – Przykład obejmujący dwa SPD typu ograniczającego napięcie MOV 1 i MOV 2	80
Rysunek C.5 – Kombinacja iskiernika typu ucinającego napięcie i MOV typu ograniczającego napięcie	81
Rysunek C.6 – Przykład zawierający iskiernik typu ucinającego napięcie i MOV typu ograniczającego napięcie	82
Rysunek C.7 – Wyznaczanie indukcyjności odsprężającej przy udarach o kształcie 10/350 μ s i o stromości 0,1kA/ μ s	83
Rysunek C.8 – Przykład z iskiernikiem i MOV przy udarze 10/350 μ s.....	85
Rysunek C.9 – Przykład z iskiernikiem i MOV przy udarze 0,1kA/ μ s.....	87
Rysunek C.10 – Koordynacyjny wariant I – SPD typu ograniczającego napięcie	88
Rysunek C.11 – Koordynacyjny wariant II – SPD typu ograniczającego napięcie	88
Rysunek C.12 – Koordynacyjny wariant III – SPD typu ucinającego napięcie i SPD typu ograniczającego napięcie	89
Rysunek C.13 – Koordynacyjny wariant IV – różne SPD w jednym elemencie	89
Rysunek C.14 – Koordynacja wg metody „przepuszczonej energii”	90
Rysunek D.1 – Napięcie udarowe pomiędzy przewodem czynnym a szyną wyrównawczą.....	92

WPROWADZENIE

Piorun jako źródło szkody jest zjawiskiem o dużej energii. Wyładowania piorunowe wyzwalamy energię wielu setek megadżuli. Kiedy porównuje się ją z energią milidżuli, która może być wystarczająca do spowodowania uszkodzenia wrażliwych urządzeń elektronicznych w układach elektrycznych i elektronicznych obiektu, to jest jasne, że do ochrony niektórych z tych urządzeń będą konieczne dodatkowe środki ochrony.

Potrzeba wydania niniejszej Normy Międzynarodowej wystąpiła wskutek wzrastających kosztów awarii wywoływanych elektromagnetycznymi skutkami pioruna w elektrycznych i elektronicznych układach. Szczególnej wagi wymagają układy elektroniczne stosowane do przetwarzania i przechowywania danych oraz do automatycznego sterowania i zapewnienia bezpieczeństwa ciągłego procesu w zakładach przemysłowych o znacznym koszcie inwestycyjnym, rozmiarze i złożoności, w których przestoje urządzeń są pod względem kosztów i bezpieczeństwa niepożądane.

Piorun – jak określono w IEC 62305-2 – może wywoływać w obiekcie różnego typu szkody:

- D1 porażenie istot żywych wskutek napięć dotykowych i krokowych;
- D2 uszkodzenia fizyczne wskutek efektów mechanicznych, termicznych, chemicznych i wybuchowych;
- D3 uszkodzenia elektrycznych i elektronicznych urządzeń wskutek efektów elektromagnetycznych.

IEC 62305-3 dotyczy środków ochrony przeznaczonych do ograniczania ryzyka wystąpienia szkody fizycznej i zagrożenia życia, ale nie obejmuje ochrony układów elektrycznych i elektronicznych.

Niniejsza Część 4 normy IEC 62305 dostarcza zatem informacji na temat środków ochrony przeznaczonych do ograniczania ryzyka trwałego uszkodzenia układów elektrycznych i elektronicznych w obiektach.

Trwałe uszkodzenie elektrycznego lub elektronicznego układu może być spowodowane piorunowym impulsem elektromagnetycznym (LEMP) przez:

- a) przewodzone i indukowane udary przenoszone do aparatów przez łączące oprzewodowanie;
- b) skutki działania pól elektromagnetycznych wnikających bezpośrednio do samych aparatów.

Udary występujące w obiekcie mogą być generowane zewnątrz i wewnątrz:

- udary pochodzące z zewnątrz obiektu są tworzone przez wyładowania piorunowe trafiające we wchodzące do obiektu linie, lub w pobliżu tych linii w ziemię, i są przenoszone przez te linie do urządzeń elektrycznych i elektronicznych;
- udary powstające wewnątrz obiektu są tworzone przez wyładowania piorunowe trafiające w obiekt lub w jego pobliżu w ziemię.

Sprężenia mogą być związane z różnymi mechanizmami; wyróżnić należy:

- sprężenia rezystancyjne (np. związane z impedancją: uziemienia, układu uziołów lub z rezystancją ekranu kabla);
- sprężenia magnetyczne (np. powodowane przez pętle przewodów w układzie elektrycznym i elektronicznym lub przez indukcyjność przewodów łączących);
- sprężenia elektryczne (np. powodowane przez odbiór anteny prętowej).

UWAGA Skutki sprężeń elektrycznych są na ogół bardzo małe w porównaniu ze skutkami sprężeń magnetycznych i mogą być bagatelizowane.

Promieniowane pola elektromagnetyczne mogą być generowane przez:

- bezpośredni prąd pioruna płynący w jego kanale;
- częściowy prąd pioruna płynący w przewodach (np. w przewodach odprowadzających zewnętrznego LPS wg IEC 62305-3 lub w zewnętrznym ekranie przestrzennym wg niniejszej normy).

OCHRONA ODGROMOWA –

Część 4: Urządzenia elektryczne i elektroniczne w obiektach

1 Zakres normy

Niniejsza część IEC 62305 zawiera informacje dotyczące projektowania, instalowania, nadzorowania, konserwacji i badania systemu środków ochrony przed LEMP (LPMS), zdolnych ograniczyć ryzyko trwałych uszkodzeń – powodowanych przez piorunowy impuls elektromagnetyczny – w urządzeniach elektrycznych i elektronicznych obiektu.

Niniejsza norma nie obejmuje ochrony przed piorunowymi zakłóceniami elektromagnetycznymi, które mogą powodować wadliwe działanie urządzeń elektronicznych. Jednak informacje podane w Załączniku A mogą być również wykorzystane do oceny takich zakłóceń. Środki ochrony przed zakłóceniami elektromagnetycznymi są zawarte w IEC 60364-4-44 i w normie wieloczęściowej IEC 61000[1]¹.

Niniejsza norma zawiera wytyczne dotyczące współpracy projektanta układów elektrycznych i elektronicznych oraz projektanta środków ochrony w dążeniu do osiągnięcia optymalnej skuteczności ochrony.

Niniejsza norma nie dotyczy szczegółowego projektu samych układów elektrycznych i elektronicznych.

2 Powołania normatywne

Do stosowania niniejszego dokumentu są niezbędne podane niżej dokumenty powołane. W przypadku powołań datowanych ma zastosowanie wyłącznie wydanie cytowane. W przypadku powołań niedatowanych stosuje się ostatnie wydanie dokumentu powołanego (łącznie ze zmianami).

IEC 60364-4-44:2001, *Electrical installations of buildings – Part 4-44: Protection for safety – Protection against voltage disturbances and electromagnetic disturbances*

IEC 60364-5-53:2001, *Electrical installations of building – Part 5-53: Selection and erection of electrical equipment – Isolation, switching and control*

IEC 60664-1:2002, *Insulation coordination for equipment within low-voltage systems – Part 1: Principles, requirements and tests*

IEC 61000-4-5:1995, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-5: Testing and measurement techniques – Surge immunity test*

IEC 61000-4-9:1993, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-9: Testing and measurement techniques – Pulse magnetic field immunity test*

IEC 61000-4-10:1993, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-10: Testing and measurement techniques – Damped oscillatory magnetic field immunity test*

IEC 61000-5-2:1997, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 5: Installation and mitigation guidelines – Section 2: Earthing and cabling*

IEC 61643-1:1998, *Surge protective devices connected to low-voltage power distribution systems – Part 1: Performance requirements and testing methods*

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*

¹ Cyfry w nawiasach kwadratowych odsyłają do bibliografii.

IEC 61643-21:2000, *Low voltage surge protective devices – Part 21: Surge protective devices connected to telecommunications and signalling networks – Performance requirements and testing methods*

IEC 61643-22:2004, *Low voltage surge protective devices – Part 22: Surge protective devices connected to telecommunications and signalling networks – Part 22: Selection and application principles*

IEC 62305-1, *Protection against lightning. Part 1: General principles*

IEC 62305-2, *Protection against lightning. Part 2: Risk management*

IEC 62305-3, *Protection against lightning. Part 3: Physical damage to structures and life hazard*

ITU-T Recommendation K.20:2003, *Resistibility of telecommunication equipment installed in a telecommunication centre to overvoltages and overcurrents*

ITU-T Recommendation K.21:2003, *Resistibility of telecommunication equipment installed in customer premises to overvoltages and overcurrent*

3 Terminy i definicje^{N3)}

W niniejszym dokumencie stosuje się, obok podanych w innych częściach IEC 62305, następujące terminy i definicje:

3.1

układ elektryczny

układ obejmujący niskonapięciowe elementy zasilania elektrycznego

3.2

układ elektroniczny

układ obejmujący wrażliwe komponenty elektroniczne, takie jak: urządzenia telekomunikacyjne, komputery, systemy kontrolno-pomiarowe, systemy radiowe i instalacje energoelektroniczne

3.3

układy wewnętrzne

układy elektryczne i elektroniczne znajdujące się wewnątrz obiektu

3.4

porunowy impuls elektromagnetyczny

LEMP

elektromagnetyczny efekt prądu pioruna

UWAGA Obejmuje on udary przewodzone oraz skutki oddziaływania impulsowego pola elektromagnetycznego.

3.5

udar

fala stanu przejściowego, pojawiająca się jako przepięcie i/lub przetężenie wywołwane przez LEMP

UWAGA Udary powodowane przez LEMP mogą wynikać z (częściowych) prądów piorunowych i z efektów indukcyjnych w pętlach instalacyjnych oraz mogą pojawiać się jako resztkowe zagrożenie za SPD po stronie odbiorów.

3.6

znamionowe udarowe napięcie wytrzymawane

U_w

przyporządkowane przez producenta, urządzeniu lub jego części, udarowe napięcie wytrzymawane, charakteryzujące określoną wytrzymałość na przepięcia jego izolacji

UWAGA W niniejszej normie rozpatrywane jest tylko napięcie wytrzymawane pomiędzy przewodami czynnymi a ziemią.

^{N3)} Odsyłacz krajowy: Terminy angielskie patrz Załącznik krajowy NA.

3.7

poziom ochrony odgromowej

LPL

liczba powiązana z zestawem wartości parametrów prądu piorunowego i odpowiadająca prawdopodobieństwu, że – przy naturalnie występujących piorunach – nie będą przekroczone maksymalne i minimalne współzależne wartości projektowe

UWAGA Poziom ochrony odgromowej – stosowany przy projektowaniu środków ochrony zgodnie z właściwym zestawem parametrów prądu piorunowego.

3.8

strefa ochrony odgromowej

LPZ

strefa, w której zostało określone piorunowe środowisko elektromagnetyczne

UWAGA Granice stref LPZ niekoniecznie muszą być granicami fizycznymi obiektów (np. ścianami, podłogą, sufitem).

3.9

system środków ochrony przed LEMP

LPMS

kompletny zespół środków ochrony urządzeń wewnętrznych przed LEMP

3.10

przestrzenny ekran ażurowy

ekran magnetyczny charakteryzujący się otworami

UWAGA W przypadku budynków i pomieszczeń najlepiej jest utworzyć go z wzajemnie połączonych naturalnych elementów metalowych obiektu (np. prętów zbrojenia w betonie, metalowych ram i dźwigarów).

3.11

układ uziomów

część zewnętrznego LPS, przeznaczona do doprowadzenia i rozproszenia prądu pioruna w ziemi

3.12

sieć połączeń wyrównawczych

sieć łącząca wzajemnie wszystkie części przewodzące obiektu i wewnętrznych urządzeń (z wyjątkiem przewodów czynnych) i połączona z układem uziomów

3.13

układ uziemiający

kompletny układ zawierający: układ uziomów i sieć połączeń wyrównawczych

3.14

urządzenie do ograniczania przepięć

SPD

urządzenie przeznaczone do ograniczania przepięć przejściowych i do odprowadzania prądów udarowych. Zawiera ono przynajmniej jeden element nieliniowy

3.15

SPD badane prądem I_{imp}

SPD, które wytrzymują częściowy prąd pioruna o typowym kształcie 10/350 μ s i wymagają odpowiedniego udarowego prądu probierczego I_{imp}

UWAGA Prąd probierczy I_{imp} odpowiedni dla linii elektroenergetycznych, jest określony w procedurze próby Klasy I w IEC 61643-1.

3.16**SPD badane prądem I_n**

SPD, które wytrzymują indukowane prądy udarowe o typowym kształcie 8/20 μ s i wymagają odpowiedniego impulsowego prądu probierczego I_n

UWAGA Prąd probierczy I_n , odpowiedni dla linii elektroenergetycznych, jest określony w procedurze próby Klasy II w IEC 61643-1.

3.17**SPD badane udarem złożonym**

SPD, które wytrzymują indukowane prądy udarowe o typowym kształcie 8/20 μ s i wymagają odpowiedniego impulsowego prądu probierczego I_{sc}

UWAGA Odpowiednia dla linii elektroenergetycznych próba udarem złożonym jest określona w procedurze próby Klasy III IEC 61643-1, definiującej napięcie U_{oc} 1,2/50 μ s, występujące w obwodzie otwartym, i prąd I_{sc} 8/20 μ s, płynący w obwodzie zwartym generatora kombinacji tych fal, przy impedancji równej 2 Ω .

3.18**SPD typu ucinającego napięcie**

SPD, którego impedancja jest duża, gdy nie ma udaru, ale może ulec nagłej zmianie do małej wartości w reakcji na udar napięciowy

UWAGA 1 Zwykłymi przykładami elementów stosowanych jako urządzenia ucinające napięcie są iskierniki, rury wyładowcze (GDT), tyrystory (sterowane prostowniki krzemowe) i triaki. Te SPD noszą czasem nazwę „typu crowbar”.

UWAGA 2 Urządzenie ucinające napięcie ma nieciągłą charakterystykę napięciowo-prądową.

3.19**SPD typu ograniczającego napięcie**

SPD, którego impedancja jest duża, gdy nie ma udaru, ale ulega redukcji w sposób ciągły przy rosnącym prądzie i napięciu udarowym

UWAGA 1 Zwykłymi przykładami elementów stosowanych jako urządzenia nieliniowe są warystory i diody przeciwzakłócenia. Te SPD noszą czasem nazwę „typu stabilizującego”.

UWAGA 2 Urządzenie ograniczające napięcie ma ciągłą charakterystykę napięciowo-prądową.

3.20**SPD typu złożonego**

SPD, który zawiera elementy zarówno typu ucinającego, jak i ograniczającego napięcie i może wykazywać cechy elementu ucinającego, ograniczającego lub ucinającego i ograniczającego napięcie w zależności od charakteru stosowanego napięcia

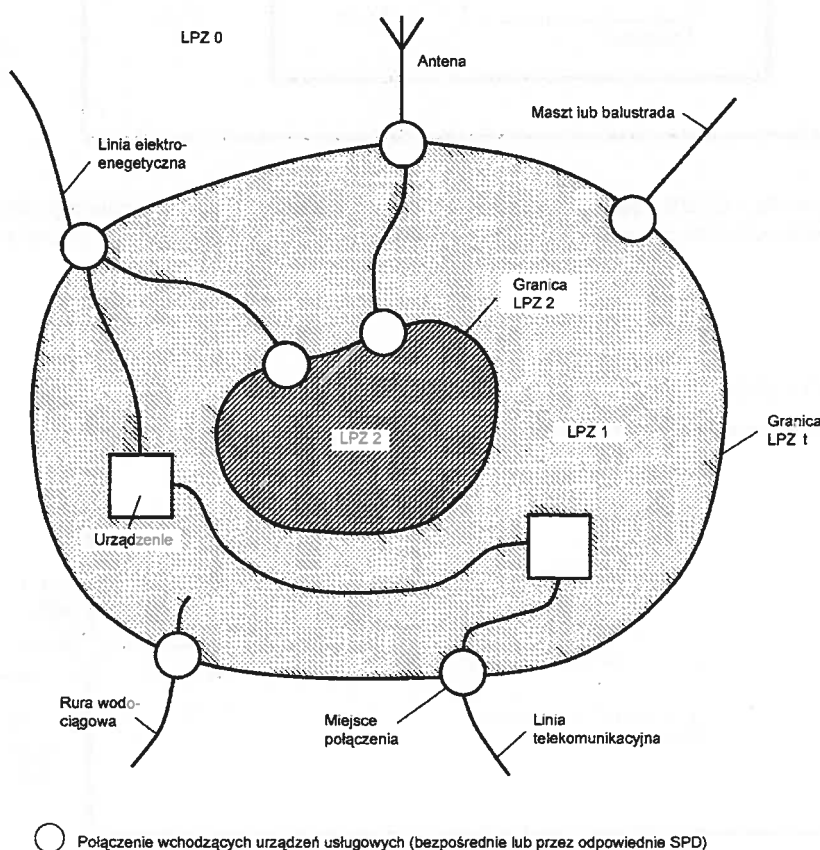
3.21**skoordynowany układ SPD**

zestaw właściwie wybranych, skoordynowanych i zainstalowanych SPD w celu redukcji awarii układów elektrycznych i elektronicznych

4 Projekt i instalacja systemu środków ochrony przed LEMP (LPMS)

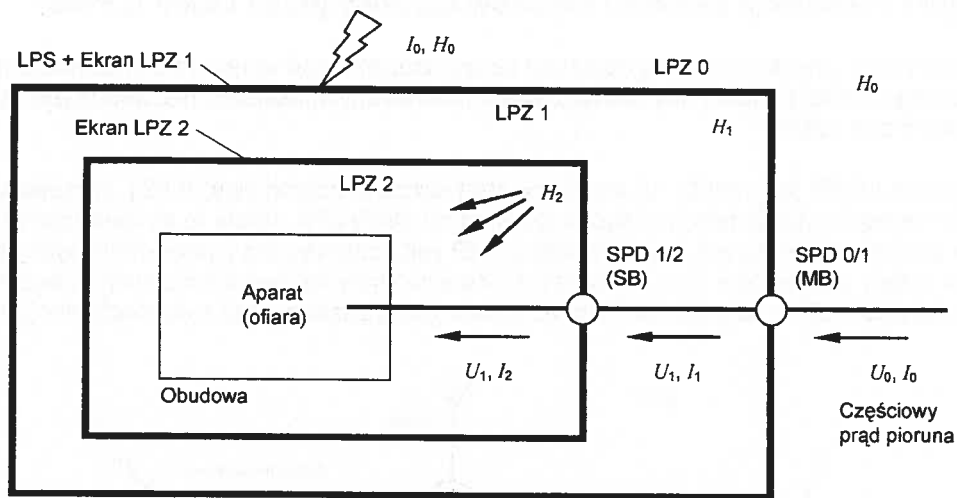
Układy elektryczne i elektroniczne są narażone na uszkodzenie pod wpływem piorunowego impulsu elektromagnetycznego (LEMP). Zatem aby uniknąć awarii wewnętrznych układów, niezbędne jest stosowanie środków ochrony przed LEMP.

Ochrona przed LEMP jest oparta na koncepcji stref ochrony odgromowej (LPZ), a przestrzeń obejmująca poddawane ochronie układy powinna być podzielona na strefy LPZ. Strefy te są teoretycznie wyznaczonymi częściami przestrzeni, w których intensywność LEMP jest kompatybilna z poziomem wytrzymywanym przez objęte nimi układy wewnętrzne (patrz Rysunek 1). Kolejne strefy są charakteryzowane zasadniczymi zmianami w intensywności LEMP. Granica LPZ jest określona przez zastosowane środki ochrony (patrz Rysunek 2).

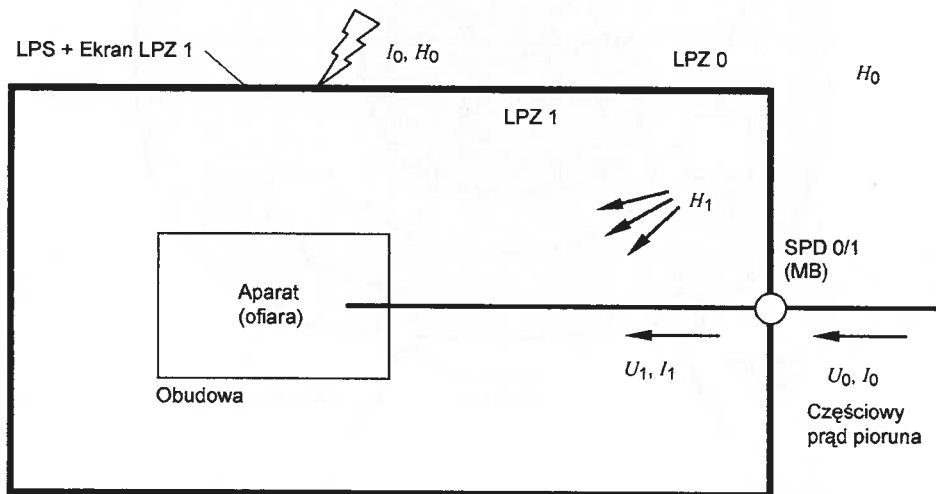


UWAGA Rysunek ten zawiera przykład podziału obiektu na wewnętrzne LPZ. Wszystkie wprowadzane do obiektu metalowe urządzenia usługowe są łączone za pośrednictwem szyn wyrównawczych przy granicy LPZ 1. Dodatkowo przewodzące urządzenia usługowe wprowadzane do LPZ 2 (np. do pomieszczenia komputerów) są łączone za pośrednictwem szyn wyrównawczych przy granicy LPZ 2.

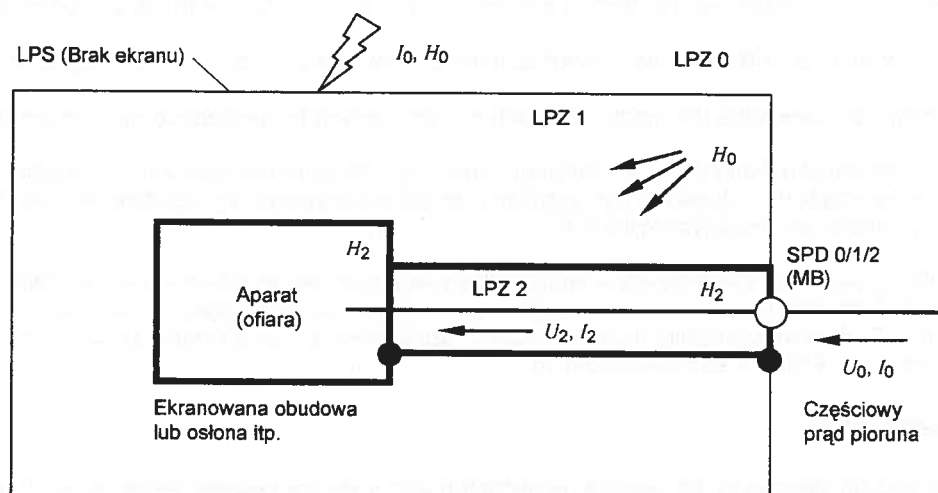
Rysunek 1 – Ogólna zasada podziału na różne LPZ



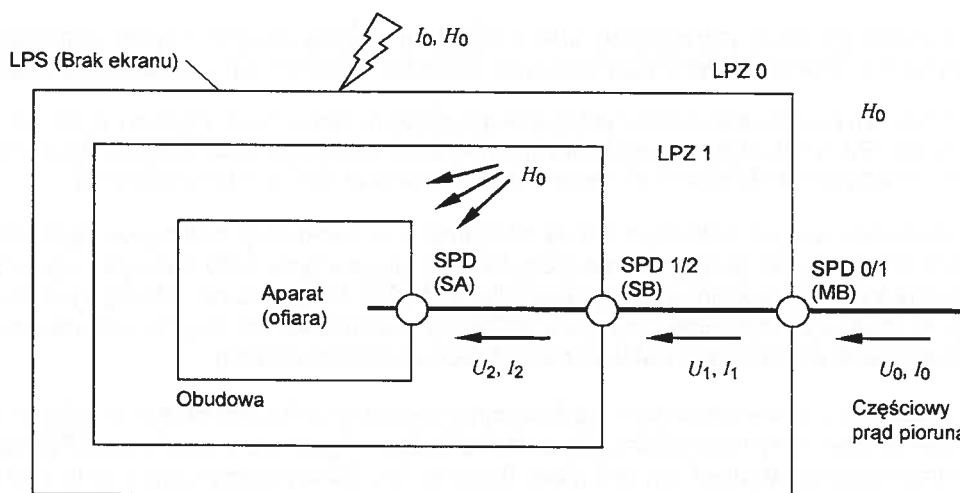
Rysunek 2a – LEMS wykorzystujący ekrany przestrzenne i „skoordynowany układ SPD” – Aparat dobrze chroniony przed udarami przewodzonymi ($U_2 \ll U_0$ i $I_2 \ll I_0$) i przed oddziałującymi polami magnetycznymi ($H_2 \ll H_0$)



Rysunek 2b – LEMS wykorzystujący ekran przestrzenny LPZ 1 i SPD na wejściu do LPZ 1 – Aparat chroniony przed udarami przewodzonymi ($U_1 < U_0$ i $I_1 < I_0$) i przed oddziałującymi polami magnetycznymi ($H_1 < H_0$)



Rysunek 2c – LEMS wykorzystujący ekranowanie wewnętrznej linii i SPD na wejściu do LPZ 1 – Aparat chroniony przed udarami przewodzonymi ($U_2 < U_0$ i $I_2 < I_0$) i przed oddziaływaniem polami magnetycznymi ($H_2 < H_0$)



Rysunek 2d – LEMS wykorzystujący tylko „skoordynowany układ SPD” – Aparat chroniony przed udarami przewodzonymi ($U_2 \ll U_0$ i $I_2 \ll I_0$) ale nie przed oddziaływaniem polem magnetycznym (H_0)

UWAGA 1 SPD mogą być umieszczone w następujących punktach (patrz także D.1.2):

- na granicy LPZ 1 (np. przy głównej rozdzielni MB)
- na granicy LPZ 2 (np. przy pomocniczej rozdzielni SB)
- przy lub blisko aparatu (np. przy gnieździe wtyczkowym SA).

UWAGA 2 Szczegółowe zasady instalacji, patrz również IEC 60364-5-53.

UWAGA 3 Ekran (—) i brak ekranu (—).

Rysunek 2 – Ochrona przed LEMP – Przykłady możliwych środków ochrony przed LEMP (LPMS)

Trwałe uszkodzenie układów elektrycznych i elektronicznych wskutek LEMP może być powodowane przez:

- udary przewodzone i indukowane przenoszone do aparatu przez połączenia zewnętrzne;
- skutki wnikania z zewnątrz pól magnetycznych oddziałujących bezpośrednio na sam aparat.

UWAGA 1 Uszkodzenia wskutek pól elektromagnetycznych, oddziałujących bezpośrednio na urządzenia, są pomijalne pod warunkiem, że urządzenie odpowiada wymaganiom prób radioelektrycznych i prób odpornościowych, zdefiniowanym w stosownych normach wyrobu dotyczących EMC.

UWAGA 2 W przypadku urządzeń nie odpowiadających wymaganiom stosownych norm wyrobu EMC, należy kierować się informacjami Załącznika A na temat sposobu ochrony przed polami elektromagnetycznymi działającymi bezpośrednio na te urządzenia. Poziom wytrzymałości urządzeń przed oddziałującymi z zewnątrz polami magnetycznymi powinien być dobrany zgodnie z IEC 61000-4-9 i IEC 61000-4-10.

4.1 Projekt LPMS

LPMS może być projektowany do ochrony urządzeń przed udarami i polami elektromagnetycznymi. Na Rysunku 2 przedstawiono przykłady:

- LPMS, zawierający ekrany przestrzenne i układ skoordynowanych SPD, zapewnia ochronę przed oddziałującymi z zewnątrz polami magnetycznymi i przed przewodzonymi udarami (patrz Rysunek 2a). Ekrany przestrzenne w układzie kaskadowym i skoordynowane SPD mogą zredukować pole magnetyczne i udary do niższego poziomu zagrożenia.
- LPMS, zawierający ekran przestrzenny LPZ 1 i SPD na wejściu do LPZ 1, może ochronić aparat przed oddziałującym z zewnątrz polem magnetycznym i przed przewodzonymi udarami (patrz Rysunek 2b).

UWAGA 1 Ochrona nie byłaby dostateczna, gdyby pole magnetyczne pozostawało zbyt duże (z powodu małej skuteczności ekranowania LPZ 1) lub gdyby wartość udaru pozostawała zbyt duża (wskutek zbyt wysokiego poziomu ochrony SPD i wskutek indukcyjnych oddziaływań na połączenia przewodowe za SPD od strony odbiorów).

- LPMS, utworzony z wykorzystaniem linii ekranowanych, w kombinacji z ekranowaną obudową urządzenia, chroni przed oddziałującymi z zewnątrz polami magnetycznymi. SPD na wejściu do LPZ 1 zapewnia ochronę przed przewodzonymi udarami (patrz Rysunek 2c). Do uzyskania niższego poziomu zagrożenia udarowego może być wymagany specjalny SPD (np. dodatkowo we wnętrzu skoordynowane stopnie) w celu osiągnięcia dostatecznie niskiego napięciowego poziomu ochrony.
- LPMS, utworzony z wykorzystaniem układu skoordynowanych SPD, jest właściwy tylko do ochrony urządzeń, które są niewrażliwe na oddziałujące z zewnątrz pola magnetyczne, ponieważ SPD zapewniają tylko ochronę przed przewodzonymi udarami (patrz Rysunek 2d). Niższy poziom zagrożenia udarowego można uzyskać, stosując skoordynowane SPD.

UWAGA 2 Rozwiązania wg Rysunków 2a do 2c są zalecane specjalnie dla urządzeń, które nie mają zastosowania do odpowiednich norm wyrobu dotyczących EMC.

UWAGA 3 LPS zgodny z IEC 62305-3, w którym stosuje się tylko połączenia wyrównawcze z SPD, nie zapewnia skutecznej ochrony przed uszkodzeniem wrażliwych urządzeń elektrycznych i elektronicznych. LPS może być udoskonalony przez redukcję wymiarów sieci i wybór właściwych SPD, tak by uczynić go skutecznym elementem LPMS.

4.2 Strefy ochrony odgromowej (LPZ)

Ze względu na zagrożenie piorunowe, określa się następujące LPZ (patrz IEC 62305-1):

Strefy zewnętrzne

LPZ 0 Strefa, w której zagrożenie jest wywołane nietłumionym polem elektromagnetycznym pioruna i w której urządzenia wewnętrzne mogą być narażone na całkowity lub częściowy prąd udarowy pioruna. LPZ 0 jest podzielona na:

LPZ 0_A strefę, w której zagrożenie jest wywołane bezpośrednim wyładowaniem piorunowym i całkowitym jego polem elektromagnetycznym. Urządzenia wewnętrzne mogą być narażone na całkowity prąd udarowy pioruna.

LPZ 0_B strefę, która jest chroniona przed bezpośrednimi wyładowaniami piorunowymi, ale w której zagrożenie stanowi całkowite pole elektromagnetyczne pioruna. Wewnętrzne urządzenia mogą być narażone na częściowe prądy udarowe pioruna.

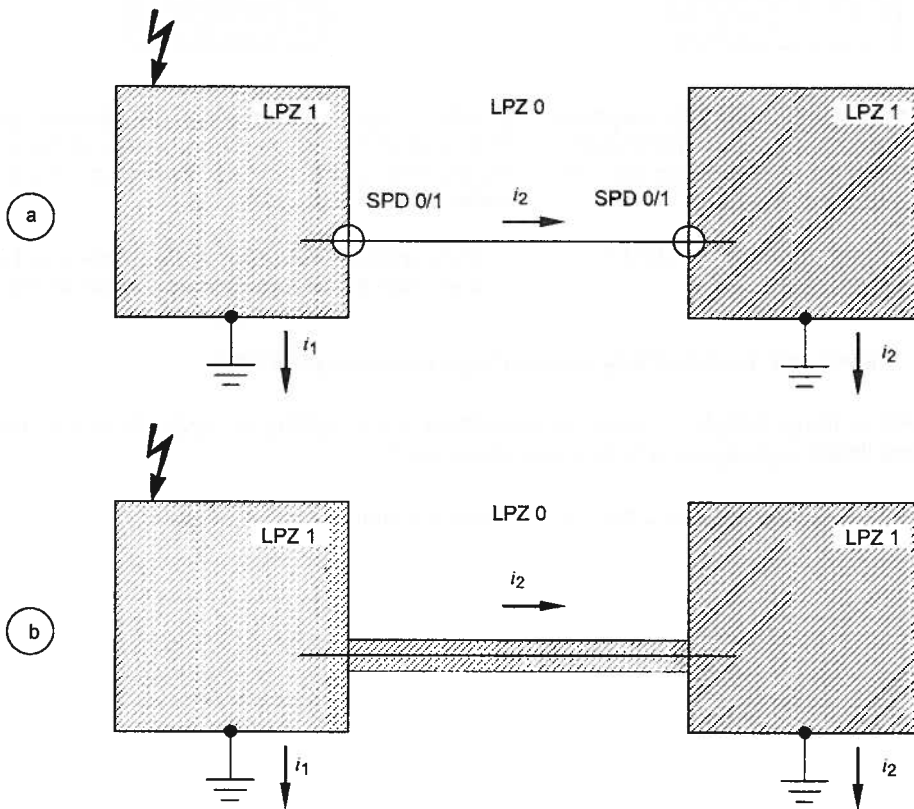
Strefy wewnętrzne: (chronione przed bezpośrednimi wyładowaniami piorunowymi)

LPZ 1 Strefa, w której prąd udarowy jest ograniczony przez jego podział i przez SPD na granicy. Ekranowanie przestrzenne może osłabić piorunowe pole elektromagnetyczne.

LPZ 2 ... n Strefa, w której prąd udarowy może być dodatkowo ograniczony przez jego podział i przez dodatkowe SPD na granicy. Dodatkowe ekranowanie przestrzenne może być zastosowane do dalszego tłumienia piorunowego pola elektromagnetycznego.

Strefy LPZ są wdrażane przez instalowanie LPMS, np. zainstalowanie skoordynowanych SPD i/lub ekranowania magnetycznego (patrz Rysunek 2). Zależnie od liczby, typu i wytrzymywanego poziomu urządzeń poddawanych ochronie, można zdefiniować właściwe LPZ. Mogą one zawierać małe lokalne strefy (np. obudowy urządzeń) lub duże strefy całkowite (np. przestrzeń całego obiektu) (patrz Rysunek B.2).

Wzajemne połączenie LPZ tego samego rzędu może być niezbędne, jeżeli dwa oddzielne obiekty są połączone przez linie elektryczne lub sygnałowe albo gdy należy zredukować liczbę wymaganych SPD (patrz Rysunek 3).



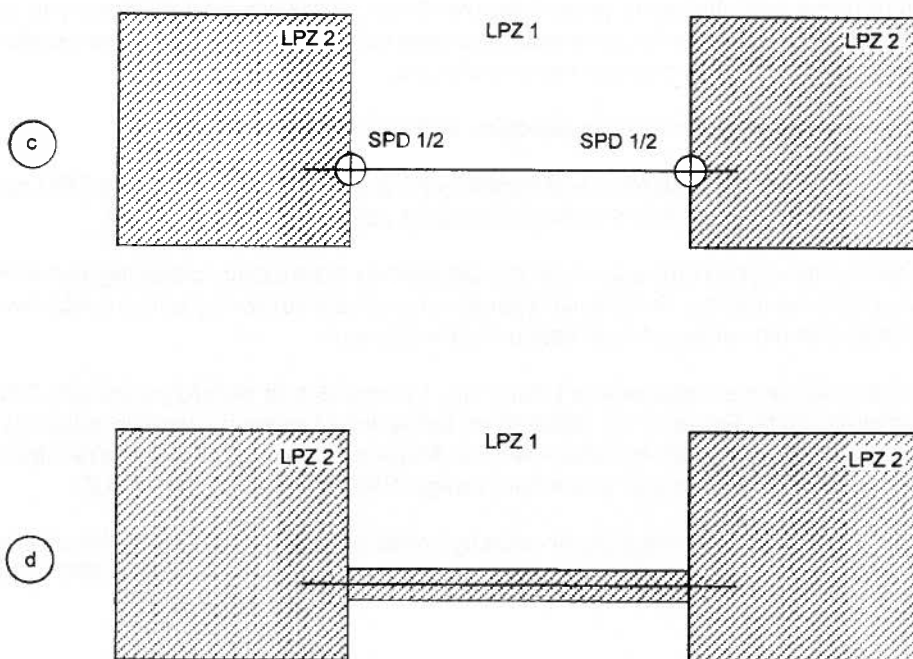
i_1, i_2 częściowe prądy pioruna

UWAGA Rysunek 3a pokazuje dwie strefy LPZ 1 połączone przez linie elektryczne lub sygnałowe. Należy zwrócić szczególną uwagę, jeżeli obie strefy LPZ 1 reprezentują oddzielne obiekty z oddzielnymi uziemieniami, oddalonymi od siebie o dziesiątki lub setki metrów. W tym przypadku duża część prądu pioruna może płynąć wzdłuż łączących linii, które nie są chronione.

UWAGA Rysunek 3b pokazuje, że problem ten może być rozwiązany z zastosowaniem kabli ekranowanych lub ekranowanych kanałów kablowych do wzajemnego połączenia obu stref LPZ pod warunkiem, że ekrany są w stanie przenieść częściowy prąd pioruna. SPD może być zaniechany, jeżeli spadek napięcia wzdłuż ekranu nie jest zbyt duży.

Rysunek 3a – Wzajemne połączenie dwu LPZ 1 z użyciem SPD

Rysunek 3b – Wzajemne połączenie dwu LPZ 1 z użyciem kabli ekranowanych lub ekranowanych kanałów kablowych



UWAGA Rysunek 3c pokazuje dwie strefy LPZ 2 połączone wzajemnie za pomocą linii elektrycznych lub sygnałowych. Na wejściu do każdej ze stref LPZ 2 wymagane są SPD, ponieważ linie są narażone na zagrożenie poziomu LPZ 1.

UWAGA Rysunek 3d pokazuje, że jeżeli do połączenia dwu stref LPZ 2 są stosowane kable ekranowane lub ekranowane kanały kablowe, to można uniknąć takich zakłóceń i stosowania SPD.

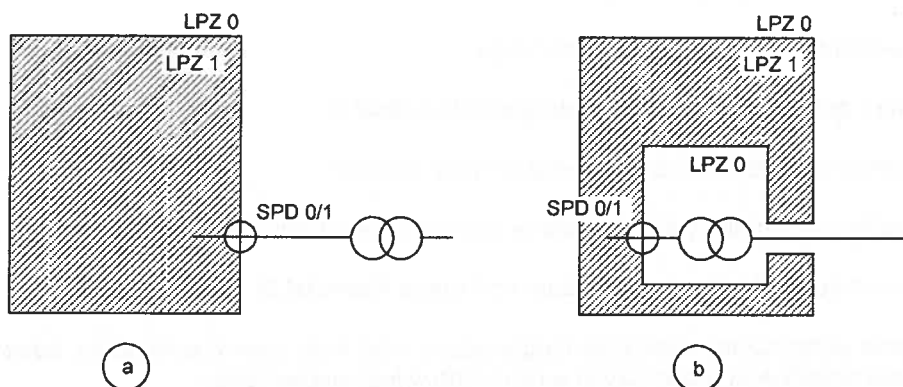
Rysunek 3c – Wzajemne połączenie dwu LPZ 2 z użyciem SPD

Rysunek 3d – Wzajemne połączenie dwu LPZ 2 z użyciem kabli ekranowanych lub ekranowanych kanałów kablowych

Rysunek 3 – Przykłady wzajemnego łączenia stref LPZ

Rozciągnięcie strefy LPZ na inną strefę LPZ może być potrzebne w szczególnych przypadkach lub może być wykorzystane do redukcji liczby wymaganych SPD (patrz Rysunek 4).

Dokładna ocena środowiska elektromagnetycznego w LPZ jest opisana w Załączniku A.

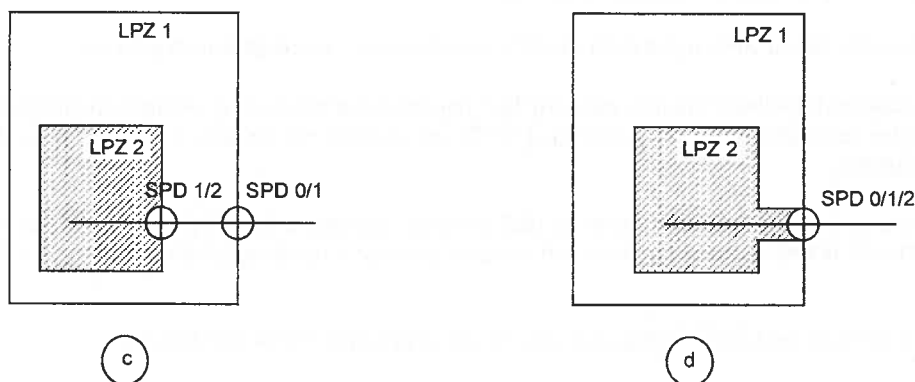


UWAGA Rysunek 4a pokazuje obiekt zasilany z transformatora. Jeżeli transformator jest umieszczony na zewnątrz obiektu, to ochrony za pomocą SPD wymaga tylko wchodząca do obiektu linia niskiego napięcia. Jeżeli transformator powinien być umieszczony wewnątrz obiektu, to właściciel obiektu jest często nieuprawniony do stosowania środków ochrony po stronie wysokiego napięcia.

UWAGA Rysunek 4b – pokazuje, że problem ten może być rozwiązany przez wydłużenie strefy LPZ 0 do strefy LPZ 1, która znowu wymaga SPD tylko po stronie niskiego napięcia.

Rysunek 4a – Transformator na zewnątrz obiektu

Rysunek 4b – Transformator wewnątrz obiektu (LPZ 0 wydłużona do LPZ 1)



UWAGA Rysunek 4c pokazuje strefę LPZ 2 zasilaną przez linię elektryczną lub sygnałową. Linia ta wymaga dwu skoordynowanych SPD: jednego na granicy LPZ 1, a drugiego na granicy LPZ 2.

UWAGA Rysunek 4d pokazuje, że linia ta może wchodzić bezpośrednio do strefy LPZ 2 i że jest wymagany tylko jeden komplet SPD – jeżeli strefa LPZ 2 jest wydłużona do strefy LPZ 1 i zastosowano kabel ekranowany lub ekranowany kanał kablowy. Jednak zagrożenie ma być zredukowane przez SPD bezpośrednio do poziomu LPZ 2.

Rysunek 4c – Wymagane dwa skoordynowane SPD (0/1) i SPD (1/2)

Rysunek 4d – Wymagany tylko jeden SPD (0/1/2) (LPZ 2 wydłużona do LPZ 1)

Rysunek 4 – Przykłady wydłużonych stref ochrony odgromowej

4.3 Podstawowe środki ochrony w LPMS

Podstawowe środki ochrony przed LEMP obejmują:

- **Uziemienia i połączenia wyrównawcze (patrz Rozdział 5)**

Układ uziomów przewodzi i rozprasza w ziemi prąd pioruna.

Sieć połączeń wyrównawczych minimalizuje różnice potencjałów i może redukować pole magnetyczne.

- **Ekranowanie magnetyczne i trasowanie linii (patrz Rozdział 6)**

Ekranowanie przestrzenne tłumi pole magnetyczne i redukuje wewnętrzne udary, powstające wewnątrz LPZ wskutek wyładowań piorunowych w obiekt lub w jego sąsiedztwie.

Ekranowanie wewnętrznych linii, za pomocą ekranowanych kabli lub kanałów kablowych, minimalizuje indukowane udary wewnętrzne.

Trasowanie wewnętrznych linii może minimalizować pętle indukcyjne i redukować wewnętrzne udary.

UWAGA 1 Ekranowanie przestrzenne oraz ekranowanie i trasowanie linii wewnętrznych może być stosowane w kombinacji lub oddzielnie.

Ekranowanie linii zewnętrznych wchodzących do obiektu ogranicza udary wprowadzane do wewnętrznych układów.

- **Skoordynowany układ SPD (patrz Rozdział 7)**

Skoordynowany układ SPD ogranicza skutki zewnętrznych i wewnętrznych udarów.

Uziemienie i połączenia wyrównawcze powinny być zapewnione zawsze, a zwłaszcza połączenie wyrównawcze wykonywane bezpośrednio lub za pomocą SPD, na wejściu do obiektu, każdego przewodzącego urządzenia usługowego.

UWAGA 2 Piorunowe połączenia wyrównawcze (EB) chronią – zgodnie z IEC 62305-3 – tylko przed niebezpiecznym iskrzeniem. Ochrona układów wewnętrznych przed udarami wymaga – zgodnie z niniejszą normą – skoordynowanego układu SPD.

Inne środki ochrony przed LEMP mogą być stosowane oddzielnie lub w kombinacji.

Środki ochrony przed LEMP powinny wytrzymywać, spodziewane w miejscu zainstalowania, narażenia eksploatacyjne (np. narażenie cieplne, wilgotność, atmosferę korozyjną, wibracje, napięcie i prąd).

Dobór najbardziej odpowiednich środków ochrony przed LEMP powinien być dokonywany na podstawie oceny ryzyka zgodnie z IEC 62305-2, przy uwzględnieniu czynników technicznych i ekonomicznych.

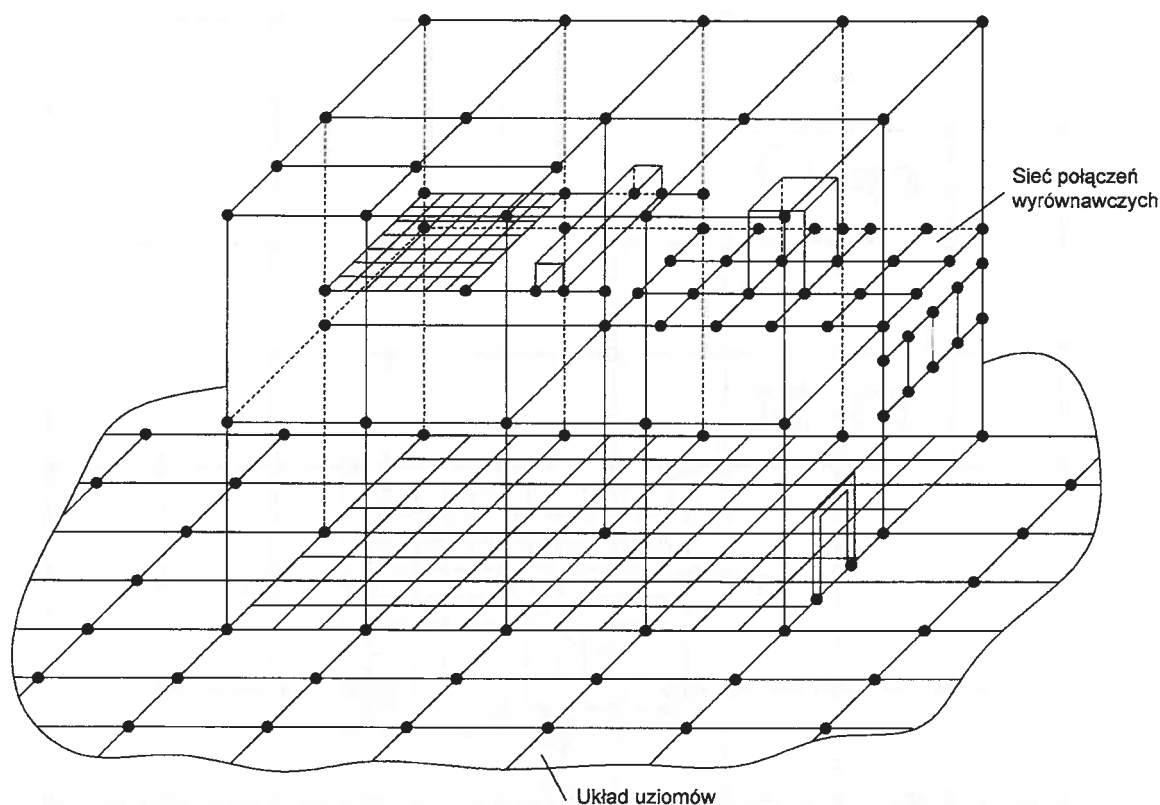
Praktyczne informacje na temat wdrażania środków ochrony przed LEMP do układów elektronicznych w istniejących obiektach są podane w Załączniku B.

UWAGA 3 Dodatkowe informacje na temat realizacji środków ochrony przed LEMP można znaleźć w IEC 60364-4-44.

5 Uziemienia i połączenia wyrównawcze

Właściwe uziemienie i połączenia wyrównawcze bazują na kompletnym układzie uziemień (patrz Rysunek 5), składającym się z:

- układu uziomów (rozpraszającego prąd pioruna do ziemi); i
- sieci połączeń wyrównawczych (minimalizujących różnice potencjałów i redukujących pole magnetyczne).



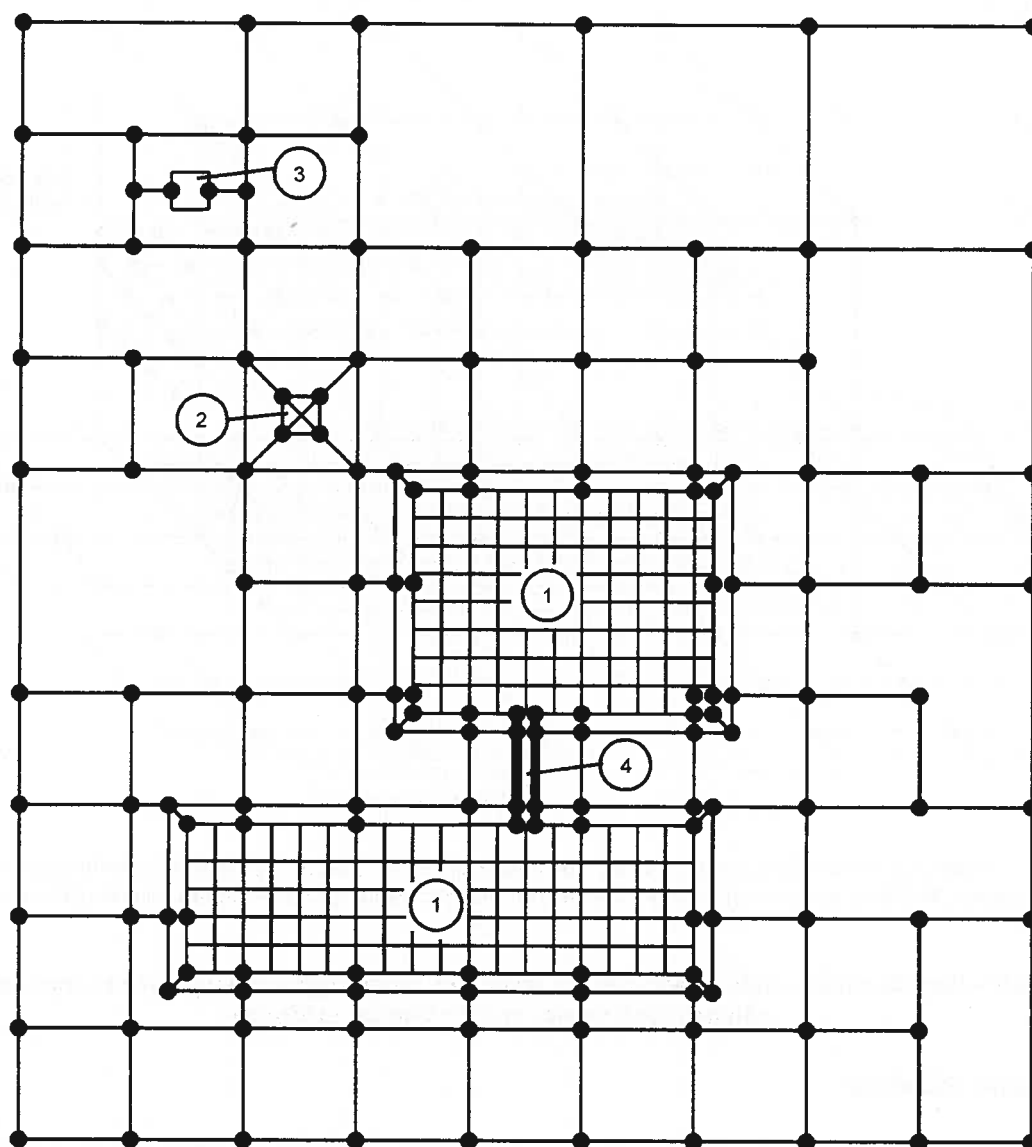
UWAGA Wszystkie uwidocznione połączenia są albo połączonymi elementami metalowymi obiektu, albo połączeniami wyrównawczymi. Niektóre z nich mogą służyć również do przyjmowania, przewodzenia i rozpraszania w ziemi prądu pioruna.

Rysunek 5 – Przykład trójwymiarowego układu uzimień, złożonego z sieci połączeń wyrównawczych połączonych wzajemnie z układem uzimów

5.1 Układ uzimów

Układ uzimów obiektu powinien spełniać wymagania IEC 62305-3. W obiektach, w których występują tylko układy elektryczne, może być użyty układ uzimów typu A, ale preferowany jest układ uzimów typu B. W obiektach z układami elektronicznymi zalecany jest układ uzimów typu B.

Uziom otokowy wokół obiektu, lub uziom otokowy w betonie na obwodzie fundamentu, powinien być zintegrowany z siecią oczkową pod i wokół obiektu, mającą szerokość oka najlepiej równą 5 m. Poprawia to znacznie właściwości układu uzimów. Jeżeli żelbetowy strop podpiwniczenia tworzy dokładnie określone wzajemnie połączone oka i jest połączony z układem uzimów, typowo co 5 m, to jest również odpowiedni. Przykład kratowego układu uzimów zakładu przemysłowego został pokazany na Rysunku 6.



Objaśnienia

- 1 budynek z siecią oczkową żelbetu
- 2 wieża wewnątrz zakładu
- 3 urządzenie wolno stojące
- 4 korytka kablowe

Rysunek 6 – Układ kratowy uziomów zakładu przemysłowego

W celu zredukowania różnicy potencjałów pomiędzy dwoma wewnętrznymi układami, które zostały odniesione do oddzielnych układów uziemiających, mogą być stosowane następujące metody:

- kilka równoległych przewodów wyrównawczych biegnących tą samą drogą co kable elektryczne, lub kable zamknięte w ażurowym kanale żelbetowym (lub w ciągłej galwanicznie rurze metalowej), który został zintegrowany z obydwoma układami uziemień;
- kable ekranowane, z ekranami o odpowiednim przekroju poprzecznym, połączone na krańcach z oddzielnymi układami uziemień.

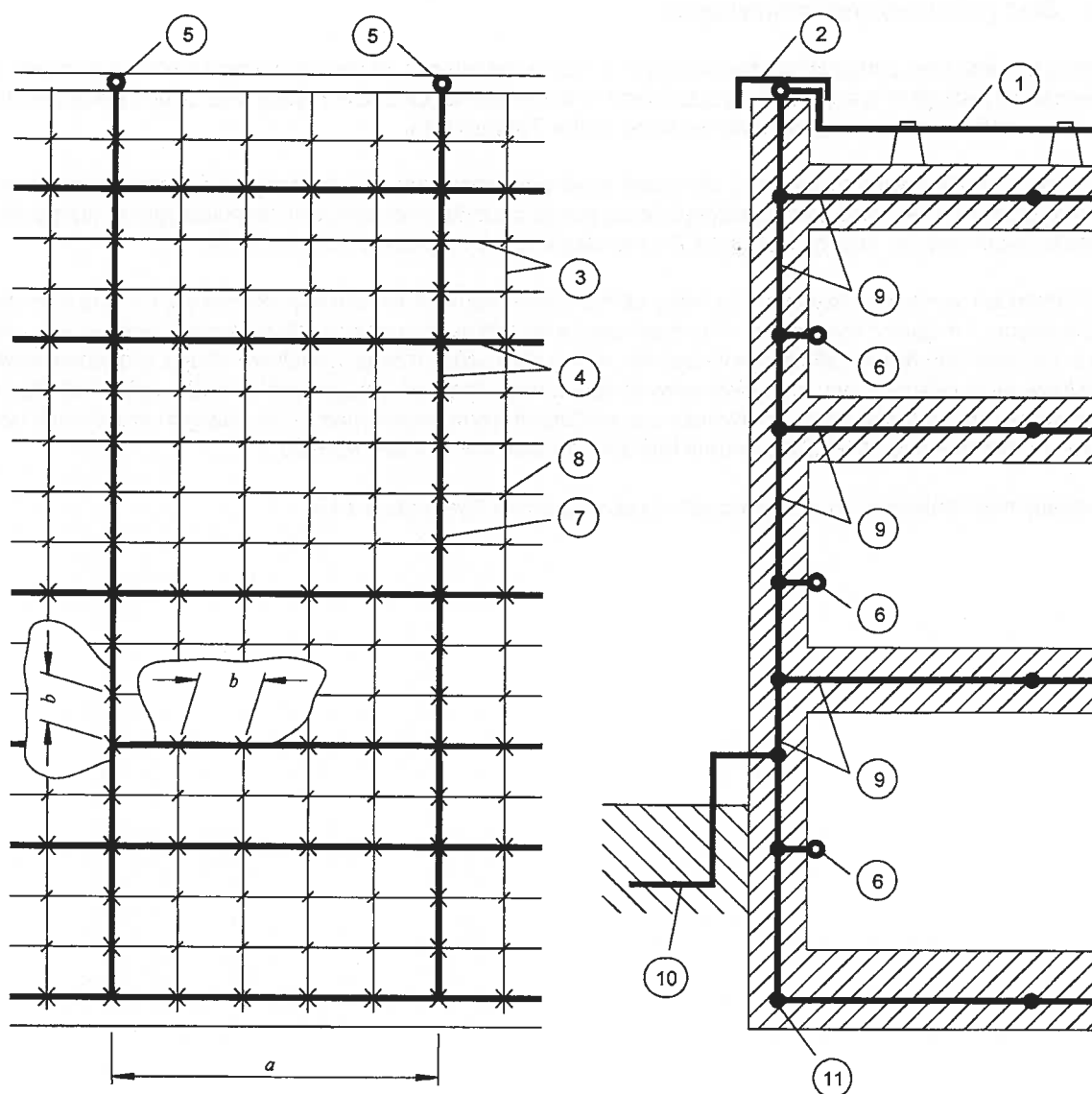
5.2 Sieć połączeń wyrównawczych

Wymagana jest sieć połączeń wyrównawczych o małej impedancji, w celu uniknięcia niebezpiecznych różnic potencjałów pomiędzy wszystkimi urządzeniami w wewnętrznej LPZ. Co więcej, sieć takich połączeń wyrównawczych redukuje również pole magnetyczne (patrz Załącznik A).

Może to być realizowane za pomocą oczkowej sieci wyrównawczej, integrującej części przewodzące obiektu lub części układów wewnętrznych, względnie za pomocą części metalowych i przewodzących urządzeń usługowych, łączonych na granicy każdej LPZ bezpośrednio lub za pośrednictwem SPD.

Sieć połączeń wyrównawczych może mieć układ trójwymiarowej konstrukcji kratowej z typową szerokością oczek równą 5 m (patrz Rysunek 5). Wymaga ona wielokrotnych wzajemnych połączeń metalowych elementów w i na obiekcie (takich jak zbrojenie betonu, szyny wyciągów, dźwigi, metalowe stropy, metalowe elewacje, metalowe ramy okien i drzwi, metalowe ramy stropów, rury urządzeń usługowych i korytka kablowe). Szyny wyrównawcze (np. otokowe szyny wyrównawcze, oddzielne szyny wyrównawcze na różnych poziomach obiektu) i ekrany magnetyczne stref LPZ powinny być zintegrowane w ten sam sposób.

Przykłady sieci połączeń wyrównawczych są pokazane na Rysunkach 7 i 8.



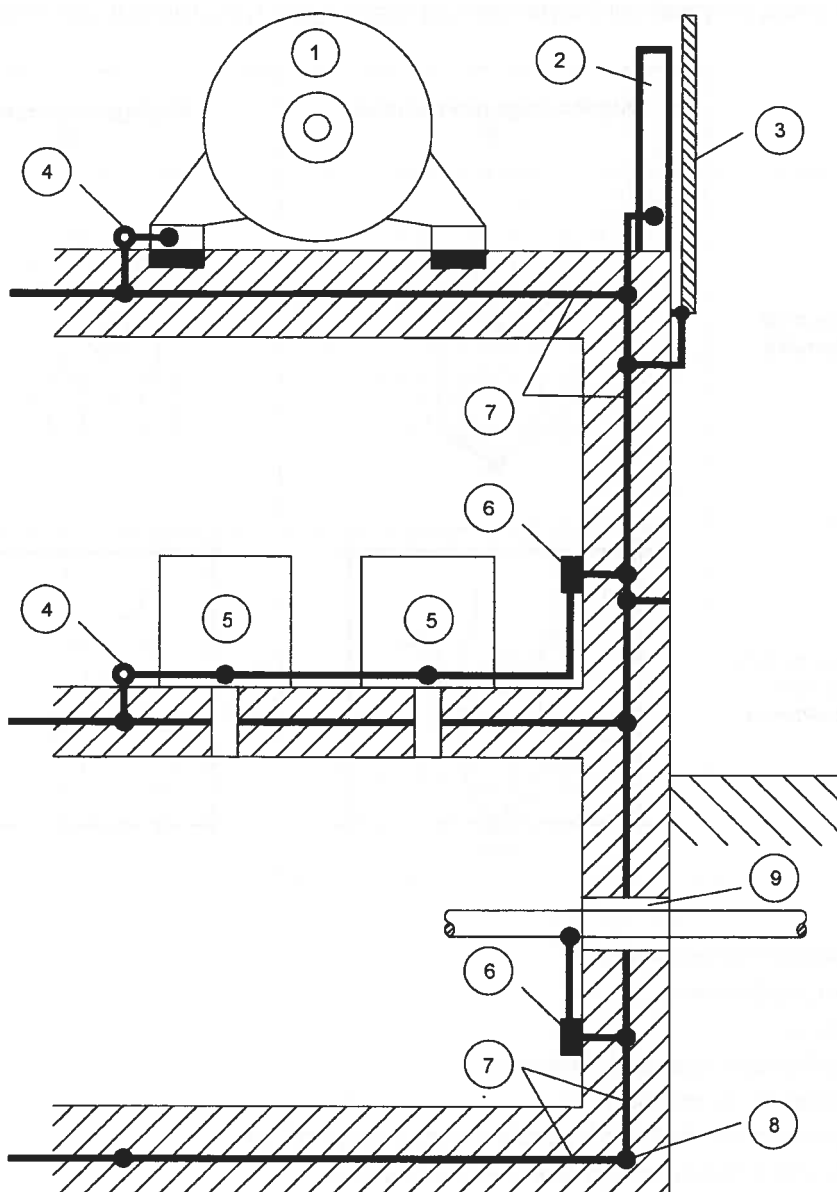
Objaśnienia

- 1 zwód poziomy
- 2 metalowa obróbka dachu
- 3 stalowe pręty zbrojenia
- 4 nałożone na zbrojenie przewody sieci
- 5 złącze przewodu sieci
- 6 zacisk do wewnętrznej szyny wyrównawczej
- 7 połączenie spawane lub zgniatanie
- 8 dowolne połączenie
- 9 stal zbrojeniowa w betonie (z nałożonymi przewodami sieci)
- 10 zwód otokowy (jeżeli istnieje)
- 11 uziom fundamentowy

a typowy odstęp 5 m między nałożonymi przewodami sieci

b typowy odstęp 1 m między połączeniami tej sieci ze zbrojeniem

Rysunek 7 – Wykorzystanie prętów zbrojenia obiektu do połączeń wyrównawczych

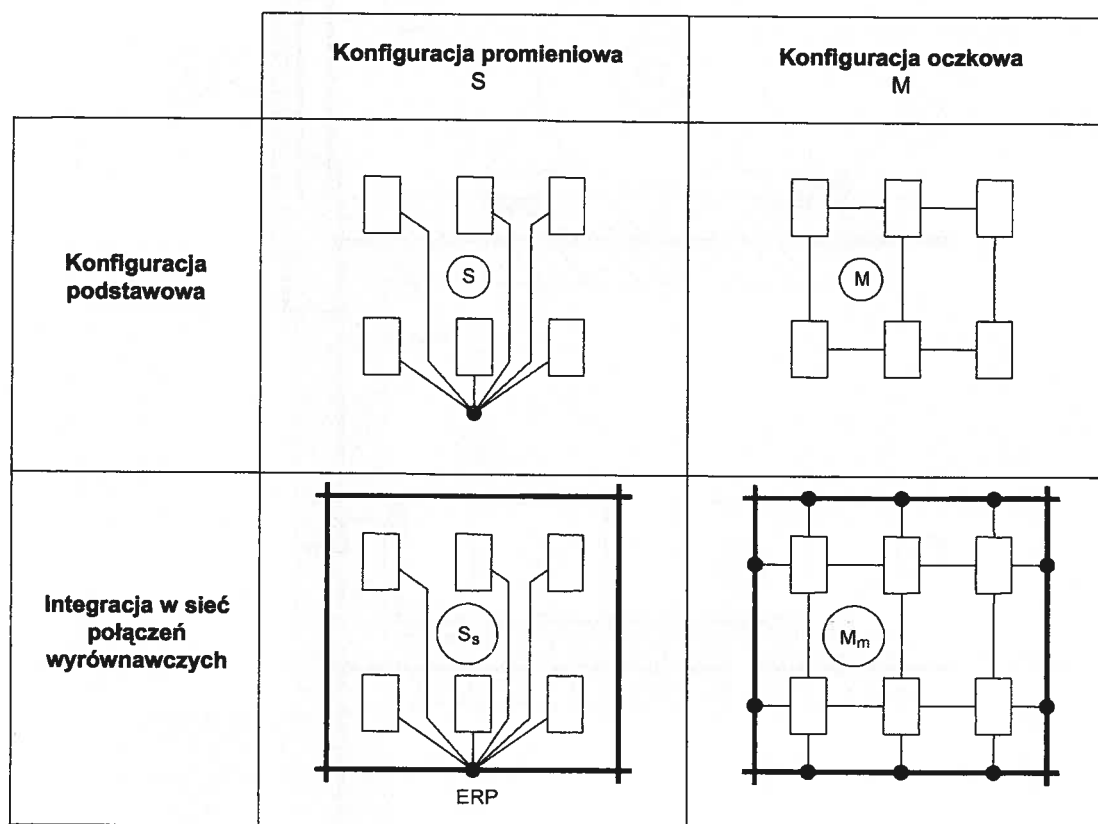






Objaśnienia

- 1 urządzenie elektroenergetyczne,
- 2 dźwigar stalowy
- 3 metalowe pokrycie fasady
- 4 złącze wyrównawcze
- 5 urządzenie elektryczne lub elektroniczne
- 6 szyna wyrównawcza
- 7 stal zbrojeniowa w betonie (z nałożonymi przewodami sieci)
- 8 uziom fundamentowy
- 9 wspólny otwór wejściowy różnych urządzeń usługowych

Rysunek 8 – Połączenia wyrównawcze w obiekcie ze stalowym zbrojeniem

Części przewodzące (np. szafy, obudowy, stojaki) i przewód ochronny (PE) wewnętrznych układów powinny być połączone z siecią połączeń wyrównawczych wg następujących konfiguracji (patrz Rysunek 9):



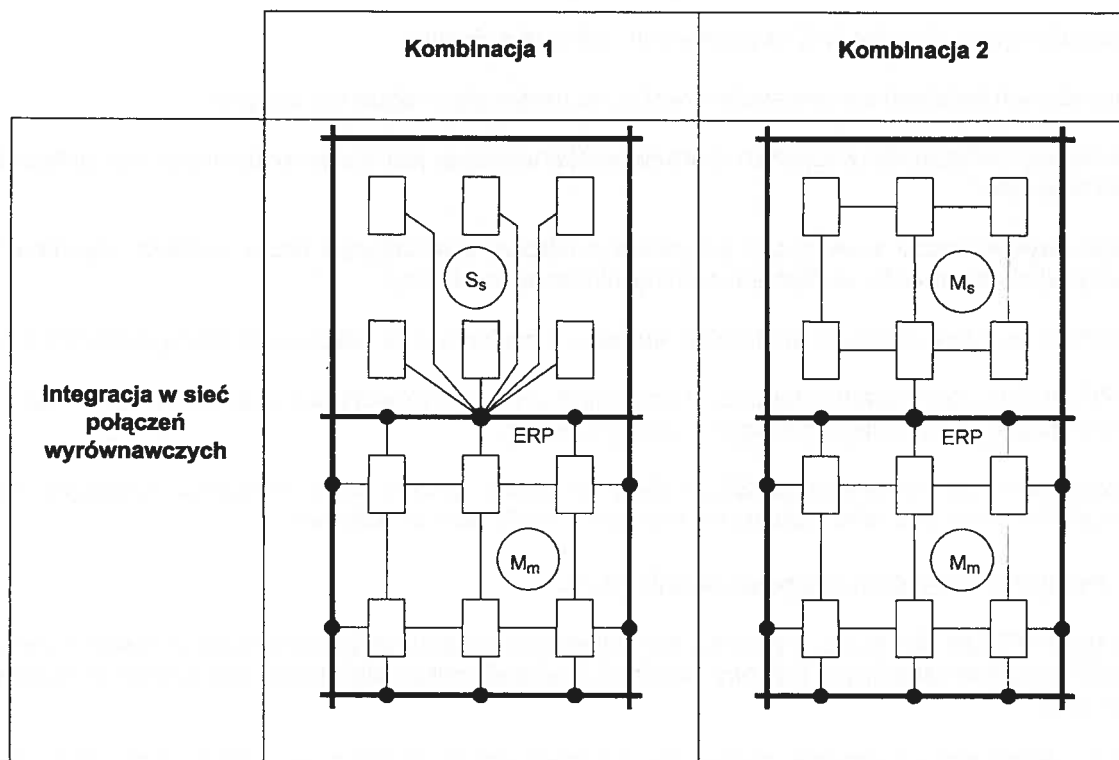
-  sieć połączeń wyrównawczych
-  przewód wyrównawczy
-  urządzenie
-  punkt połączenia z siecią wyrównawczą
- ERP uziemiający punkt odniesienia
- S_s konfiguracja promieniowa zintegrowana przez punkt gwiazdowy
- M_m konfiguracja oczkowa zintegrowana przez sieć oczkową

Rysunek 9 – Integracja urządzeń elektronicznych w sieć połączeń wyrównawczych

Jeżeli stosowana jest konfiguracja S, to wszystkie metalowe elementy (np. szafy, obudowy, stojaki) układów wewnętrznych powinny być odizolowane od układu uziemiającego. Konfiguracja S powinna być połączona z układem uziemiającym jedynie za pomocą pojedynczej szyny wyrównawczej, służącej za uziemiający punkt odniesienia (ERP), tworząc typ S_s. Gdy jest stosowana konfiguracja S, to wszystkie linie pomiędzy poszczególnymi urządzeniami powinny przebiegać równoległe do przewodów wyrównawczych tej konfiguracji, aby uniknąć pętli indukcyjnych. Konfiguracja S może być użyta tam, gdzie układy wewnętrzne są umieszczone w relatywnie małych strefach i wszystkie linie są wprowadzane do strefy tylko w jednym w punkcie.

Jeżeli stosowna jest konfiguracja M, to metalowe elementy (np. szafy, obudowy, stojaki) układów wewnętrznych nie mają być izolowane od układu uziemiającego, ale powinny być z nim zintegrowane za pomocą licznych punktów wyrównawczych, tworząc typ M_m . Konfiguracja M jest preferowana w układach wewnętrznych rozciągniętych na stosunkowo rozległe strefy lub na cały obiekt, gdzie wiele linii przebiega między poszczególnymi częściami urządzeń i gdzie linie wchodzi do obiektu w oddzielnych punktach.

W układach złożonych mogą być wykorzystane zalety obu konfiguracji (M i S), jak pokazano na Rysunku 10, dając w wyniku kombinację 1 (S_s w połączeniu z M_m) lub kombinację 2 (M_s w połączeniu z M_m).



- sieć połączeń wyrównawczych
- przewód wyrównawczy
- urządzenie
- punkt połączenia z siecią wyrównawczą
- ERP uziemiający punkt odniesienia
- S_s konfiguracja promieniowa zintegrowana przez punkt gwiazdowy
- M_m konfiguracja oczkowa zintegrowana przez sieć oczkową
- M_s konfiguracja oczkowa zintegrowana przez punkt gwiazdowy

Rysunek 10 – Kombinacja metod integracji urządzeń elektronicznych w sieć połączeń wyrównawczych

5.3 Szyny połączeń wyrównawczych

Szyny połączeń wyrównawczych powinny być instalowane do łączenia:

- wszystkich przewodzących urządzeń usługowych wchodzących do LPZ (bezpośrednio lub za pomocą odpowiednich SPD),
- przewodu ochronnego PE,
- metalowych elementów urządzeń wewnętrznych (np. szaf, obudów, stojaków),
- magnetycznych ekranów LPZ na peryferiach i wewnątrz obiektu.

Dla skutecznych połączeń wyrównawczych ważne są następujące reguły instalacyjne:

- podstawą skuteczności wszystkich środków wyrównawczych jest małopiędancyjna sieć połączeń wyrównawczych;
- szyny wyrównawcze powinny być połączone z układem uziemiającym przez możliwie najkrótsze trasy (przy użyciu przewodów wyrównawczych nie dłuższych niż 0,5 m);
- materiał i wymiary szyn oraz przewodów wyrównawczych powinny odpowiadać postanowieniom 5.5;
- SPD powinny mieć możliwie najkrótsze połączenia z szyną wyrównawczą oraz z przewodami czynnymi, minimalizując w ten sposób indukcyjne spadki napięcia;
- po chronionej stronie obwodu (za SPD) należy zminimalizować wzajemne sprzężenia indukcyjne, redukując powierzchnie pętli albo stosując ekranowane kable lub kanały kablowe.

5.4 Połączenia wyrównawcze na granicy LPZ

Jeżeli strefa LPZ jest określona, to powinny być zapewnione połączenia wyrównawcze wszystkich części metalowych i urządzeń usługowych (np. rury metalowe, linie elektroenergetyczne lub sygnałowe) przenikających granice LPZ.

UWAGA Połączenia wyrównawcze urządzeń usługowych wchodzących do LPZ 1 powinny być uzgodnione z zainteresowanymi dostawcami sieci usług (np. z władzami elektroenergetyki lub telekomunikacji), ponieważ mogą istnieć sprzeczne wymagania.

Połączenia powinny być wykonywane za pośrednictwem szyn wyrównawczych, które są instalowane możliwie najbliżej punktu wejścia na granicy.

Tam gdzie to możliwe, urządzenia usługowe powinny wchodzić do LPZ w tym samym miejscu i powinny być przyłączone do tej samej szyny wyrównawczej. Jeżeli urządzenia usługowe wchodzi do LPZ w różnych miejscach, to każde z tych urządzeń powinno być połączone z szyną wyrównawczą, a szyny te powinny być połączone między sobą. Zalecane jest ich przyłączenie do otokowej szyny wyrównawczej (przewodu otokowego).

Na wejściu do LPZ są zawsze wymagane SPD połączeń wyrównawczych w celu połączenia z szyną wyrównawczą wchodzących linii, które są podłączone do urządzeń wewnętrznych w obrębie LPZ. Użycie wzajemnie połączonych lub wydłużonych LPZ może zredukować liczbę wymaganych SPD.

Ekranowane kable lub ciągłe galwanicznie metalowe kanały kablowe, przyłączone do każdej granicy LPZ, mogą być użyte albo do połączenia poszczególnych LPZ tego samego rzędu z jednym zaciskiem LPZ, albo do wydłużenia LPZ do następnej granicy.

5.5 Materiał i wymiary elementów łączących

Materiał, wymiary i warunki stosowania powinny odpowiadać wymaganiom IEC 62305-3. Minimalne przekroje elementów łączących powinny odpowiadać Tablicy 1.

Zaciski powinny być wymiarowane stosownie do wartości prądu pioruna danego LPL (patrz IEC 62305-1) i do analizy podziału prądu (patrz Załącznik B, IEC 62305-3).

SPD powinny być wymiarowane zgodnie z postanowieniami Rozdziału 7.

Tablica 1 – Minimalne przekroje elementów łączących

Element łączący		Materiał	Przekrój mm ²
Szyny wyrównawcze (miedź lub stal ocynkowana)		Cu, Fe	50
Przewody łączące szyny wyrównawcze z układem uziemiającym lub z innymi szynami wyrównawczymi		Cu	14
		Al	22
		Fe	50
Przewody łączące wewnętrzne metalowe instalacje z szynami wyrównawczymi		Cu	5
		Al	8
		Fe	16
Przewody łączące SPD	Klasy I	Cu	5
	Klasy II		3
	Klasy III		1
UWAGA Inne stosowane materiały powinny mieć przekroje zapewniające równoważne rezystancje.			

6 Ekranowanie magnetyczne i trasowanie linii

Ekranowanie magnetyczne może zredukować pole elektromagnetyczne oraz wartość indukowanych udarów wewnętrznych. Odpowiednie trasowanie wewnętrznych linii może również zminimalizować wartość indukowanych udarów wewnętrznych. Obydwa środki są skuteczne w ograniczaniu trwałych uszkodzeń układów wewnętrznych.

6.1 Ekranowanie przestrzenne

Ekran przestrzenne wyznaczają strefy chronione, które mogą obejmować całe obiekty, ich części, pojedyncze pomieszczenia lub tylko obudowę urządzenia. Mogą być one ażurowe albo mogą stanowić ciągłą metalową osłonę, lub też mogą zawierać „naturalne elementy” samego obiektu (patrz IEC 62305-3).

Ekran przestrzenne są zalecane tam, gdzie są bardziej praktyczne i użyteczne do ochrony określonej strefy obiektu niż oddzielnych indywidualnych części wyposażenia. Ekran przestrzenne powinny być przewidziane we wczesnej fazie planowania nowego obiektu lub nowego wewnętrznego układu. Wprowadzanie nowych urządzeń do istniejącej instalacji może prowadzić do większych kosztów i do większych utrudnień technicznych.

6.2 Ekranowanie linii wewnętrznych

Ekranowanie może się ograniczać do okablowania i do wyposażenia poddawanego ochronie układu; w tym celu są stosowane: metalowe ekrany kabli, zamknięte metalowe kanały kablowe i metalowe obudowy urządzeń.

6.3 Trasowanie linii wewnętrznych

Odpowiednie trasowanie wewnętrznych linii minimalizuje pętle indukcyjne i ogranicza tworzenie się napięć udarowych wewnątrz obiektu. Powierzchnia pętli może być zminimalizowana przez wyznaczenie tras kabli blisko elementów naturalnych obiektu, które zostały uziemione, i/lub przez wyznaczenie wspólnych tras linii elektrycznych i sygnałowych.

UWAGA Do uniknięcia zakłóceń może być jednak potrzebny pewien odstęp pomiędzy liniami elektroenergetycznymi i nieekranowanymi liniami sygnałowymi.

6.4 Ekranowanie linii zewnętrznych

Ekranowanie linii zewnętrznych wchodzących do obiektu obejmuje: ekrany kabli, zamknięte metalowe kanały kablowe i betonowe kanały kablowe z wzajemnie połączoną stalą zbrojeniową. Ekranowanie linii zewnętrznych jest pomocne, ale często nie leży w zakresie odpowiedzialności projektanta LPMS (ponieważ linia zewnętrzna jest zwykle własnością dostawcy sieciowego).

6.5 Materiał i wymiary ekranów magnetycznych

Na granicy stref LPZ 0_A i LPZ 1 materiały i wymiary ekranów magnetycznych (np. przestrzennych ekranów ażurowych, ekranów kabli i obudów urządzeń) powinny odpowiadać wymaganiom IEC 62305-3 w zakresie zwodów poziomych i/lub przewodów odprowadzających. W szczególności:

- minimalna grubość blaszanych części metalowych, metalowych kanałów, przewodów rurowych i ekranów kablowych powinna odpowiadać Tablicy 3 w IEC 62305-3;
- rozplanowanie ażurowych ekranów przestrzennych i minimalny przekrój ich przewodów powinny odpowiadać Tablicy 6 w IEC 62305-3.

W przypadku ekranów magnetycznych, nieprzeznaczonych do przenoszenia prądów pioruna, ich wymiarowanie zgodne z Tablicą 3 i Tablicą 6 w IEC 62305-3 nie jest wymagane:

- na granicy stref LPZ 1/2 lub wyższych, pod warunkiem że zapewniony jest odstęp izolacyjny s pomiędzy ekranami magnetycznymi a LPS (patrz 6.3 w IEC 62305-3),
- na granicy każdej strefy LPZ, jeżeli komponent ryzyka R_D , wywołanego bezpośrednimi wyładowaniami piorunowymi w obiekt, jest pomijalny (patrz IEC 62305-2).

7 Skoordynowany układ SPD

Ochrona urządzeń wewnętrznych przed udarami może wymagać systematycznego podejścia składającego się ze skoordynowanych SPD zarówno dla linii elektroenergetycznych, jak i linii sygnałowych. Podstawowe podejście do koordynacji SPD (patrz Załącznik C) jest w obu przypadkach takie same, ale ze względu na dużą różnorodność urządzeń elektronicznych i ich właściwości (analogowe lub cyfrowe, d.c lub a.c., mała lub duża częstotliwość), reguły doboru i instalowania skoordynowanego układu SPD są odmienne od tych, które mają zastosowanie do doboru SPD tylko dla urządzeń elektrycznych.

W systemie LPMS, przy stosowaniu koncepcji stref ochrony odgromowej z większą liczbą niż jedna LPZ (LPZ 1, LPZ 2 i wyższe), SPD powinny być umieszczane na wejściu linii do każdej LPZ (patrz Rysunek 2).

W systemie LPMS, przy stosowaniu tylko LPZ 1, SPD powinien być umieszczony przynajmniej na wejściu linii do LPZ 1.

W obu przypadkach mogą być wymagane dodatkowe SPD, jeżeli odległość między usytuowaniem SPD a chronionym urządzeniem jest duża (patrz Załącznik D).

Wymagania probiercze SPD powinny być zgodne z

- IEC 61643-1 dla urządzeń elektroenergetycznych,
- IEC 61643-21 dla systemów telekomunikacyjnych i sygnałowych.

Dobór i instalowanie skoordynowanego układu SPD powinny być zgodne z

- IEC 61643-12 i IEC 60364-5-53 przy ochronie urządzeń elektroenergetycznych,
- IEC 61643-22 przy ochronie systemów telekomunikacyjnych i sygnałowych.

Pewne podstawowe informacje na temat doboru i instalowania skoordynowanego układu SPD są podane w Załączniku D.

Informacje na temat wartości udarów wytwarzanych przez piorun, do celów wymiarowania SPD w różnych punktach instalacji w obiekcie, są podane w Załączniku E do normy IEC 62305-1.

8 Zarządzanie systemem LPMS

Aby uzyskać tani i skuteczny system ochrony, projekt tego systemu w odniesieniu do urządzeń wewnętrznych powinien być wykonany podczas fazy projektowania budynku i przed jego budową. Pozwala to zoptymalizować wykorzystanie naturalnych elementów obiektu i wybrać najlepszy kompromis w rozmieszczeniu okablowania i lokalizacji urządzeń.

Przy wprowadzaniu nowych urządzeń do istniejących obiektów, koszt systemu LPMS jest na ogół wyższy niż jego koszt w przypadku nowych obiektów. Jednak możliwe jest zminimalizowanie kosztów inwestycyjnych przez właściwy wybór LPZ i przez wykorzystanie istniejących instalacji lub przez ich modernizację.

Właściwa ochrona może być uzyskana tylko wtedy, gdy:

- są określone warunki przez specjalistę ochrony odgromowej,
- istnieje dobra koordynacja między różnymi specjalistami zaangażowanymi w konstruowanie budynku i w LPMS (np. między inżynierami budowlanymi a elektrykami),
- jest przestrzegany plan zarządzania wg 8.1.

LPMS powinien być utrzymywany za pomocą sprawdzania i konserwacji. Po stosownych zmianach w obiekcie lub w środkach ochrony, powinna być dokonana nowa ocena ryzyka.

8.1 Plan zarządzania LPMS

Planowanie i koordynacja LPMS wymaga planu zarządzania (patrz Tablica 2), który się zaczyna wstępną oceną ryzyka (IEC 62305-2), w celu określenia środków ochrony, potrzebnych do zredukowania ryzyka do tolerowanego poziomu. Aby tego dokonać, należy wyznaczyć strefy ochrony odgromowej.

Tablica 2 – Plan zarządzania LPMS dla nowych budynków i dla poważnych zmian w konstrukcji lub przeznaczeniu budynków

Krok	Cel	Działanie do podjęcia przez
Wstępna analiza ryzyka ¹⁾	Sprawdzenie potrzeby ochrony przed LEMP Jeżeli potrzebna, wybrać właściwy LEMS, stosując metodę oceny ryzyka	Specjalista ochrony odgromowej ²⁾ Właściciel
Końcowa analiza ryzyka ¹⁾	Stosunek koszt/zysk, dotyczący wybranych środków ochrony, powinien być zoptymalizowany podczas ponownego stosowania metody oceny ryzyka. W wyniku zostaje określone: – LPL i parametry pioruna – LPZ i ich granice	Specjalista ochrony odgromowej ²⁾ Właściciel
Planowanie LPMS	Określenie LEMS: – środki ekranowania przestrzennego – sieci połączeń wyrównawczych – uziomy – ekranowanie i trasowanie linii – ekranowanie wchodzących urządzeń usługowych – skoordynowany układ SPD	Specjalista ochrony odgromowej Właściciel Architekt Projektanci układów wewnętrznych Projektanci stosownych instalacji
Projekt LPMS	Ogólne rysunki i opisy Przygotowanie list dla ofert Szczegółowe rysunki i harmonogramy dla instalacji	Biuro inżynieryjne lub równoważne
Instalacja LPMS łącznie z nadzorem	Jakość instalacji Dokumentacja Możliwe sprawdzenie szczegółowych rysunków	Specjalista ochrony odgromowej Instalator LPMS Biuro inżynieryjne Nadzorca
Zatwierdzenie LPMS	Sprawdzenie i dokumentowanie stanu systemu	Niezależny specjalista ochrony odgromowej Nadzorca
Okresowe sprawdzanie	Zapewnienie kompletności LPMS	Specjalista ochrony odgromowej Nadzorca
¹⁾ Patrz IEC 62305-2. ²⁾ Z szeroką znajomością EMC i znajomością praktyk instalacyjnych.		

Zgodnie z LPL, określonym w IEC 62305-1, i będącymi do zastosowania środkami ochrony, należy wykonać następujące czynności:

- zapewnić układ uziemiający, zawierający sieć połączeń wyrównawczych i układ uziomów;
- połączyć, bezpośrednio lub za pośrednictwem odpowiednich SPD, zewnętrzne części metalowe i wprowadzane urządzenia usługowe;
- zintegrować z siecią połączeń wyrównawczych wewnętrzne urządzenia;
- wdrożyć ekranowanie przestrzenne w kombinacji z trasowaniem i ekranowaniem linii;
- określić wymagania dla skoordynowanego układu SPD;
- zadbać ewentualnie o specjalne środki dla obiektów istniejących (patrz Załącznik B).

Po tym, stosując znowu metodę oceny ryzyka, należy ponownie ocenić i zoptymalizować stosunek kosztów do zysków z uwzględnieniem wybranych środków ochrony.

8.2 Badanie LPMS

Badanie obejmuje kontrolę dokumentacji technicznej, oględziny i pomiary probiercze. Przedmiotem badań jest potwierdzenie, że:

- LPMS odpowiada projektowi,
- LPMS jest w stanie spełnić swoją funkcję projektową,
- każdy nowo dodany środek ochrony jest prawidłowo zintegrowany z LPMS.

Badania powinny być wykonane

- podczas instalowania LPMS,
- po zainstalowaniu LPMS,
- okresowo,
- po każdej zmianie elementu odnoszącego się do LPMS,
- możliwie po wyładowaniu piorunowym w obiekt (np. tam, gdzie: pokazuje to licznik wyładowań piorunowych, wyładowanie w obiekt jest stwierdzone przez naoczego świadka, istnieje naoczny dowód uszkodzenia obiektu przez piorun).

Częstość badań okresowych powinna być określona przy uwzględnieniu:

- właściwości lokalnego środowiska, jak korozyjność gruntu i korozyjność warunków atmosferycznych,
- typu zastosowanego środka ochrony.

8.2.1 Procedura badań

8.2.1.1 Kontrola dokumentacji technicznej

Po zainstalowaniu nowego systemu LPMS, należy skontrolować dokumentację techniczną pod względem zgodności z właściwymi normami i kompletności. Dokumentację techniczną należy stale i konsekwentnie uaktualniać, np. po każdej zmianie lub rozbudowie LPMS.

8.2.1.2 Oględziny

Oględziny należy wykonać w celu potwierdzenia, że:

- nie ma ani rozluźnionych połączeń, ani żadnych przypadkowych przerw w przewodach i złączach,
- żadna część układu nie została osłabiona wskutek korozji, szczególnie na poziomie ziemi,
- przewody połączeń wyrównawczych i ekrany kabli są nienaruszone,
- nie ma uzupełnień ani zmian, które wymagają dodatkowych środków ochrony,
- nie ma oznak uszkodzenia SPD i ich bezpieczników lub rozłączników,
- zachowane są właściwe trasy linii,
- zachowane są bezpieczne odstępstwa od przestrzennych ekranów.

8.2.1.3 Pomiary

Należy wykonać pomiary ciągłości galwanicznej połączeń tych części układu uziemiającego i sieci połączeń wyrównawczych, które nie są dostępne dla oględzin.

8.2.2 Dokumentacja badań

W celu ułatwienia procesu badań, należy przygotować ich przewodnik. Powinien on zawierać informacje służące kontrolerowi i wystarczające do wykonania jego zadania tak, aby wszystkie cechy charakterystyczne instalacji i jej elementów oraz metody i dane probiercze mogły być udokumentowane.

Kontroler przygotowuje protokół, który powinien być dołączony do technicznej dokumentacji i do protokołów z poprzednich badań. Protokół powinien zawierać informacje dotyczące:

- ogólnego stanu LPMS,
- jakichkolwiek odstępstw od dokumentacji technicznej,
- wyników wszystkich przeprowadzonych pomiarów.

8.3 Konserwacja

Po badaniach powinny być natychmiast naprawione wszystkie zauważone usterki. W razie potrzeby należy uaktualnić dokumentację techniczną.

Załącznik A (informacyjny)

Podstawy oceny środowiska elektromagnetycznego w LPZ

Niniejszy załącznik zawiera informacje dotyczące oceny środowiska elektromagnetycznego w LPZ, które mogą być użyteczne w ochronie przed LEMP. Są one również przydatne w ochronie przed zakłóceniami elektromagnetycznymi.

A.1 Skutki piorunowe szkodliwe dla urządzeń elektrycznych i elektronicznych

A.1.1 Źródło uszkodzeń

Głównym źródłem uszkodzeń jest prąd pioruna i związane z nim pole magnetyczne, które ma ten sam kształt fali, co prąd pioruna.

UWAGA Wpływ piorunowego pola elektrycznego ma zwykle, w kategoriach ochrony, mniejsze znaczenie.

A.1.2 Ofiary uszkodzeń

Układy wewnętrzne, zainstalowane w lub na obiekcie, mające tylko ograniczony poziom wytrzymałości udarowej i odporności na pola magnetyczne, mogą być uszkodzone lub działać nieprawidłowo pod wpływem pioruna i wywołanych przezeń pól magnetycznych.

Urządzenia zainstalowane na zewnątrz obiektu mogą być narażone na nietłumione pole magnetyczne, a jeżeli znajdują się w miejscach odsłoniętych, to również na piorunowe udary prądowe – aż do całkowitego prądu wyładowania bezpośredniego włącznie.

Urządzenia zainstalowane wewnątrz obiektu mogą być narażone na tłumione pole magnetyczne i na przewodzone lub indukowane udary wewnętrzne oraz na udary zewnętrzne, wprowadzane przez wchodzące linie.

Szczegóły dotyczące poziomów wytrzymałości urządzeń są podane w następujących normach:

- Poziom wytrzymałości instalacji elektroenergetycznych jest określony w IEC 60664-1.
- Poziom wytrzymałości urządzeń telekomunikacyjnych jest określony w ITU-T K.20 i K.21.
- Poziom wytrzymałości urządzeń ogólnych jest określony w ich instrukcjach wyrobu lub może być ustalony w próbach odporności:
 - na udary przewodzone, przy zastosowaniu IEC 61000-4-5 z probierczymi poziomami napięciowymi 0,5 – 1 – 2 – 4 kV, fali o kształcie 1,2/50 μ s, i z probierczymi poziomami prądowymi 0,25 – 0,5 – 1 – 2 kA fali o kształcie 8/20 μ s.

UWAGA Pewne urządzenia w celu spełnienia wymagań powyższych norm, mogą zawierać wewnętrzne SPD. Właściwości tych wewnętrznych SPD mogą wpływać na wymagania koordynacyjne.

- na pola magnetyczne, przy zastosowaniu IEC 61000-4-9 z poziomami probierczymi 100 – 300 – 1 000 A/m, fali o kształcie 8/20 μ s, i przy zastosowaniu IEC 61000-4-10 z poziomami probierczymi 10-30-100 A/m, fali o częstotliwości 1 MHz.

Urządzenia nie spełniające – określonych w stosownych normach wyrobu EMC – prób odporności i napromieniowania o częstotliwości radiowej (RF), mogą być zagrożone przez bezpośrednie oddziaływanie na nie pola magnetycznego. Natomiast uszkodzenie urządzenia odpowiadającego tym normom może być ignorowane.

A.1.3 Mechanizmy sprzężenia pomiędzy ofiarą a źródłem szkody

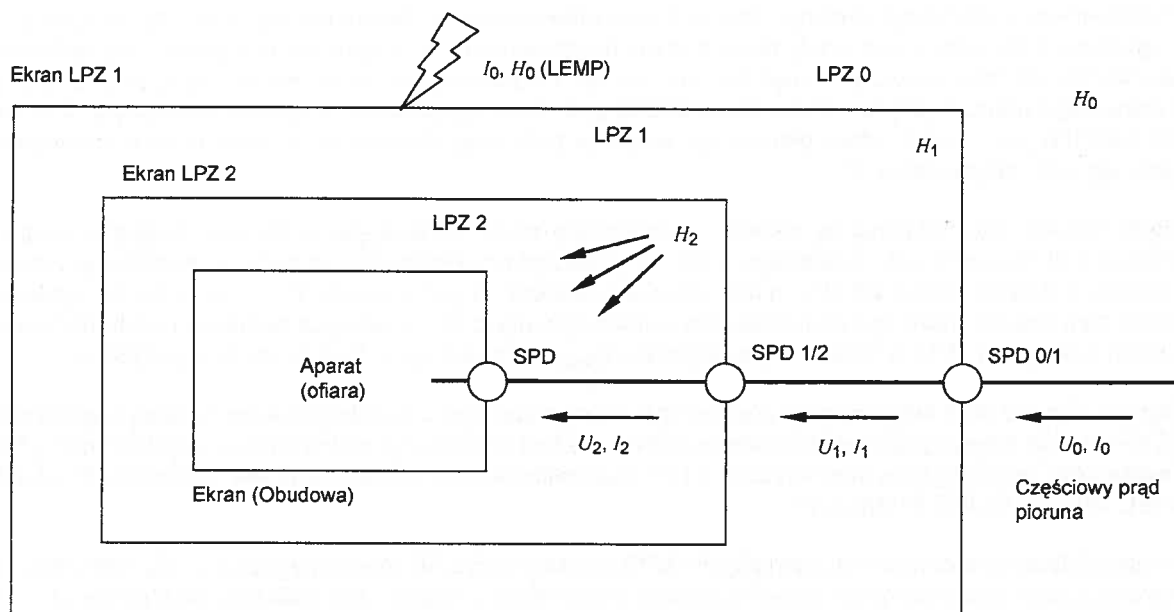
Niezbędne jest, aby poziom wytrzymałości urządzenia był kompatybilny ze źródłem szkody. Do osiągnięcia tego jest niezbędne, aby mechanizmy sprzężenia były właściwie uregulowane przez prawidłowe dobranie stref ochrony odgromowej (LPZ).

A.2 Ekranowanie przestrzenne, trasowanie linii i ich ekranowanie

A.2.1 Postanowienia ogólne

Pole magnetyczne wywoływane w LPZ przez wyładowania piorunowe w obiekt lub w pobliską ziemię może być ograniczone tylko za pomocą przestrzennego ekranowania LPZ. Udary indukowane w układzie elektronicznym mogą być zminimalizowane albo za pomocą ekranowania przestrzennego, albo za pomocą trasowania i ekranowania linii, albo też przez kombinację obu metod.

Rysunek A.1 zawiera przykład LEMP w przypadku wyładowania piorunowego w obiekt, pokazując strefy ochrony odgromowej LPZ 0, LPZ 1 i LPZ 2. Układ elektroniczny, poddawany ochronie, jest zainstalowany w LPZ 2.



1. **LEMP – główne źródło uszkodzenia**

Takie, jak określone na podstawie parametrów wg LPL od I do IV:

IEC 62305-1	I_0	impuls 10/350 μ s (oraz 0,25/100 μ s)	200-150-100-100 kA
	H_0	impuls 10/350 μ s (oraz 0,25/100 μ s)	Uzyskany z I_0

2. **Poziom wytrzymałości instalacji elektroenergetycznej**

Taki, jak określony na podstawie kategorii przepięć od I do IV dla napięć znamionowych: 230/400 V oraz 277/480 V:

IEC 60664-1	U	Kategoria przepięć I do IV	6 – 4 – 2,5 – 1,5 kV
-------------	-----	----------------------------	----------------------

3. **Poziom wytrzymałości instalacji telekomunikacyjnej**

Zalecenia ITU K.20 lub K.21

4. **Badania urządzenia bez odpowiednich norm wyrobu**

Poziom wytrzymałości aparatu (urządzenie narażane)

Taki, jak określony dla przewodzonych (U, I) skutków pioruna:

IEC 61000-4-5	U_{oc}	impuls 1,2/50 μ s	4 – 2 – 1 – 0,5 kV
	I_{sc}	impuls 8/20 μ s	2 – 1 – 0,5 – 0,25 kA

5. **Próby urządzenia nieodpowiadającego stosownym normom wyrobu EMC**

Poziom wytrzymałości aparatu (urządzenie narażane)

Taki, jak określony dla radiacyjnych (H) skutków pioruna:

IEC 61000-4-9	H	impuls 8/20 μ s, (tłumione oscylacje 25 kHz), $T_p = 10 \mu$ s	1 000 – 300 – 100 A/m
IEC 61000-4-10	H	impuls 0,2/0,5 μ s, (tłumione oscylacje 1 MHz), $T_p = 0,25 \mu$ s	100 – 30 – 10 A/m

Rysunek A.1 – Sytuacja LEMP podczas wyładowania piorunowego

Podstawowym elektromagnetycznym źródłem uszkodzenia układu elektronicznego jest prąd pioruna I_0 i pole magnetyczne H_0 . Częściowe prądy pioruna płyną przez wchodzące urządzenia usługowe. Fale tych prądów, jak również pól magnetycznych mają ten sam kształt. Poddawany tu rozważaniom prąd pioruna składa się z pierwszego udaru I_f (o typowym kształcie 10/350 μ s z długim grzbietem) i z udarów następnych I_s (o kształcie 0,25/100 μ s). Prąd I_f udaru pierwszego generuje pole magnetyczne H_f a prądy udarów następnych I_s generują pola magnetyczne H_s .

Skutki indukcji magnetycznej są głównie powodowane przez narastające czoło pola magnetycznego. Jak pokazano na Rysunku A.2, narastające czoło H_f może być przedstawione za pomocą tłumionego pola oscylującego z częstotliwością 25 kHz, o maksymalnej wartości H_{fmax} i o czasie $T_{p/f} = 10 \mu$ s do jej wystąpienia. W ten sam sposób może być przedstawione narastające czoło H_s za pomocą tłumionego pola oscylującego z częstotliwością 1 MHz, o maksymalnej wartości H_{smax} i o czasie $T_{p/s} = 0,25 \mu$ s do jej wystąpienia.

Wynika stąd, że pole magnetyczne pierwszego udaru może być charakteryzowane typową częstotliwością 25 kHz, a pole magnetyczne udarów następnych może być charakteryzowane typową częstotliwością 1 MHz. Oscylacyjne, tłumione pola magnetyczne o tych częstotliwościach zostały, do celów probierczych, określone w IEC 61000-4-9 i IEC 61000-4-10.

Po zainstalowaniu ekranów magnetycznych i SPD na granicach LPZ, określony przez I_0 i H_0 nietłumiony efekt pioruna zostaje ograniczony do wytrzymywanego przez ofiarę poziomu. Jak pokazano na Rysunku A.1, ofiara powinna wytrzymywać otaczające pole magnetyczne H_2 oraz przewodzone prądy pioruna I_2 , oraz napięcia U_2 .

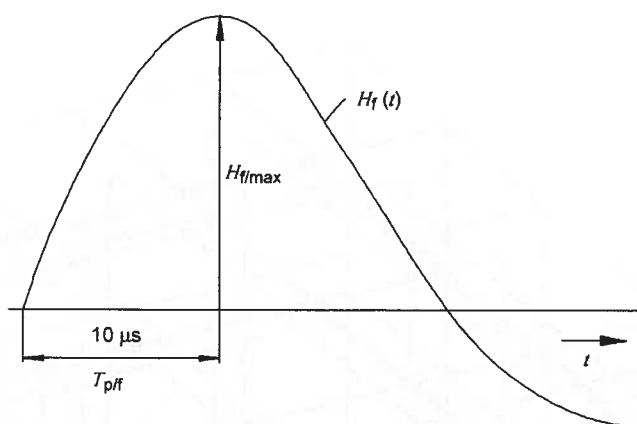
Ograniczenie I_1 do I_2 i U_1 do U_2 jest przedmiotem rozważań Załącznika C, podczas gdy redukcja H_0 do dostatecznie małej wartości H_2 jest rozpatrywana poniżej.

W przypadku ażurowego ekranu przestrzennego można założyć, że kształt fali pola magnetycznego wewnątrz stref LPZ (H_1 , H_2) jest taki sam jak kształt fali pola magnetycznego (H_0) na zewnątrz.

Pokazane na Rysunku A.2 tłumione oscylacyjne postaci fal mają zastosowanie do prób określonych w IEC 61000-4-9 i IEC 61000-4-10 i mogą być użyte do ustalania poziomu odporności urządzeń na pola magnetyczne wytwarzane przez narastanie pola magnetycznego H_f pierwszego udaru i pola magnetycznego H_s udarów następnych.

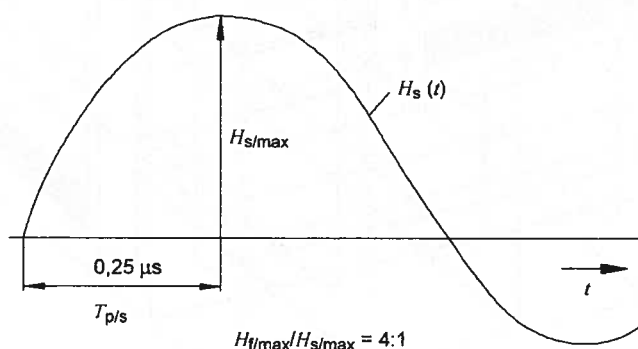
Udary indukowane przez pole magnetyczne sprzężone z pętlą indukcyjną (patrz Rozdział A.4) powinny być niższe niż poziom wytrzymywany przez urządzenie lub równy temu poziomowi.

Norma podstawowa: IEC 61000-4-9



Rysunek A.2a – Symulacja narastania pola pierwszego udaru (10/350 µs) za pomocą pojedynczego impulsu 8/20 µs (tłumione oscylacje o częstotliwości 25 kHz)

Norma podstawowa: IEC 61000-4-10



Rysunek A.2b – Symulacja narastania pola następných udarów (0,25/100 µs) za pomocą tłumionych oscylacji o częstotliwości 1 MHz (wielokrotne impulsy 0,2/0,5 µs)

UWAGA 1 Chociaż definicje czasu T_p do osiągnięcia wartości maksymalnej i czasu trwania czoła T_1 są różne, to ich wartości liczbowe są tu – w przypadku właściwych zastosowań – uznane za równe.

UWAGA 2 Stosunek maksymalnych wartości $H_{f(max)}/H_{s(max)} = 4:1$.

Rysunek A.2 – Symulacja narastania pola magnetycznego za pomocą tłumionych oscylacji

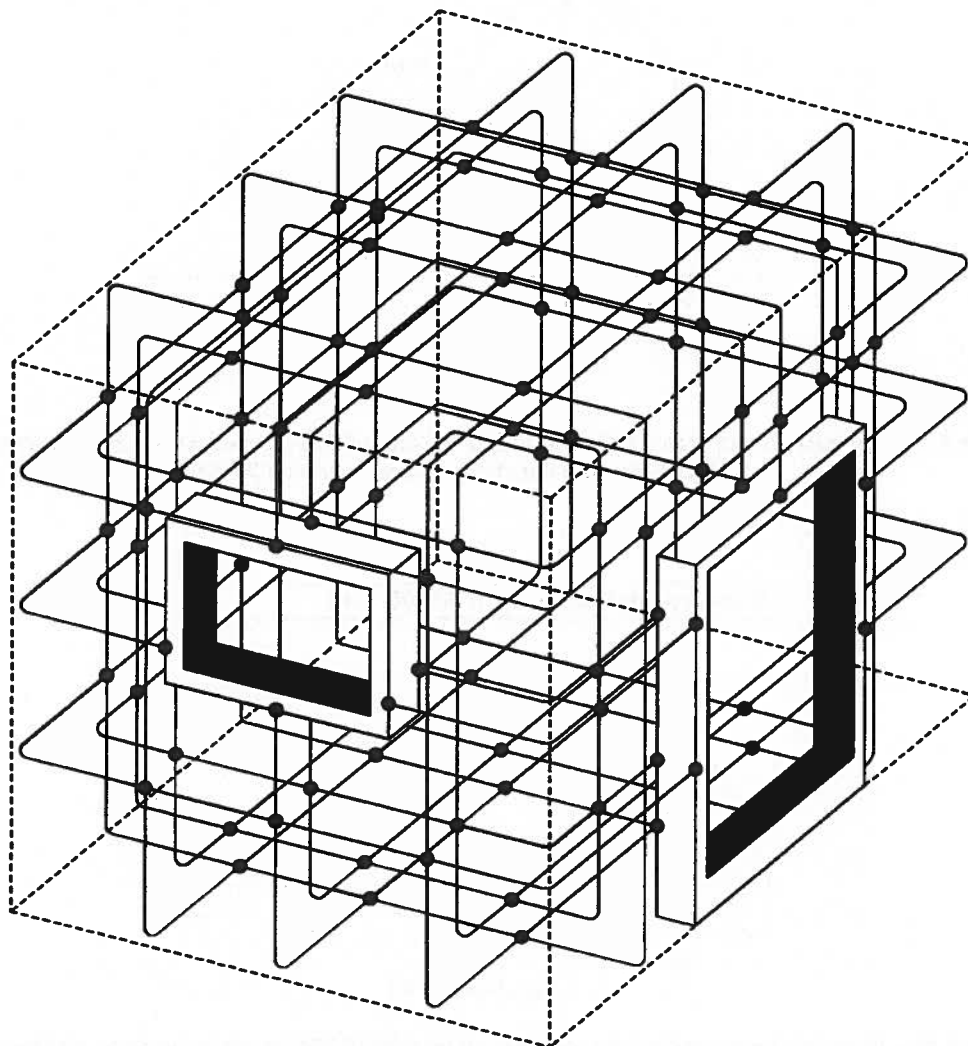
A.2.2 Ażurowe ekrany przestrzenne

W praktyce, wieloprzestrzenne ekrany stref LPZ zwykle tworzą naturalne elementy obiektu takie, jak: metalowe zbrojenie sufitów, ścian i podłóg, metalowe ramy, metalowe dachy i metalowe fasady. Elementy te tworzą razem przestrzenne ekrany ażurowe. Skuteczne ekranowanie wymaga, aby szerokość oka była najlepiej mniejsza niż 5 m.

UWAGA 1 Skutek ekranowania może być pominięty, jeżeli LPZ 1 jest utworzona – zgodnie z IEC 62305-3 – przez zwykły zewnętrzny LPS z okami o szerokości i typowych odstępach większych niż 5 m. Z drugiej strony, budynek o olbrzymich stalowych ramach z licznymi słupami stalowej konstrukcji zapewnia znaczący efekt ekranowania.

UWAGA 2 Ekranowanie w kolejnych wewnętrznych strefach LPZ może być wykonane albo przez adaptowanie przestrzennych środków ekranujących, z użyciem zamkniętych metalowych stojaków lub szaf, albo przez wykorzystanie metalowych obudów wyposażenia.

Na Rysunku A.3 pokazano, jak w praktyce metalowe zbrojenie betonu i metalowe ramy (metalowych drzwi i ew. ekranowanych okien) mogą być użyte do utworzenia wielkoprzestrzennego ekranu pomieszczenia lub budynku.

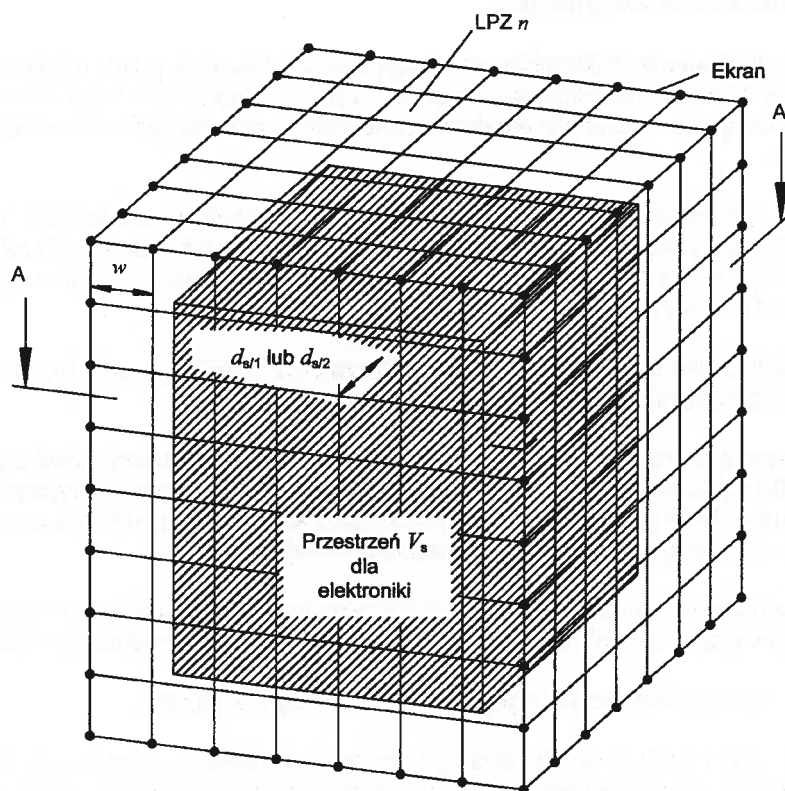


- Spaw lub zacisk przy każdym przecięciu i skrzyżowaniu.

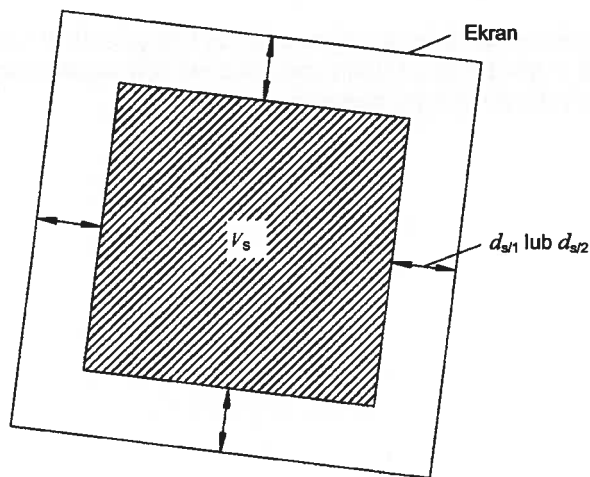
UWAGA W praktyce przy rozległych obiektach nie jest możliwe wykonanie spawania lub zaciskania w każdym punkcie. Jednak większość punktów jest połączona w sposób naturalny przez bezpośredni styk lub przez dodatkowe odrutowanie.

Rysunek A.3 – Ekran wielkoprzestrzenny wykonany z metalowego zbrojenia i metalowych ram

Układy elektroniczne powinny być umieszczone wewnątrz „bezpiecznej przestrzeni”, która występuje w bezpiecznym odstępnie od ekranu strefy LPZ (patrz Rysunek A.4). Następuje to z powodu stosunkowo dużych wartości pól magnetycznych, wywołanych blisko ekranu przez płynące w nim częściowe prądy pioruna (szczególnie w LPZ 1).



Przekrój A-A



UWAGA Przestrzeń V_s znajduje się w bezpiecznym odstępie $d_{s/1}$ lub $d_{s/2}$ od ekranu strefy LPZ n.

Rysunek A.4 – Przestrzeń dla elektrycznych i elektronicznych urządzeń w wewnętrznej strefie LPZ n

A.2.3 Trasowanie i ekranowanie linii

Udary indukowane w układach elektronicznych mogą być ograniczone przez odpowiednie trasowanie linii (minimalizacja powierzchni pętli indukcyjnej) lub przez użycie ekranowanych kabli, albo metalowych kanałów kablowych (minimalizacja wewnętrznych efektów indukcyjnych), albo też przez kombinację obu tych środków (patrz Rysunek A.5).

Przewodzące kable, przyłączone do urządzeń elektronicznych, powinny przebiegać możliwie najbliżej elementów metalowych sieci połączeń wyrównawczych. Korzystne jest, aby kable te przebiegały w metalowych obudowach sieci połączeń wyrównawczych, np. w kanałach w kształcie litery U lub metalowych magistralach (patrz również IEC 61000-5-2).

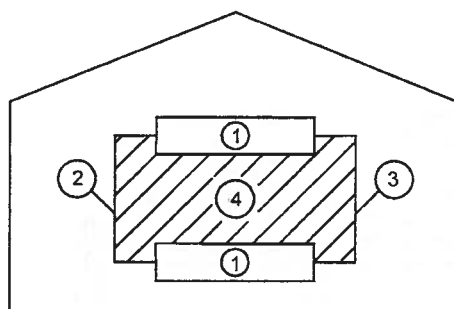
Gdy instaluje się kable blisko ekranu strefy LPZ (zwłaszcza LPZ 1), należy – przy tym umieszczeniu – zwrócić szczególną uwagę na znaczną wartość pól magnetycznych.

Gdy kable, które biegają pomiędzy oddzielnymi obiektami, wymagają ochrony, powinny przebiegać w metalowych kanałach. Kanały te powinny być przyłączone na obu krańcach do szyn wyrównawczych oddzielnych obiektów. Jeżeli ekrany kabli (połączone na obu krańcach) są w stanie przenieść przewidywany częściowy prąd pioruna, to nie są wymagane dodatkowe metalowe kanały kablowe.

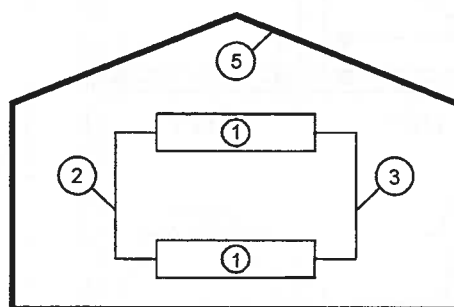
Napięcia i prądy indukowane w pętlach tworzonych przez instalacje powodują w urządzeniach elektronicznych udary kierunkowo zgodne. Obliczenia tych indukowanych napięć i prądów są opisane w Rozdziale A.4.

Na Rysunku A.6 podano przykład rozległego budynku biurowego, w którym:

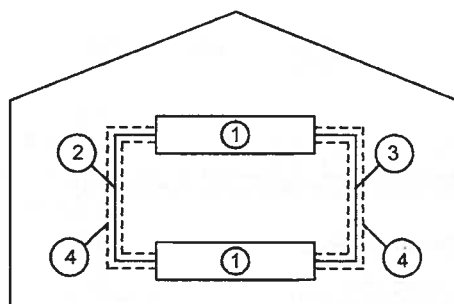
- Ekranowanie w LPZ 1 zostało uzyskane dzięki zbrojeniu stalowemu i metalowym fasadom, a w LPZ 2 – dzięki ekranowanym obudowom wrażliwych urządzeń elektronicznych. Aby umożliwić instalowanie układu połączeń wyrównawczych o wąskich okach, w każdym pomieszczeniu zapewniono oddzielne zaciski przyłączowe.
- W celu umieszczenia zasilania elektroenergetycznego na napięcie 20 kV strefa LPZ 0 została przedłużona do LPZ 1 – ponieważ w tym szczególnym przypadku nie było możliwości zainstalowania SPD bezpośrednio na wejściu, po stronie wysokiego napięcia.



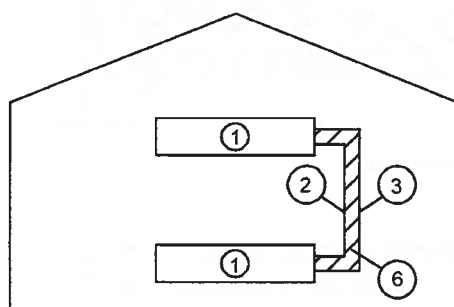
Rysunek A.5a – Układ niechroniony



Rysunek A.5b – Ograniczenie pola magnetycznego w wewnętrznej LPZ za pomocą jej przestrzennego ekranu



Rysunek A.5c – Ograniczenie wpływu pola na linie za pomocą ich ekranowania

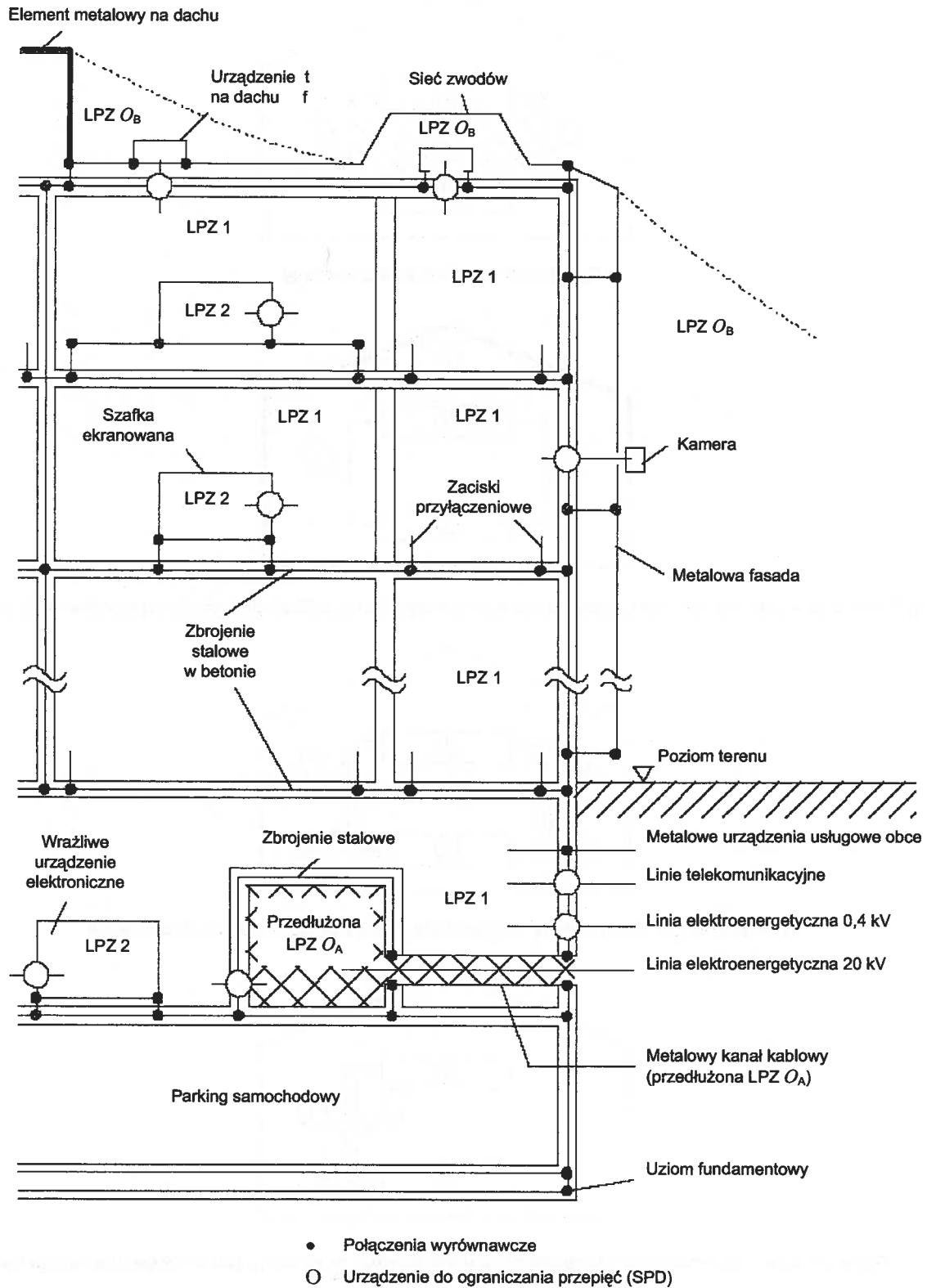


Rysunek A.5d – Ograniczenie powierzchni pętli indukcyjnej za pomocą stosownego trasowania linii

Objaśnienia

- | | | | |
|---|---------------------------------|---|-------------------------------------|
| 1 | Urządzenie w metalowej obudowie | 4 | Pętla indukcyjna |
| 2 | Linia elektroenergetyczna | 5 | Zewnętrzne ekranowanie przestrzenne |
| 3 | Linia przesyłu danych | 6 | Metalowy ekran linii |

Rysunek A.5 – Ograniczanie efektów indukcyjnych za pomocą trasowania linii i środków ekranujących



Rysunek A.6 – Przykład LPMS w zastosowaniu do budynku biurowego

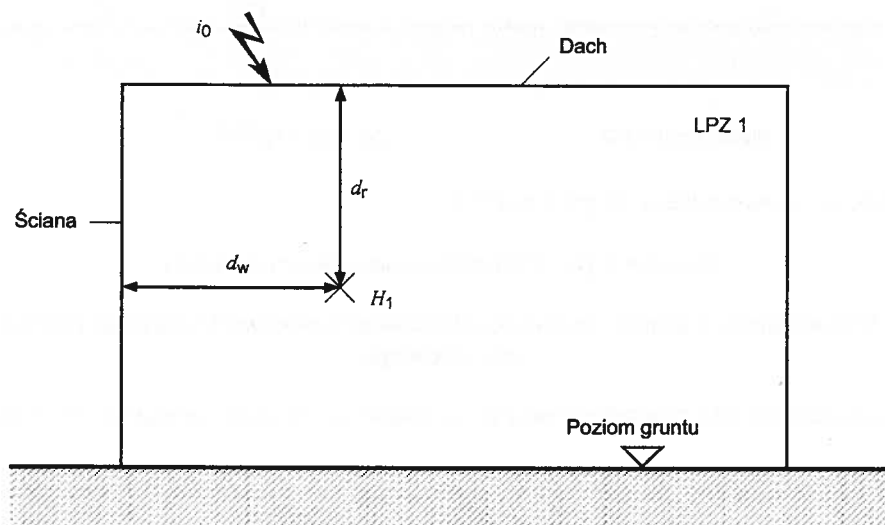
A.3 Pole magnetyczne w strefach LPZ

A.3.1 Oszacowanie pola magnetycznego w strefach LPZ

Jeżeli nie wykonuje się teoretycznych (patrz A.3.2) lub eksperymentalnych (patrz A.3.3) badań skuteczności ekranowania, to tłumienie powinno być oszacowane w sposób jak niżej.

A.3.1.1 Ażurowy ekran przestrzenny strefy LPZ 1 w przypadku bezpośredniego wyładowania piorunowego

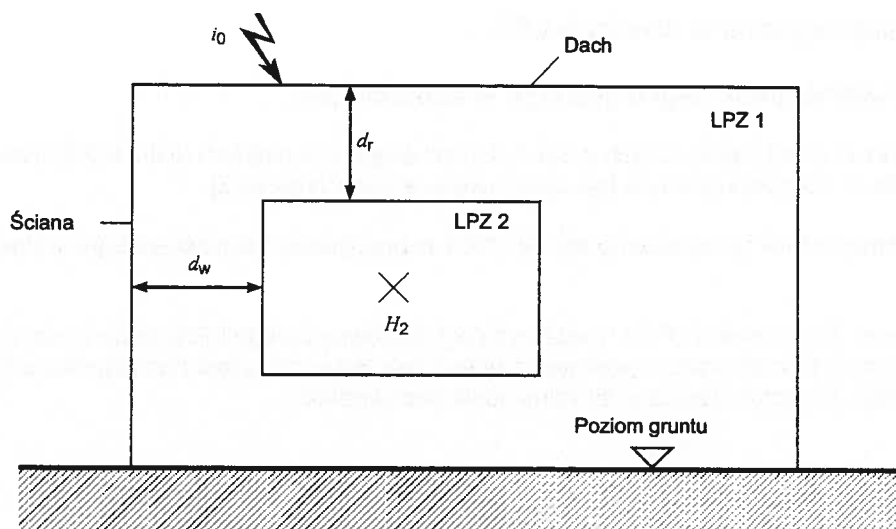
Ekran budynku (ekran wokół LPZ 1) może być częścią zewnętrznego LPS i będą w nim płynąć prądy powodowane przez bezpośrednie wyładowania piorunowe. Sytuacja ta jest przedstawiona na Rysunku A.7, przy założeniu, że piorun uderza w dowolny punkt dachu obiektu.



Wewnątrz LPZ 1
$$H_1 = k_H \cdot i_0 \cdot w_1 / (d_w \cdot \sqrt{d_r})$$

UWAGA Odstępy d_w i d_r są określone dla rozpatrywanego punktu.

Rysunek A.7a – Pole magnetyczne wewnątrz LPZ 1



Wewnątrz LPZ 2

$$H_2 = H_1 / 10^{SF2/20}$$

UWAGA Odstępy d_w i d_r są określone dla granicy LPZ 2.

Rysunek A.7b – Pole magnetyczne wewnątrz LPZ 2

Rysunek A.7 – Oszacowanie wartości pola magnetycznego w przypadku bezpośredniego wyładowania piorunowego

Do wyznaczenia natężenia pola magnetycznego H_1 w dowolnym punkcie wewnątrz LPZ 1 stosuje się następujący wzór:

$$H_1 = k_H \cdot i_0 \cdot w / (d_w \cdot \sqrt{d_r}) \quad (\text{A/m}) \quad (\text{A.1})$$

gdzie

d_r jest najkrótszą odległością, w metrach, pomiędzy rozpatrywanym punktem a dachem ekranu LPZ 1;

d_w jest najkrótszą odległością, w metrach, pomiędzy rozpatrywanym punktem a ścianą ekranu LPZ 1;

i_0 jest prądem pioruna w LPZ 0_A w A;

k_H jest współczynnikiem konfiguracji, w 1/√m; zwykle $k_H = 0,01$ (1/√m);

w jest szerokością oka ażurowego ekranu LPZ 1, w m.

Wynikiem zastosowania tego wzoru jest wartość maksymalna pola magnetycznego w LPZ 1 (z uwzględnieniem podanej poniżej uwagi):

$$- \text{wywołana pierwszym udarem: } H_{1/I/\max} = k_H \cdot i_{I/\max} \cdot w / (d_w \cdot \sqrt{d_r}) \quad (\text{A/m}) \quad (\text{A.2})$$

$$- \text{wywołana następnymi udarami: } H_{1/s/\max} = k_H \cdot i_{s/\max} \cdot w / (d_w \cdot \sqrt{d_r}) \quad (\text{A/m}) \quad (\text{A.3})$$

gdzie

$i_{I/\max}$ jest wartością maksymalną, w amperach, prądu pierwszego udaru według poziomu ochrony;

$i_{s/\max}$ jest wartością maksymalną, w amperach, prądów następnego udaru według poziomu ochrony.

UWAGA Pole jest zredukowane za pomocą współczynnika 2, jeżeli jest zainstalowana – zgodnie z 5.2 – oczkowa sieć połączeń wyrównawczych.

Takie wartości pola magnetycznego są uzasadnione tylko w przestrzeni bezpiecznej V_s wewnątrz ażurowego ekranu, tj. w odległości $d_{s/1}$ od ekranu (patrz Rysunek A.4), wynoszącej:

$$d_{s/1} = w \text{ (m)} \quad (\text{A.4})$$

PRZYKŁADY

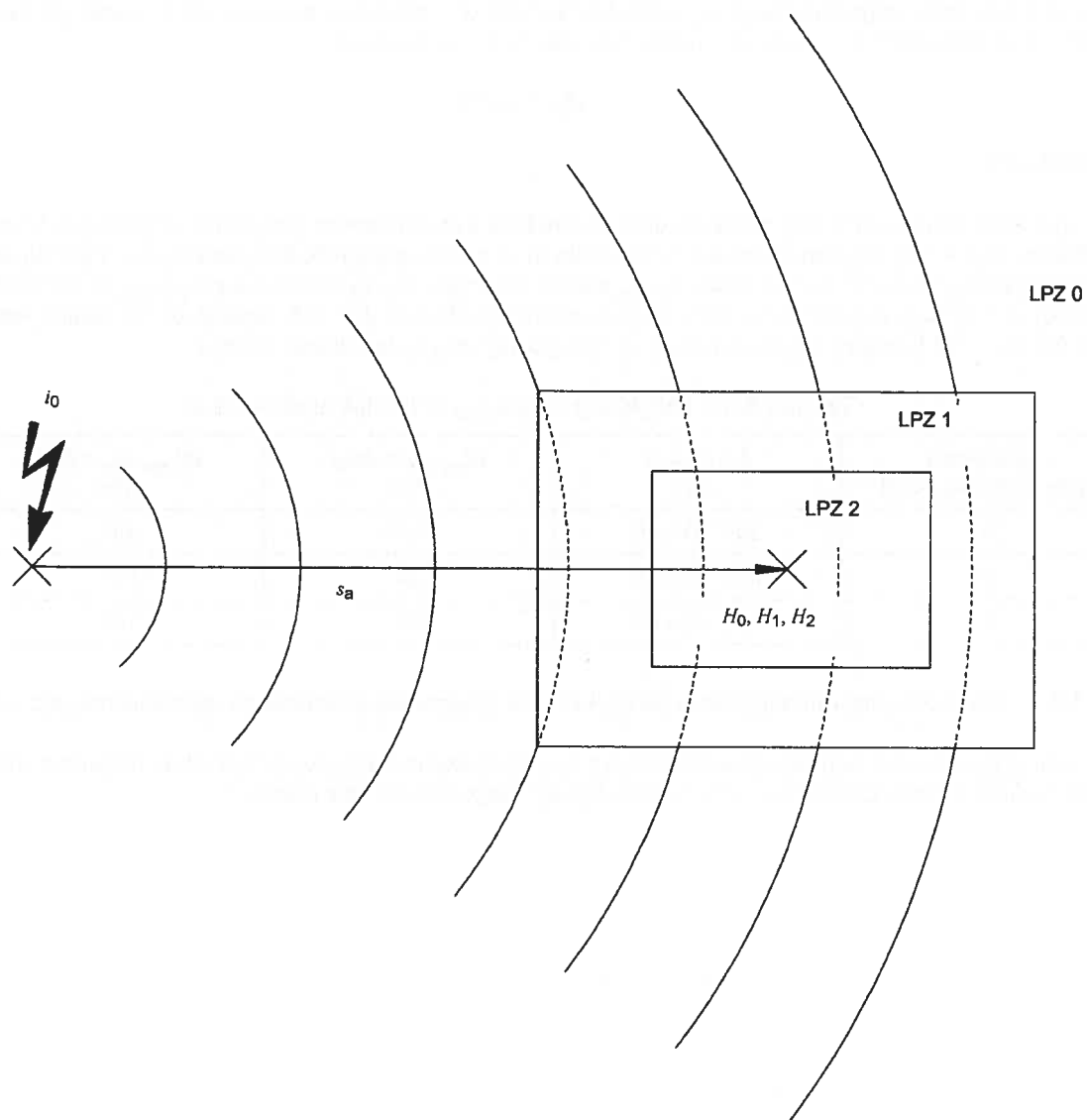
Jako przykład rozpatrzono trzy ażurowe ekrany miedziane o wymiarach podanych w Tabelicy A.1 i o średniej szerokości oka $w = 2$ m (patrz Rysunek A.10). Daje to w wyniku odległość bezpieczną $d_{s/1} = 2,0$ m, określającą bezpieczną przestrzeń V_s . Wartości $H_{1/\max}$, ważne wewnątrz V_s , są obliczone przy $i_{0/\max} = 100$ kA i podane w Tabelicy A.1. Odległość od dachu jest równa połowie wysokości: $d_r = H/2$. Odległość od ściany jest połową długości: $d_w = L/2$ (środek) lub równa: $d_w = d_{s/1}$ (najgorszy przypadek blisko ściany).

Tabelica A.1 – Przykłady przy $i_{0/\max} = 100$ kA oraz $w = 2$ m

Typ ekranu (patrz Rysunek A.10)	$L \times W \times H$ m	$H_{1/\max}$ (środek) A/m	$H_{1/\max}$ ($d_w = d_{s/1}$) A/m
1	10 × 10 × 10	179	447
2	50 × 50 × 10	36	447
3	10 × 10 × 50	80	200

A.3.1.2 Ażurowy ekran przestrzenny strefy LPZ 1 w przypadku pobliskiego wyładowania piorunowego

Sytuacja przy pobliskim wyładowaniu piorunowym jest pokazana na Rysunku A.8. Pole magnetyczne oddziałujące na ekranowaną przestrzeń LPZ 1 może być aproksymowane falą płaską.



Brak ekranu

$$H_0 = i_0 / (2\pi s_a)$$

Wewnątrz LPZ 1

$$H_1 = H_0 / 10^{SF_1/20}$$

Wewnątrz LPZ 2

$$H_2 = H_1 / 10^{SF_2/20}$$

Rysunek A.8 – Oszacowanie wartości pola magnetycznego w przypadku pobliskiego wyładowania piorunowego

Współczynnik ekranowania SF , azurowych ekranów przestrzennych przy fali płaskiej, jest przedstawiony w Tabelicy A.2.

Tabelica A.2 – Tłumienność magnetyczna azurowego ekranu przestrzennego przy fali płaskiej

Materiał	SF (dB) (patrz Uwagi 1 i 2)	
	25 kHz (ważne dla pierwszego udaru)	1 MHz (ważne dla udarów następnych)
Miedź lub aluminium	$20 \cdot \log(8,5/w)$	$20 \cdot \log(8,5/w)$
Stal (patrz UWAGA 3)	$20 \cdot \log \left[(8,5/w) / \sqrt{1 + 18 \cdot 10^{-6}/r^2} \right]$	$20 \cdot \log(8,5/w)$
w szerokość oka azurowego ekranu (m). r promień pręta azurowego ekranu (m).		
UWAGA 1	$SF = 0$ w przypadku ujemnych wyników wzorów.	
UWAGA 2	SF zwiększa się o 6 dB, jeżeli jest zainstalowana – zgodnie z 5.2 – oczkowa sieć połączeń wyrównawczych.	
UWAGA 3	Przenikalność $\mu_r \approx 200$.	

Incydentalne pole magnetyczne H_0 jest obliczane z wzoru:

$$H_0 = i_0 / (2\pi \cdot s_a) \quad (\text{A/m}) \quad (\text{A.5})$$

gdzie

i_0 jest prądem pioruna w LPZ 0_A, w amperach;

s_a jest odległością pomiędzy punktem uderzenia a środkiem przestrzeni ekranowanej, w metrach.

Wynika stąd maksymalna wartość pola magnetycznego w LPZ 0:

- wywołana pierwszym udarem: $H_{0/i/\max} = i_{i/\max} / (2 \cdot \pi \cdot s_a) \quad (\text{A/m}) \quad (\text{A.6})$

- wywołana następnymi udarami: $H_{0/s/\max} = i_{s/\max} / (2 \cdot \pi \cdot s_a) \quad (\text{A/m}) \quad (\text{A.7})$

gdzie

$i_{i/\max}$ jest wartością maksymalną prądu pioruna pierwszego udaru według wybranego poziomu ochrony, w amperach;

$i_{s/\max}$ jest wartością maksymalną prądu pioruna następnych udarów według wybranego poziomu ochrony, w amperach.

Redukcja H_0 do H_1 wewnątrz LPZ 1 może być wyznaczona przy zastosowaniu podanych w Tabelicy A.2 wartości SF , jak następuje:

$$H_{1/\max} = H_{0/\max} / 10^{SF/20} \quad (\text{A/m}) \quad (\text{A.8})$$

gdzie

SF (dB) jest współczynnikiem ekranowania, obliczonym według formuły z Tabelicy A.2;

$H_{0/\max}$ jest polem magnetycznym w LPZ 0, w A/m.

Wynika stąd maksymalna wartość pola magnetycznego w LPZ 1:

$$\text{wywołana pierwszym udarem: } H_{1/fi\max} = H_{0/fi\max} / 10^{SF/20} \quad (\text{A/m}) \quad (\text{A.9})$$

$$\text{wywołana następnymi udarami: } H_{1/si\max} = H_{0/si\max} / 10^{SF/20} \quad (\text{A/m}) \quad (\text{A.10})$$

Takie wartości pola magnetycznego są uzasadnione tylko dla przestrzeni bezpiecznej V_s wewnątrz ażurowego ekranu, tj. w odległości $d_{s/2}$ od ekranu (patrz Rysunek A.4), wynoszącej:

$$d_{s/2} = w \cdot SF / 10 \text{ (m) dla } SF \geq 10 \quad (\text{A.11})$$

$$d_{s/2} = w \text{ (m) dla } SF < 10 \quad (\text{A.12})$$

gdzie

SF jest współczynnikiem ekranowania, obliczonym według formuły z Tablicy A.2, w decybelach;

w jest szerokością oka ażurowego ekranu, w metrach.

W sprawie dalszych informacji, dotyczących obliczania natężenia pola magnetycznego wewnątrz ażurowych ekranów, w przypadku pobliskich wyładowań piorunowych, patrz A.3.3.

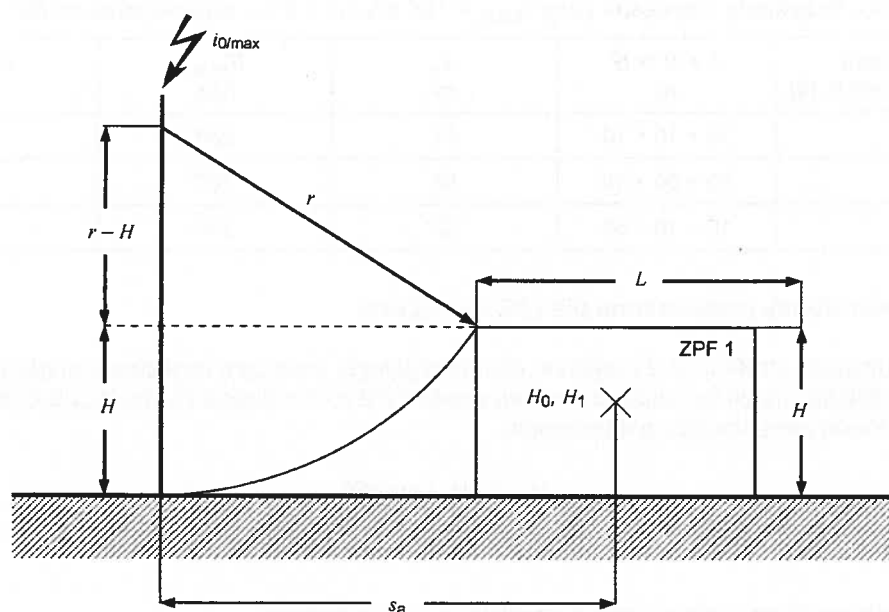
PRZYKŁADY

Natężenie pola magnetycznego $H_{1/\max}$ wewnątrz LPZ 1, w przypadku pobliskiego wyładowania piorunowego, zależy od: prądu pioruna $i_{0/\max}$, współczynnika ekranowania SF ekranu LPZ 1 i odległości s_a pomiędzy kanałem pioruna a środkiem LPZ 1 (patrz Rysunek A.8).

Prąd pioruna $i_{0/\max}$ zależy od wybranego LPL (patrz IEC 62305-1). Współczynnik ekranowania SF (patrz Tablica A.2) jest głównie funkcją szerokości oka ażurowego ekranu. Odległość s_a jest albo:

- daną odległością pomiędzy środkiem LPZ 1 a pobliskim obiektem (np. masztem) w przypadku wyładowania w ten obiekt, lub
- minimalną odległością pomiędzy środkiem LPZ 1 a kanałem pioruna w przypadku wyładowania piorunowego w ziemię blisko LPZ 1.

Najbardziej niekorzystnym przypadkiem jest tu największy prąd $i_{0/\max}$ w powiązaniu z możliwie najmniejszą odległością s_a . Jak pokazano na Rysunku A.9, ta minimalna odległość s_a jest funkcją wysokości H i długości L (odpowiednio szerokości W) obiektu (LPZ 1) oraz promienia r toczącej się kuli, odpowiadającego prądowi $i_{0/\max}$ (patrz Tablica A.3) i określonego na podstawie elektro-geometrycznego modelu (patrz IEC 62305-1, Rozdział A.4).



Rysunek A.9 – Odległość s_a zależna od promienia toczonej się kuli i od wymiarów obiektu

Odległość ta może być obliczona jako:

$$s_a = \sqrt{2 \cdot r \cdot H - H^2} + L/2 \quad \text{dla } H < r \quad (\text{A.13})$$

$$s_a = r + L/2 \quad \text{dla } H \geq r \quad (\text{A.14})$$

UWAGA Przy odległościach mniejszych niż ta minimalna wartość, pioruny uderzają bezpośrednio w obiekt.

Można określić trzy typowe ekrany, mające wymiary podane w Tabelicy A.4. Przyjmuje się ażurowy ekran z miedzi o średniej szerokości oka $w = 2$ m. Daje to w wyniku współczynnik ekranowania $SF = 12,6$ dB i bezpieczną odległość $d_{s/2} = 2,5$ m, wyznaczającą bezpieczną przestrzeń V_s . Wartości $H_{0/\max}$ i $H_{1/\max}$, które – zgodnie z założeniem – są słuszne w każdym miejscu przestrzeni V_s , zostały obliczone przy $i_{0/\max} = 100$ kA i podane w Tabelicy A.4.

Tabelica A.3 – Promień toczonej się kuli odpowiadający maksymalnemu prądowi pioruna

Poziom ochrony	Maksymalny prąd pioruna $i_{0/\max}$ kA	Promień toczonej się kuli r m
I	200	313
II	150	260
III – IV	100	200

Tablica A.4 – Przykłady uzyskane przy $i_{0/\max} = 100$ kA i $w = 2$ m, odpowiadające $SF = 12,6$ dB

Typ ekranu (patrz Rysunek A.10)	$L \times W \times H$ m	S_a m	$H_{0/\max}$ A/m	$H_{1/\max}$ A/m
1	10 × 10 × 10	67	236	56
2	50 × 50 × 10	87	182	43
3	10 × 10 × 50	137	116	27

A.3.1.3 Ażurowe ekrany przestrzenne dla LPZ 2 i wyższej

W ekranach ażurowych strefy LPZ 2 i wyższej nie będą płynęły znaczące częściowe prądy pioruna. Zatem, w pierwszym podejściu, może być oszacowana wewnątrz LPZ n+1 redukcja H_n do H_{n+1} tak, jak w A.3.1.2 dla pobliskich wyładowań piorunowych, a mianowicie:

$$H_{n+1} = H_n / 10^{SF/20} \quad (\text{A/m}) \quad (\text{A.15})$$

gdzie

SF jest współczynnikiem ekranowania z Tablicy A.2, w decybelach;

H_n jest polem magnetycznym wewnątrz LPZ n, w amperach na metr.

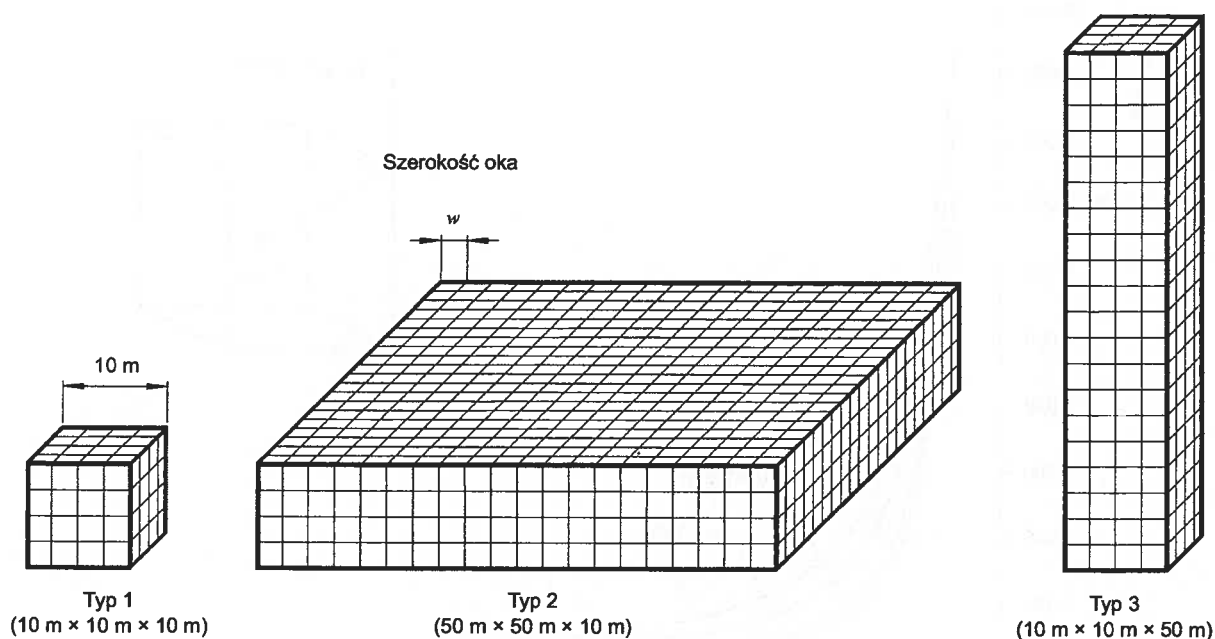
Jeżeli $H_n = H_1$, to natężenie pola może być obliczone, jak następuje:

- W przypadku wyładowań piorunowych bezpośrednich w ażurowy ekran LPZ 1; patrz A.3.1.1 i Rysunek A.7b, przy czym d_w i d_r są odległościami pomiędzy ekranem LPZ 2 a kolejno ścianą i dachem.
- W przypadku wyładowań piorunowych pobliskich LPZ 1; patrz A.3.1.2 i Rysunek A.8.

Te wartości pola magnetycznego są ważne tylko dla przestrzeni bezpiecznej V_s wewnątrz ażurowego ekranu w bezpiecznej odległości $d_{s/2}$ od ekranu – jak określono w A.3.1.2 (patrz Rysunek A.4).

A.3.2 Teoretyczne oszacowanie pola magnetycznego wywołanego przez bezpośrednie wyładowania piorunowe

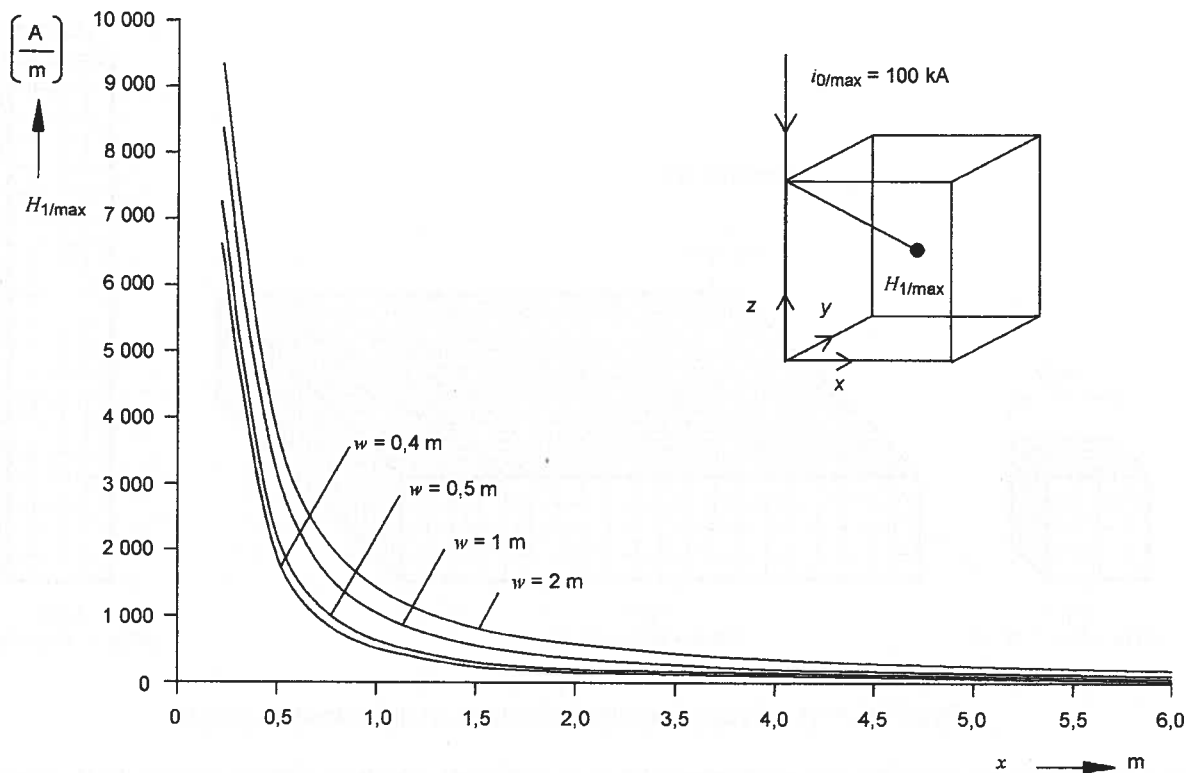
Podane w A.3.1.1, wzory do oceny natężenia pola magnetycznego $H_{1/\max}$ są oparte na numerycznych obliczeniach pola magnetycznego dla trzech typowych ekranów ażurowych – pokazanych na Rysunku A.10. Do tych obliczeń przyjęto wyładowanie piorunowe w jedną z krawędzi dachu. Kanał pioruna jest symulowany za pomocą pionowego pręta przewodzącego o długości 100 m na wierzchołku dachu. Idealnie przewodząca płyta symuluje powierzchnię ziemi.



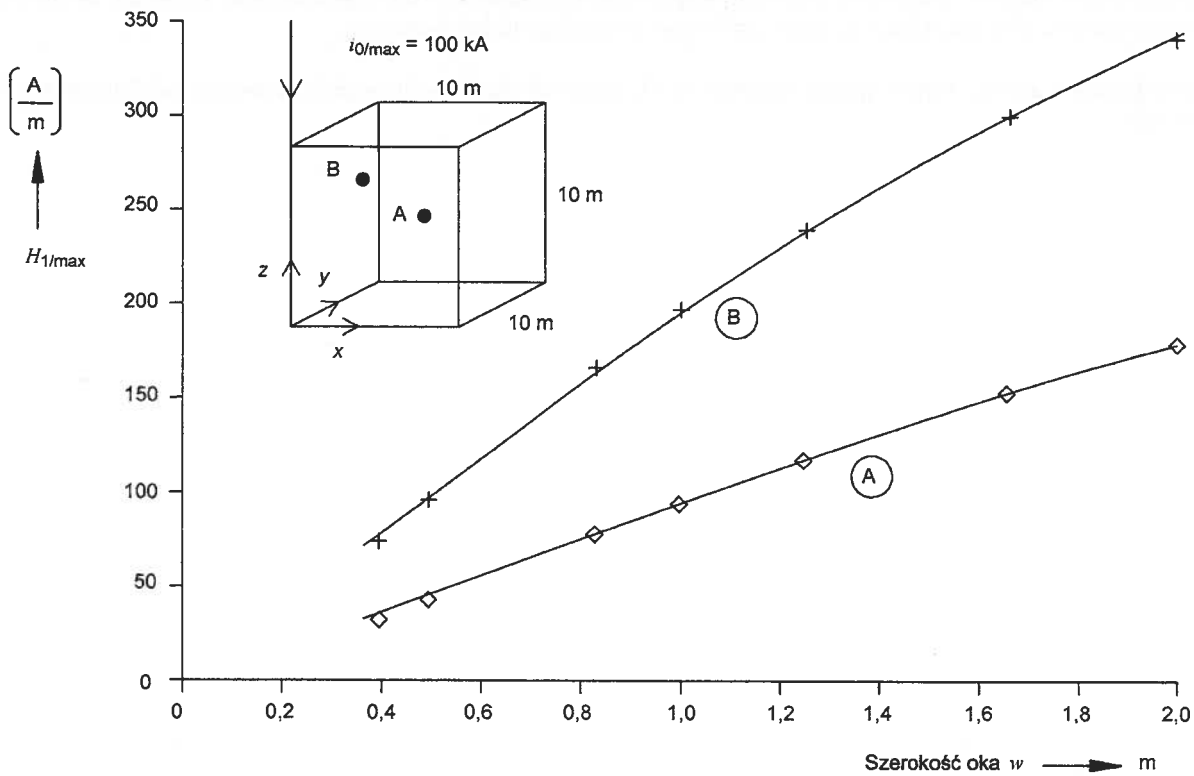
Rysunek A.10 – Typy ażurowych ekranów wielkoprzestrzennych

W obliczeniach jest rozpatrywane sprzężenie pola magnetycznego każdego pręta w ażurowym ekranie łącznie z wszystkimi innymi prętami i symulowanym kanałem piorunowym. Daje to w wyniku układ równań do obliczenia rozkładu prądu pioruna w sieci. Na podstawie tego rozkładu prądu jest wyznaczane natężenie pola magnetycznego wewnątrz ekranu. Założono, że rezystancja prętów może być pominięta. Zatem rozkład prądu w ażurowym ekranie i natężenie pola magnetycznego są niezależne od częstotliwości. Również, w celu uniknięcia efektów przejściowych, zostało pominięte sprzężenie pojemnościowe.

W przypadku ekranu Typu 1 (patrz Rysunek A.10) wybrane wyniki zostały przedstawione na Rysunkach A.11 i A.12.



Rysunek A.11 – Natężenie pola magnetycznego $H_{1/\max}$ wewnątrz ażurowego ekranu Typu 1



Rysunek A.12 – Natężenie pola magnetycznego $H_{1/\max}$ wewnątrz ażurowego ekranu Typu 1

We wszystkich przypadkach przyjęto maksymalny prąd pioruna $i_{0/\max} = 100$ kA. Na obydwu rysunkach $H_{1/\max}$ jest maksymalnym natężeniem pola magnetycznego w punkcie, wyznaczonym z jego komponentów H_x , H_y i H_z .

$$H_{1/\max} = \sqrt{H_x^2 + H_y^2 + H_z^2} \quad (\text{A.16})$$

Na Rysunku A.11 natężenie $H_{1/\max}$ jest obliczone wzdłuż prostej linii, poczynając od punktu wyładowania ($x = y = 0$, $z = 10$ m) i kończąc w środku przestrzeni ($x = y = 5$ m, $z = 5$ m). Natężenie $H_{1/\max}$ jest wykreślone jako funkcja współrzędnej x dla każdego punktu na tej linii, gdzie parametrem jest szerokość oka w ażurowego ekranu.

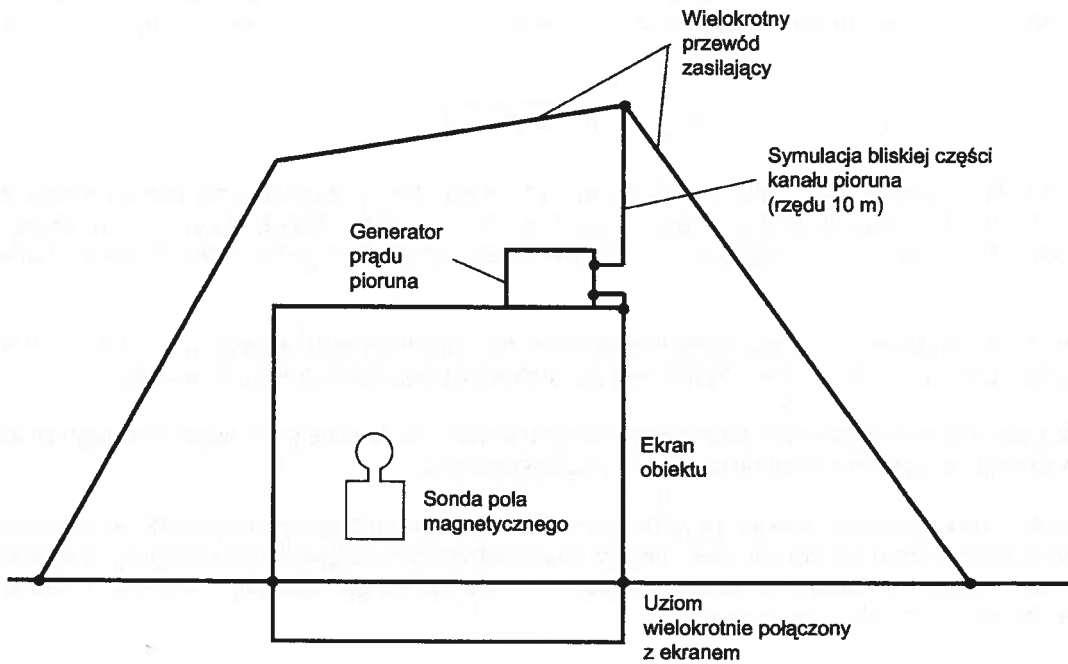
Na Rysunku A.12 natężenie $H_{1/\max}$ jest obliczone dla dwu punktów wewnątrz ekranu (punktu A: $x = y = 5$ m, $z = 5$ m; punktu B: $x = y = 7$ m, $z = 7$ m). Wynik jest przedstawiony jako funkcja szerokości oka w .

Oba rysunki pokazują wpływ głównych parametrów decydujących o rozkładzie pola magnetycznego wewnątrz ażurowego ekranu: odległości od ściany lub dachu i szerokości oka.

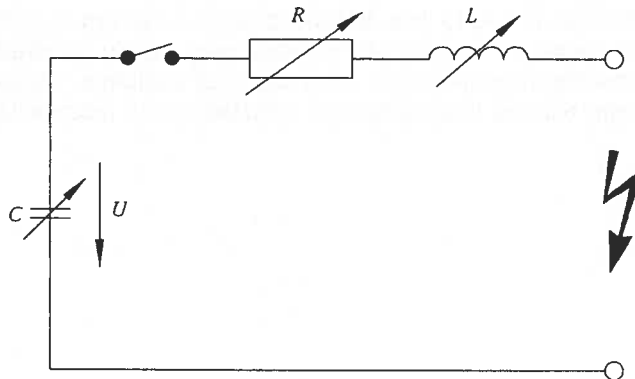
Na Rysunku A.11 należy zaobserwować, że wzdłuż innych linii przechodzących przez przestrzeń ekranu może nastąpić przekroczenie przez nie osi zerowej i zmiana znaku składowych natężenia pola magnetycznego $H_{1/\max}$. Podane w A.3.1.1 wzory są zatem pierwszym przybliżeniem rzeczywistego i bardziej złożonego rozkładu pola magnetycznego wewnątrz ażurowego ekranu.

A.3.3 Eksperymentalna ocena pola magnetycznego wywołanego bezpośrednim wyładowaniem piorunowym

Pola magnetyczne wewnątrz ekranowanego obiektu mogą być wyznaczone również w wyniku podjęcia eksperymentalnych pomiarów. Na Rysunku A.13 przedstawiono propozycję symulacji bezpośredniego wyładowania piorunowego w dowolny punkt ekranowanego obiektu, przy użyciu generatora prądu piorunowego. Próby takie mogą być przeprowadzone prawidłowo, jako próby na poziomie małego prądu, tylko tam gdzie kształt fali symulowanego prądu pioruna jest identyczny z kształtem fali rzeczywistego wyładowania piorunowego.



Rysunek A.13a – Układ probierczy

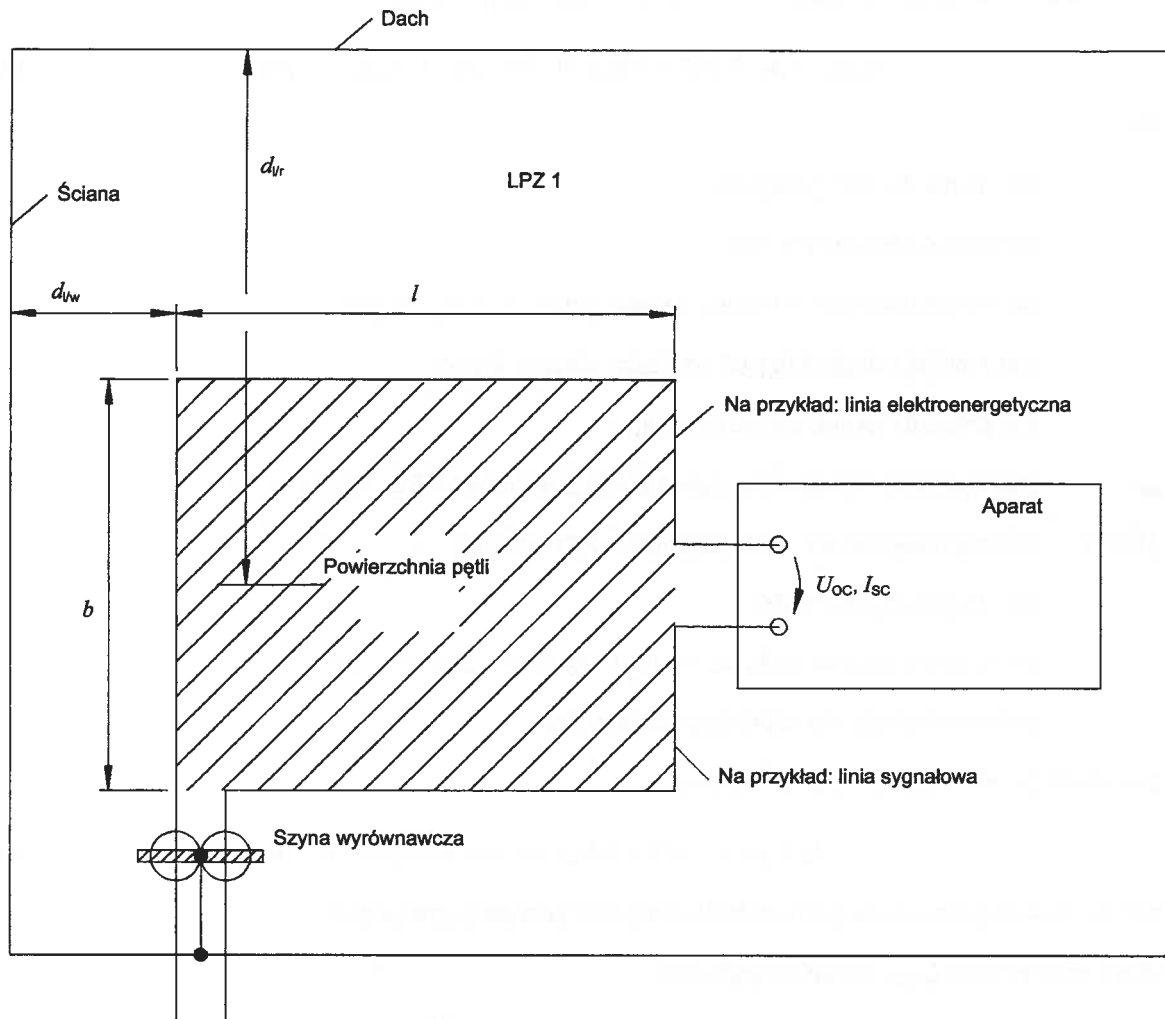
**Objaśnienia** U zwykle ok. 10 kV C zwykle ok. 10 nF

Rysunek A.13b – Generator prądu pioruna

Rysunek A.13 – Próba niskopoziomowa do oceny pola magnetycznego wewnątrz ekranowanego obiektu

A.4 Obliczanie napięć i prądów indukowanych

Rozpatrywane są tylko pętle prostokątne zgodnie z Rysunkiem A.14. Pętle o innych kształtach powinny być przekształcone w prostokątne konfiguracje o tej samej powierzchni pętli.



Rysunek A.14 – Napięcia i prądy indukowane w pętłach tworzonych przez linie

A.4.1 Sytuacja wewnątrz LPZ 1 w przypadku bezpośredniego wyładowania piorunowego

Do obliczenia pola magnetycznego H_1 wewnątrz przestrzeni V_s strefy LPZ 1, stosuje się następującą formułę (patrz A.3.1.1):

$$H_1 = k_H \cdot i_0 \cdot w / (d_w \cdot \sqrt{d_r}) \quad (\text{A/m}) \quad (\text{A.17})$$

Napięcie u_{oc} pętli otwartej jest określone zależnością:

$$u_{oc} = \mu_0 \cdot b \cdot \ln(1 + l/d_{lw}) \cdot k_H \cdot (w / \sqrt{d_r}) \cdot di_0 / dt \quad (\text{V}) \quad (\text{A.18})$$

Wartość szczytowa $u_{oc/max}$ występuje w czasie T_1 trwania czoła i wynosi:

$$u_{oc/max} = \mu_0 \cdot b \ln(1 + l/d_{lw}) \cdot k_H \cdot (w / \sqrt{d_{lr}}) \cdot i_{o/max} / T_1 \quad (V) \quad (A.19)$$

gdzie

- μ_0 jest równe $4\pi \cdot 10^{-7}$ (Vs)/(Am);
- b jest szerokością pętli w (m);
- d_{lw} jest odległością pętli od ściany ekranu, gdzie $d_{lw} \geq d_{s/1}$, w (m);
- d_{lr} jest średnią odległością pętli od dachu ekranu, w (m);
- i_0 jest prądem pioruna w LPZ 0_A w (A);
- $i_{o/max}$ jest wartością maksymalną udaru prądu pioruna w LPZ 0_A, w (A);
- k_H (1/√m) jest współczynnikiem konfiguracji $k_H = 0,01 \cdot (1/\sqrt{m})$;
- l jest długością pętli, w (m);
- T_1 jest czasem trwania czoła udaru prądu pioruna w LPZ 0_A w (s);
- w jest szerokością oka ażurowego ekranu, (m).

Prąd zwarcia I_{sc} jest wyrażony przez zależność:

$$I_{sc} = \mu_0 \cdot b \cdot \ln(1 + l/d_{lw}) \cdot k_H \cdot (w / \sqrt{d_{lr}}) \cdot i_0 / L \quad (A) \quad (A.20)$$

w której rezystancja przewodu jest pominięta (najmniej korzystny przypadek).

Wartość maksymalną $I_{sc/max}$ określa zależność:

$$I_{sc/max} = \mu_0 \cdot b \cdot \ln(1 + l/d_{lw}) \cdot k_H \cdot (w / \sqrt{d_{lr}}) \cdot i_{o/max} / L \quad (A) \quad (A.21)$$

przy czym L jest indukcyjnością własną pętli, w (H).

W przypadku pętli prostokątnych, indukcyjność własną można obliczyć, korzystając ze wzoru:

$$L = \{0,8 \cdot \sqrt{l^2 + b^2} - 0,8 \cdot (l + b) + 0,4 \cdot l \cdot \ln \left[(2b/r) / \left(1 + \sqrt{1 + (b/l)^2} \right) \right] \right. \\ \left. + 0,4 \cdot b \cdot \ln \left[(2l/r) / \left(1 + \sqrt{1 + (l/b)^2} \right) \right] \right\} \cdot 10^{-6} \quad (H) \quad (A.22)$$

w którym r jest promieniem przewodu, w (m).

Napięcie i prąd indukowany przez pole magnetyczne udaru pierwszego ($T_1 = 10 \mu s$) są określone zależnościami:

$$U_{ocff/max} = 1,26 \cdot b \cdot \ln(1 + l/d_{lw}) \cdot (w / \sqrt{d_{lr}}) \cdot i_{i/max} \quad (V) \quad (A.23)$$

$$I_{SCff/max} = 12,6 \cdot 10^{-6} \cdot b \cdot \ln(1 + l/d_{lw}) \cdot (w / \sqrt{d_{lr}}) \cdot i_{i/max} / L \quad (A) \quad (A.24)$$

Natomiast dla następnych uderzeń ($T_1 = 0,25 \mu\text{s}$) – odpowiednio zależnościami:

$$U_{oc/s/\max} = 50,4 \cdot b \cdot \ln(1 + l/d_{lv}) \cdot (w / \sqrt{d_{lv}}) \cdot i_{l/\max} \quad (\text{V}) \quad (\text{A.25})$$

$$I_{sc/s/\max} = 12,6 \cdot 10^{-6} \cdot b \cdot \ln(1 + l/d_{lv}) \cdot (w / \sqrt{d_{lv}}) \cdot i_{s/\max} / L \quad (\text{A}) \quad (\text{A.26})$$

przy czym:

$i_{l/\max}$ jest maksymalną wartością prądu pierwszego uderzenia w (kA);

$i_{s/\max}$ jest maksymalną wartością prądu następnych uderzeń, w (kA).

A.4.2 Sytuacja wewnątrz LPZ 1 w przypadku pobliskiego wyładowania piorunowego

Pole magnetyczne H_1 wewnątrz przestrzeni V_s strefy LPZ 1 jest z założenia jednorodne (patrz A.3.1.2).

Napięcie U_{oc} otwartego obwodu jest wyrażone zależnością:

$$U_{oc} = \mu_0 \cdot b \cdot l \cdot dH_1 / dt \quad (\text{V}) \quad (\text{A.27})$$

Wartość szczytowa $U_{oc/\max}$ występuje w czasie T_1 trwania czoła i wynosi:

$$U_{oc/\max} = \mu_0 \cdot b \cdot l \cdot H_{1/\max} / T_1 \quad (\text{V}) \quad (\text{A.28})$$

gdzie

μ_0 jest równe $4\pi \cdot 10^{-7} \text{ (Vs)/(Am)}$;

b szerokość pętli, w (m);

H_1 zależne od czasu pole magnetyczne wewnątrz LPZ 1, w (A/m);

$H_{1/\max}$ maksymalna wartość pola magnetycznego wewnątrz LPZ 1, w (A/m);

l długość pętli, w (m);

T_1 czas trwania czoła pola magnetycznego, identyczny z czasem trwania czoła uderzenia prądu pioruna, w (s).

Prąd zwarcia I_{sc} jest określony zależnością:

$$I_{sc} = \mu_0 \cdot b \cdot l \cdot H_1 / L \quad (\text{A}) \quad (\text{A.29})$$

przy czym rezystancja przewodu jest pominięta (najmniej korzystny przypadek).

Wartość maksymalna $I_{sc/\max}$ jest wyrażona wzorem:

$$I_{sc/\max} = \mu_0 \cdot b \cdot l \cdot H_{1/\max} / L \quad (\text{A}) \quad (\text{A.30})$$

w którym L jest indukcyjnością własną pętli, w (H) (sposób obliczenia L , patrz A.4.1)

Napięcie i prąd indukowany przez pole magnetyczne $H_{1/f}$ pierwszego uderzenia ($T_1 = 10 \mu\text{s}$) są dane zależnościami:

$$U_{oc/f/\max} = 0,126 \cdot b \cdot l \cdot H_{1/f/\max} \quad (\text{V}) \quad (\text{A.31})$$

$$I_{sc/f/\max} = 1,26 \cdot 10^{-6} \cdot b \cdot l \cdot H_{1/f/\max} / L \quad (\text{A}) \quad (\text{A.32})$$

natomiast napięcie i prąd indukowany przez pole magnetyczne $H_{1/s}$ następnych uderów ($T_1 = 0,25 \mu\text{s}$) zależnościami:

$$U_{oc/s/\max} = 5,04 \cdot b \cdot l \cdot H_{1/s/\max} \quad (\text{V}) \quad (\text{A.33})$$

$$I_{sc/s/\max} = 1,26 \cdot 10^{-6} \cdot b \cdot l \cdot H_{1/s/\max} / L \quad (\text{A}) \quad (\text{A.34})$$

w których:

$H_{1/f/\max}$ jest maksimum pola magnetycznego wewnątrz LPZ 1 wywołanego przez pierwszy uder, w (A/m);

$H_{1/s/\max}$ jest maksimum pola magnetycznego wewnątrz LPZ 1 wywołanego przez następne uder, w (A/m).

A.4.3 Sytuacja w strefie LPZ 2 i wyższej

Pole magnetyczne H_n wewnątrz LPZ n dla $n \geq 2$ jest z założenia jednorodne (patrz A.3.1.3).

Zatem do obliczenia indukowanych napięć i prądów mają zastosowanie te same formuły (A.3.1.2), w których H_1 jest zastąpione przez H_n .

Załącznik B (informacyjny)

Stosowanie środków ochrony urządzeń elektronicznych przed LEMP w istniejących obiektach

B.1 Lista kontrolna

Zastosowanie właściwych środków ochrony przed skutkami piorunów w istniejących obiektach wymaga wzięcia pod uwagę: danej konstrukcji i warunków obiektu oraz istniejących urządzeń elektrycznych i elektronicznych.

Lista kontrolna ułatwia analizę ryzyka i wybór najbardziej odpowiednich środków ochrony.

W przypadku istniejących obiektów należy szczególnie zadbać o systematyczne działania w odniesieniu do: koncepcji podziału na strefy, uziemień, połączeń wyrównawczych oraz trasowania i ekranowania linii.

Podana w Tablicach B.1 do B.4 lista kontrolna powinna być wykorzystana do zebrania niezbędnych danych o istniejącym budynku i jego instalacjach. W oparciu o te dane należy dokonać – zgodnie z IEC 62305-2 – oceny ryzyka w celu ustalenia potrzeby ochrony, a jeżeli tak, to w celu ustalenia i użycia najbardziej opłacalnych środków ochrony.

UWAGA 1 Dalsze informacje na temat ochrony przed zakłóceniami elektromagnetycznymi (EMI) w instalacjach budynku, patrz IEC 60364-4-44.

Tablica B.1 – Właściwości konstrukcyjne i środowisko

Punkt	Kwestia
1	Mur, cegła, drewno, żelbet, konstrukcja stalowa, fasada metalowa?
2	Obiekt odosobniony lub połączone bloki ze złączami kompensacyjnymi?
3	Obiekty płaskie i niskie lub wysokie? (wymiary obiektu)
4	Pręty zbrojenia z ciągłością połączeń na wskroś obiektu?
5	Rodzaj, typ i jakość materiału metalowego dachu?
6	Fasady metalowe połączone?
7	Ramy metalowe okien połączone?
8	Wymiary okien?
9	Obiekt wyposażony w zewnętrzny LPS?
10	Typ i jakość tego LPS?
11	Rodzaj gruntu (skała, gleba)?
12	Wysokość, odległość i uziemienie sąsiednich obiektów?
UWAGA Szczegółowe informacje, patrz IEC 62305-2.	

Tablica B.2 – Charakterystyka instalacji

Punkt	Kwestia
1	Typ wprowadzanych urządzeń usługowych (podziemne, napowietrzne)?
2	Typ anten (anteny lub inne zewnętrzne urządzenia)?
3	Typ zasilania elektroenergetycznego (wysokie napięcie, niskie napięcie, napowietrzne, kablowe)?
4	Trasy linii (liczba i położenie pionów, kanałów kablowych)?
5	Użycie metalowych kanałów kablowych?
6	Czy jest w obiekcie niezależna elektronika?
7	Przewody metalowe do innych obiektów?
UWAGA	Szczegółowe informacje, patrz IEC 62305-2.

Tablica B.3 – Charakterystyka wyposażenia

Punkt	Kwestia
1	Rodzaj połączeń urządzeń elektronicznych (kable wielożyłowe ekranowane lub nieekranowane, kabel koncentryczny, analogowe i/lub cyfrowe, symetryczny lub niesymetryczny, kable światłowodowe)? (patrz Uwaga 1)
2	Wymagany poziom wytrzymałości urządzeń elektronicznych? (patrz Uwagi 1 i 2)
UWAGA 1	Szczegółowe informacje, patrz IEC 62305-2.
UWAGA 2	Szczegółowe informacje, patrz ITU-T K.21, IEC 61000-4-5, IEC 61000-4-9 i IEC 61000-4-10.

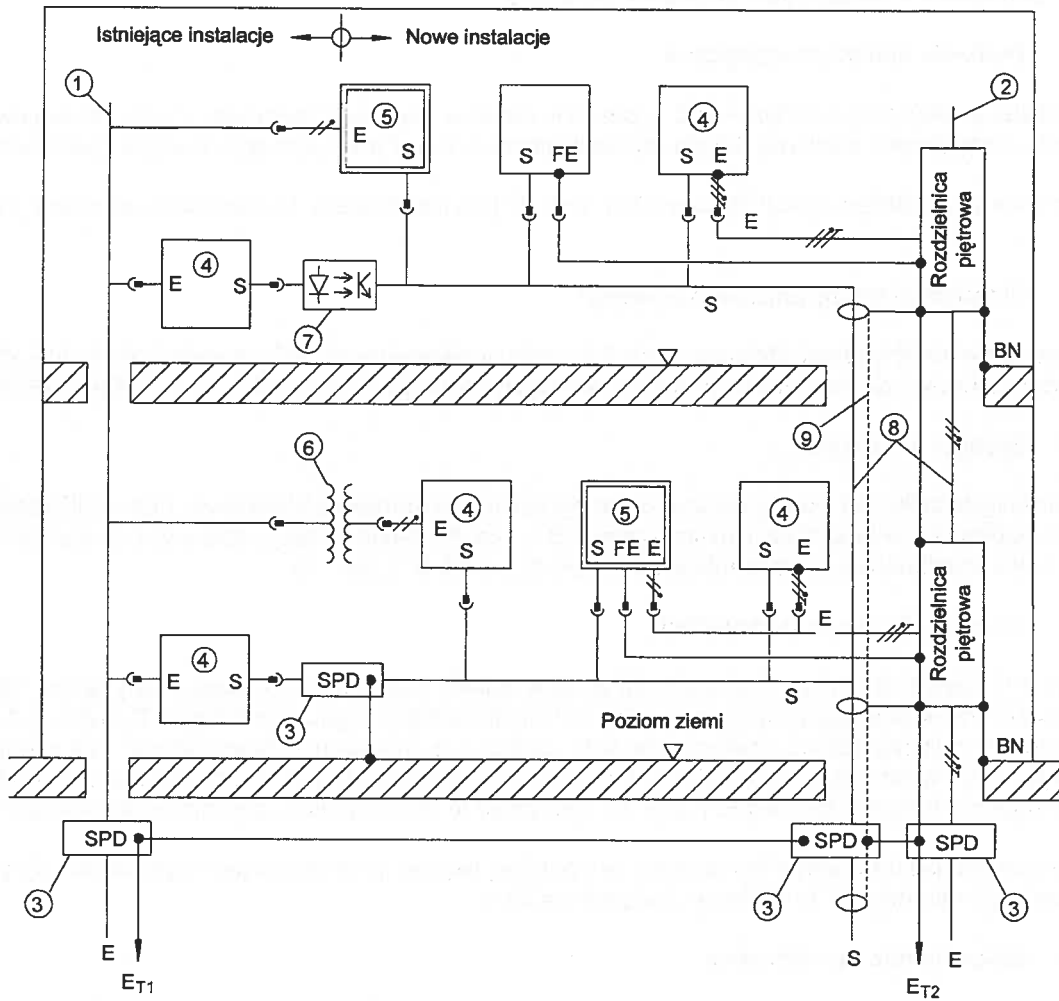
Tablica B.4 – Inne kwestie do rozważenia w ramach koncepcji ochrony

Punkt	Kwestia
1	Układ: TN (TN-S lub TN-C) TT lub IT?
2	Usytuowanie urządzeń elektronicznych? (patrz Uwaga)
3	Połączenie przewodów uziemienia funkcjonalnego układu elektronicznego z siecią połączeń wyrównawczych?
UWAGA	Szczegółowe informacje, patrz Załącznik A.

B.2 Integracja nowych urządzeń elektronicznych w istniejących obiektach

Istniejące instalacje, przy wyposażeniu obiektu w nowe urządzenia elektroniczne, mogą stanowić ograniczenie w stosowaniu będących do dyspozycji środków ochrony.

Na Rysunku B.1 pokazano przykład, w którym istniejąca instalacja, pokazana z lewej strony, jest wzajemnie łączona z nową instalacją, pokazaną po prawej stronie. Istniejąca instalacja ogranicza środki ochrony, które mogą być zastosowane. Jednak projekt i zaplanowanie nowej instalacji może pozwolić na wykorzystanie wszystkich niezbędnych środków ochrony.



Objaśnienia

- 1 istniejąca sieć zasilająca (TN-C, TT, IT)
- 2 nowa sieć zasilająca (TN-S, TN-CS, TT, IT)
- 3 urządzenie do ograniczania przepięć (SPD)
- 4 izolacja standardowa Klasy I
- 5 podwójna izolacja Klasy II bez PE
- 6 transformator separacyjny
- 7 optoizolator lub kabel światłowodowy
- 8 sąsiednie trasy linii elektrycznych i sygnałowych
- 9 ekranowany kanał kablowy

- E linie elektryczne
- S linie sygnałowe (ekranowane lub nieekranowane)
- ET układ uziomów
- BN sieć połączeń wyrównawczych
- PE przewód ochronny uziemiający
- FE przewód uziemienia funkcjonalnego (jeżeli istnieje)
- linia elektryczna 3-przewodowa: L, N, PE
- linia elektryczna 2-przewodowa: L, N
- punkty połączeń (PE, FE, BN)

Rysunek B.1 – Modernizacja środków ochrony przed LEMP i kompatybilność elektromagnetyczna w istniejącym obiekcie

B.2.1 Omówienie możliwych środków ochrony

B.2.1.1 Zasilanie elektroenergetyczne

Istniejąca sieć zasilająca (patrz Rysunek B.1, poz. 1) w obiekcie – bardzo często typu TN-C – może powodować zakłócenia częstotliwości sieciowej. Takich zakłóceń można uniknąć przez sprzęgi izolacyjne (patrz poniżej).

Jeżeli nowa sieć zasilająca (patrz Rysunek B.1, poz. 2) jest instalowana, to stanowczo zalecany jest jej typ TN-S.

B.2.1.2 Urządzenia do ograniczania przepięć

Do ograniczania uderzeń przewodzonych przez linie, należy zainstalować SPD na wejściu do każdej strefy LPZ i, w miarę możliwości, do poddawanego ochronie urządzenia (patrz Rysunek B.1, poz. 3 i Rysunek B.2).

B.2.1.3 Sprzęgi izolacyjne

W celu uniknięcia zakłóceń, należy stosować sprzęgi izolacyjne pomiędzy istniejącymi i nowymi urządzeniami. Są nimi: urządzenia z izolacją Klasy II (patrz Rysunek B.1, poz. 5), transformatory separacyjne (patrz Rysunek B.1, poz. 6), kable światłowodowe lub optoizolatory (patrz Rysunek B.1, poz. 7).

B.2.1.4 Trasowanie i ekranowanie linii

Duże pętle w trasach linii mogą prowadzić do bardzo dużych indukowanych napięć lub prądów. Można ich uniknąć przez trasowanie sąsiadujących ze sobą linii elektrycznych i sygnałowych (patrz Rysunek B.1, poz. 8), i w ten sposób zminimalizować powierzchnię pętli. Zaleca się stosowanie ekranowanych linii sygnałowych. W rozległych obiektach zaleca się również dodatkowe ekranowanie, np. za pomocą uziemionych metalowych kanałów kablowych (patrz Rysunek B.1, poz. 9). Wszystkie te ekrany należy uziemić na obu końcach.

Środki ekranowania i trasowania linii stają się tym bardziej istotne, im mniejsza jest skuteczność ekranowania przestrzennego ekranu LPZ 1 i większa powierzchnia pętli.

B.2.1.5 Ekranowanie przestrzenne

Przestrzenne ekranowanie LPZ przed piorunowymi polami magnetycznymi wymaga szerokości oka zwykle mniejszej niż 5 m.

Ekran strefy LPZ 1, tworzony – zgodnie z IEC 62305-3 – przez zwykły zewnętrzny LPS (zwody, przewody odprowadzające i uziomy), ma szerokość oka i typowe odstępki większe niż 5 m i daje pomijalne efekty ekranowania. Jeżeli jest wymagana większa skuteczność ekranowania, to zewnętrzny LPS powinien być uzupełniony (patrz Rozdział B.7).

Strefy LPZ 1 i wyższe mogą wymagać ekranowania przestrzennego do ochrony urządzeń elektronicznych niepełniających wymagań dotyczących promieniowania o częstotliwości radiowej i wymagań odpornościowych.

B.2.1.6 Połączenia wyrównawcze

Połączenia wyrównawcze, przy prądach pioruna o częstotliwości do kilku MHz, wymagają mało-impedancyjnej sieci oczkowej, mającej zwykle oka o szerokości 5 m. Wszystkie urządzenia usługowe, wchodzące do LPZ, powinny być połączone bezpośrednio lub za pośrednictwem właściwych SPD – możliwie najbliższej granicy LPZ.

Jeżeli w obiektach istniejących warunek ten nie może być spełniony, to należy zapewnić inne właściwe środki ochrony.

B.2.2 Ustalanie LPZ dla urządzeń elektrycznych i elektronicznych

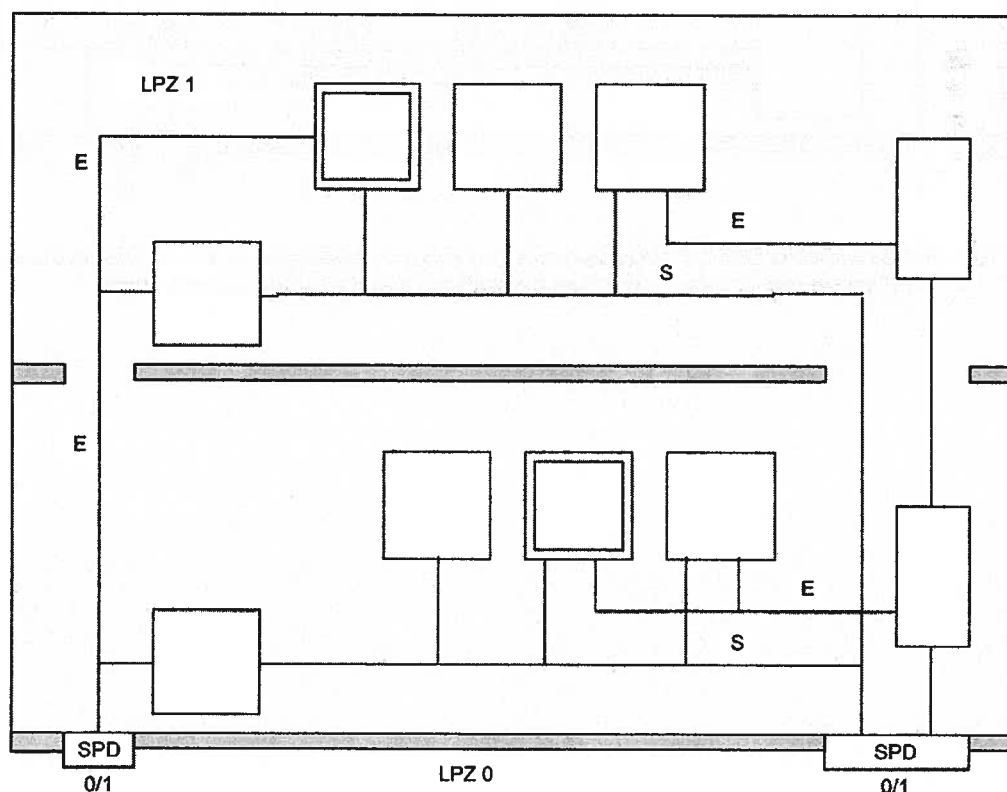
W zależności od liczby, typu i wrażliwości urządzeń elektrycznych i elektronicznych są wyznaczane odpowiednie wewnętrzne LPZ, poczynając od lokalnych małych stref (obudowy poszczególnych elektronicznych urządzeń), a kończąc na dużych strefach obejmujących całą przestrzeń budynku.

Na Rysunku B.2 pokazano rozmieszczenie typowych LPZ do ochrony urządzeń elektronicznych, zapewniających różne rozwiązania, odpowiednie zwłaszcza dla obiektów istniejących:

Na Rysunku B.2a pokazano instalację pojedynczej strefy LPZ 1, tworzącej przestrzeń chronioną wewnątrz całego obiektu, np. dla zwiększonych poziomów napięć wytrzymywanych urządzeń elektronicznych:

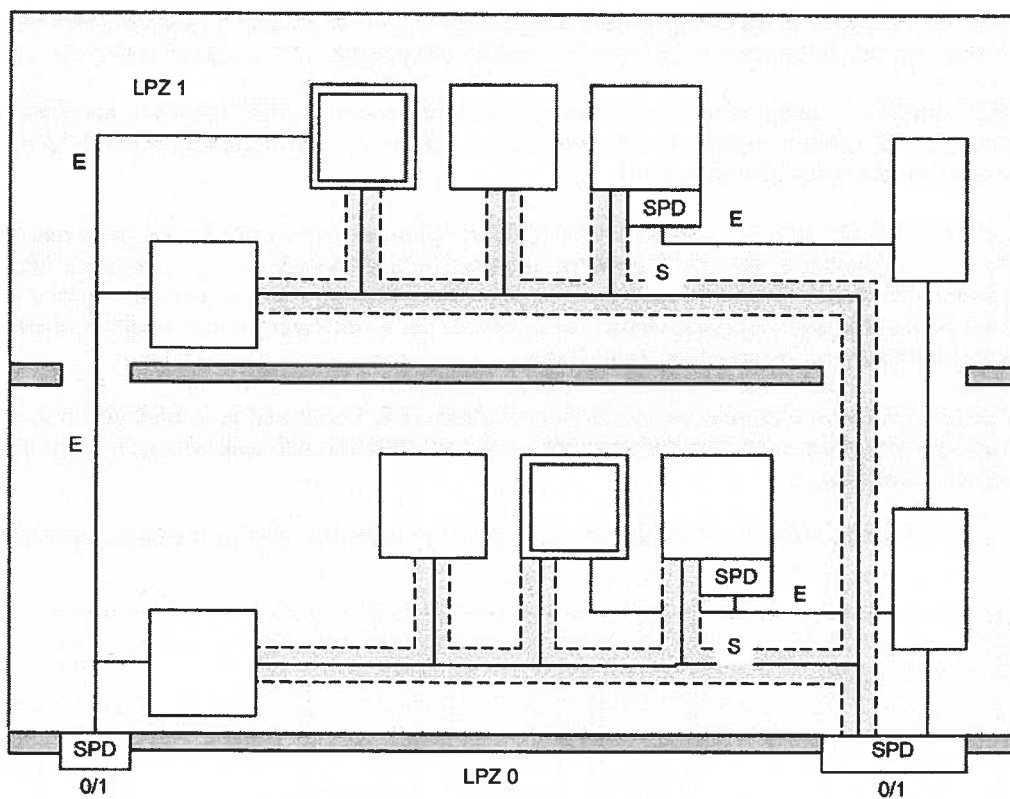
- Ta LPZ 1 może być utworzona przy zastosowaniu LPS, zgodnie z IEC 62305-3, który składa się z zewnętrznego LPS (zwody, przewody odprowadzające i uziomy) i wewnętrznego LPS (piorunowe połączenia wyrównawcze i odstępy izolacyjne).
- Zewnętrzny LPS chroni LPZ 1 przed wyładowaniami piorunowymi w obiekt, ale pole magnetyczne wewnątrz LPZ 1 pozostaje prawie bez tłumienia. Tak się dzieje, ponieważ zwody i przewody odprowadzające mają szerokości oczek i typowe odstępy większe niż 5 m, dlatego – jak wyjaśniono powyżej – efekt ekranowania przestrzennego jest pomijalny. Jeżeli ryzyko R_D wyładowań piorunowych w obiekt jest bardzo małe, to zewnętrzny LPS może być zaniechany.
- Wewnętrzny LPS wymaga połączenia na granicy strefy LPZ 1 wszystkich wchodzących do obiektu urządzeń usługowych, włącznie z zainstalowaniem – we wszystkich liniach elektrycznych i sygnałowych – SPD badanych prądem I_{imp} .

UWAGA Do uniknięcia zakłóceń niskiej częstotliwości mogą być użyteczne sprzęgi izolacyjne wewnątrz LPZ 1.



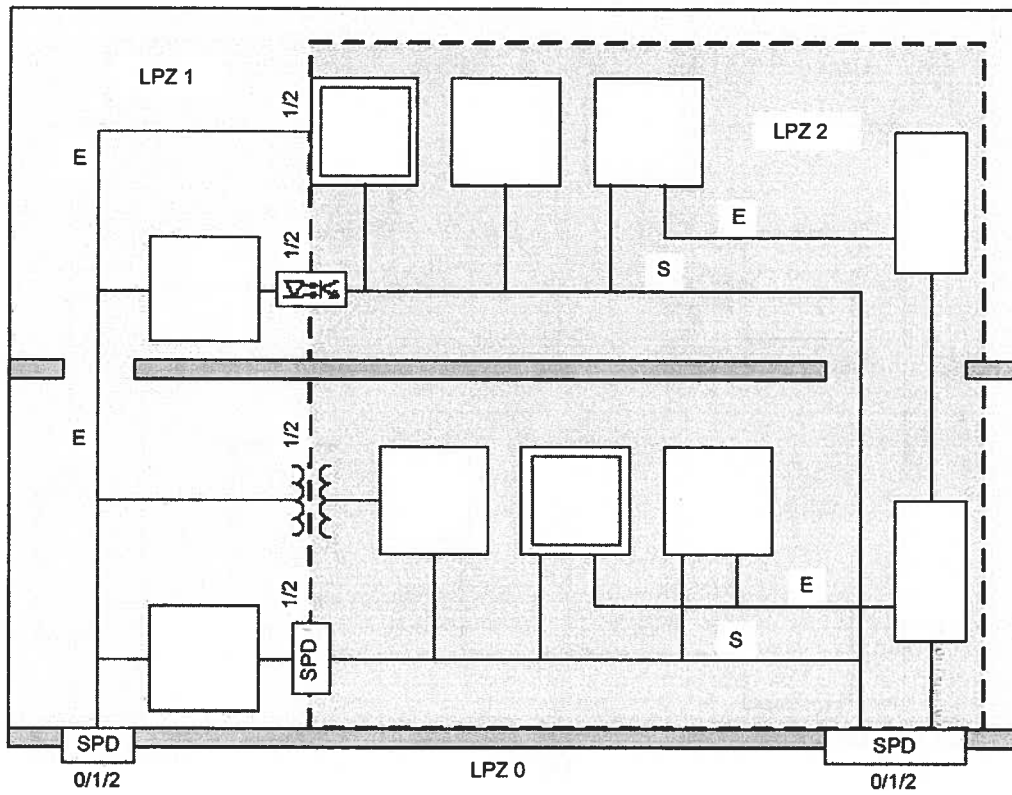
Rysunek B.2a – Nieekranowana LPZ 1 z zastosowaniem LPS i SPD na wejściu linii do obiektu (np. dla zwiększonego poziomu napięcia wytrzymywanego urządzeń lub dla małych pętli wewnątrz obiektu)

Stare instalacje ← ⊕ → Nowe instalacje LPZ 0

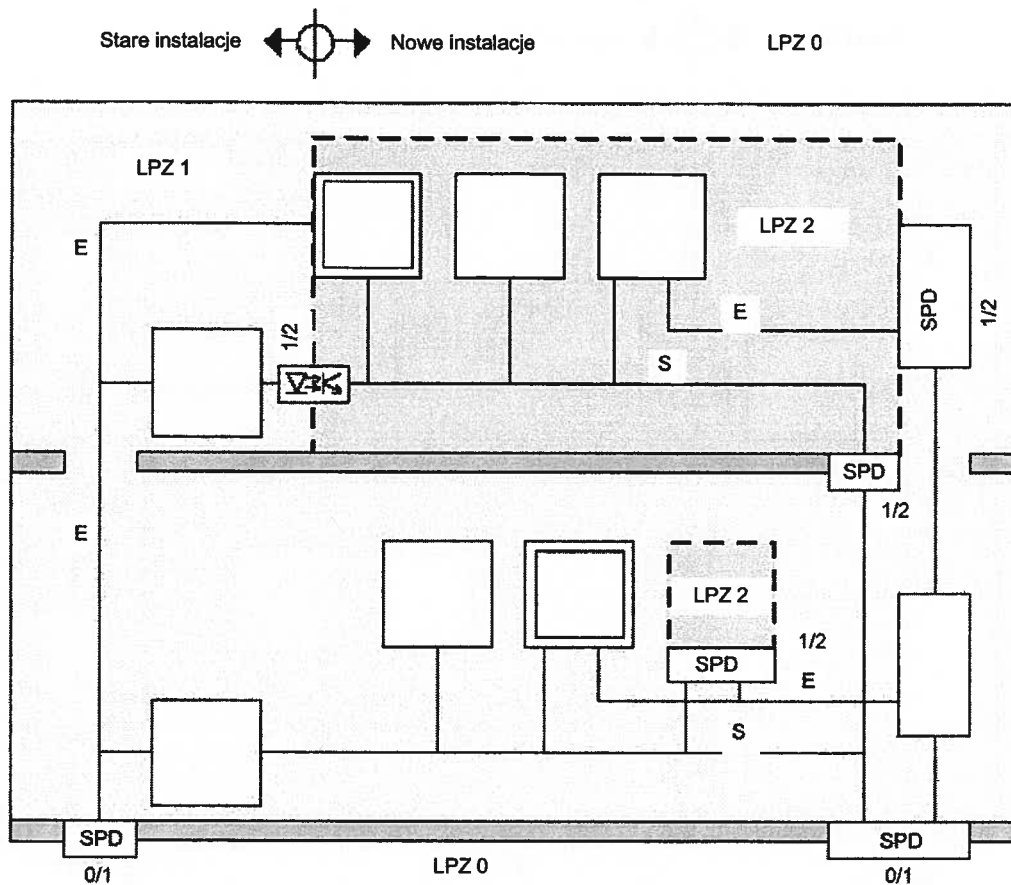


Rysunek B.2b – Nieekranowana LPZ 1 z ochroną nowych urządzeń elektronicznych przy użyciu ekranowanych linii sygnałowych i skoordynowanych SPD w liniach elektroenergetycznych

Stare instalacje ← ○ → Nowe instalacje LPZ 0



Rysunek B.2c – Nieekranowana LPZ 1 i duża ekranowana LPZ 2 dla nowych urządzeń elektronicznych



Rysunek B.2d – Niekranowana LPZ 1 i dwie lokalne LPZ 2 dla nowych urządzeń elektronicznych

Rysunek B.2 – Możliwości ustalenia stref LPZ w istniejących obiektach

Na Rysunku B.2b pokazano, że w nieekranowanej LPZ 1 nowy aparat wymaga również ochrony przed przewodzonymi udarami. Na przykład, linie sygnałowe mogą być chronione przez zastosowanie kabli ekranowanych, a linie elektroenergetyczne przez zastosowanie skoordynowanego układu SPD. Może to wymagać dodatkowych SPD, badanych prądem I_n i SPD, badanych falą złożoną, instalowanych blisko urządzeń i skoordynowanych z SPD na wejściu urządzeń usługowych. Może to również wymagać urządzeń z podwójną izolacją Klasy II.

Na Rysunku B.2c pokazano instalację dużej całkowitej LPZ 2 wewnątrz LPZ 1 do umieszczenia nowych urządzeń elektronicznych. Ażurowy ekran przestrzenny LPZ 2 zapewnia znaczne tłumienie piorunowego pola magnetycznego. SPD, instalowane po lewej stronie na granicy LPZ 1 (przejście LPZ 0/1), a następnie na granicy LPZ 2 (przejście LPZ 1/2), powinny być skoordynowane zgodnie z Załącznikiem C. SPD, instalowane po prawej stronie na granicy LPZ 1, powinny być dobrane do bezpośredniego przejścia LPZ 0/1/2 (patrz C.3.4).

Na Rysunku B.2d – pokazano instalację dwu mniejszych LPZ 2 wewnątrz LPZ 1. Dodatkowe SPD powinny być zainstalowane w liniach zarówno elektroenergetycznych, jak i sygnałowych na granicy każdej LPZ 2. Te SPD powinny być skoordynowane z SPD na granicy LPZ 1 zgodnie z Załącznikiem C.

B.3 Modernizacja zasilania elektroenergetycznego i instalacji kablowej wewnątrz obiektu

Elektroenergetyczny układ rozdzielczy w starszych obiektach (patrz Rysunek B.1, poz.1) jest bardzo często układem TN-C. Zakłóceń o częstotliwości 50/60 Hz, powstających przy połączeniu uziemionych linii sygnałowych z przewodami PEN, można uniknąć przez:

- sprzęgi izolacyjne z użyciem urządzeń elektrycznych Klasy II lub podwójnie izolowanych transformatorów. Może to stanowić rozwiązanie, jeżeli istnieją tylko nieliczne urządzenia elektroniczne (patrz Rozdział B.5).
- zmianę elektroenergetycznego układu rozdzielczego na TN-S (patrz Rysunek B.1, poz. 2). Jest to rozwiązanie zalecane, zwłaszcza dla rozległych układów wyposażenia elektronicznego.

Spełnione powinny być wymagania dotyczące uziemienia, połączeń wyrównawczych i trasowania linii.

B.4 Ochrona za pomocą urządzeń do ograniczania przepięć

Aby ograniczyć piorunowe udary przewodzone w liniach elektrycznych, należy zainstalować SPD na wejściu każdej wewnętrznej LPZ (patrz Rysunek B.1, poz. 3 i Rysunek B.2). Takie SPD powinny być skoordynowane, jak sprecyzowano w Załączniku C.

W budynkach z nieskoordynowanymi SPD może powstać uszkodzenie urządzenia elektronicznego, jeżeli SPD od strony odbiorów, lub SPD w obrębie urządzenia, przeszkodzi prawidłowemu działaniu SPD na wejściu urządzenia usługowego.

W celu zapewnienia skuteczności przyjętych środków ochrony, konieczne jest udokumentowanie lokalizacji wszystkich zainstalowanych SPD.

B.5 Ochrona za pomocą sprzęgów izolacyjnych

Prądy zakłócające o częstotliwości sieciowej, płynące przez urządzenie i przyłączone do niego linie sygnałowe, mogą być powodowane przez duże pętle lub brak sieci wyrównawczej o dostatecznie małej impedancji. Aby zapobiec takim zakłóceniom (głównie w instalacjach TN-C), można wykonać odpowiednią separację pomiędzy istniejącą i nową instalacją, stosując sprzęgi izolacyjne takie, jak:

- izolowane urządzenia Klasy II (tj. podwójną izolację bez przewodu PE),
- transformatory separacyjne,
- pozbawione metalu kable światłowodowe,
- optoizolatory.

Dla sprzęgów izolacyjnych, stosowanych w celu uniknięcia piorunowych przepięć indukowanych, wymagane jest zwiększone napięcie wytrzymałowe. Za typowe wymagane napięcie wytrzymałowe uznaje się 5 kV przy kształcie fali 1,2/50. Ochrona takich sprzęgów przed wyższymi przepięciami, tam gdzie jest potrzebna, może być osiągnięta przy użyciu SPD. Napięciowy poziom ochrony U_p tych SPD powinien być tak dobrany, aby był tylko nieznacznie niższy niż napięcie wytrzymałowe sprzęgu izolacyjnego. Niższy poziom U_p może naruszyć wymagania bezpieczeństwa.

UWAGA Należy zatroszczyć się, aby metalowe obudowy urządzeń nie miały niezamierzonego elektrycznego połączenia z siecią połączeń wyrównawczych lub z innymi metalowymi częściami – ze względu na konieczność ich izolowania. Jest to wymagane dla większości przypadków, ponieważ wyposażenie elektroniczne instalowane w pomieszczeniach domowych lub w biurach jest łączone z ziemią odniesienia tylko przez kable połączeniowe.

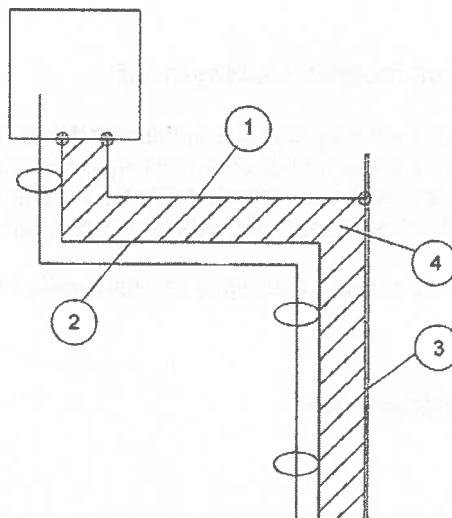
B.6 Ochrona za pomocą trasowania i ekranowania linii

Odpowiednie trasowanie i ekranowanie linii należy do skutecznych środków redukcji przepięć indukowanych. Środki te są szczególnie ważne, jeżeli skuteczność ekranowania przestrzennego strefy LPZ 1 jest pomijalna. W takim przypadku ulepszoną ochronę zapewnia:

- minimalizacja powierzchni pętli indukcyjnej;
- unikanie zasilania nowych urządzeń z istniejącej sieci, ponieważ tworzy to dużą powierzchnię zamkniętej pętli indukcyjnej, która znacznie zwiększa ryzyko uszkodzenia izolacji. Przez trasowanie sąsiadujących ze sobą linii elektrycznych i sygnałowych można uniknąć dużych pętli (patrz Rysunek B.1, poz. 8);
- stosowanie ekranowanych kabli. Ekrany tych linii sygnałowych powinny być połączone przynajmniej na każdym końcu;
- stosowanie metalowych kanałów kablowych lub połączonych płyt metalowych, przy czym oddzielne metalowe odcinki powinny być wzajemnie dobrze połączone elektrycznie. Połączenia powinny być wykonane przez skręcenie śrubami zachodzących na siebie części lub przez zastosowanie przewodów łączących. Aby utrzymać małą impedancję kanału kablowego, należy rozmieścić na jego obwodzie liczne śruby lub taśmy (patrz IEC 61000-5-2).

Przykłady właściwego trasowania linii i technik ekranowania są podane na Rysunkach B.3 i B.4.

UWAGA Gdzie odległość pomiędzy liniami sygnałowymi a urządzeniami elektronicznymi w granicach przestrzeni ogólnego przeznaczenia, które nie są wyraźnie przeznaczone dla układów elektronicznych, jest większa niż 10 m, tam zaleca się użycie symetrycznych linii sygnałowych z odpowiednimi częściami elektrycznej izolacji, np. optoizolatorami, izolacyjnymi transformatorami sygnałowymi lub izolacyjnymi wzmacniaczami. Dodatkowo korzystne może być użycie kabli trójosiowych.

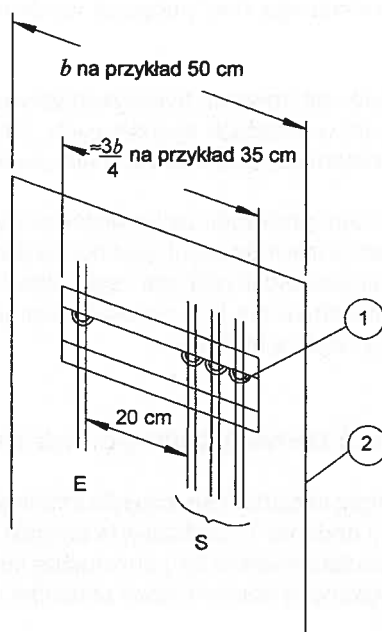


Objaśnienia

- 1 PE, tylko wtedy, gdy są stosowane urządzenia Klasy I
- 2 ekran dowolnego kabla wymaga połączenia wyrównawczego na obu końcach
- 3 płyta metalowa jako dodatkowy ekran (patrz Rysunek B.4)
- 4 powierzchnia małej pętli

UWAGA Dzięki małej powierzchni pętli, napięcie indukowane pomiędzy ekranem kabla a płytą metalową jest niewielkie.

Rysunek B.3 – Ograniczenie powierzchni pętli przez zastosowanie ekranowanych kabli blisko metalowej płyty



Objaśnienia

- 1 mocowanie kabli z lub bez połączenia wyrównawczego ich ekranów z płytą
- 2 na krawędziach pole magnetyczne jest większe niż w środku płyty
- E linie elektryczne
- S linie sygnałowe

Rysunek B.4 – Przykład płyty metalowej dla dodatkowego ekranowania

B.7 Poprawa istniejącego LPS przez zastosowanie przestrzennego ekranowania strefy LPZ 1

Istniejący LPS (zgodny z IEC 62305-3) wokół LPZ 1 może być poprawiony przez:

- włączenie do zewnętrznego LPS istniejącej metalowej fasady i metalowego dachu,
- użycie prętów zbrojeniowych obiektu (które mają ciągłe połączenie elektryczne od góry dachu do uziomu),
- zmniejszenie odstępów między przewodami odprowadzającymi i wymiarów sieci zwodów do poniżej 5 m,
- zainstalowanie giętkich przewodów wyrównawczych na złączach kompensacyjnych pomiędzy sąsiednimi, ale konstrukcyjnie rozdzielonymi blokami zbrojonymi.

B.8 Ochrona z zastosowaniem sieci połączeń wyrównawczych

Istniejące układy uziemiające dla obwodów o częstotliwości sieciowej mogą nie zapewniać zadowalającej płaszczyzny ekwipotencjalnej dla prądów pioruna o częstotliwości do kilku MHz, ponieważ przy tych częstotliwościach ich impedancja może być zbyt duża.

Regularny LPS, zaprojektowany zgodnie z IEC 62305-3, w którym dopuszcza się szerokość oka większą niż typowe 5 m i który obejmuje piorunowe połączenia wyrównawcze jako wymaganą część wewnętrznego LPS, mógłby być niewystarczający do ochrony wrażliwych urządzeń elektronicznych. Wynika to stąd, że impedancja tego układu połączeń wyrównawczych może być tu nadal zbyt duża dla tych zastosowań.

Kategorycznie zalecana jest mała impedancja sieci połączeń wyrównawczych o typowej szerokości oka równej 5 m i mniejszej.

Na ogół sieć połączeń wyrównawczych nie powinna być wykorzystywana jako droga powrotna dla prądów ani w układach elektroenergetycznych, ani w układach sygnałowych. Zatem przewód PE powinien być włączony do sieci połączeń wyrównawczych, natomiast przewód PEN nie powinien być włączony.

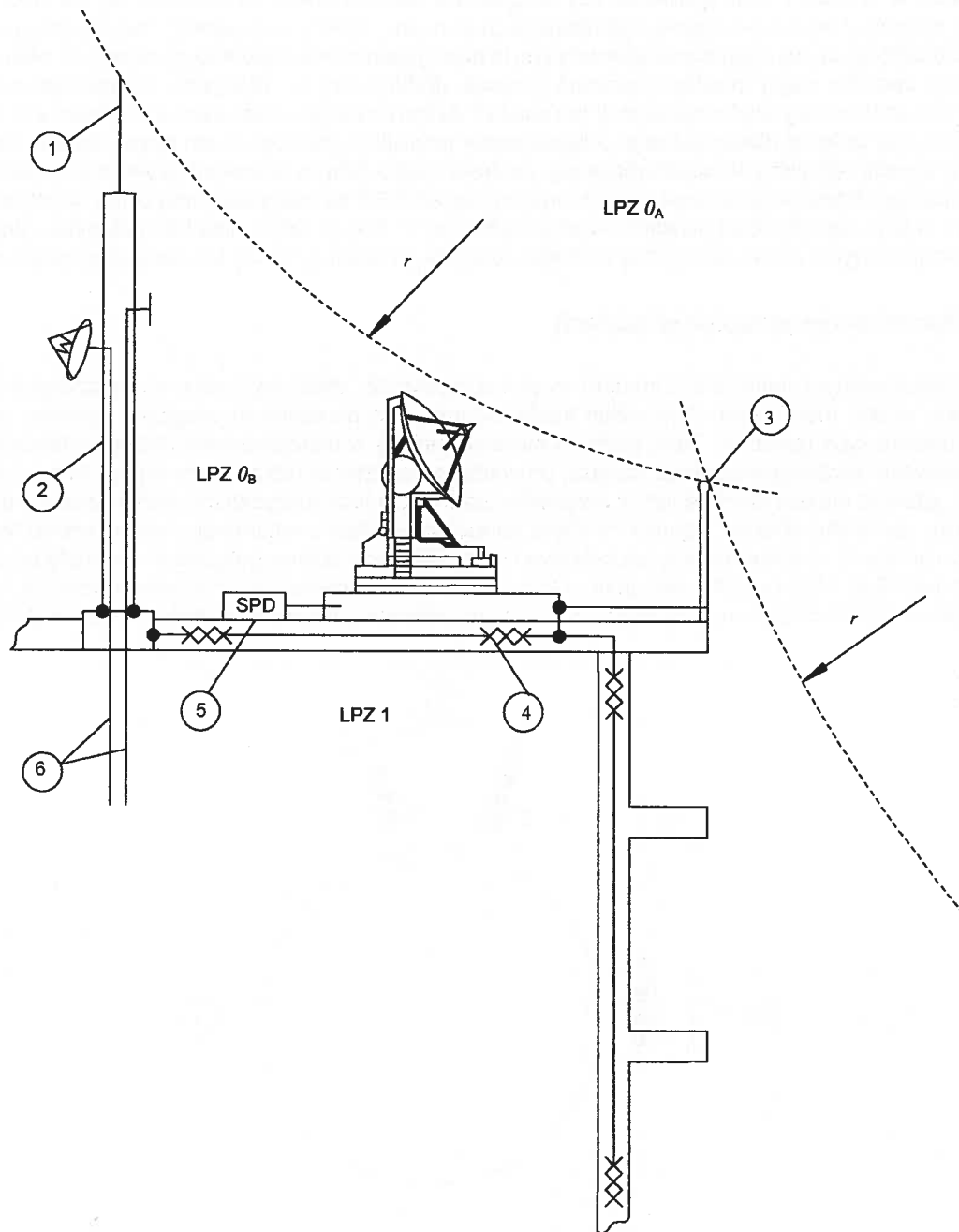
Bezpośrednie połączenie funkcjonalnego przewodu uziemiającego (np. odrębny uziom specjalny dla urządzenia elektronicznego) z siecią połączeń wyrównawczych jest dopuszczalne, ponieważ w tym przypadku będzie niewielkie sprzężenie zakłócające z liniami elektrycznymi i sygnałowymi. W celu uniknięcia zakłóceń o częstotliwości sieciowej w układzie elektronicznym nie jest dopuszczalne jego bezpośrednie połączenie z przewodem PEN lub z połączoną z nim inną częścią metalową.

B.9 Środki ochrony urządzeń zainstalowanych na zewnątrz

Przykładami instalowanych na zewnątrz urządzeń są: czujniki każdego rodzaju włącznie z antenami, meteorologiczne czujniki pomiarowe, kamery nadzoru TV, odsłonięte czujniki instalacji produkcyjnych (ciśnienia, temperatury, szybkości przepływu, położenia zaworów itp.) oraz każde inne urządzenie elektryczne, elektroniczne lub radiowe zainstalowane na zewnętrznych stanowiskach obiektów, masztów i zbiorników technologicznych.

B.9.1 Ochrona urządzeń zewnętrznych

Tam, gdzie to możliwe, urządzenie powinno być umieszczone w strefie ochronnej LPZ 0_B tworzonej, na przykład, przez zwód lokalny, w celu ochrony tego urządzenia przed bezpośrednimi wyładowaniami piorunowymi (patrz Rysunek B.5).



Objaśnienia

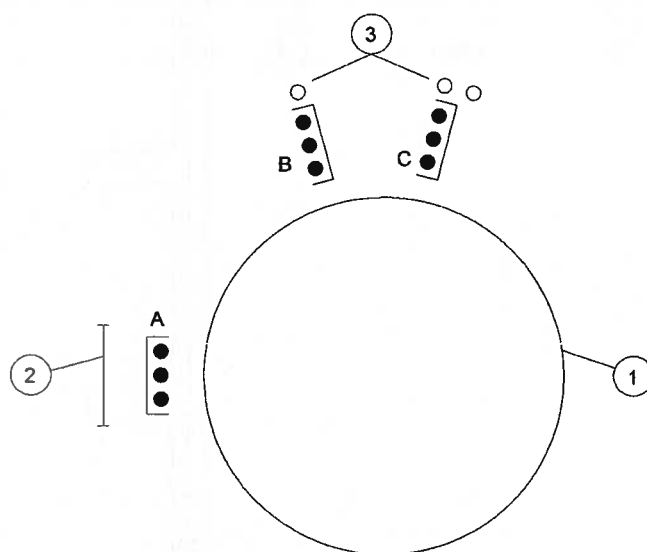
- 1 zwód pionowy
- 2 maszt stalowy z antenami
- 3 poręcz
- 4 wzajemnie połączone zbrojenie
- 5 linia wchodząca z LPZ 0_B wymaga na wejściu SPD
- 6 linie wchodzące z LPZ 1 (wewnątrz masztu) mogą nie wymagać SPD na wejściu
- r* promień toczącej się kuli

Rysunek B.5 – Ochrona anten i innych zewnętrznych urządzeń

Na obiektach wysokich, w celu ustalenia, czy urządzenia zainstalowane na szczycie lub na boku budynku mogą być narażone na bezpośrednie wyładowania piorunowe, należy zastosować metodę toczonej kuli (patrz IEC 62305-3). Jeżeli zagrożenie takie istnieje, to należy zastosować dodatkowe zwody. W wielu przypadkach funkcję zwodów mogą właściwie spełniać poręcze, drabiny rury itp. Wszystkie urządzenia, z wyjątkiem pewnego typu anten, mogą być chronione w ten sposób. Anteny muszą być czasem umieszczane w miejscach odsłoniętych, aby uniknąć niekorzystnego oddziaływania pobliskich zwodów na ich pracę. Pewne konstrukcje anten są w sposób naturalny samochroniące się, ponieważ tylko dobrze uziemione elementy przewodzące są narażone na wyładowania piorunowe. Inne mogą wymagać SPD do zainstalowania w ich doprowadzeniach kablowych, w celu zapobieżenia przedostawaniu się kablem w dół, do odbiornika lub nadajnika, nadmiernych przepięć przejściowych. Jeżeli zewnętrzny LPS jest dostępny, to powinny być z nim połączone wsporniki anten.

B.9.2 Ograniczanie przepięć w kablach

Wysokim indukowanym napięciom i prądom można zapobiegać, układając kable w połączonych kanałach, sztybach lub rurach metalowych. Wszystkie kable biegnące do określonych urządzeń powinny opuszczać kanał w pojedynczych punktach. Tam, gdzie to możliwe, należy w maksymalnym stopniu wykorzystać naturalne właściwości ekranujące samego obiektu, prowadząc wszystkich kable razem w jego rurowych elementach. Tam, gdzie to nie jest możliwe, jak w przypadku zbiorników technologicznych, kable powinny przebiegać na zewnątrz, ale blisko obiektu, czyniąc możliwie największy użytek z naturalnego ekranowania tworzonego przez rury metalowe, stalowe drabiny szczeblowe i wszystkie inne dobrze połączone materiały przewodzące (patrz Rysunek B.6). W przypadku masztów, w których na elementy narożne stosuje się kątowniki, kable – dla zapewnienia maksimum ochrony – powinny być ułożone wewnątrz kątowników (patrz Rysunek B.7).

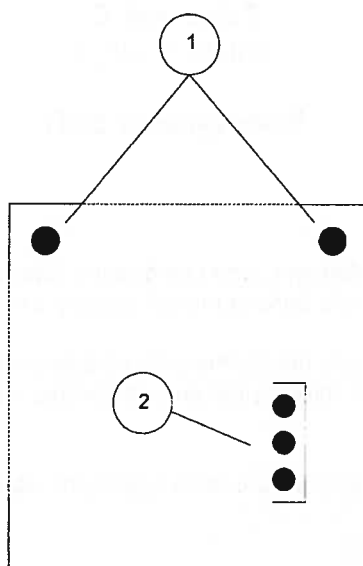


Objaśnienia

- 1 zbiornik technologiczny
- 2 drabina szczeblowa
- 3 rury

UWAGA A, B, C są dobrą alternatywą dla umiejscowienia korytek kablowych.

Rysunek B.6 – Naturalne ekranowanie w postaci połączonych drabin i rur



Objaśnienia

- 1 idealne miejsca dla kabli w narożnych dźwigarach kątownikowych
- 2 alternatywne miejsce dla połączonego korytka wewnątrz masztu

Rysunek B.7 – Idealne miejsca dla linii na maszcie (przekrój stalowego masztu kratowego)

B.10 Poprawa połączeń między obiektami

Linie łączące oddzielne obiekty są albo:

- izolacyjne (wolne od metalu kable światłowodowe), albo
- metalowe (np. pary przewodów, kable wielożyłowe, falowody, kable koncentryczne lub kable światłowodowe z ciągłymi metalowymi elementami).

Wymagania ochrony zależą od rodzaju i liczby linii oraz od tego, czy uziomy obiektów są połączone.

B.10.1 Linie izolacyjne

Jeżeli do połączenia oddzielnych obiektów są stosowane kable światłowodowe wolne od metalu (tj. bez pancerza metalowego, folii chroniącej przed wilgocią lub wewnętrznego stalowego drutu naciągowego), to dla tych kabli nie są potrzebne żadne środki ochrony.

B.10.2 Linie metalowe

Bez właściwego połączenia między uziomami oddzielnych obiektów, łączące linie tworzą mało-impedancyjną drogę dla prądu pioruna. Może to prowadzić do przepływu przez te linie znacznej części prądu pioruna.

- Wymagane połączenia, bezpośrednio lub dokonywane za pomocą SPD, na wejściach do obu LPZ 1 ochronią tylko urządzenia wewnętrzne, podczas gdy na zewnątrz linie pozostaną bez ochrony.
- Linie mogą być chronione przy zainstalowaniu równolegle dodatkowego przewodu łączącego. Prąd pioruna będzie wtedy dzielony między linie i ten przewód łączący.
- Zaleca się, aby linie przebiegały w zamkniętym i ciągłym metalowym kanale kablowym. W tym przypadku są chronione zarówno linie, jak i urządzenia.

Gdzie istnieje właściwe połączenie między uziomami oddzielnych obiektów, tam nadal jest zalecana ochrona linii za pomocą ciągłych kanałów kablowych. Jeżeli między połączonymi obiektami przebiega wiele kabli, to zamiast kanałów kablowych mogą być wykorzystane, połączone na obu końcach, ekrany lub pancerze tych kabli.

Załącznik C (informacyjny)

Koordynacja SPD

C.1 Postanowienia ogólne

Jeżeli w tym samym obwodzie są instalowane, jeden za drugim, dwa lub więcej SPD, to powinny być one skoordynowane tak, aby nastąpił między nimi podział energii zgodny z ich zdolnością do jej pochłaniania.

Do zapewnienia skutecznej koordynacji, niezbędne jest uwzględnienie: właściwości poszczególnych SPD (jakie podaje wytwórca), zagrożenia w miejscu ich zainstalowania i charakterystyki urządzeń poddawanych ochronie.

Podstawowe zagrożenie piorunowe wiąże się z trzema typowymi udarami prądu pioruna:

- z pierwszym udarem krótkotrwałym,
- z następnymi udarami krótkotrwałymi,
- z udarem długotrwałym.

Wszystkie trzy składowe są wymuszane prądami. W koordynacji SPD, rozpatrywanej w kierunku odbiorów, czynnikiem dominującym przy rozważaniu podziału energii (ładunku i amplitudy) jest pierwszy udar krótkotrwały. Następne udary krótkotrwałe mają mniejsze wartości energii właściwej, ale większą stromość prądu. Udar długotrwały jest dodatkowym czynnikiem narażenia, który przy koordynacji nie wymaga uwzględnienia.

UWAGA 1 Jeżeli SPD są określone dla zagrożenia pierwszym udarem długotrwałym, to następne udary krótkotrwałe nie stwarzają dodatkowych problemów. Jeżeli elementami odsprzęgającymi są indukcyjności, to większa wartość prądu ułatwia koordynację tych SPD.

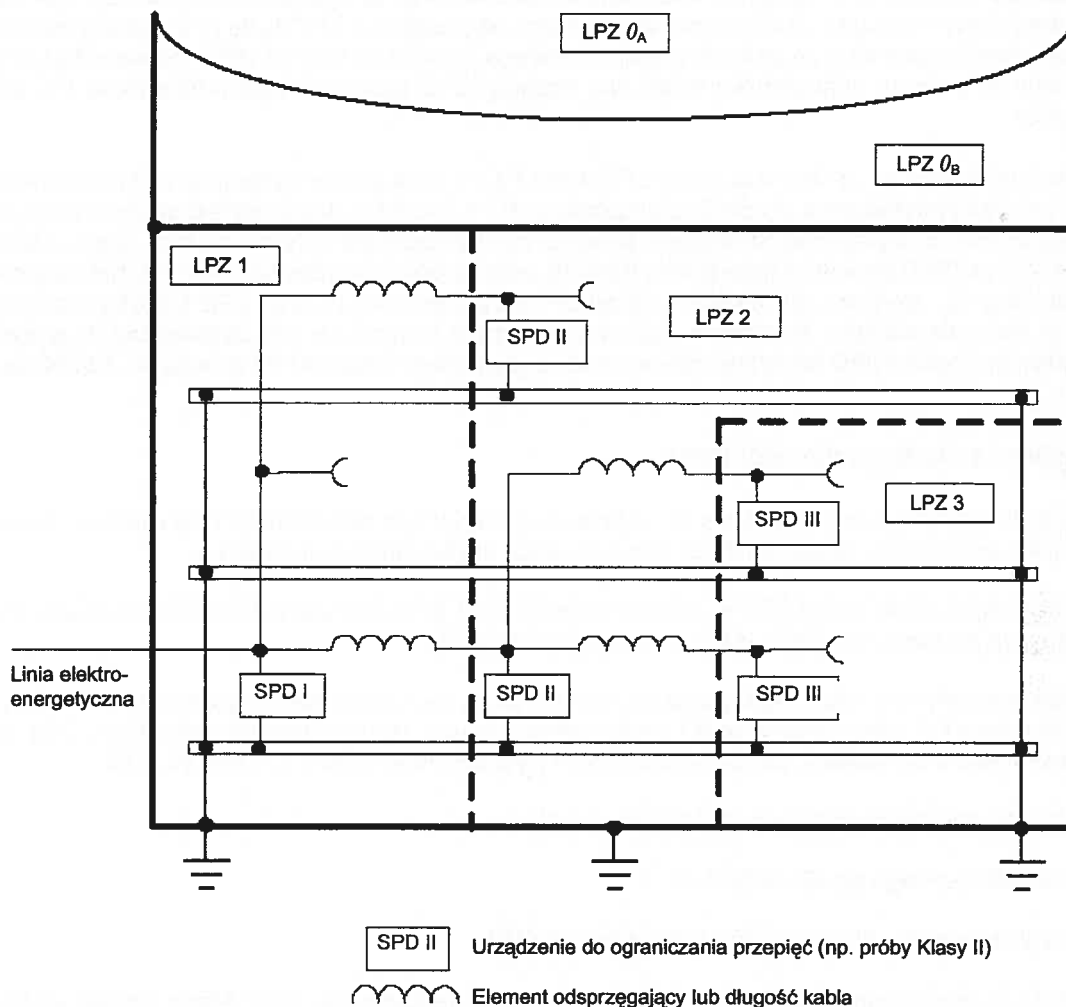
Parametry całkowitego prądu pioruna dla różnych LPL są podane w IEC 62305-1, Tablica 3. Jednak pojedynczy SPD będzie narażony tylko na część tego całkowitego prądu pioruna. Wymaga to określenia podziału prądu albo za pomocą symulacji komputerowych, przy użyciu programu analizy sieciowej, albo za pomocą aproksymacji podanej w IEC 62305-1, Załącznik E.

UWAGA 2 Funkcje analityczne udarów krótkotrwałych do celów analizy są podane w IEC 62305-1, Załącznik B.

Prąd pierwszego udaru krótkotrwałego bezpośredniego wyładowania piorunowego może być symulowany przy użyciu fali o kształcie 10/350 μ s. Prądy częściowe pioruna lub indukowane w układzie mogą mieć różne kształty fali wskutek wzajemnych oddziaływań pomiędzy prądem pioruna i instalacją niskonapięciową. Do celów koordynacji są zatem brane pod uwagę następujące impulsowe prądy probiercze (udary):

- $I_{10/350}$ Prąd probierczy o kształcie 10/350 μ s – jest stosowany szczególnie do badania koordynacji energetycznej SPD. Dla SPD przeznaczonych do stosowania w liniach energoelektrycznych, ten kształt fali jest stosowany w próbie Klasy I (patrz IEC 61643-1), która jest określona przez wartość szczytową I_{peak} i przenoszony ładunek Q .
- $I_{8/20}$ Prąd probierczy o kształcie 8/20 μ s. Dla SPD przeznaczonych do stosowania w liniach energoelektrycznych, ten kształt fali jest stosowany w próbie Klasy II (IEC 61643-1).
- I_{CWG} Prąd wyjściowy generatora fali złożonej (IEC 61000-4-5). Kształt fali zależy od obciążenia (napięcie obwodu otwartego 1,2/50 μ s i prąd obwodu zwartego 8/20 μ s). Ten prąd wyjściowy jest stosowany w próbie Klasy III (IEC 61643-1).
- I_{RAMP} Prąd probierczy o stromości 0,1 kA/ μ s. Jest on określany w układzie do symulacji częściowych prądów pioruna, mających minimalną stromość wskutek współdziałania między prądem pioruna a instalacją niskonapięciową. Prąd ten jest stosowany do prób odsprzęgania kolejnych SPD.

Na Rysunku C.1 pokazano przykład stosowania SPD w elektroenergetycznych układach rozdzielczych, zgodnie z koncepcją strefy ochrony odgromowej. SPD są instalowane kolejno. Są one dobierane zgodnie z wymaganiami dotyczącymi poszczególnych punktów ich instalowania.



Rysunek C.1 – Przykład stosowania SPD w elektroenergetycznym układzie rozdzielczym

Dobre SPD i ich zestawienie w ogólny układ elektryczny wewnątrz obiektu powinny zapewniać, że częściowe prądy pioruna będą głównie odprowadzane do układu uziemiającego na granicy LPZ 0_A/LPZ 1.

Jeżeli większa część energii częściowego prądu pioruna została odprowadzona przez pierwszy SPD, to zadaniem kolejnych SPD jest jedynie poradzenie sobie z pozostałym zagrożeniem po przejściu ze strefy LPZ 0_A do LPZ 1 oraz ze skutkami indukcyjnymi pola elektromagnetycznego w LPZ 1 (szczególnie, jeżeli LPZ 1 nie ma elektromagnetycznego ekranu).

UWAGA 3 Przy wyborze kolejnych SPD należy wziąć pod uwagę, że SPD typu ucinającego mogą nie osiągnąć progu ich działania.

Linie wchodzące ze strefy LPZ 0_A (gdzie możliwe są wyładowania bezpośrednie) niosą częściowe prądy pioruna. Aby odprowadzić te prądy na przejściu z LPZ 0_A do LPZ 1, potrzebne są tam SPD badane prądem I_{imp} (SPD odpowiadające próbie Klasy I).

Linie wchodzące ze strefy LPZ 0_B (gdzie wyładowania bezpośrednie są wykluczone, ale istnieje pole elektromagnetyczne) niosą tylko udary indukowane. Występujące na przejściu z LPZ 0_B do LPZ 1 efekty indukowane powinny być symulowane albo za pomocą prądu udarowego o kształcie 8/20 μ s (SPD odpowiadające próbie Klasy II), albo za pomocą odpowiedniej próby falą złożoną (SPD odpowiadające próbie Klasy III), zgodnie z IEC 61643-1.

Zagrożenie pozostające na przejściu ze strefy LPZ 0 do LPZ 1 i indukowane efekty pola elektromagnetycznego w LPZ 1 określają wymagania dla SPD na przejściu z LPZ 1 do LPZ 2. Jeżeli nie jest możliwa szczegółowa analiza zagrożenia, to napięcie dominujące powinno być symulowane za pomocą albo prądu udarowego o kształcie 8/20 μ s (SPD odpowiadające próbie Klasy II), albo za pomocą próby falą złożoną (SPD odpowiadające próbie Klasy III), zgodnie z IEC 61643-1. Jeżeli SPD na przejściu z LPZ 0 do LPZ 1 jest typu ucinającego napięcie, to może się zdarzyć, że poziom wchodzącego prądu pioruna nie jest dostateczny do wyzwolenia SPD. W takim przypadku SPD od strony odbioru może być poddany działaniu fali o kształcie 10/350 μ s.

C.2 Ogólne cele koordynacji SPD

Koordynacja energetyczna jest potrzebna do uniknięcia nadmiernego narażenia SPD w układzie. Muszą być więc określone pojedyncze narażenia SPD, zależnie od ich usytuowania i właściwości.

Jeżeli instaluje się dwa lub więcej SPD w układzie kaskadowym, to istnieje potrzeba przeprowadzenia studiów nad koordynacją zarówno tych SPD, jak i chronionego urządzenia.

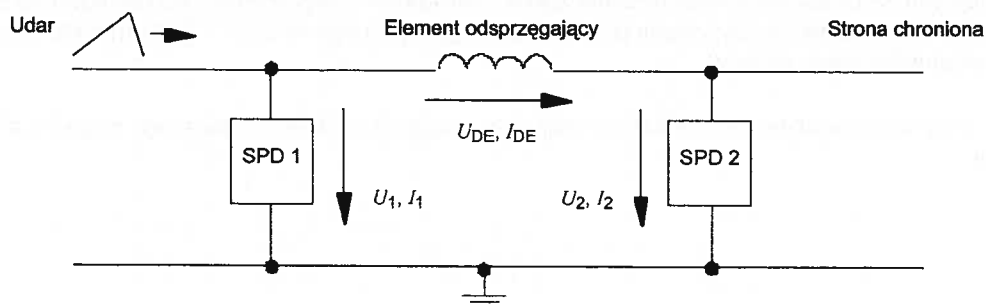
Koordynacja energetyczna jest osiągnięta, jeżeli część energii, na oddziaływanie której każdy SPD jest narażony, jest mniejsza lub równa energii przez niego wytrzymywanej. Istnieje potrzeba rozpatrzenia tej energetycznej koordynacji w odniesieniu do każdej z czterech wyszczególnionych w C.1 kształtów fal.

Wytrzymywana energia powinna być ustalona na podstawie:

- badania elektrycznego wg IEC 61643-1;
- informacji technicznej dostarczonej przez wytwórcę SPD.

Na Rysunku C.2 zilustrowano podstawowy model koordynacji energetycznej SPD. Model ten jest ważny tylko wtedy, gdy impedancja sieci połączeń wyrównawczych i wzajemna indukcyjność pomiędzy tą siecią i instalacją tworzoną przez połączenie między SPD 1 i SPD 2 jest pomijalna.

UWAGA Element odsprężający nie jest wymagany, jeżeli koordynacja energetyczna może być zapewniona przy użyciu innych stosownych środków (np. koordynacji napięciowo-prądowych charakterystyk SPD lub użycie SPD typu ucinającego napięcie, specjalnie przeznaczonych do wyzwalań przy niższych napięciach „wyzwalane SPD”).



Rysunek C.2 – Podstawowy model koordynacji energetycznej SPD

C.2.1 Zasady koordynacji

Koordynacja pomiędzy SPD może być osiągnięta przy użyciu jednej z następujących metod:

- Koordynacja charakterystyk napięciowo-prądowych (bez elementów odsprzęgających).

Metoda ta jest oparta na charakterystyce napięciowo-prądowej i jest stosowana do SPD typu ograniczającego napięcie (np. MOV lub diody przeciwzakłócenkowe). Metoda ta nie jest zbyt wrażliwa na kształt fali prądowej.

UWAGA 1 Metoda ta nie wymaga odsprzęgania, chociaż pewne naturalne odsprzęganie jest powodowane przez rzeczywistą impedancję linii.

- Koordynacja wykorzystująca specjalne elementy odsprzęgające

Jako elementy odsprzęgające do celów koordynacji mogą być użyte dodatkowe impedancje o wystarczającej wytrzymałości udarowej. W systemach informacyjnych są używane głównie rezystancyjne elementy odsprzęgające. W układach elektroenergetycznych są używane głównie indukcyjne elementy odsprzęgające. Dla koordynacyjnej skuteczności indukcyjności decydującym parametrem jest stromość prądu di/dt .

UWAGA 2 Elementy odsprzęgające mogą być realizowane albo za pomocą oddzielnych urządzeń, albo przez wykorzystanie naturalnej impedancji kabli pomiędzy kolejnymi SPD.

UWAGA 3 Indukcyjność linii zależy od wzajemnego położenia dwóch równoległych przewodów. Jeżeli oba przewody (fazowy i uziemiony) są w jednym kablu, to indukcyjność wynosi od 0,5 $\mu\text{H}/\text{m}$ do 1 $\mu\text{H}/\text{m}$ (zależnie od przekroju przewodów). Jeżeli oba przewody są rozdzielone, to powinny być przyjęte większe indukcyjności (zależnie od odstępów izolacyjnego obu przewodów).

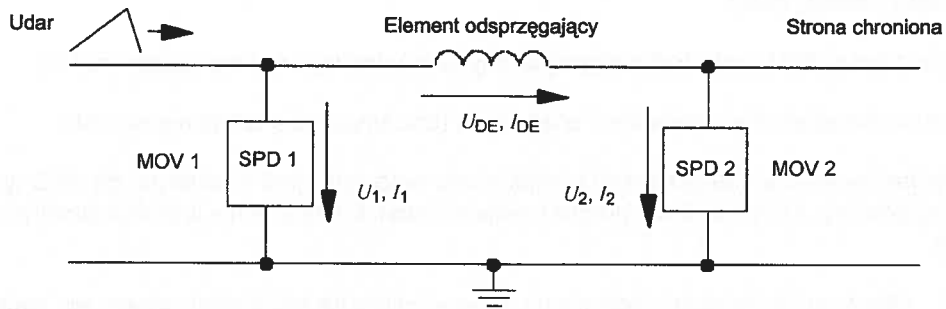
- Koordynacja wykorzystująca wyzwalane SPD (bez elementów odsprzęgających).

Koordynacja może być również osiągnięta przy użyciu wyzwalanych SPD, jeżeli obwód elektronicznego wyzwalania daje pewność, że nie będzie przekroczona wytrzymałość energetyczna kolejnych SPD.

UWAGA 4 Metoda ta nie wymaga dodatkowych elementów odsprzęgających, chociaż pewne naturalne odsprzęganie jest zapewnione przez rzeczywistą impedancję linii.

C.2.2 Koordynacja dwu SPD typu ograniczającego napięcie

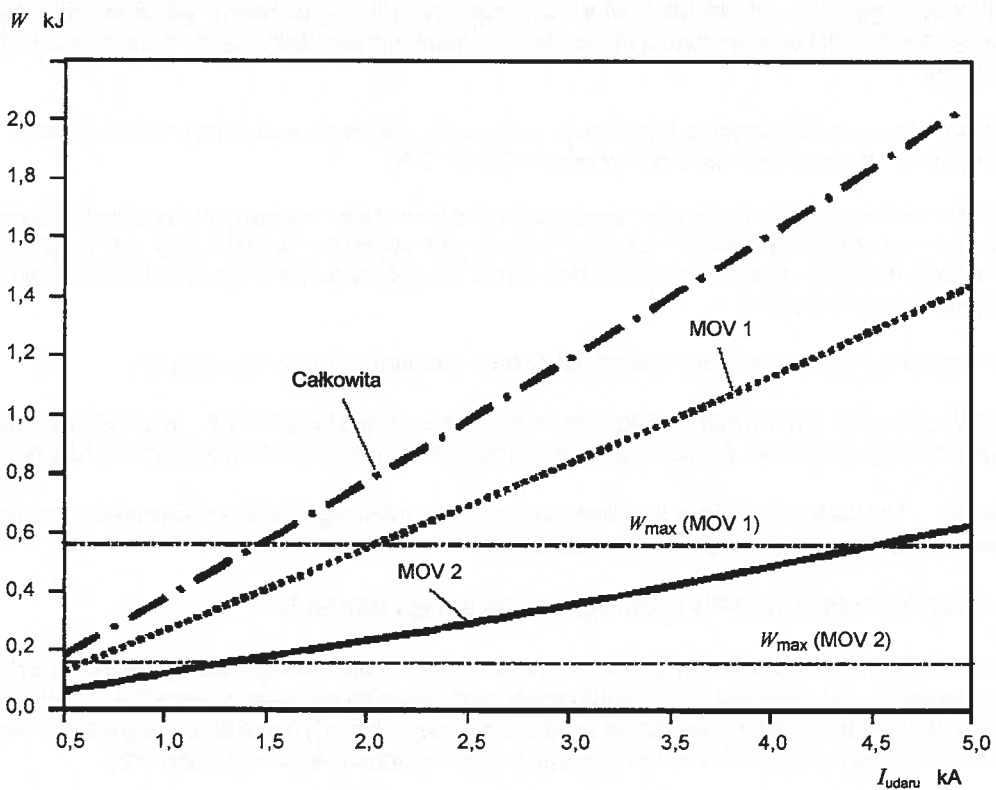
Na Rysunku C.3a pokazano schemat podstawowego obwodu dotyczącego koordynacji dwu SPD typu ograniczającego napięcie. Na Rysunku C.3b zilustrowano rozpraszanie w obwodzie energii. Całkowita energia doprowadzona do układu rośnie ze wzrostem prądu udarowego. Koordynacja jest osiągana tak długo, jak długo energia rozpraszana w każdym z SPD nie przekroczy ich wytrzymałości energetycznej.



Objaśnienia

MOV warystor z tlenków metali^{N4)}

Rysunek C.3a – Obwód z dwoma SPD typu ograniczającego napięcie



Rysunek C.3b – Zasady koordynacji energetycznej między MOV 1 i MOV 2

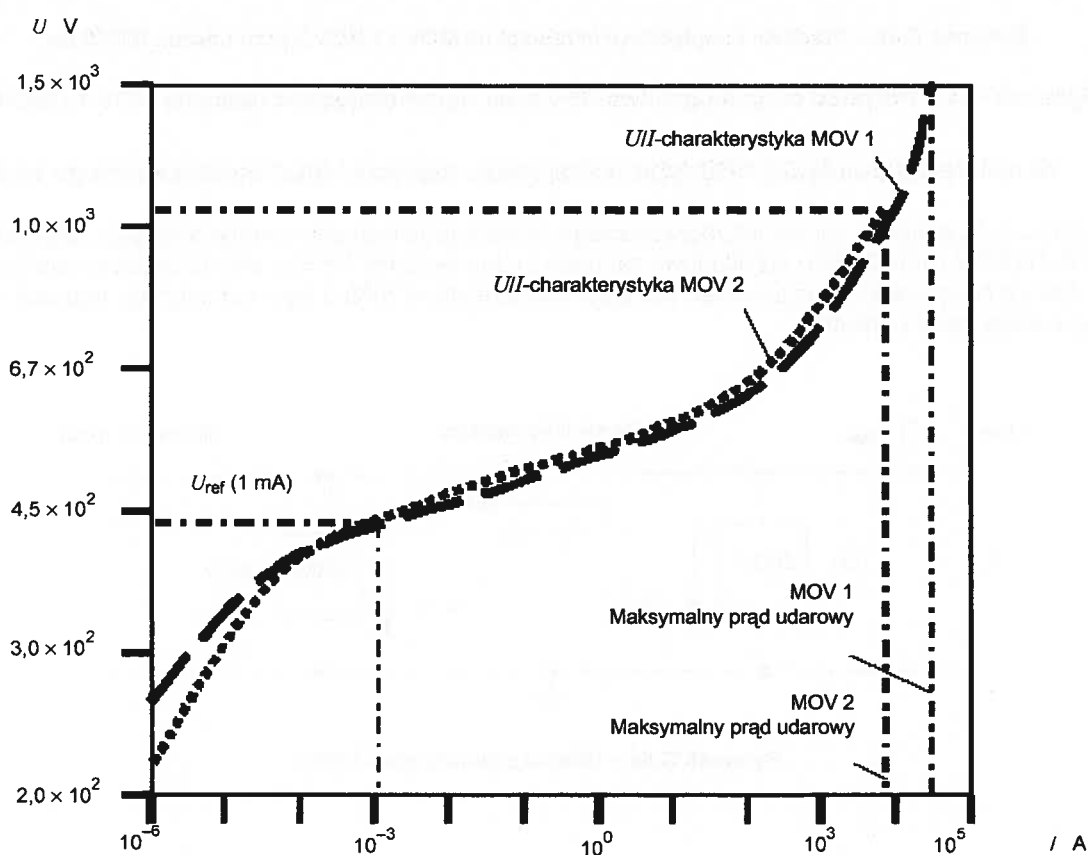
Rysunek C.3 – Kombinacja dwu SPD typu ograniczającego napięcie

^{N4)} Odsyłacz krajowy: Odpowiednia nazwa w języku angielskim metal oxide varistor

Energetyczna koordynacja dwu SPD typu ograniczającego napięcie, bez przyporządkowanych elementów odsprzęgających, powinna być realizowana poprzez koordynację ich napięciowo-prądowych charakterystyk odnoszących się do wchodzącego w grę zakresu prądu. Metoda ta nie jest istotnie zależna od kształtu fali rozpatrywanego prądu. Jeżeli wymagane są dodatkowe indukcyjności, jako elementy odsprzęgające, to kształt fali prądu udarowego powinien być uwzględniony (np. 10/350 μ s lub 8/20 μ s).

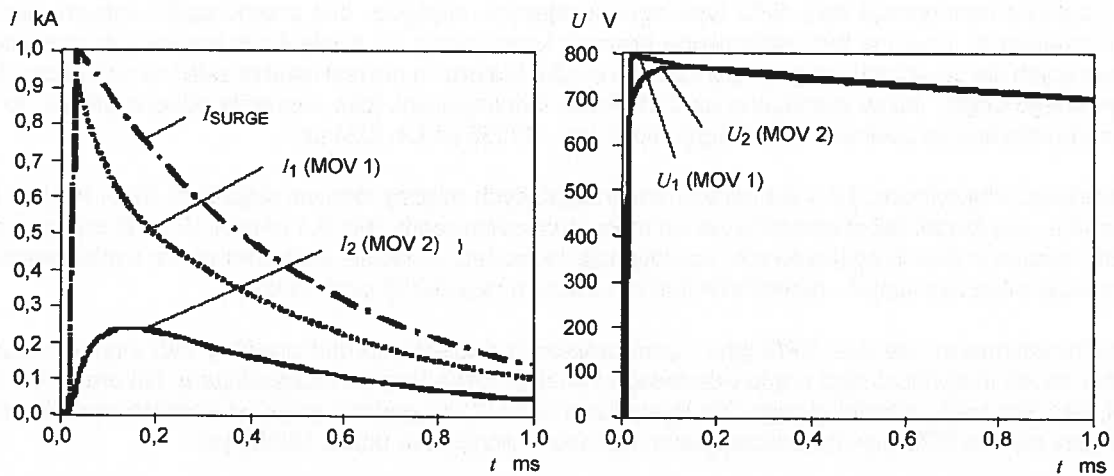
Stosowanie indukcyjności, jako elementów odsprzęgających między różnymi stopniami SPD, nie jest bardzo skuteczne, gdy kształt fali charakteryzuje się małą stromością prądu (np. 0,1 kA/ μ s). W SPD przeznaczonych do stosowania w liniach sygnałowych, koordynacja ta może być łatwiej osiągnięta przez zastosowanie, jako elementów odsprzęgających, rezystorów (lub naturalnych rezystancji przewodów).

Jeżeli koordynowane są dwa SPD typu ograniczającego napięcie, to oba powinny być zwymiarowane stosownie do ich indywidualnego prądu udarowego i energii. Czas trwania uwzględnianej fali prądu ma być tak długi, jak czas prądu oddziałującego. Na Rysunkach C.4a i C.4b podano przykład energetycznej koordynacji pomiędzy dwoma SPD typu ograniczającego napięcie w przypadku udaru 10/350 μ s.



UWAGA Jak można zauważyć w tym przykładzie, w przypadku MOV znajomość jedynie napięcia odniesienia U_{ref} jest do celów koordynacyjnych niewystarczająca.

Rysunek C.4a – Napięciowo-prądowe charakterystyki MOV 1 i MOV 2

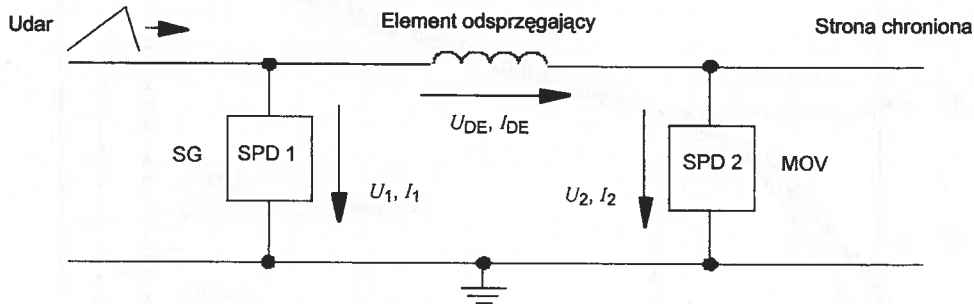


Rysunek C.4b – Prądowe i napięciowe przebiegi na MOV 1 i MOV 2 przy udarze 10/350 μs

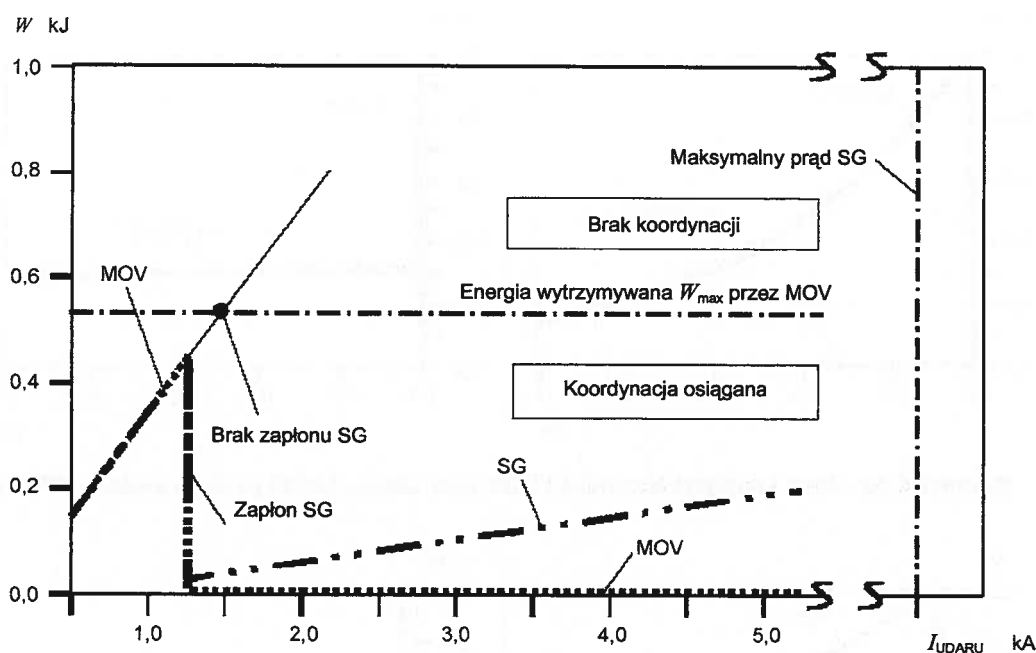
Rysunek C.4 – Przykład obejmujący dwa SPD typu ograniczającego napięcie MOV 1 i MOV 2

C.2.3 Koordynacja pomiędzy SPD typu ucinającego napięcie i typu ograniczającego napięcie

Na Rysunku C.5a pokazano schemat podstawowego obwodu tego wariantu koordynacyjnego, stosując iskiernik (SPD 1) i MOV (SPD 2), jako przykładowe elementy technologiczne. Na Rysunku C.5b zilustrowano podstawową zasadę koordynacji energetycznej, stosując charakterystyki SPD 1 typu ucinającego napięcie i SPD 2 typu ograniczającego napięcie.



Rysunek C.5a – Obwód z Iskiernikiem i MOV



Rysunek C.5b – Zasada energetycznej koordynacji iskiernika (SG) i MOV

Rysunek C.5 – Kombinacja iskiernika typu ucinającego napięcie i MOV typu ograniczającego napięcie

Zapłon iskiernika (SPD 1) zależy od sumy napięcia obniżonego U_{res} na MOV (SPD 2) i dynamicznego spadku napięcia U_{DE} na elemencie odsprzęgającym. Jak tylko napięcie U_1 przekroczy dynamiczne napięcie przeskoiku U_{SPARK} , to nastąpi zapłon iskiernika i koordynacja zostanie osiągnięta. Zależy to tylko od

- charakterystyk MOV,
- stromości wartości nadchodzącego prądu udarowego,
- elementu odsprzęgającego (indukcyjności lub rezystancji).

Gdy, jako element odsprzęgający, jest stosowana indukcyjność, to należy uwzględnić czas narastania i wartość szczytową prądu udarowego. Im większa jest stromość di/dt , tym mniejsza jest wymagana do odsprzęgania indukcyjność. Koordynując SPD badane prądem I_{imp} (próba Klasy I) i SPD badane prądem I_n (próba Klasy II), należy stosować prąd pioruna o minimalnej stromości $0,1 \text{ kA}/\mu\text{s}$ (patrz IEC 62305-1, Rozdział C.1). Koordynacja tych SPD powinna być zagwarantowana zarówno dla prądu pioruna $10/350 \mu\text{s}$, jak i dla minimalnej stromości prądu $0,1 \text{ kA}/\mu\text{s}$.

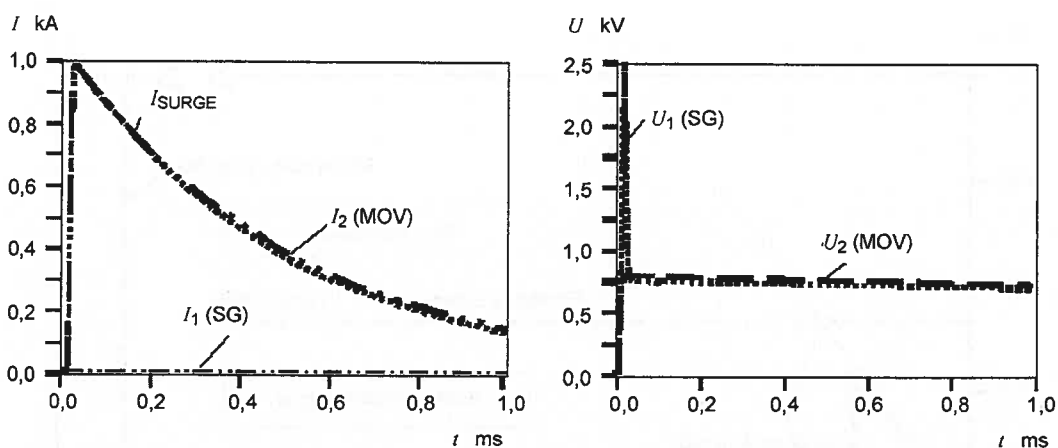
Należy uwzględnić dwie podstawowe sytuacje:

- Brak zapłonu iskiernika (Rysunek C.6a):

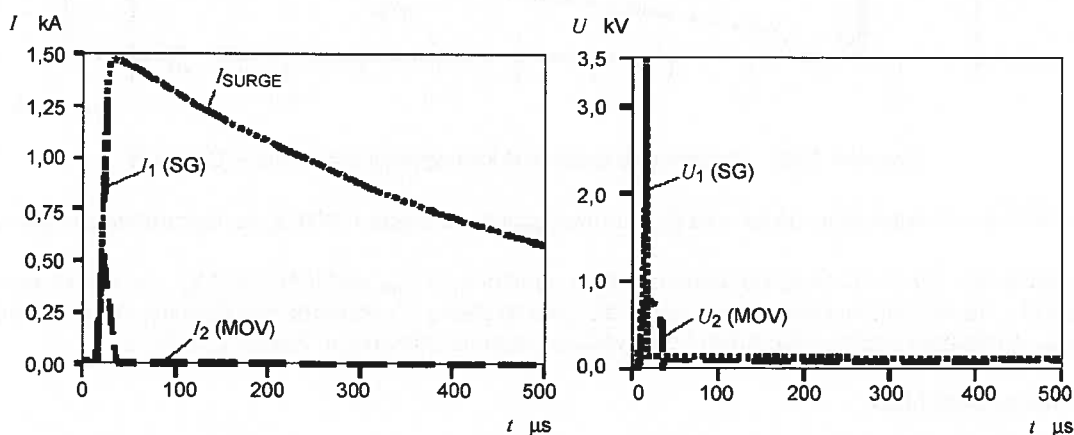
Jeżeli nie ma zapłonu iskiernika, to cały prąd udarowy płynie przez MOV. Jak pokazano na Rysunku C.5b, koordynacja nie zostaje osiągnięta, jeżeli energia tracona przez ten udar jest większa niż energia wytrzymywana przez MOV. Jeżeli, jako element odsprzęgający, jest wymagana dodatkowa indukcyjność, to koordynacja powinna być wyznaczana, przy zastosowaniu najmniej korzystnego przypadku, tj. minimalnej stromości prądu $0,1 \text{ kA}/\mu\text{s}$.

- Następuje zapłon iskiernika (Rysunek C.6b)

Jeżeli następuje zapłon iskiernika, to czas trwania prądu przepływającego przez MOV zostaje znacznie zredukowany. Jak pokazano na Rysunku C.5b, właściwa koordynacja zostaje osiągnięta, gdy zapłon iskiernika następuje przed przekroczeniem wytrzymywanej przez MOV energii.



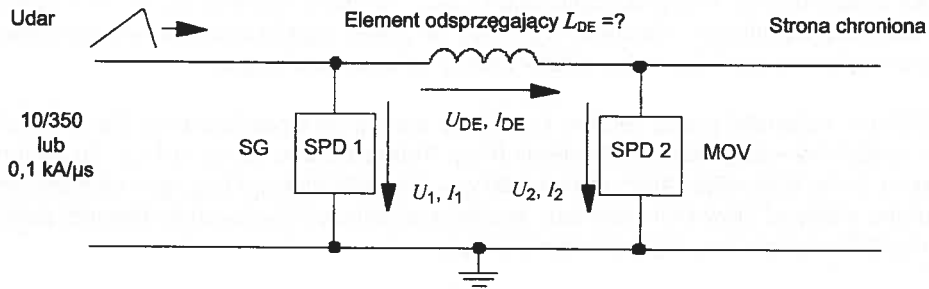
Rysunek C.6a – Prąd i napięcie iskiernika i MOV, przy udarze 10/350 μ s (brak zapłonu SPD 1)



Rysunek C.6b – Prąd i napięcie iskiernika i MOV, przy udarze 10/350 μ s (nastąpił zapłon SPD 1)

Rysunek C.6 – Przykład zawierający iskiernik typu ucinającego napięcie i MOV typu ograniczającego napięcie

Na Rysunku C.7 pokazano procedurę wyznaczania wymaganej indukcyjności odprzegajającej dla obydwu kryteriów: kształtu 10/350 μ s i minimalnej stromości 0,1 kA/ μ s prądu pioruna. Przy wyznaczaniu wymaganego elementu odprzegajającego, należy uwzględnić dynamiczne charakterystyki napięciowo-prądowe SPD. Warunek udanej koordynacji wymaga, aby zapłon iskiernika nastąpił przed przekroczeniem wytrzymawanej przez MOV energii.

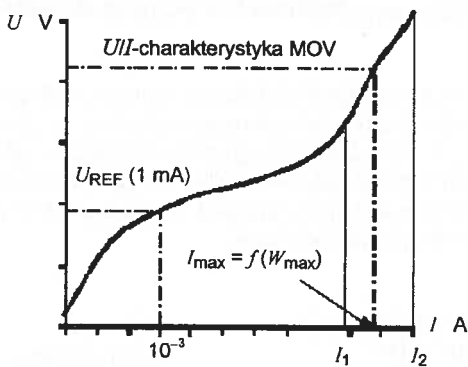


Warunek napięciowy $U_1 = U_2 + U_{DE} = U_2 + L \cdot di/dt$

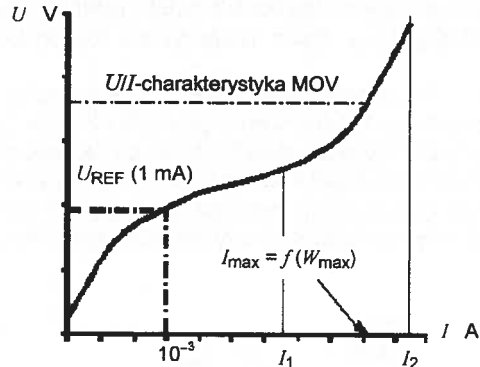
Zapłon SG $U_1 = U_{SPARK}$

Koordinacja osiągnięta Zapłon SG przed przekroczeniem wytrzymawanej przez MOV energii W_{max}

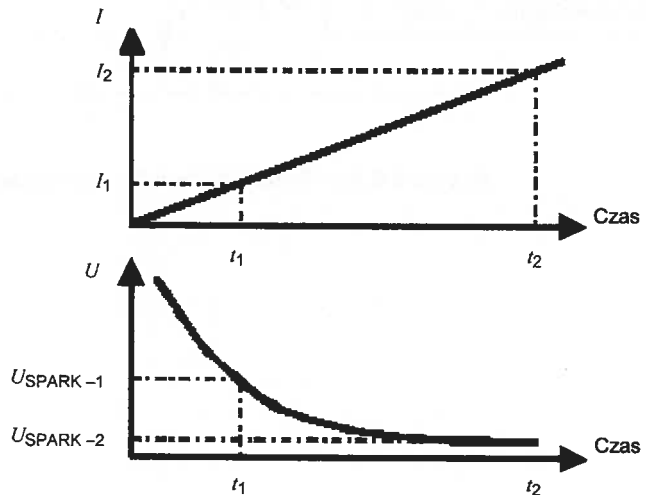
Koordinacja energetyczna przy udarze o kształcie 10/350 μs	Koordinacja energetyczna przy udarze o stromości 0,1 kA/ μs
---	--



$(I_1 < I_{max}$ dla $(L_{DE-1} \geq L_{DE-10/350})$
 $(I_2 > I_{max}$ dla $(L_{DE-2} \leq L_{DE-10/350})$



$(I_1 < I_{max}$ dla $(L_{DE-1} \geq L_{DE-0,1kA/\mu s})$
 $(I_2 > I_{max}$ dla $(L_{DE-2} \leq L_{DE-0,1kA/\mu s})$



$L_{DE} = (U_{SPARK} - U_2) / (di/dt)$, gdzie $U_2 = f(I_{max})$	
$L_{DE-10/350 \mu s} = (U_{SPARK} - U_2) / (I_{max} / 10 \mu s)$	$L_{DE-0,1kA/\mu s} = (U_{SPARK} - U_2) / (0,1 kA/\mu s)$
Wymagana L_{DE} jest większą wartością z dwu indukcyjności $L_{DE-10/350 \mu s}$ i $L_{DE-0,1 kA/\mu s}$	

Rysunek C.7 – Wyznaczanie indukcyjności odprzegajającej przy udarach o kształcie 10/350 μs i o stromości 0,1 kA/ μs

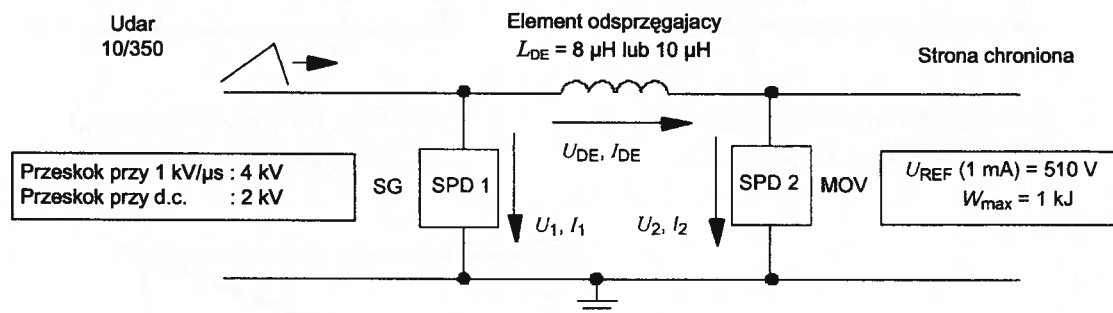
Zapłon iskiernika zależy od jego napięcia przeskoku U_{SPARK} i od sumy napięcia U_2 na MOV (SPD 2) i napięcia U_{DE} na elemencie odsprzęgającym. Napięcie U_2 zależy od prądu i (patrz charakterystyka napięciowo-prądowa MOV), podczas gdy napięcie $U_{\text{DE}} = L_{\text{DE}} di/dt$ – zależy od stromości prądu.

Dla udaru 10/350 μs , stromość prądu $di/dt \approx I_{\text{max}}/10 \mu\text{s}$ zależy od dopuszczalnej dla MOV amplitudy I_{max} , wyznaczonej z wytrzymywanej przez niego energii W_{max} . Ponieważ oba napięcia U_{DE} i U_2 są funkcjami prądu I_{max} , więc napięcie U_1 na iskierniku zależy również od I_{max} . Im większy prąd I_{max} , tym większa stromość napięcia U_1 na iskierniku. Dlatego, przy tym kryterium, napięcie przeskoku U_{SPARK} iskiernika jest zwykle opisywane jako udarowe napięcie przeskoku przy stromości 1 kV/ μs .

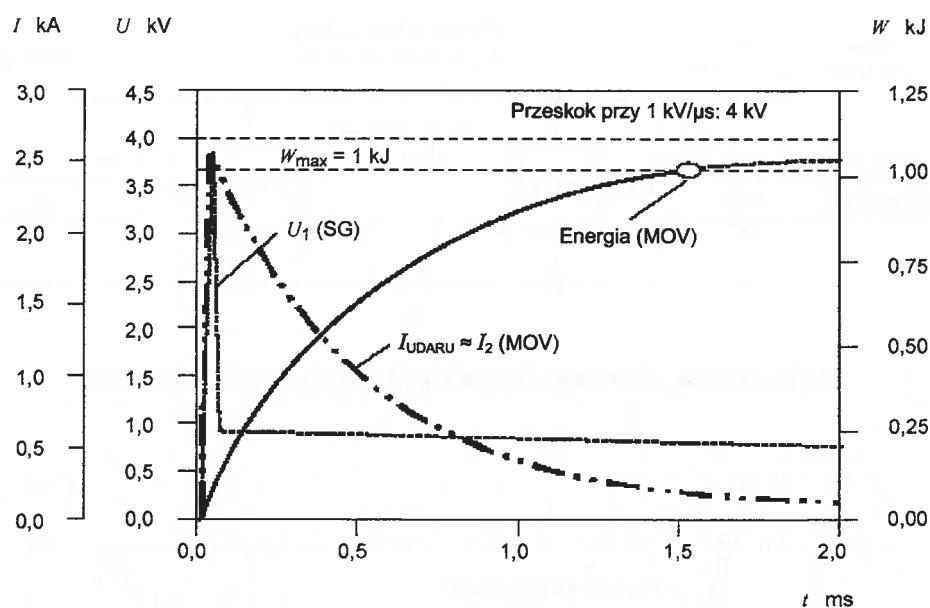
Przy narastaniu liniowym 0,1 kA/ μs , stromość prądu $di/dt = 0,1 \text{ kA}/\mu\text{s}$ jest stała. Tak więc i napięcie U_{DE} jest również stałe, podczas gdy napięcie U_2 jest – jak poprzednio – funkcją prądu I_{max} . Stromość napięcia U_1 na iskierniku podąża zatem za charakterystyką napięciowo-prądową MOV i jest dużo mniejsza w porównaniu z pierwszym przypadkiem. Z powodu dynamicznej charakterystyki napięcia pracy iskiernika, jego napięcie przeskoku maleje ze wzrostem czasu trwania spadku napięcia na iskierniku. Ten czas trwania zależy od I_{max} , wyznaczonego z wytrzymywanej przez MOV energii W_{max} . Dlatego należy przyjąć, że napięcie przeskoku U_{SPARK} maleje ze wzrostem czasu trwania przepływu prądu przez MOV – prawie do stałego napięcia robocznego przy 500 V/s.

Ostatecznie większa wartość z indukcyjności: $L_{\text{DE-10/350 } \mu\text{s}}$ i $L_{\text{DE-0,1 kA}/\mu\text{s}}$ powinna być przyjęta dla indukcyjności odsprzęgającej L_{DE} . Patrz, na przykład, Rysunki C.8 i C.9.

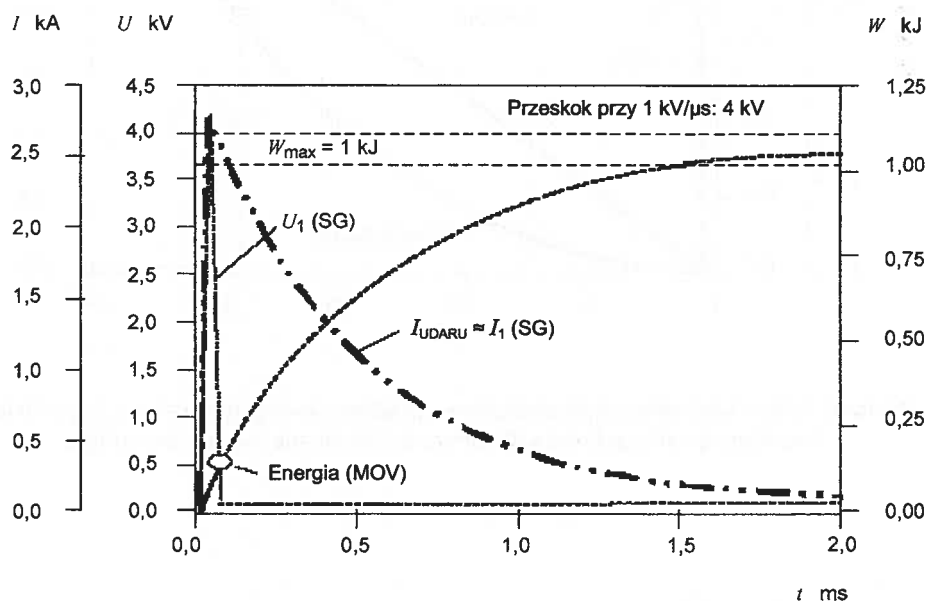
UWAGA Do określenia elementu odsprzęgającego w sieci elektroenergetycznej niskiego napięcia, najmniej korzystnym przypadkiem byłoby zwarcie przy SPD 2 ($U_2 = 0$), stąd maksymalizacja wymaganego napięcia U_{DE} . Jeżeli SPD 2 jest typu ograniczającego napięcie, to ma on napięcie obniżone, $U_2 > 0$, które znacznie ogranicza wymagane napięcie U_{DE} . To obniżone napięcie jest większe co najmniej od wartości szczytowej napięcia zasilania elektroenergetycznego (np. napięcie znamionowe AC 230 V: wartość szczytowa $\sqrt{2} \cdot 230 \text{ V} = 325 \text{ V}$). Uwzględnienie napięcia obniżonego SPD 2 pozwala właściwie zwymiarować elementy odsprzęgające. Inaczej byłyby one przewymiarowane.



Rysunek C.8a – Schemat obwodu koordynacji przy udarze 10/350 μs

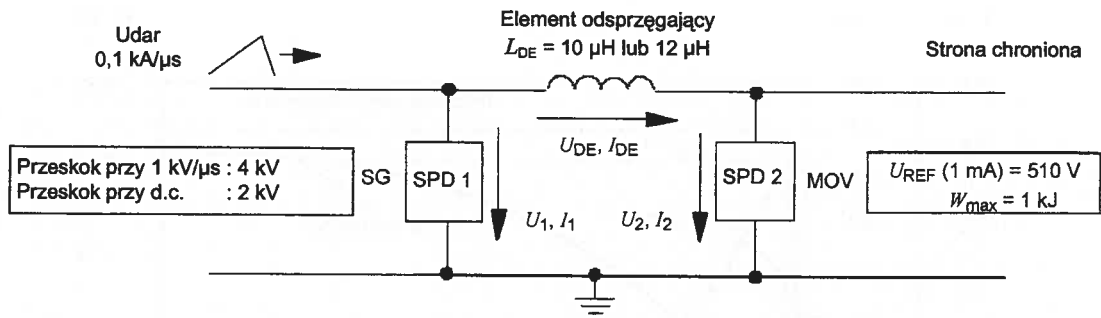


Rysunek C.8b – Charakterystyki napięciowo-prądowo-energetyczne przy $L_{DE} = 8 \mu\text{H}$.
 Koordynacja energetyczna dla udaru 10/350 nie została osiągnięta (nie nastąpił zapłon iskiernika)

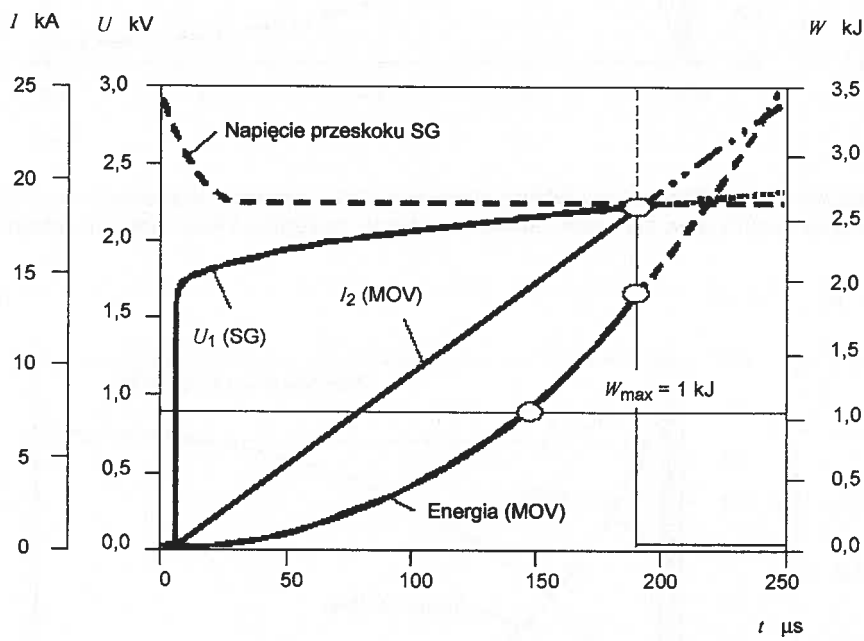


Rysunek C.8c – Charakterystyki napięciowo-prądowo-energetyczne przy $L_{DE} = 10 \mu\text{H}$.
 Koordynacja energetyczna dla udaru 10/350 została osiągnięta (nastąpił zapłon iskiernika)

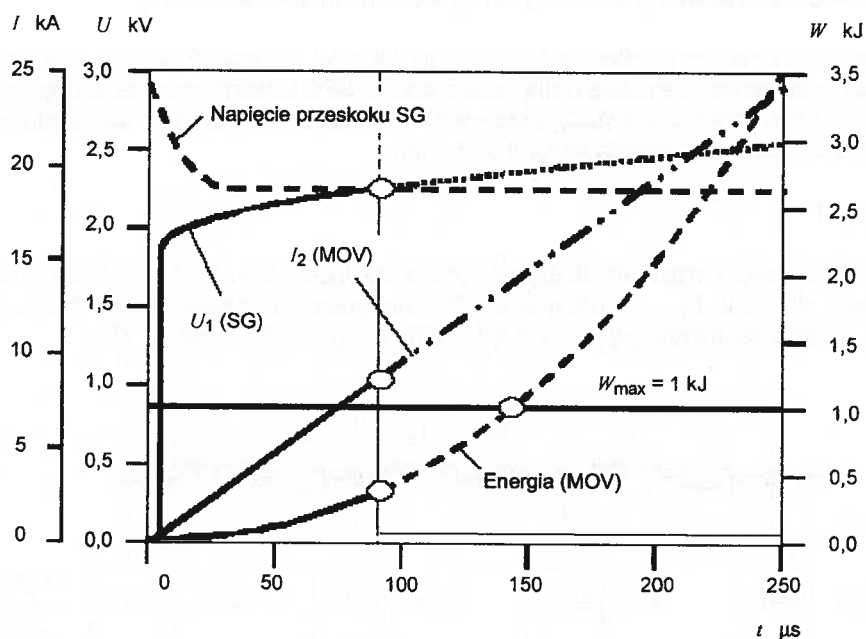
Rysunek C.8 – Przykład z iskiernikiem i MOV przy udarze 10/350 μs



Rysunek C.9a – Schemat obwodu koordynacji przy udarze 0,1 kA/μs



Rysunek C.9b – Charakterystyki napięciowo-prądowo-energetyczne przy $L_{DE} = 10 \mu H$.
 Koordynacja energetyczna dla udaru 0,1 kA/μs nie została osiągnięta



Rysunek C.9c – Charakterystyki napięciowo-prądowo-energetyczne przy $L_{DE} = 12 \mu\text{H}$.
Koordinacja energetyczna dla udaru $0,1 \text{ kA}/\mu\text{s}$ została osiągnięta

Rysunek C.9 – Przykład z iskiernikiem i MOV przy udarze $0,1 \text{ kA}/\mu\text{s}$

C.2.4 Koordynacja dwu SPD typu ucinającego napięcie

Ten wariant koordynacyjny jest opisany z uwzględnieniem iskierników (SG), jako przykładowych elementów technologicznych. Przy koordynacji iskierników, należy uwzględnić dynamiczne charakterystyki działania.

Po zapłonie SG 2, koordynacja będzie realizowana za pomocą elementu odsprzęgającego. W celu wyznaczenia wymaganej wartości elementu odsprzęgającego, SG 2 może być zastąpiony zwarcim. Do zapłonu SG 1 potrzebny jest dynamiczny spadek napięcia na elemencie odsprzęgającym większy niż napięcie działania SG 1.

W przypadku elementów odsprzęgających w postaci indukcyjności, wymagany spadek U_{DE} zależy głównie od stromości prądu udarowego. Zatem należy uwzględnić kształt fali i stromość udaru.

W przypadku elementów odsprzęgających w postaci rezystancji, wymagany spadek U_{DE} zależy głównie od wartości szczytowej prądu udarowego. Wartość ta powinna być również rozpatrywana, gdy dobierane są impulsowe parametry znamionowe elementu odsprzęgającego.

Po zapłonie SG 1, cała energia zostaje podzielona zgodnie z charakterystyką napięciowo-prądową poszczególnych elementów.

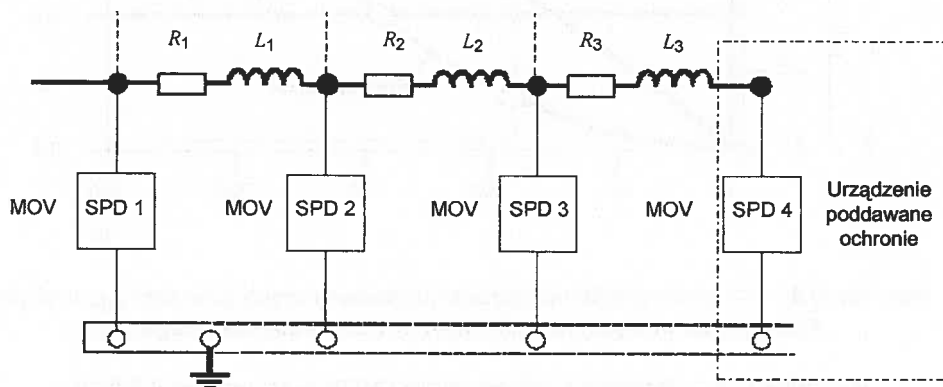
UWAGA W przypadku iskierników lub jarzeniówek, stromość impulsu ma zasadnicze znaczenie.

C.3 Podstawowe warianty koordynacji dla układów ochrony

Istnieją cztery warianty koordynacyjne dla układów ochrony: W pierwszych trzech stosuje się SPD dwójnikowe, podczas gdy w czwartym wariantie mają zastosowanie SPD czwórnikowe ze zintegrowanymi elementami odsprzęgającymi. Te warianty koordynacyjne powinny być brane pod uwagę (z uwzględnieniem również SPD zintegrowanych z urządzeniami poddawanych ochronie).

C.3.1 Wariant I

Wszystkie SPD mają ciągłą charakterystykę napięciowo-prądową (np. MOV lub diody przeciwzakłócenkowe) i to samo napięcie obniżone U_{RES} . Koordynacja SPD i urządzenia poddawane ochronie jest osiągnięta zwykle za pomocą impedancji znajdujących się między nimi linii (patrz Rysunek C.10).



$$U_{RES} (\text{SPD } 1) = U_{RES} (\text{SPD } 2) = U_{RES} (\text{SPD } 3) = U_{RES} (\text{SPD } 4)$$

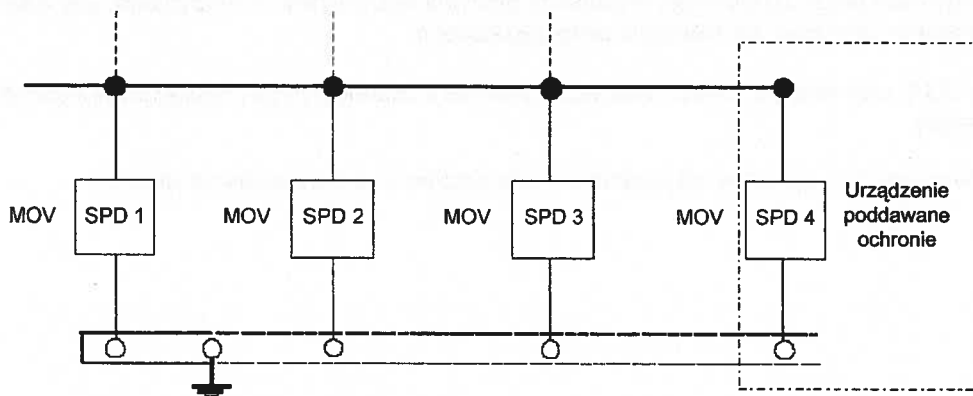
Rysunek C.10 – Koordynacyjny wariant I – SPD typu ograniczającego napięcie

C.3.2 Wariant II

Wszystkie SPD mają ciągłą charakterystykę napięciowo-prądową (np. MOV, diody przeciwzakłócenkowe). Napięcie obniżone U_{RES} wzrasta stopniowo od SPD 1 do SPD 3 (patrz Rysunek C.11).

Jest to wariant koordynacyjny dla elektroenergetycznych układów zasilających.

UWAGA Wariant ten wymaga, aby napięcie obniżone elementu ochronnego wewnątrz urządzenia poddawane ochronie (SPD 4) było większe niż napięcie obniżone SPD zainstalowanego bezpośrednio przed nim (SPD 3).



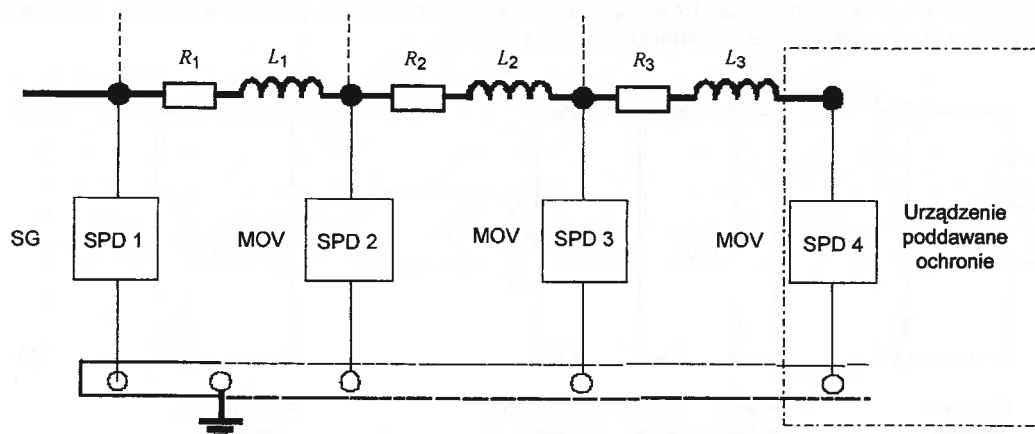
$$U_{RES} (\text{SPD } 1) < U_{RES} (\text{SPD } 2) < U_{RES} (\text{SPD } 3) < U_{RES} (\text{SPD } 4)$$

Rysunek C.11 – Koordynacyjny wariant II – SPD typu ograniczającego napięcie

C.3.3 Wariant III

SPD 1 ma nieciągłą charakterystykę napięciowo-prądową (np. iskiernik). Kolejne SPD mają ciągłą charakterystykę napięciowo-prądową (np. MOV lub diody przeciwzakłóceńowe). Wszystkie SPD mają to samo napięcie obniżone U_{RES} (patrz Rysunek C.12).

Charakterystyczną cechą tego wariantu jest to, że dzięki ucinającemu działaniu SPD 1 zostaje osiągnięta redukcja czasu do półszczytu początkowego impulsu prądowego 10/350 μ s, co znacznie odciąża następne SPD.

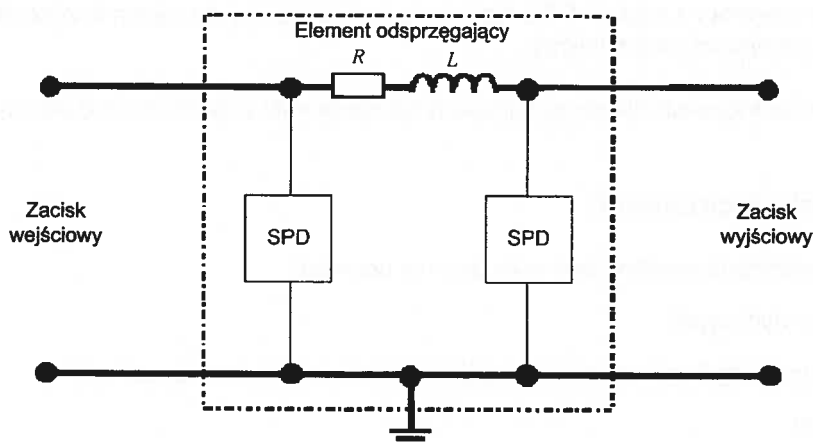


$$U_{RES} (\text{SPD } 1) < U_{RES} (\text{SPD } 2) < U_{RES} (\text{SPD } 3) < U_{RES} (\text{SPD } 4)$$

Rysunek C.12 – Koordynacyjny wariant III – SPD typu ucinającego napięcie i SPD typu ograniczającego napięcie

C.3.4 Wariant IV

Dostępne są SPD czwórnikowe, które łączą w sobie wewnętrznie skoordynowane kaskadowe stopnie SPD z szeregowymi impedancjami lub filtrami (patrz Rysunek C.13). Udana koordynacja wewnętrzna zapewnia minimalny transfer energii do następnych SPD lub chronionego urządzenia. Te SPD powinny być całkowicie skoordynowane z innymi SPD układu, zgodnie z właściwym wariantem I, II lub III.



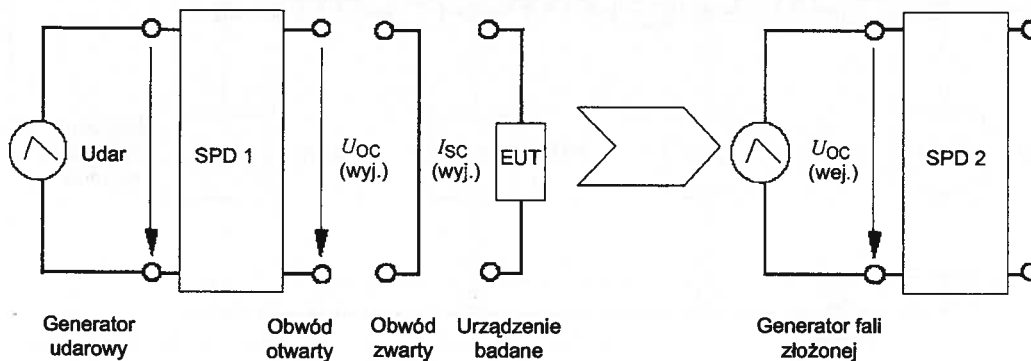
UWAGA Impedancja szeregową lub filtr mogą być pominięte, jeżeli energetyczna koordynacja jest zapewniona przez inne stosowne środki (np. koordynację charakterystyk napięciowo-prądowych lub użycie wyzwalanych SPD).

Rysunek C.13 – Koordynacyjny wariant IV – różne SPD w jednym elemencie

C.4 Koordynacja wg metody „przepuszczonej energii”

Impulsy z generatora fali złożonej mogą być użyte do doboru i koordynacji SPD. Głównym pożytkiem tej metody jest możliwość potraktowania SPD jako czarnej skrzynki (patrz Rysunek C.14). Dla danego udaru na wejściu do SPD 1 są określone wartości wejściowe napięć otwartego obwodu oraz prądy obwodu zwartego (metoda „przepuszczonej energii”). Te charakterystyki wyjściowe są przekształcane w charakterystyki narażeniowe, równoważne 2Ω fali złożonej (napięcie $1,2/50 \mu\text{s}$ otwartego obwodu, prąd $8/20 \mu\text{s}$ obwodu zwartego). Korzyścią jest to, że nie jest wymagana specjalna wiedza o wewnętrznej konstrukcji SPD.

UWAGA Metoda ta daje dobre wyniki, gdy SPD 2 nie ma sprzężenia zwrotnego z SPD 1. Oznacza to, że warunki udarowe na wejściu SPD 2 są warunkami quasi-wymuszonego prądu. Ma to miejsce, gdy charakterystyki napięciowo-prądowe SPD 1 i SPD 2 są bardzo różne (np. koordynacja iskiernika z MOV).



$$U_{oc} \text{ (wyj.) SPD 1} \leq U_{oc} \text{ (wej.) SPD 2}$$

Przekształcenie $U_{oc} \text{ (wyj.)}$ i $I_{sc} \text{ (wyj.)}$ w równoważną falę złożoną: U_{oc} (kształt $1,2/50 \mu\text{s}$), I_{sc} (kształt $8/20 \mu\text{s}$), $Z_i = 2 \Omega$

Rysunek C.14 – Koordynacja wg metody „przepuszczonej energii”

Celem tej metody koordynacyjnej jest wytworzenie sygnałów na wejściu do SPD 2 (np. prądu wyładowania) porównywalnych z wartościami na wyjściu z SPD 1 (np. napięciowym poziomem ochrony).

Przy właściwej koordynacji, parametry równoważnej fali złożonej na wyjściu SPD 1 nie powinny przewyższać parametrów tej fali złożonej, która może być bez uszkodzenia pochłonięta przez SPD 2.

Równoważna fala złożona na wyjściu SPD 1 powinna być określona dla najmniej korzystnego przypadku narażeń (I_{max} , U_{max} , przepuszczona energia).

UWAGA Dodatkowe informacje dotyczące tej metody koordynacyjnej są podane w IEC 61643-12.

C.5 Wykazanie koordynacji

Koordynacja energetyczna powinna być wykazana za pomocą:

- 1) Próby koordynacyjnej

Koordynacja może być wykazywana przez porównanie kolejnych przypadków.

- 2) Obliczenia

Proste przypadki mogą być wynikiem aproksymacji, a złożone układy mogą wymagać symulacji komputerowej.

- 3) Zastosowania rodzin skoordynowanych SPD.

Producent SPD powinien wykazać, że koordynacja jest osiągnięta.

Załącznik D (informacyjny)

Dobór i instalowanie skoordynowanego układu SPD

W złożonych układach elektrycznych i elektronicznych, przy doborze i instalowaniu właściwego układu skoordynowanych SPD, muszą być brane pod uwagę zarówno obwody elektroenergetyczne, jak i sygnałowe.

D.1 Dobór SPD

D.1.1 Dobór ze względu na napięciowy poziom ochrony

Udarowe napięcie wytrzymałowe U_w urządzenia poddawanego ochronie powinno być określone dla:

- linii elektroenergetycznych i terminali urządzeń wg IEC 60664-1,
- linii telekomunikacyjnych i terminali urządzeń wg ITU-T K.20 i K.21,
- innych linii terminali urządzeń według uzyskanej od producenta informacji.

Układy wewnętrzne są chronione, jeżeli:

- ich udarowe napięcie wytrzymałowe U_w jest równe lub większe niż napięciowy poziom ochrony U_p danego SPD, zwiększony o margines niezbędny do uwzględnienia spadku napięcia na przewodach łączących;
- są one skoordynowane energetycznie z SPD od strony zasilania.

UWAGA 1 Poziom ochrony U_p danego SPD jest odniesiony do napięcia obniżonego przy określonym prądzie znamionowym I_n . Dla prądów większych lub mniejszych przepływających przez SPD, wartość napięcia na zaciskach SPD będzie odpowiednio zmieniona.

UWAGA 2 Kiedy SPD jest przyłączony do urządzenia poddawanego ochronie, indukcyjny spadek napięcia ΔU na łączących przewodach dodaje się do poziomu ochrony U_p danego SPD. Wypadkowy faktyczny poziom ochrony U_{pff} , określony jako napięcie wyjściowe SPD, wynikające z poziomu ochrony i spadku napięcia na połączeniach (patrz Rysunek D.1), może być przyjęty jako:

$$U_{pff} = U_p + \Delta U \quad \text{dla SPD typu ograniczającego napięcie;}$$

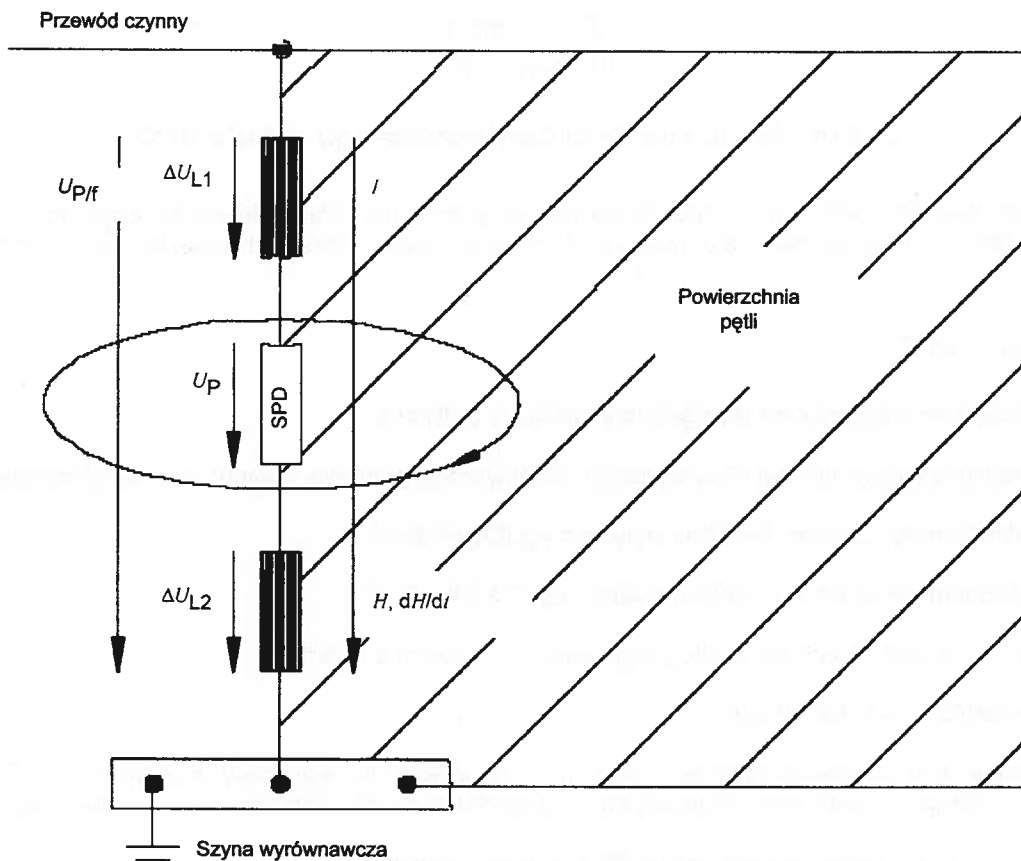
$$U_{pff} = \max(U_p, \Delta U) \quad \text{dla SPD typu ucinającego napięcie.}$$

Dla pewnych SPD typu ucinającego może być wymagane dodanie napięcia łuku do ΔU . To napięcie łuku może osiągać wartość kilkuset woltów. Dla SPD typu złożonego mogą być wymagane wzory bardziej złożone.

Kiedy SPD przewodzi częściowy prąd pioruna, to należy przyjąć $\Delta U = 1$ kV na jeden metr długości, lub margines bezpieczeństwa przynajmniej 20 %, gdy długość przewodów łączących jest $\leq 0,5$ m. Kiedy SPD przenosi tylko udary indukowane, to ΔU może być pominięte.

UWAGA 3 Napięciowy poziom ochrony U_p powinien być porównany z udarowym napięciem wytrzymałym U_w urządzenia badanego w tych samych warunkach co SPD (kształt fali napięcia i prądu oraz energia, urządzenie pod napięciem itp.). Sprawa ta jest rozpatrywana.

UWAGA 4 Urządzenie może zawierać wewnętrzny SPD. Charakterystyki tych wewnętrznych SPD mogą wpływać na koordynację.



Objaśnienia

I	częściowy prąd pioruna
$U_{P/f} = U_p + \Delta U$	napięcie udarowe pomiędzy przewodem czynnym a szyną wyrównawczą
U_p	graniczne napięcie SPD
$\Delta U = \Delta U_{L1} + \Delta U_{L2}$	indukcyjny spadek napięcia na przewodach łączących
$H, dH/dt$	pole magnetyczne i jego pochodna względem czasu

Napięcie udarowe $U_{P/f}$ pomiędzy przewodem czynnym a szyną wyrównawczą jest wyższe niż poziom ochrony U_p danego SPD, z powodu indukcyjnego spadku napięcia ΔU na przewodach łączących (nawet jeżeli maksymalne wartości U_p i ΔU występują niekoniecznie jednocześnie). Mianowicie częściowy prąd pioruna, płynący przez SPD, indukuje dodatkowe napięcie w pętli po chronionej stronie obwodu następującego po SPD. Zatem maksymalne napięcie stanowiące zagrożenie przyłączonego urządzenia może być znacznie większe niż poziom ochrony U_p danego SPD.

Rysunek D.1 – Napięcie udarowe pomiędzy przewodem czynnym a szyną wyrównawczą

D.1.2 Dobór ze względu na usytuowanie i prąd wyładowczy

SPD powinny wytrzymać prąd wyładowczy spodziewany w miejscu ich zainstalowania zgodnie z Załącznikiem E do IEC 62305-1. Użycie SPD zależy od ich wytrzymałości zastrzeżonej w IEC 61643-1 dla układów elektroenergetycznych i w IEC 61643-21 – dla układów telekomunikacyjnych.

SPD powinny być dobierane według zamierzonego miejsca ich instalacji, jak następuje:

a) Na wejściu linii do obiektu (na granicy LPZ 1, np. przy głównej rozdzielnicy BM):

- **SPD badane prądem I_{imp} (próba Klasy I)**

Wymagany prąd udarowy I_{imp} danego SPD powinien odpowiadać (częściowemu) prądowi pioruna, jakiego należy oczekiwać w tym punkcie instalacji – na podstawie LPL wybranego wg Rozdziału E.1 i/lub Rozdziału E.2 w IEC 62305-1.

- **SPD badane prądem I_n (próba Klasy II)**

Ten typ SPD może być użyty, gdy wchodzące linie znajdują się całkowicie w LPZ 0_B lub gdy prawdopodobieństwa uszkodzenia SPD wskutek źródeł uszkodzenia S1 i S3 mogą być pominięte. Wymagany znamionowy prąd wyładowczy I_n danego SPD powinien odpowiadać poziomowi udarowemu, jakiego należy oczekiwać w tym punkcie instalacji – na podstawie LPL wybranego wg E.2.2 w IEC 62305-1.

b) Blisko aparatu poddawanego ochronie (na granicy LPZ 2 i wyższej, np. przy kolejnej rozdzielnicy SB lub przy gnieździe wtyczkowym SA):

- **SPD badane prądem I_n (próba Klasy II)**

Wymagany znamionowy prąd wyładowczy I_n danego SPD powinien odpowiadać poziomowi udarowemu, jakiego należy oczekiwać w tym punkcie instalacji – na podstawie LPL wybranego wg Rozdziału E.3 w IEC 62305-1.

- **SPD badane falą złożoną (próba Klasy III)**

Wymagane napięcie U_{oc} otwartego obwodu generatora fali złożonej należy wybrać tak, aby stowarzyszony prąd I_{sc} obwodu zwartego odpowiadał poziomowi udarowemu, jakiego należy oczekiwać w tym punkcie instalacji – na podstawie LPL wybranego ponownie wg Rozdziału E.3 w IEC 62305-1.

D.2 Instalowanie skoordynowanego układu SPD

Skuteczność skoordynowanego układu SPD zależy nie tylko od właściwego doboru SPD, lecz również od ich prawidłowej instalacji. Należy wziąć pod uwagę:

- lokalizację SPD;
- przewody łączące;
- odległości ochronne z uwagi na oscylacje;
- odległości ochronne z uwagi na zjawiska indukcyjne.

D.2.1 Lokalizacja SPD

Lokalizacja SPD powinna spełniać wymagania D.1.2 i jest uzależniona głównie od:

- wpływu określonego źródła uszkodzenia (np. wyładowań piorunowych w obiekt (S1), w linię (S3), w ziemię blisko obiektu (S2) lub w ziemię blisko linii (S4)),
- możliwości odprowadzenia prądu udarowego do ziemi (możliwie najbliższej punktu wejścia linii do obiektu).

Pierwszym kryterium do rozpatrzenia jest: im SPD jest bliżej punktu wejścia linii do obiektu, tym większa jest liczba urządzeń w obiekcie, które są chronione przez ten SPD (zaleta oszczędnościowa). Następnie powinno być sprawdzone drugie kryterium: im SPD jest bliżej chronionego urządzenia, tym bardziej skuteczna jest jego ochrona (zaleta techniczna).

D.2.2 Przewody łączące

Przewody łączące SPD powinny mieć minimalne przekroje wg Tablicy 1.

D.2.3 Odległość ochronna l_{po} z uwagi na oscylacje

Podczas stanu działania SPD napięcie pomiędzy jego zaciskami jest ograniczone do U_{pff} w miejscu usytuowania SPD. Jeżeli długość obwodu pomiędzy SPD a urządzeniem jest zbyt duża, to propagacja ударów może prowadzić do zjawiska oscylacji. W przypadku obwodu otwartego na zaciskach urządzenia, może to zwiększyć napięcie do $2 \cdot U_{pff}$ i spowodować uszkodzenie urządzenia nawet, gdy $U_{pff} \leq U_w$.

Odległość ochronna l_{po} z uwagi na oscylacje jest maksymalną długością obwodu między SPD i urządzeniem, którego ochrona za pomocą tego SPD jest jeszcze możliwa (ze względu na zjawiska oscylacji i pojemnościowe obciążenie).

Zależy to od technologii SPD, zasad instalacyjnych i pojemności obciążenia.

Jeżeli długość obwodu jest mniejsza od 10 m lub $U_{pff} < U_w / 2$, to odległość ochronna l_{po} może być pominięta.

UWAGA Jeżeli maksymalna długość obwodu pomiędzy SPD a urządzeniem jest większa niż 10 m i $U_{pff} > U_w / 2$, to odległość ochronna z uwagi na oscylacje może być oszacowana przy wykorzystaniu następującej zależności:

$$l_{po} = [U_w - U_{pff}] / k \text{ (m)}$$

gdzie $k = 25 \text{ V/m}$.

D.2.4 Odległość ochronna l_{pi} z uwagi na zjawiska indukcyjne

Wyładowania piorunowe w obiekt lub w ziemię blisko obiektu mogą indukować – w pętli obwodu między SPD a urządzeniem – napięcie, które dodaje się do U_p , co zmniejsza skuteczność ochronną SPD. Napięcia indukowane rosną z rozmiarami pętli (trasą linii, długością obwodu, odległością między PE a przewodami czynnymi, powierzchnią pętli między liniami: elektroenergetyczną i sygnałową), a maleją z tłumieniem natężenia pola magnetycznego (ekranowaniem przestrzennym i/lub ekranowaniem linii).

Odległość ochronna l_{pi} z uwagi na zjawiska indukcyjne jest maksymalną długością obwodu między SPD a urządzeniem, którego ochrona za pomocą tego SPD jest jeszcze możliwa (ze względu na zjawiska indukcyjne).

Na ogół należałoby dążyć do minimalizacji pętli pomiędzy SPD a urządzeniem, gdy pole magnetyczne wytwarzane przez piorun jest uznane za zbyt wysokie. Poza tym, pole magnetyczne i efekty indukcyjne mogą być zredukowane za pomocą

- ekranowania przestrzennego budynku (LPZ 1) lub pomieszczeń (LPZ 2 i wyższych),
- ekranowania linii (z zastosowaniem ekranowanych kabli lub kanałów kablowych).

Jeżeli są przestrzegane te środki zaradcze, to odległość ochronna l_{pi} z uwagi na zjawiska indukcyjne może być zbagatelizowana.

UWAGA W bardzo trudnych warunkach (wielka pętla nieekranowanych linii i bardzo duże wartości indukującego prądu pioruna) odległość ochronna l_{pi} , z uwagi na zjawiska indukcyjne, może być oszacowana zgodnie z następującym wyrażeniem:

$$l_{pi} = [U_w - U_{pff}] / h \text{ (m)}$$

w którym:

$h = 300 \times K_{S1} \times K_{S2} \times K_{S3} \text{ (V/m)}$ dla wyładowań blisko obiektu, lub

$h = 30\,000 \times K_{S0} \times K_{S2} \times K_{S3} \text{ (V/m)}$ dla wyładowań w obiekt (najmniej korzystny przypadek).

K_{S1} , K_{S2} , K_{S3} są współczynnikami podanymi w Rozdziale B.3 IEC 62305-2, mianowicie:

- K_{S1} : ekranowanie przestrzenne za pomocą LPS lub innych ekranów na granicy LPZ 0/1,
- K_{S2} : ekranowanie przestrzenne za pomocą ekranów na granicy LPZ 1/2, lub wyższej,
- K_{S3} : charakteryzuje wewnętrzne przewodowanie.
- K_{S0} jest współczynnikiem uwzględniającym skuteczność ekranowania za pomocą LPS na granicy LPZ 0/1 i wynosi:
- $K_{S0} = 0,06 \times w^{0,5}$ dla ażurowego LPS z szerokością oka w (m), lub
- $K_{S0} = K_c$ dla LPS nieażurowego (patrz Załącznik C do IEC 62305-3).

D.2.5 Koordynacja SPD

W skoordynowanym układzie SPD, występujące w kaskadzie SPD powinny być skoordynowane energetycznie zgodnie z IEC 61643-12 lub IEC 61643-22. Wytwórca SPD powinien zapewnić wystarczającą informację jak osiągnąć energetyczną koordynację między jego SPD.

Informacje na temat koordynacji SPD są podane w Załączniku C.

D.2.6 Procedura instalacyjna skoordynowanego układu SPD

Skoordynowany układ SPD powinien być instalowany jak następuje:

- 1) Na wejściu linii do obiektu (na granicy LPZ 1, np. w punkcie instalacyjnym MB) zainstalować SPD 1 (D.1.2).
- 2) Określić udarowe napięcie wytrzymałowe U_w urządzeń wewnętrznych poddawanych ochronie.
- 3) Wybrać dla danego SPD 1 napięciowy poziom ochrony U_{p1} , tak aby było pewne, że faktyczny poziom ochrony $U_{pff1} \leq U_w$.
- 4) Sprawdzić wymagania dotyczące odległości ochronnych $I_{po/1}$ oraz $I_{pi/1}$ (D.2.3 i D.2.4).

Jeżeli warunki 3) i 4) są spełnione, to urządzenie jest chronione przez SPD 1.

W przeciwnym razie potrzebne są dodatkowe SPD 2.

- 5) Zainstalować bliżej urządzenia (na granicy LPZ 2, np. w punkcie instalacyjnym SB lub SA) SPD 2, wg (D.1.2), i skoordynować go energetycznie z SPD 1 od strony zasilania, wg (D.2.5).
- 6) Wybrać poziom ochrony U_{p2} danego SPD 2, tak aby było pewne, że faktyczny poziom ochrony $U_{pff2} \leq U_w$.
- 7) Sprawdzić wymagania dotyczące odległości ochronnych $I_{po/2}$ i $I_{pi/2}$ (D.2.3 i D.2.4).

Jeżeli warunki 6) i 7) są spełnione, to urządzenie jest chronione przez skoordynowane SPD 1 i SPD 2.

W przeciwnym razie potrzebne są blisko urządzenia (np. w punkcie instalacyjnym SA) dodatkowe SPD 3, skoordynowane energetycznie z SPD 1 i SPD 2 od strony zasilania, wg (D.2.5).

Bibliografia

- 1] IEC 61000-1-1:1992, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 1: General – Section 1: Application and interpretation of fundamental definitions and terms*
 - [2] IEC 61000-5-6:2002, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 5-6: Installation and mitigation guidelines – Mitigation of external EM influences*
-

Załącznik ZA (normatywny)

Powołania normatywne na publikacje międzynarodowe i odpowiadające im publikacje europejskie

Do stosowania niniejszego dokumentu są niezbędne podane niżej dokumenty powołane. W przypadku powołań datowanych ma zastosowanie wyłącznie wydanie cytowane. W przypadku powołań niedatowanych stosuje się ostatnie wydanie dokumentu powołanego (łącznie ze zmianami).

UWAGA Jeśli publikację międzynarodową zmodyfikowano, wprowadzając wspólne modyfikacje oznaczone (mod), stosuje się odpowiednio EN/HD.

<u>Publikacja</u>	<u>Rok</u>	<u>Tytuł</u>	<u>EN/HD</u>	<u>Rok</u>
IEC 60364-4-44	2001	Electrical installations of buildings Part 4-44: Protection for safety – Protection against voltage disturbances and electromagnetic disturbances	–	–
IEC 60364-5-53	2001	Electrical installations of buildings Part 5-53: Selection and erection of electrical equipment – Isolation, switching and control	–	–
IEC 60664-1 (mod) + A1 + A2	1992 2000 2002	Insulation coordination for equipment within low-voltage systems Part 1: Principles, requirements and tests	EN 60664-1	2003
IEC 61000-4-5	1995	Electromagnetic compatibility (EMC) Part 4-5: Testing and measurement techniques – Surge immunity test	EN 61000-4-5	1995
IEC 61000-4-9	1993	Electromagnetic compatibility (EMC) Part 4-9: Testing and measurement techniques – Pulse magnetic field immunity test	–	–
IEC 61000-4-10	1993	Electromagnetic compatibility (EMC) Part 4-10: Testing and measurement techniques – Damped oscillatory magnetic field immunity test	–	–
IEC 61000-5-2	1997	Electromagnetic compatibility (EMC) Part 5: Installation and mitigation guidelines – Section 2: Earthing and cabling	–	–
IEC 61643-1 (mod)	1998	Low-voltage surge protective devices Part 1: Surge protective devices connected to low-voltage power distribution systems – Requirements and tests	EN 61643-11	2002
IEC 61643-12 (mod)	2002	Low-voltage surge protective devices Part 12: Surge protective devices connected to low-voltage power distribution systems – Selection and application principles	CLC/TS 61643-12	2006
IEC 61643-21 + corr. Marzec	2000 2001	Low voltage surge protective devices Part 21: Surge protective devices connected to telecommunications and signalling networks – Performance requirements and testing methods	EN 61643-21	2001

<u>Publikacja</u>	<u>Rok</u>	<u>Tytuł</u>	<u>EN/HD</u>	<u>Rok</u>
IEC 61643-22 (mod)	2004	Low-voltage surge protective devices Part 22: Surge protective devices connected to telecommunications and signalling networks – Selection and application principles	CLC/TS 61643-22	2006
IEC 62305-1	– ¹⁾	Protection against lightning Part 1: General principles	EN 62305-1	2006 ²⁾
IEC 62305-2	– ¹⁾	Protection against lightning Part 2: Risk management	EN 62305-2	2006 ²⁾
IEC 62305-3 (mod)	– ¹⁾	Protection against lightning Part 3: Physical damage to structures and life hazard	EN 62305-3	2006 ²⁾
ITU-T Recommendation K.20	2003	Resistibility of telecommunication equipment installed in a telecommunications centre to overvoltages and overcurrents	–	–
ITU-T Recommendation K.21	2003	Resistibility of telecommunication equipment installed in customer premises to overvoltages and overcurrents	–	–

¹⁾ Powołanie niedatowane.

²⁾ Wydanie ważne w momencie publikacji niniejszej normy.

Wydanie 2009

Wydanie 2009



PIN - POZNAŃ

POLSKI KOMITET NORMALIZACYJNY 2008



ISBN 978-83-251-7113-1

Polski Komitet Normalizacyjny
ul. Świętokrzyska 14, 00-050 Warszawa
<http://www.pkn.pl>
