

BIULETYN

INFORMACYJNY

**INSTYTUTU
ŁĄCZNOŚCI**



1993
5-8

**BIULETYN
INFORMACYJNY
INSTYTUTU
ŁĄCZNOŚCI**

ROK 33

INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI

NR 5-8(310-313)

WARSZAWA 1993

Komitet Redakcyjny
Redaktor Naczelny: dr inż. Krystyn Plewko
Z-ca Redaktora Naczelnego: doc. dr inż. Alina Karwowska-Lamparska
Redaktorzy Działowi:
doc. dr inż. Włodzimierz Barjasz
dr inż. Stanisław Sońta
inż. Maria Łopuszniak

© Copyright by Instytut Łączności, Warszawa 1993

ISSN 0209-1046

Redaktor: mgr Krystyna Juskiewicz

Skład komputerowy: Barbara Skwara, techn. Grażyna Woźnica

Instytut Łączności, Dział Ogólnotechniczny
ul. Szachowa 1, 04-894 Warszawa

Ryszard Floryński, Andrzej Sowa, Leszek Augustyniak

OCHRONA URZĄDZEŃ ORAZ SYSTEMÓW
ELEKTRONICZNYCH I TELEKOMUNIKACYJNYCH
PRZED ZAKŁÓCENIAMI IMPULSOWYMI LEMP I NEMP

SPIS TREŚCI

	Str.
1. Wstęp	5
1.1. Wprowadzenie	7
1.2. Wykaz określeń	8
2. Zewnętrzna ochrona odgromowa obiektów budowlanych	13
2.1. Zasady tworzenia ochrony zewnętrznej	14
2.2. Zwody	15
2.3. Przewody odprowadzające	23
2.4. Uziemienia	29
3. Wewnętrzna ochrona przed działaniem LEMP i NEMP na urządzenia elektroniczne i telekomunikacyjne w obiektach budowlanych	41
3.1. Rozpływ prądu piorunowego w elementach ochrony zewnętrznej obiektu	42
3.2. Odstępy izolacyjne	52
3.3. Zasady układania przewodów wewnątrz obiektu	56
3.4. Ekwipotencjalizacja	66
3.5. Uziemianie "hybrydowe" urządzeń elektronicznych i telekomunikacyjnych	71
3.6. Ekranowanie urządzeń elektronicznych	79
4. Doprowadzenie przewodów do obiektów budowlanych	91
4.1. Zalecenia ogólne	91
4.2. Doprowadzenie linii transmisji sygnałów	97
4.3. Doprowadzenie przewodów zasilających	99
4.4. Przewody i kable między budynkami obiektu budowlanego	103

	Str.
5. Przykłady kompleksowej ochrony przed działaniem	110
5.1. Obiekty radionadawcze	110
5.2. Obiekty budowlane naziemne	132
5.3. Obiekty budowlane podziemne	133
5.4. Pojazdy i obiekty przenośne	134
5.5. Przykładowe rozwiązania uziemiania urządzeń telekomunikacyjnych	137
6. Podsumowanie	140
Wykaz literatury	141

Ryszard Floryński
Andrzej Sowa
Leszek Augustyniak

621.391.82.004.4

OCHRONA URZĄDZEŃ ORAZ SYSTEMÓW ELEKTRONICZNYCH I TELEKOMUNIKACYJNYCH PRZED ZAKŁÓCENIAMI IMPULSOWYMI LEMP I NEMP

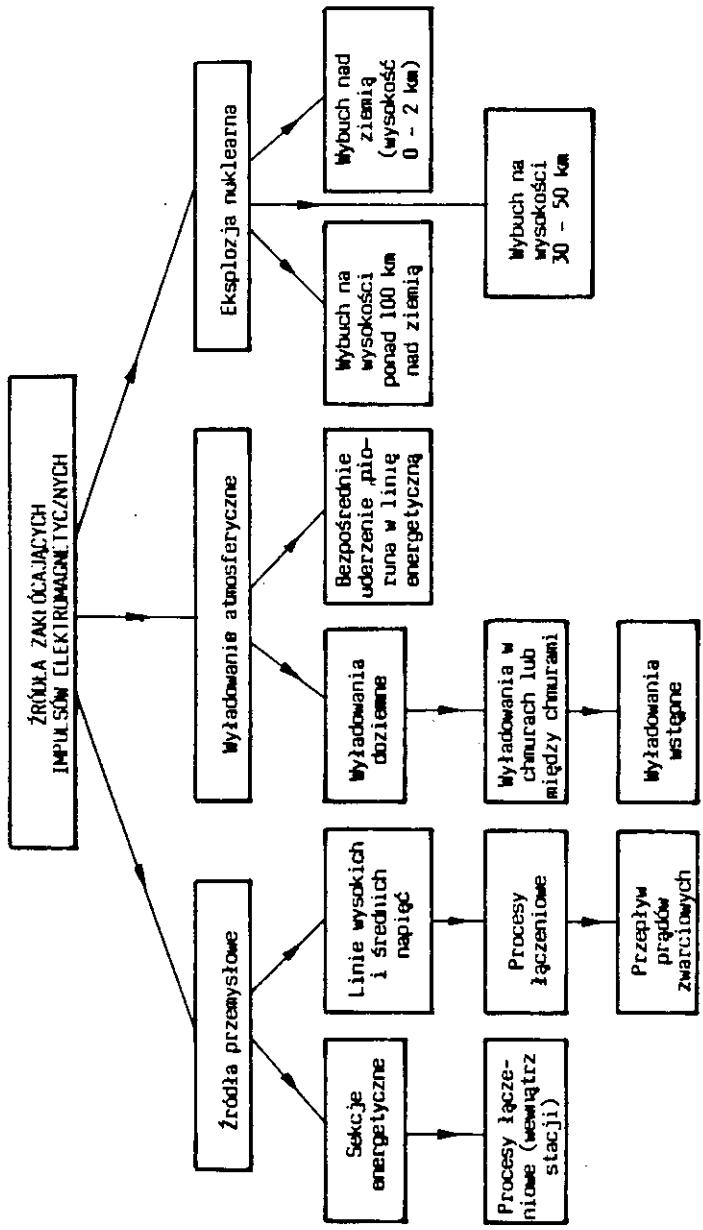
1. WSTĘP

W chwili obecnej coraz częściej pojawiają się problemy wymagające przeprowadzenia analizy możliwości pracy urządzeń lub systemów w czasie występowania silnych impulsów elektromagnetycznych i konieczność zabezpieczenia ich przed skutkami oddziaływania tych zakłóceń.

Przy prowadzeniu takiej analizy niezbędne są informacje charakteryzujące:

- podstawowe źródła sygnałów zakłócających oraz parametry wytwarzanych przez te źródła impulsów elektromagnetycznych,
- sposoby oddziaływania impulsu elektromagnetycznego na dane urządzenie lub system,
- wrażliwości danego urządzenia (systemu) na działanie impulsów zakłócających,
- stosowane środki zabezpieczające.

Niebezpieczeństwo, jakie przedstawiają sobą zakłócenia wywołane przez impulsy elektromagnetyczne, wynika w głównej mierze z częstego nieuwzględniania tego problemu w fazie projektowania danego urządzenia (systemu). Fakt ten nie jest tak niebezpieczny w przypadku często występujących impulsów, co powoduje zastosowanie odpo-



Rys. 1. Źródła wytwarzające silne impulsy elektromagnetyczne

wiednich środków ochrony. Sprawa przedstawia się znacznie gorzej, jeżeli impulsy elektromagnetyczne mają przypadkowy charakter, np. są wywołane przez wyładowania atmosferyczne, wybuchy nuklearne lub procesy łączeniowe w liniach energetycznych. W takich przypadkach, jeśli nie zostaną zastosowane odpowiednie środki zabezpieczające, o fakcie istnienia tego typu impulsów użytkownik dowiaduje się już po ich wystąpieniu, szacując najczęściej straty, jakie powstały w wyniku ich działania. Ogromna różnorodność istniejących źródeł sygnałów zakłócających spowodowała, że zaistniała konieczność ograniczenia się tylko do analizy pewnej ich grupy. Źródła wytwarzające silne impulsy elektromagnetyczne (EMP- Electro- Magnetic Puls) przedstawiono na rys. 1.

1.1. Wprowadzenie

Naturę i podstawy teoretyczne elektromagnetycznych zakłóceń impulsowych pochodzących atmosferycznego (LEMP) oraz zakłóceń pochodzenia od impulsu elektromagnetycznego wywołanego wybuchem jądrowym (NEMP) przedstawiono w [15, 16]. W publikacji tej zamieszczono obszerny wykaz literatury. W niniejszym artykule zawarto omówienie zasad kompleksowej ochrony przed LEMP i NEMP, dotyczących:

- obiektów budowlanych naziemnych,
- obiektów budowlanych podziemnych,
- obiektów telekomunikacyjnych i radionadawczych,
- pojazdów i obiektów przenośnych.

Szczególną uwagę zwrócono na sposoby:

- doprowadzania przewodów do obiektów,
- układania przewodów wewnątrz obiektów,
- poprawnej ekwipotencjalizacji i uziemiania wewnątrz obiektów,

- ekranowania urządzeń,
- ograniczenia dochodzących do urządzeń przepięć i przetężeń.

Poszczególne zagadnienia zaprezentowano w krótkiej i zwięzłej formie, umożliwiającą łatwe ich wykorzystanie.

Wspomniane informacje o zakłóceniach, mechanizmy ich oddziaływania, analiza zagrożenia oraz sposoby ochrony urządzeń i systemów elektronicznych przed działaniem impulsowych sygnałów zakłócających pozwalają na sformułowanie zasad kompleksowej ochrony.

Niniejszy artykuł jest próbą opracowania inżynierskiego poradnika, stanowiącego zbiór zasad z przykładami rozwiązań ochrony przed zakłóceniami impulsowymi LEMP i NEMP.

1.2. Wykaz określeń

Instalacja uziemiająca - ogół połączonych między sobą uziomów i ich przewodów uziemiających oraz zbiorczych przewodów uziemiających i zastosowanych do tego celu elementów przewodzących, np. płaszczy kabli.

Instalacja wyrównywania potencjałów - całość połączonych między sobą przewodów wyrównawczych oraz elementów spełniających podobne zadania, np. osłony, inne elementy przewodzące. Instalacja wyrównywania potencjałów może być równocześnie instalacją uziemiającą lub częścią instalacji uziemiającej.

Iskiernik ochronny - iskiernik instalowany między instalacjami nie połączonymi galwanicznie, w celu umiejscowienia przeskoku iskrowego.

Ochrona wewnętrzna - zespół środków do ochrony wnętrza obiektu przed skutkami rozplywu prądu piorunowego w urządzeniach piorunochronnych.

Ochrona zewnętrzna - zespół środków do ochrony wnętrza obiektu budowlanego przed bezpośrednim uderzeniem pioruna.

Ochrona przepięciowa podstawowa - środki ochrony linii zasilających i przesyłu sygnałów zastosowane najczęściej w miejscu dojścia tych linii do obiektu, mające za zadanie stłumienie energii udarów w liniach do poziomu dopuszczalnego dla większości urządzeń pracujących w obiekcie.

Ochrona przepięciowa dodatkowa - elementy lub układy ochronne ograniczające energię impulsu przepuszczonego przez zabezpieczenie podstawowe do gwarantowanego przez producenta poziomu odporności urządzeń najbardziej wrażliwych.

Ochronne wyrównywanie potencjałów - przeciwdziałanie występowaniu zbyt wysokiego napięcia pomiędzy poszczególnymi elementami przewodzącymi.

Ochronnik - urządzenie służące do ograniczania wartości szczytowych przepięć lub umiejscowienia przeskoków iskrowych (iskiernik, odgromnik).

Odgromnik - urządzenie służące do ograniczania wartości szczytowych przepięć udarowych piorunowych lub łączeniowych i zapewniające przerwanie prądu zwarciovego przy napięciu roboczym.

Przewód odprowadzający sztuczny - zainstalowany przewód łączący zwód z przewodem uziemiającym lub z uziomem fundamentowym.

Przewód osłonowy - przewód połączony z urządzeniem piorunochronnym i prowadzony wzdłuż ciągu instalacji elektrycznych obiektu budowlanego, których nie można przyłączyć bezpośrednio do urządzenia piorunochronnego.

Przewód wyrównywania potencjałów - przewód lub element przewodzący służący do wyrównywania potencjałów.

Przewód uziemienia roboczego i ochronnego - przewód uziemiający stosowany w celu uziemienia roboczego i ochronnego.

Przewód uziemienia roboczego - przewód uziemiający stosowany w celu uziemienia roboczego.

Przewód uziomowy - niez izolowany przewód umieszczony w gruncie, łączący uziom lub układ uziomowy z przewodem uziemiającym lub zaciskiem probierczym uziomowym.

Przewód uziemiający - przewód łączący uziemiany przewód z uziomem lub z przewodem uziemiającym.

Rezystancja uziemienia - rezystancja statyczna między uziomem a ziemią odniesienia zmierzona przy przepływie prądu przemiennego o częstotliwości technicznej.

Rezystancja udarowa uziemienia - rezystancja między uziomem a ziemią odniesienia zmierzona przy przepływie prądu udarowego o kształcie odwzorowującym prąd piorunowy.

Robocze wyrównywanie potencjałów - zmniejszanie napięć występujących pomiędzy poszczególnymi przewodzącymi częściami do wartości umożliwiającej zapewnienie poprawnego działania środków eksploatacyjnych, systemów i urządzeń elektrycznych lub elektronicznych.

Robocze i ochronne wyrównywanie potencjałów - wyrównywanie potencjałów pomiędzy poszczególnymi przewodzącymi częściami do wartości zapewniającej poprawne działanie i ochronę środków eksploatacyjnych, systemów i urządzeń elektrycznych lub elektronicznych.

Układ uziomowy - dwa lub więcej pojedynczych uziomów połączonych ze sobą w ziemi lub nad ziemią.

Urządzenie piorunochronne - zespół elementów konstrukcyjnych obiektu lub elementów zainstalowanych na obiekcie, odpowiednio połączonych, wykorzystanych do ochrony odgromowej.

Urządzenie uziemiające - lokalnie ograniczony zespół przewodzących wzajemnie połączonych uziomów lub identycznie działających elementów metalowych i przewodów uziemiających.

Uziemienie - celowo wykonane połączenie elektryczne jakiegokolwiek części urządzenia z uziomem.

Uziemienie odgromowe - mające za zadanie odprowadzenie do ziemi prądu piorunowego.

Uziemienie ochronne - służy do ochrony przed porażeniem, zapobiega pojawianiu się lub długotrwałemu utrzymywaniu się niebezpiecznego dla ludzi napięcia na uziemianych częściach metalowych.

Uziemienie robocze - celowo wykonane połączenie z uziomem określonego punktu obwodu elektrycznego przeznaczone do zapewnienia prawidłowej pracy urządzenia w warunkach normalnych i zakłóceń.

Uziom - przedmiot metalowy nieizolowany, który znajduje się w ziemi i jest przeznaczony do celów uziemiania.

Uziom fundamentowy - wykonany z taśmy stalowej zabezpieczonej przed korozją, ułożonej w fundamencie betonowym i obejmującej całą konstrukcję budowlaną.

Uziom naturalny - zespół przedmiotów metalowych lub żelbetowych umieszczonych w gruncie i zapewniający z nim połączenie elektryczne.

Uziom otokowy - wykonany z taśmy stalowej ułożonej dookoła chronionego obiektu.

Uziom pionowy - uziom zagłębiony swoim największym wymiarem prostopadle do powierzchni ziemi.

Uziom poziomy - uziom w postaci taśmy lub drutu ułożonych poziomo w ziemi.

Uziom sztuczny - metalowy przedmiot lub zespół przedmiotów umieszczonych w gruncie do celów uziemienia.

Zacisk probierczy - rozłączalne połączenie śrubowe przewodu odprowadzającego z przewodem uziemiającym w celu umożliwienia pomiaru rezystancji uziomu lub sprawdzenia ciągłości galwanicznej części nadziemnej.

Ziemia odniesienia - dowolny punkt wierzchniej warstwy gruntu, którego potencjał nie ulega zmianie pod wpływem prądu przepływającego przez dany uziom lub układ uziomów.

Zwód - część urządzenia piorunochronnego przeznaczona do bezpośredniego przyjmowania prądów wyładowań atmosferycznych.

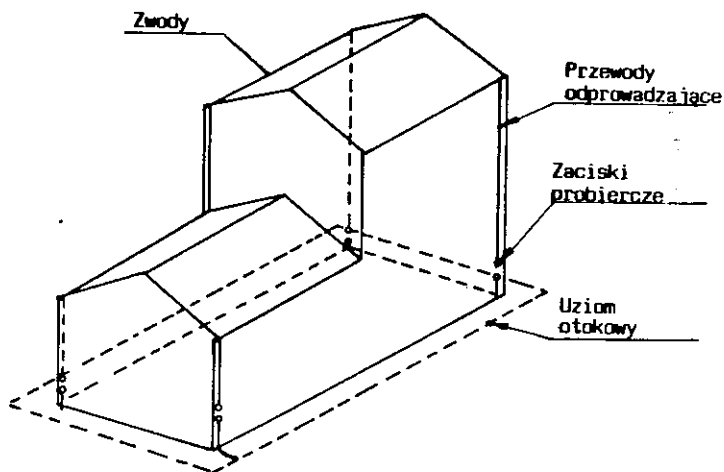
Zwód naturalny - zwód tworzony przez górne elementy metalowe lub żelbetowe obiektu zbudowane w innym celu niż przyjmowanie prądu wyładowań atmosferycznych.

Zwód nieizolowany - zwód pionowy, poziomy wysoki, poziomy podwyższony lub poziomy niski umieszczony na chronionym obiekcie.

Zwód izolowany - zwód pionowy lub poziomy wysoki zainstalowany na lub obok chronionego obiektu w sposób zapewniający wymagany odstęp zwodu od chronionego obiektu.

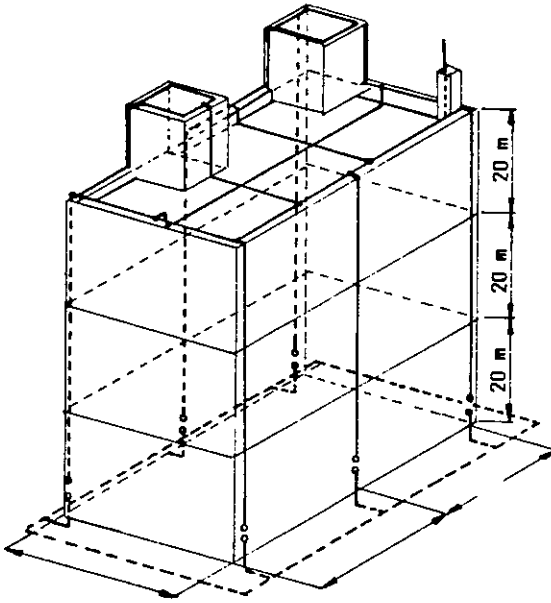
2. ZEWNĘTRZNA OCHRONA ODGROMOWA OBIEKTÓW BUDOWLANYCH

Zadaniem zewnętrznej ochrony odgromowej jest przejęcie prądu piorunowego wyładowania i jego odprowadzenie do ziemi bez szkody dla obiektu chronionego, ludzi oraz urządzeń elektrycznych i elektronicznych znajdujących się w tym obiekcie. Typowy system ochrony zewnętrznej składa się z następujących elementów (rys. 2 i 3):



Rys. 2. Przykład typowego rozwiązania zewnętrznej ochrony odgromowej

- **zwołów** przeznaczonych do bezpośredniego przyjmowania prądów piorunowych wyładowań atmosferycznych,
- **przewodów odprowadzających** łączących zwody z przewodami uziemiającymi lub uziomem fundamentowym,
- **przewodów uziemiających** łączących przewody odprowadzające z uziomami,
- **uziomów**, elementów metalowych lub zespołów elementów metalowych umieszczonych w gruncie i zapewniających z nim połączenie elektryczne.



Rys. 3. Typowy przykład instalacji odgromowej na wysokim budynku

2.1. Zasady tworzenia ochrony zewnętrznej

Przy projektowaniu zewnętrznej ochrony odgromowej obiektów budowlanych należy pamiętać o możliwości wykorzystania dwóch podstawowych zasad postępowania, takich jak:

- 1) doprowadzenie do rozplywu prądu piorunowego w przewodzących elementach występujących w obiekcie; do tego celu są używane przewodzące elementy konstrukcji budynków oraz przewody instalowane specjalnie do celów ochrony odgromowej (instalacja odgromowa);
- 2) niedopuszczanie do wnikania prądu piorunowego do wnętrza obiektu.

Wykorzystując pierwszą z powyższych zasad, należy doprowadzić do rozplywu prądu piorunowego w możliwie największej liczbie przewodów. Dzięki temu w pojedynczym przewodzie popłynie prąd o stosunkowo niewielkiej wartości szczytowej, co powoduje zmniejszenie wartości natężenia pola magnetycznego wnikażącego do wnętrza obiektu.

2.2. Zwody

Miejsca szczególnie narażone na uderzenie pioruna powinny być chronione za pomocą zwodów. Zwodami mogą być przewodzące elementy konstrukcyjne obiektu, tzw. zwody naturalne, lub przewody umieszczone w tych miejscach tylko w celach ochrony odgromowej, tzw. zwody sztuczne.

2.2.1. Zwody naturalne

● Zwodami naturalnymi są przewodzące elementy obiektu o dostatecznie dużym przekroju poprzecznym. Najmniejsze rozmiary elementów, które można zastosować jako zwody lub przewody odprowadzające zestawiono w tablicy 1.

Tablica 1

Najmniejsze rozmiary elementów przewodzących stosowanych do budowy zwodów i przewodów odprowadzających

Rodzaj wyrobu	Materiały (rozmiary w [mm])			
	stal ocynkowana	cynk	aluminium	miedź
Drut	6	-	10	6
Taśma	20x3	-	20x4	20x3
Linka	7x2,5	-	-	7x3
Blacha	0,5	0,5	1	0,5

● Jako zwody naturalne należy, zgodnie z PN-86/E-05003/01, wykorzystywać:

- zewnętrzne warstwy metalowe pokrycia dachowego, jeśli wewnętrzne warstwy są niepalne lub trudno zapalne;
- wewnętrzne warstwy metalowe pokrycia dachowego oraz metalowe dźwigary, jeżeli wewnętrzne warstwy pokrycia są niepalne lub trudno zapalne;
- zbrojenia żelbetowe pokrycia dachowego;
- elementy metalowe wystające ponad powierzchnię dachu (obramowania, balustrady itp.);
- zewnętrzne warstwy metalowe pokrycia ścian bocznych jako zwody od uderzeń bocznych.

● Wykorzystane do celów ochrony odgromowej elementy przewodzące powinny być dokładnie połączone. Można zastosować połączenia:

- spawane i zgrzewane,
- nitowane i zaprasowane, jeśli łączone elementy nie mają powłok izolacyjnych.

Stosując takie połączenia unikamy przeskoków iskrowych w betonie lub w powietrzu, które mogą spowodować uszkodzenie konstrukcji obiektu lub zakłócić pracę urządzeń elektronicznych.

● Wykorzystywane do odprowadzania prądu piorunowego pręty zbrojeniowe należy skutecznie połączyć. Do łączenia prętów zbrojeniowych można zastosować połączenia:

- spawane,
- drutem wiązałkowym zalany betonem.

Zastosowanie takich połączeń eliminuje przeskoki iskrowe w betonie i zapewnia istnienie ciągłej drogi dla przepływu prądu piorunowego.

Jeżeli względy konstrukcyjne powodują występowanie dużych naprężeń w konstrukcji żelbetowej, to należy ułożyć dodatkowe przewody odgromowe na zewnątrz strefy występowania naprężeń. W zbrojeniach wykonanych z betonu sprężonego należy unikać przepływu prądu piorunowego w prętach zbrojeniowych, gdyż może to powodować spiętrzenie naprężeń. Wskazane jest stosowanie dodatkowych przewodów odgromowych ułożonych równoległe do zbrojenia.

W przypadku stosowania gotowych elementów żelbetowych pręty zbrojeniowe można wykorzystywać jako zwody, jeśli w poszczególnych elementach są odpowiednie złączki, umożliwiające uzyskanie ciągłej i krótkiej drogi dla prądu piorunowego.

Jeżeli gotowe elementy żelbetowe nie posiadają odpowiednich złączek, to można umieścić w betonie specjalne przewody ze złączkami.

- Jeśli w elementach ochrony odgromowej nie jest zapewniona ciągłość połączeń elementów stalowych lub prętów zbrojeniowych, to należy ją zapewnić, układając w betonie lub na zewnątrz dodatkowe przewody (tabl.1).
- Jeśli urządzenia elektroniczne pracują na najwyższym piętrze wysokiego obiektu, to wskazane jest pokrycie dachu blachą. Dzięki temu można uniknąć konieczności stosowania klatki Faraday'a.
- Wykorzystując przewodzące elementy konstrukcyjne do odprowadzania prądu piorunowego, należy uwzględnić następujące trudności:
 - czasochłonny wybór właściwych wewnętrznych połączeń elementów przewodzących;
 - możliwość uszkodzenia elementów konstrukcyjnych podczas przepływu prądu piorunowego rozprzyskającego się w obiekcie (ciepłne i dynamiczne oddziaływanie prądu piorunowego);
 - konieczność dokładnej kontroli wykonania połączeń elementów stalowych w trakcie wykonywania obiektu.

Powyższe trudności oraz fakt wypierania przez materiały syntetyczne kosztownych stalowych elementów konstrukcyjnych sprawiają, że dodatkowe nakłady finansowe na nadzór nad wykonaniem oraz samo wykonanie połączeń mogą być większe od nakładów ponoszonych na wykonanie klasycznej instalacji odgromowej.

2.2.2. Zwody sztuczne

W przypadku braku zwodów naturalnych należy stosować instalacje piorunochronne o zwodzie lub zwodach sztucznych. Wybór rodzaju zwodów jest uzależniony od pracujących wewnątrz urządzeń elektronicznych.

- Zwody sztuczne powinny być wykonane z materiałów;
 - wytrzymujących dynamiczne i termiczne efekty wywołane przez przepływający prąd piorunowy;
 - odpornych na korozję, działanie wiatru i inne czynniki atmosferyczne.

Podstawowe informacje o parametrach stosowanych materiałów zestawiono w tabl. 1.

- Obiekty, które ze względów technicznych nie wymagają specjalnych rozwiązań instalacji odgromowej, należy chronić za pomocą zwodów poziomych niskich lub podwyższonych.

Zwody poziome niskie powinny tworzyć na dachu obiektu budowlanego siatkę. Warunki, jakie należy zachować przy układaniu zwodów, przedstawiono w PN-86/E-05003/01. Wymiary pojedynczego oka powinny wynosić 20 m x 20 m wg PN-86/E-05003/02 (lub 20 m x 10 m wg VDE 0185 Teil 1.) w typowych obiektach budowlanych. Dopuszcza się zwiększenie jednego wymiaru oka siatki, jednak nie więcej niż o 4 m pod warunkiem, że drugi wymiar zostanie zmniejszony o taką samą wartość. W obiektach budowlanych, w których będą pracowały wrażliwe urządzenia elektroniczne, wymiary pojedynczego oka powinny być zmniejszone do wartości

10 m x 10 m. Dopuszcza się zwiększenie jednego wymiaru oka siatki, jednak nie więcej niż o 2 m pod warunkiem, że drugi wymiar zostanie o taką samą wartość zmniejszony. W przypadkach szczególnie obostrzonej ochrony wymiar oka może zostać jeszcze zmniejszony i dojść do wartości 5 m x 5 m.

- Zwody tworzące na dachu obiektu oka siatki powinny być tak rozmieszczone względem istniejących metalowych elementów obiektu, aby odległość pomiędzy zwodem a elementem metalowym nie przekraczała 5 m.

- Zwody należy łączyć ze wszystkimi metalowymi elementami na dachu budynku.

- Elementy elektryczne i mechaniczne systemów nawiewu, klimatyzacji itp. zainstalowane na dachu obiektu nie powinny być, o ile jest to możliwe, łączone ze zwodami na dachu obiektu. Dzięki temu unika się uszkodzeń, jakie może wywołać przepływający prąd piorunowy. Nie połączone z instalacją odgromową elementy podlegają zasadom ochrony, dotyczącym wyrównywania potencjałów i odstępów izolacyjnych.

Do ochrony odgromowej elementów należy zastosować odpowiednio dobrane zwody pionowe, zachowując odpowiednie odstępy izolacyjne zgodnie z danymi z rozdz. 3.

- Każda wysoka konstrukcja antenowa z platformą u wierzchołka musi być wyposażona w zwody pionowe wystające co najmniej 3 m ponad platformę.

- Urządzeń elektronicznych i pomiarowych na dachu lub zewnętrznych ścianach obiektu - np. meteorologicznych urządzeń pomiarowych, kamer telewizyjnych - nie należy łączyć z instalacją odgromową. Odpowiednim środkiem ochrony jest w takim przypadku:

- osłona za pomocą jednego lub większej liczby zwodów przy zachowaniu odstępów izolacyjnych zgodnych z danymi z rozdz. 3 oraz kątem osłonowym 45°;

- ekranowanie za pomocą klatki tworzonej z metalowej siatki przy zachowaniu odstępów izolacyjnych zgodnych z danymi z rozdz. 3 o wielkości oka nie przekraczającej połowy wartości odstępu izolacyjnego.

Jeżeli ze względów konstrukcyjnych zachowanie bezpiecznych odstępów izolacyjnych jest niemożliwe, to urządzenia powinny mieć osłony metalowe lub powinny być wbudowane w metalowe osłony albo klatki.

● Jeżeli nie jest możliwa osłona obudów lub wsporników urządzeń elektronicznych przed bezpośrednim uderzeniem piorunu, np. w przypadku anten, to obudowy te lub wsporniki, które można traktować jak zwody pionowe, muszą być połączone z odgromową instalacją ochronną.

● Obiekty o znacznych wysokościach ($h > 20$ m) należy chronić przed uderzeniem bocznym pioruna. Do ochrony należy wykorzystać przewód biegnący na wysokości 20 m dookoła budynku. Przewód ten może być umieszczony na zewnątrz obiektu lub pod tynkiem. W tym drugim przypadku do przewodu należy dołączyć dodatkowo przewody przechodzące przez tynk. Odległość między dodatkowymi przewodami powinna wynosić ok. 10 m.

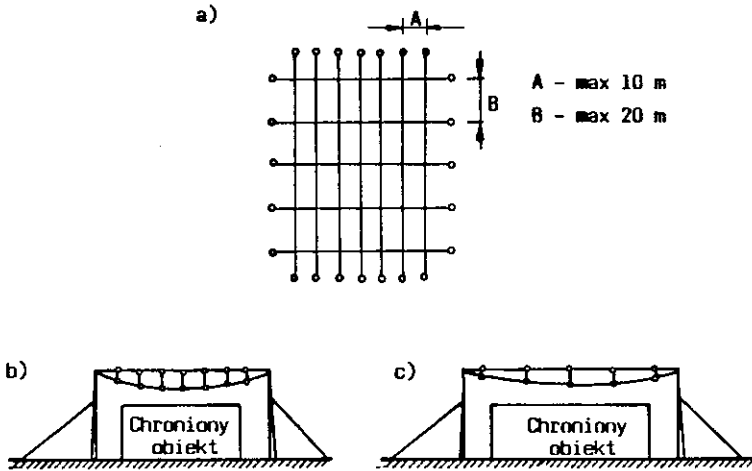
● W obiektach ze szczególnie czułą aparaturą elektroniczną nie wolno dopuścić do bezpośredniego uderzenia piorunu w obiekty i związanego z tym zjawiska rozptywu prądów. Można to osiągnąć, umieszczając obiekty budowlane w strefach ochronnych tworzonych przez zwody pionowe i poziome wysokie izolowane, usytuowane poza obiektem. Strefy ochronne tworzone przez zwody wysokie należy wyznaczać zgodnie z zaleceniami zawartymi w PN-86/E-05003/01.

● W przypadku zastosowania do ochrony przed bezpośrednim uderzeniem piorunowym zwodów wysokich w kształcie sieci muszą być spełnione następujące warunki:

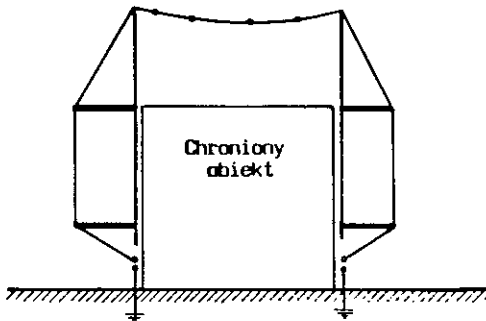
- wymiary oka sieci zwodów nie mogą wynosić więcej niż 10 m x 20 m;
- każdy przewód tworzący oka jest napięty na obu końcach na uzziemionych wspornikach;
- we wszystkich miejscach skrzyżowań przewody są połączone ze sobą;
- nie ustala się granicznych wartości, dotyczących wysokości wsporników oraz długości i szerokości sieci zwodów;
- oka sieci instalacji odgromowej muszą pokrywać cały obrys chronionego obiektu;
- odstęp pomiędzy wspornikami a chronionym obiektem musi spełniać odpowiednie warunki zbliżenia przedstawione w rozdz. 3; odstęp ten musi jednak wynosić minimum 2 m;
- odstęp sieci zwodów od chronionego obiektu w miejscach największego zwisu odgromowej sieci ochronnej musi spełniać odpowiednie warunki zbliżenia przedstawione w rozdz 3; odstęp ten musi jednak wynosić minimum 1,5 m.

Za strefę ochronną uważa się przestrzeń poniżej sieci zwodów i dodatkowo, w przypadku przekraczania przez wsporniki wysokości 20 m, przestrzeń zewnętrzną z kątem osłonowym sięgającym 45° (rys. 4).

Jeżeli przewody zwodów lub sieć zwodów są rozpięte na chronionym obiekcie za pomocą izolowanych wsporników i jeżeli na izolowanych wspornikach są przewody odprowadzające, to obowiązują odstępki pomiędzy układami zwodów i przewodami odprowadzającymi, zgodnie z warunkami przedstawionymi w rozdz. 3. Nie ustala się granicznych wartości dotyczących wysokości wsporników i wymiarów rozpinanej sieci ochronnej. Przewody odprowadzające należy umocować na wysokości do 3 m bezpośrednio przy chronionym obiekcie (rys. 5). Innym sposobem jest odizolowanie pomieszczeń z aparaturą elektroniczną tak, aby prąd piorunowy nie wnikał do przewodzących elementów konstrukcji tych pomieszczeń.



Rys. 4. Sieć zwodów o wymiarach oka nie przekraczających 10 m x 20 m rozpięta na uziemionych wspornikach
a) widok ogólny siatki; b),c) widoki z obu boków układu instalacja odgromowa - obiekt



Rys. 5. Sieć zwodów i przewodów odprowadzających rozpięta na izolowanych wspornikach

2.3. Przewody odprowadzające

Zadaniem przewodów odprowadzających jest zapewnienie ciągłego, przewodzącego połączenia zwodów z przewodami uziemiającymi lub uziomami fundamentowymi. Jako przewody odprowadzające można wykorzystać przewodzące elementy konstrukcyjne obiektu, tzw. **przewody odprowadzające naturalne**, oraz przewody umieszczone w obiekcie tylko w celu odprowadzania prądu piorunowego, tzw. **przewody odprowadzające sztuczne**. Zwody, przewody odprowadzające i uziomy powinny być połączone w taki sposób, aby otrzymać możliwie najkrótszą drogę przepływu prądu piorunowego.

2.3.1. Przewody odprowadzające naturalne

Wykorzystując do odprowadzania prądu piorunowego przewody naturalne, należy uwzględnić zestawione poniżej uwagi.

● W przypadku braku przeciwwskazań w obiektach telekomunikacyjnych jako przewody odprowadzające należy wykorzystać:

- stalowe szkielety konstrukcyjne;
- zbrojenie żelbetowych słupów narożnych;
- warstwy metalowe pokrycia ścian zewnętrznych oraz pionowe elementy przewodzące umieszczone na zewnątrz obiektu;
- inne elementy przewodzące występujące w obiekcie.

● Połączenia elementów przewodzących, które są wykorzystywane do odprowadzania prądów piorunowych należy wykonać bardzo starannie, uwzględniając możliwości wystąpienia korozji w miejscach połączeń. Rezystancja połączeń powinna być możliwie najmniejsza, co zapobiega ich zniszczeniu podczas przepływu prądów piorunowych.

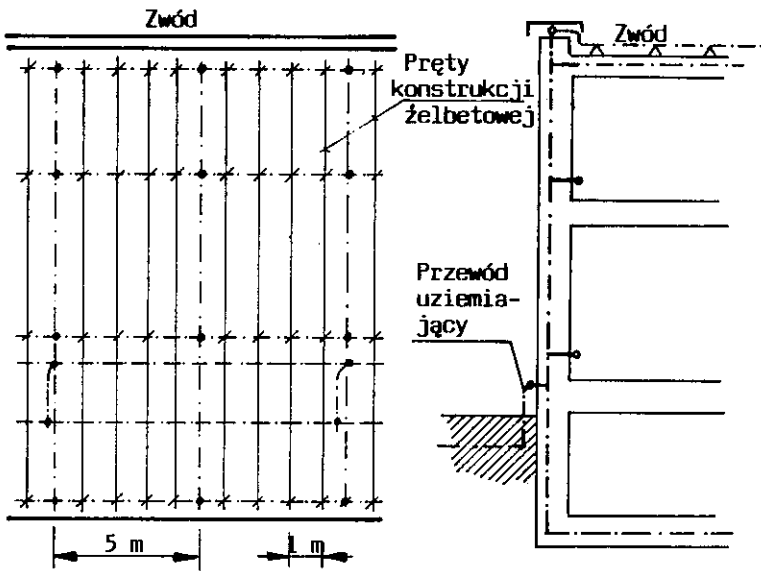
Sposoby połączeń konstrukcji stalowych i prętów zbrojeniowych powinny być zgodne z zasadami przedstawionymi w rozdz. 2.2.

● Zastosowanie do odprowadzania prądów piorunowych elementów stalowych konstrukcji powoduje zmniejszenie całkowitej impedancji instalacji, dzięki czemu zmniejsza się możliwość wystąpienia iskier wtórnych. Dodatkowo fakt zwiększenia liczby przewodów odprowadzających powoduje najczęściej bardziej równomierny rozptyw prądu piorunowego i zmniejszenie wartości impulsów elektromagnetycznych wewnątrz obiektu.

Wykorzystując elementy konstrukcyjne budynku do odprowadzania prądu piorunowego, należy uwzględnić ten fakt przy wyznaczaniu wartości pola elektromagnetycznego wewnątrz obiektu. Istnieje możliwość lokalnego wzrostu wartości pola w pobliżu elementów konstrukcyjnych, w których płynie prąd piorunowy. Przybliżoną wartość szczytową prądu piorunowego można określić na podstawie danych przedstawionych w rozdziale 3. Można przyjąć, że kształt prądu udarowego w dowolnym elemencie przewodzącym obiektu jest analogiczny z przebiegiem czasowym prądu piorunowego wpływającego do obiektu.

Należy zachować dopuszczalne odstępstwa pomiędzy elementami konstrukcji, w których płynie prąd piorunowy a uziemionymi urządzeniami lub systemami wewnątrz budynku (patrz rozdz. 3). W przeciwnym przypadku w obiekcie wystąpią przeskoki i część prądu piorunowego może wpłynąć do tych urządzeń (systemów). W czasie przeskoku zmienia się rozptyw prądu piorunowego, a dodatkowo wzrasta szybkość narastania prądu w elementach przewodzących i następuje wzrost zagrożenia urządzeń elektronicznych.

● Wykorzystując do odprowadzania prądu piorunowego pręty konstrukcji żelbetowej, stalowe elementy konstrukcyjne itp., należy wyprowadzić na dachu budynku i ponad powierzchnią ziemi złącza, umożliwiające połączenie z systemem zwodów oraz z uziemem obiektu. Przykładowe rozwiązania instalacji piorunochronnej, wykorzystującej do odprowadzania prądu piorunowego pręty zbrojeniowe, przedstawiono na rys. 6.



Rys. 6. System ochrony odgromowej budynku, wykorzystującej pręty zbrojeniowe do odprowadzania prądu piorunowego

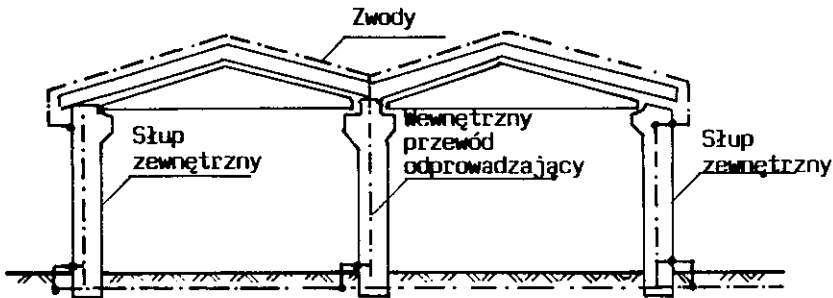
● Wykorzystując do odprowadzania prądu piorunowego pręty zbrojeniowe ścian zewnętrznych obiektu, należy dołączyć do tych prętów inne żelbetowe lub stalowe elementy konstrukcyjne obiektu, np. ściany wewnętrzne, szyby wind, słupy, metalowe poręcze i barierki itp. Jeżeli posadzki zawierają elementy przewodzące (np. siatki, blachy, konstrukcje żelbetowe), to należy połączyć je z prętami zbrojenia wykorzystywanymi w celach ochrony odgromowej.

W przypadku wykorzystywania do budowy ścian wewnętrznych lub posadzek elementów prefabrykowanych wykonanie połączeń ich elementów przewodzących z prętami zbrojeniowymi ścian zewnętrznych może napotykać na znaczne trudności. Pomimo tego wszelkie połączenia, o których mowa, należy wykonać przed ukończeniem budowy obiektu.

Instalując w zewnętrznych ścianach obiektu ciągi dużych przylegających do siebie okien, należy pręty zbrojeniowe ścian połączyć z dolnymi i górnymi elementami przewodzącymi ram okiennych.

Miejsca połączeń oraz przewody łączące pręty zbrojeniowe powinny być tak dobrane, aby wytrzymały przepływ prądu o maksymalnych wartościach, jakie mogą wystąpić.

● W rozległych niskich budynkach (np. hale) do odprowadzania prądów piorunowych należy wykorzystać wewnętrzne słupy stalowe lub żelbetowe. Przewodzące części tych słupów należy podłączyć do zwodów poziomych ułożonych na dachu obiektów oraz do przewodów uziemiających na poziomie podłogi (rys. 7).



Rys. 7. Wykorzystanie stalowych lub żelbetowych słupów nośnych budynku jako wewnętrznych przewodów odprowadzających

● Metalowe fasady występujące na zewnątrz budynku mogą być wykorzystywane do odprowadzania prądu piorunowego, jeżeli jest zapewnione ciągłe połączenie pomiędzy zwodami i przewodami uziemiającymi.

● Obiekty o znacznych wysokościach ($h > 20$ m) należy chronić przed bocznym uderzeniem pioruna. Do tego celu mogą być wykorzystane połączone dookoła obiektu części metalowe konstrukcji (pręty elewacji, fasady, ramy okienne, itp.). Połączenia takie należy

wykonywać w odległościach co ok. 20 m od siebie, licząc od poziomu gruntu do dachu obiektu.

2.3.2. Przewody odprowadzające sztuczne

- Sztuczne przewody odprowadzające można instalować:
 - na zewnętrznych ścianach obiektu budowlanego na wspornikach w odległości co najmniej 2 cm od ściany, przy zachowaniu odstępów między wspornikami nie większych niż 1,5 m lub układać w zatynkowanych bruzdach (zgodnie z PN-86/E-05003/01), tzw. **nieizolowany od obiektu system ochrony odgromowej**;
 - odsunięte od obiektu, za pomocą izolujących wsporników na odległość uniemożliwiającą powstawanie przeskoków, przewody odprowadzające są połączone z przewodzącymi elementami obiektu lub instalacjami wyrównywania potencjałów tylko na "poziomie ziemi", tzw. **izolowany system ochrony odgromowej**.

W przypadku zwodów na dachu budynku są one najczęściej także odsunięte od powierzchni dachu. Taka konstrukcja systemu ochrony odgromowej uniemożliwia wnikanie prądu do obiektu. Wewnątrz obiektów występują mniejsze wartości natężenia pola elektromagnetycznego (system stosowany w przypadku obiektów budowlanych ze szczególnie wrażliwym sprzętem elektronicznym).

- Wykorzystując izolowany system ochrony odgromowej, należy tak rozmieszczać przewodzące elementy wewnątrz budynku, aby zachować odstępów izolacyjnych uniemożliwiających powstawanie przeskoków iskrowych pomiędzy tymi elementami a przewodami instalacji odgromowej (wyznaczanie odstępów izolacyjnych zgodnie z zasadami przedstawionymi w rozdz. 3).
- Projektant izolowanego systemu ochrony odgromowej powinien posiadać dokładne informacje o rozmieszczeniu przewodzących elementów w obiekcie.

Wszelkie zmiany podczas budowy obiektu powinny być zgłaszane projektantom instalacji odgromowej.

Użytkownik obiektu powinien być powiadomiony o celach stosowanego systemu ochrony odgromowej i nie powinien wprowadzać takich zmian wewnątrz obiektu, które mogłyby spowodować wystąpienie przeskoków iskrowych od przewodów instalacji odgromowej do urządzeń lub systemów wewnątrz budynku.

● System niez izolowany przewodów odprowadzających należy instalować zgodnie z zasadami przedstawionymi w PN-86/E-05003/01.

● Przewody odprowadzające w systemie niez izolowanym należy rozmieszczać równomiernie na obwodzie obiektu, przy czym odstępstwo od równomierności nie powinno przekraczać 20%.

Zaleca się dostosowanie odstępów między przewodami do wymiarów oka siatki zwodów poziomych na dachu obiektu. Typowe średnie odległości między przewodami, uzależnione od wrażliwości urządzeń elektronicznych, wynoszą: 10, 15 i 20 m.

W przypadku wrażliwych urządzeń elektronicznych (ochrona obostrzona) należy rozmieszczać przewody odprowadzające nawet w odległościach mniejszych od 10 m.

● Sztuczne przewody odprowadzające powinny być odporne na korozję, działanie wiatru i inne czynniki atmosferyczne. Podstawowe informacje o stosowanych materiałach są przedstawione w PN-89/E-5003/01.

● Obiekty o znacznych wysokościach ($h > 20$ m) należy chronić przed bocznym uderzeniem pioruna. Do ochrony są wykorzystywane przewody biegnące wokół budynku na wysokościach co 20 m, licząc od powierzchni ziemi i dołączone do przewodów odprowadzających. Przewody te mogą być umieszczone na zewnątrz budynku lub pod tynkiem.

● Połączenia przewodów odprowadzających ze zwodami oraz przewodami uziemiającymi należy wykonywać bardzo starannie, z uwzględnieniem możliwości korozji połączeń przewodów.

2.4. Uziemienia

Zadaniem uziomu instalacji odgromowej jest zapewnienie niskoimpedancyjnej drogi przepływu do ziemi prądów piorunowych głównych wyładowań doziemnych. Wykorzystując uziomy o niewielkich wartościach impedancji, ograniczamy skoki potencjałów w obiekcie uderzonym przez piorun. Dzięki temu zmniejsza się zagrożenie piorunowe urządzeń elektrycznych i elektronicznych pracujących wewnątrz obiektu oraz bezpieczeństwo personelu obsługującego te urządzenia.

2.4.1. Wiadomości podstawowe

● Przed przystąpieniem do obliczeń wartości rezystancji udarowej uziomów w obiekcie budowlanym należy zgromadzić szczegółowe dane o rezystywności gruntu w miejscu budowy obiektu.

Jeśli w obiekcie będzie zainstalowana aparatura, od której wymagana jest pewność i niezawodność działania, to pomiary rezystywności gruntu należy przeprowadzić w miejscach, w których będą poszczególne uziomy. Dzięki temu uzyskujemy zestaw pełnych danych, niezbędnych przy projektowaniu uziomów obiektu.

W przypadku braku danych pomiarowych oszacowanie wartości rezystywności gruntu powinno być dokonane na podstawie informacji przedstawionych w tablicy 2 (dane wg PN-86/E-05003/01 oraz [8, 17]).

Do oszacowania wartości rezystancji uziemienia uziomów projektowanych w danym obiekcie należy wykorzystać zależności w tablicy 3 (dane wg PN-86/E-05003/01 i [8, 17]).

Średnie i maksymalne wartości rezystywności
różnych rodzajów gruntów

Lp.	Nazwa gruntu	Rezystywność [$\Omega \cdot m$] wartości	
		średnie	maksymalne
1.	Iły, glina ciężka, glina pylasta ciężka, glina, grunty torfiaste i organiczne, gleby bagienne, grunty próchnicze (czarnoziemie, mady)	40	200
2.	Glina piaszczysta, glina pylasta, pyły, gleby biellicowe i brunatne utworzone z glin zwałowych oraz piasków naglinkowych i naitowych	100	250
3.	Piasek gliniasty i pylasty, pospółki, gleby biellicowe utworzone z piasków słabo gliniastych i gliniastych	200	600
4.	Piasek, żwiry, gleby biellicowe utworzone ze żwirów i piasków luźnych	400	3000
5.	Piasek i żwiry suche (zwierciadło wody gruntowej na głębokości większej niż 3 m)	1000	5000
6.	Grunt kamienisty	2000	8000

Wzory stosowane do oszacowania rezystancji uziemień
różnych typów uziomów

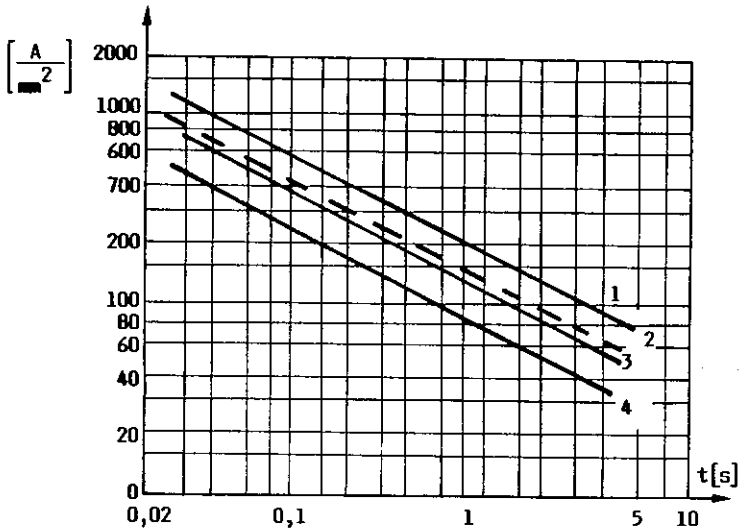
Rodzaj uziomu	Wzór	Uwagi
1	2	3
Pionowy pojedynczy	$R \approx \frac{\rho}{2l} \ln \frac{l}{r}$	
Pionowy złożony	$R \approx \frac{k}{1/R_1 + 1/R_2 + \dots}$	k=1,4 dla $0,5 < a/1 < 1$ k=1,2 dla $1 < a/1 < 5$ k=1 dla $a/1 > 5$
Poziomy pojedynczy	$R \approx \frac{\rho}{\pi l} \ln \frac{l}{r}$	Głębokość pograżenia $h > 0,5$ m
Poziomy promieniowy	$R \approx \frac{k}{1/R_1 + 1/R_2 + \dots}$	
Otokowy	$R \approx \frac{0,6\rho}{\sqrt{A}}$	
Kratowy	$R \approx \frac{0,45 \rho}{\sqrt{A}}$	Niezależnie od gęstości kraty
Stopa fundamentowa	$R \approx \frac{0,2 \rho}{\sqrt[3]{V}}$	

1	2	3
Zespół stóp fundamentowych	$R \approx \frac{2}{1/R_1 + 1/R_2 + \dots}$	
Ława fundamentowa	$R \approx \frac{0,82 \rho}{\sqrt{A}} + \frac{1,85 \rho}{L}$	
<p>Oznaczenia:</p> <p>R - rezystancja uziomu [Ω], <p>ρ - rezystywność gruntu [$\Omega \cdot m$], <p>a - odległość między uziomami pionowymi [m], <p>R_1, R_2 - rezystancje poszczególnych uziomów uziomu złożonego [Ω], <p>l - długość uziomu [m], <p>r - połowa największego wymiaru poprzecznego uziomu [m], <p>S - powierzchnia objęta przez uziom otokowy lub kratowy [m^2], <p>V - objętość wszystkich stóp fundamentowych budynku [m^3], <p>A - powierzchnia objęta obrysem ław fundamentowych, uziomem otokowym lub kratowym [m^2], <p>L - całkowita długość ław fundamentowych [m].</p> </p></p></p></p></p></p></p></p></p>		

Wykorzystywane w uziomach elementy przewodzące nie powinny być przegrzewane. Jeśli rozszerzalność elementów przewodzących jest bez znaczenia i nie istnieje niebezpieczeństwo uszkodzenia uziomów i ich otoczenia, to można dopuścić do wzrostu temperatury do ok. 300°C. Na rys. 8 przedstawiono maksymalną dopuszczalną krótkotrwałą gęstość prądu (A/mm^2) dla różnych rodzajów materiałów elektrod uziomów w funkcji czasu trwania impulsu prądowego.

● Uziomy można podzielić na dwie grupy:

- uziomy naturalne,
- uziomy sztuczne.



Rys. 8. Dopuszczalne wartości gęstości prądu udarowego dla różnych materiałów elektrod uziomów w funkcji czasu trwania impulsu udarowego

1 - miedź, 2 - miedź ekranów (do 150°C), 3 - aluminium, 4 - stal

Uziomy naturalne są to elementy przewodzące umieszczone w gruncie w innym celu niż uziemianie, np. rurociągi, zbrojone fundamenty, podziemne metalowe części obiektów.

Uziomy sztuczne to elementy przewodzące umieszczone w gruncie wyłącznie w celu uziemiania, np. pojedyncze pręty, rury, płyty, taśmy, siatki.

Każdy z tych typów uziomów zostanie szczegółowo omówiony w dalszej części artykułu.

2.4.2. Uziomy naturalne

W obiektach budowlanych jako uziomy naturalne należy wykozystać:

- metalowe podziemne elementy chronionych obiektów i urządzeń technologicznych niez izolowane od ziemi;
- żelbetowe fundamenty i podziemne części chronionych obiektów;
- metalowe rurociągi wodne oraz osłony studni artezyjskich, znajdujące się w odległości nie większej niż 10 m od chronionego obiektu.

Szczegółowe wytyczne, dotyczące zasad wykorzystywania ww. uziomów naturalnych przedstawiono poniżej.

● Uziom fundamentowy stanowi przewodzący obwód lub zespół pionowych/poziomych prętów osadzonych w betonie fundamentu obiektu.

Uziom fundamentowy charakteryzuje mała impedancja przejścia, której wartość jest uzależniona w zasadniczym stopniu od rezystywności betonu.

Rezystywność betonu zależy od składu mieszaniny betonu. Do wykonania betonu fundamentowego można stosować jedynie standardowe mieszanki cementu z kruszywem. Należy unikać dodatków zawierających chlorki.

Wartość rezystywności betonu nie jest stała i zmienia się z upływem czasu w trakcie procesu chemicznego w wyniku procesu hydratacji. Mokry, nieostężony beton ma rezystywność o bardzo małej wartości ok. $2 \div 5 \Omega \cdot m$. W wyniku pozostawiania betonu w ziemi jego rezystywność rośnie i po 5 latach najczęściej osiąga wartość ok. $500 \Omega \cdot m$. Po 10 latach rezystywność betonu może przekroczyć wartość $1000 \Omega \cdot m$. Bardzo stary beton ma rezystywność zbliżoną do rezystywności litej skały.

● Nie powinno się stosować jakiegokolwiek warstwy izolacyjnej poniżej poziomu fundamentu. Beton fundamentu powinien znajdować się w równowadze z wilgotnością gruntu leżącego pod fundamentem.

Pokrycia betonu warstwą przeciwwilgociową za pomocą malowania nie należy uważać za warstwę izolacyjną.

Zapewnienie bezpieczeństwa osób przebywających w obiekcie wymaga ograniczenia elektrycznej wytrzymałości udarowej izolacji, chroniącej przed wilgocią zbrojenie fundamentów i metalowe rurociągi, do wartości dopuszczalnych ze względu na bezpieczeństwo ludzkie. W przypadku napięć udarowych dopuszczalna szczytowa wartość napięcia udarowego wynosi ok. 20 kV.

- Jeśli względy konstrukcyjne tego nie zabraniają, to należy tworzyć zamknięte pętle ze zbrojonego fundamentu budynków.
- Uziomy fundamentowe sekcjonowane należy łączyć za pomocą złączy kłamrowych spawanych lub śrubowych.
- Uziom fundamentowy musi być połączony z przewodami odprowadzającymi instalacji odgromowej oraz z szyną wyrównawczą wewnątrz obiektu.

Od uziomu należy wyprowadzić minimum dwa przewody z zaciskami do połączenia z szyną wyrównawczą wewnątrz obiektu oraz wymaganą liczbę przewodów uziemiających do połączenia z przewodami odprowadzającymi instalacji odgromowej.

- Do budowy uziomów fundamentowych jest zalecane stosowanie stali niegalwanicznej, gdyż cynk wchodzi w reakcje z betonem, co może spowodować wzrost rezystancji styku między elektrodą uziomową a betonem.

Taśmy stalowe wykorzystywane do budowy uziomów fundamentowych należy ustawiać "na krawędzi", gdyż takie ułożenie zapobiega gromadzeniu się wody pod taśmami.

Elementy przewodzące uziomów fundamentowych są chronione przed korozją, jeśli z każdej strony otoczy się je warstwą betonu o grubości minimum 50 mm.

- Rezystancję uziomów fundamentowych można zmniejszyć, wbijając w grunt dodatkowe elektrody pionowe u podstaw fundamentów.

Górne krańce elektrod należy zespawać z przewodzącymi elementami zbrojenia fundamentów (z prętami zbrojeniowymi, taśmami itp.).

2.4.3. Uziomy sztuczne

Uziomy sztuczne należy wykonywać, jeżeli:

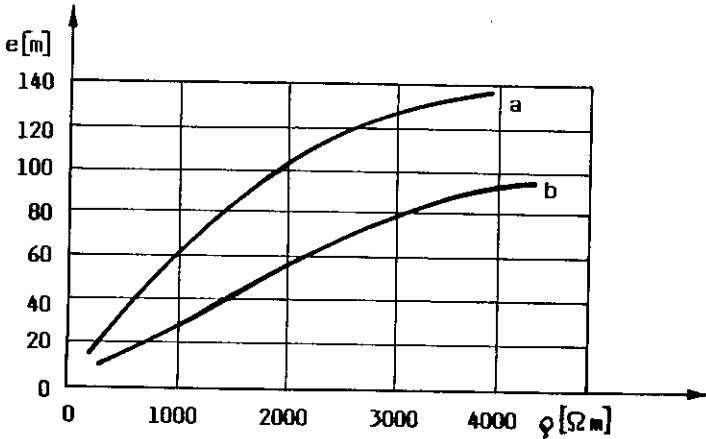
- uziomy naturalne nie spełniają wymogów wynikających z zadań ochrony odgromowej obiektu;
- brak jest uziomów naturalnych lub znajdują się one w odległości większej niż 10 m od chronionego obiektu.

Uziomy sztuczne należy układać zgodnie z przedstawionymi poniżej zasadami.

● Wymiary i kształty elektrod uziomów sztucznych są uzależnione od geoelektrycznych właściwości gruntu.

W terenie charakteryzującym się małą wartością rezystywności gruntu lub podglebia, które jest łatwo dostępne, uziomy sztuczne mogą być niewielkich rozmiarów (krótkie pręty, taśmy, przewody, płyty itp.).

W terenie o dużej rezystywności gruntu wymiary uziomów znacznie wzrastają. Wskazane jest stosowanie uziomów poziomych promieniowych, mających co najmniej 5 lub 6 ramion (promieni) rozmieszczonych w ten sposób, aby kąt między nimi nie był mniejszy niż 60° . Długość ramion uziomu promieniowego ustala się po określeniu granicznych wartości rezystywności gruntu i rezystancji udarowej całego uziomu. Długość ramion takiego uziomu w funkcji średniej rezystywności gruntu przedstawiono na rys. 9. W gruncie o dużej rezystywności można stosować uziomy pionowe, które należy pogrążyć w gruncie w taki sposób, aby ich najniższa część była umieszczona na głębokości nie mniejszej niż 3 m; natomiast najwyższa część uziomu pionowego powinna znajdować się w gruncie na głębokości nie mniejszej niż 0,5 m pod jego powierzchnią.



Rys. 9. Długości ramion uziomu promieniowego o wartości rezystancji 10Ω w funkcji średniej rezystywności gruntu

a) odpowiada optymalnemu współczynnikowi uderowemu; b) prowadzi do otrzymania minimalnej impedancji uderowej

● Zalecanym uziomem sztucznym w obiektach telekomunikacyjnych jest **uziom otokowy**.

Uziom otokowy należy połączyć z elementami przewodzącymi konstrukcji obiektu, przewodami odprowadzającymi instalacji odgromowej, centralnymi punktami uziomów promieniowych. Od uziomu należy wyprowadzić minimum dwa przewody z zaciskami do połączenia z szyną wyrównawczą wewnątrz obiektu.

W przypadku uziomów otokowych rozmieszczonych koncentrycznie w odległościach 5 lub 10 m od siebie maksymalne napięcie krokowe w obszarze chronionym przez uziomy powinno wynosić odpowiednio ok. 5% lub 10% całkowitego napięcia uderowego na uziomie.

● Jeżeli średnia wartość rezystywności gruntu jest mniejsza od $100 \Omega \cdot m$, wówczas uziom obiektu może składać się tylko z uziomu

otokowego, otaczającego cały obiekt z możliwością połączenia z uziomami poziomymi lub pionowymi.

Wartość wypadkowej rezystancji uziomu (mierzona mostkiem do pomiaru uziemień lub metodą techniczną) w typowych obiektach budowlanych powinna być możliwie najmniejsza i nie przekraczać 10Ω . W przypadku wyżej omówionych uziomów współczynnik udarowy udar jest zawsze mniejszy od 1 i impedancja udarowa uziomu jest mniejsza od 10Ω .

- Wartość 10Ω jako maksymalna wartość rezystancji udarowej uziemienia obiektu została wybrana w sposób orientacyjny, co umożliwia określenie przybliżonych wymiarów elektrod uziomowych, zapewniających skuteczną odprowadzenie do ziemi prądów piorunowych.

- Konieczność otrzymania w obiektach budowlanych mniejszych różnic wartości potencjałów może stworzyć potrzebę przyjęcia mniejszych wartości rezystancji udarowej uziemienia obiektu.

Rezystancja uziemienia udarów uziomów obiektów, w których pracują szczególnie wrażliwe urządzenia elektroniczne, obliczona zgodnie z zależnościami przedstawionymi w tabl. 3 lub zmierzona mostkiem udarowym, nie może przekraczać 5Ω lub powinna być jeszcze mniejsza.

Zmniejszanie wartości rezystancji udarowej uziemienia obiektów powoduje zwiększanie wymiarów uziomów i wzrost nakładów finansowych na ich budowę.

Jeżeli uziomy otokowy nie zapewniają odpowiednich wartości rezystancji, zaleca się je uzupełnić dodatkowymi uziomami pionowymi lub poziomymi promieniowymi.

- Jeśli obiekt jest chroniony za pomocą zwodów izolowanych, to zwody te należy połączyć, stosując zewnętrzny uziom otokowy. Uziom ten należy łączyć z uziomem obiektu w co najmniej dwóch

przeciwległych miejscach za pomocą przewodów ułożonych w ziemi, stosując uziomowe zaciski probiercze.

- Ochronę przed skokami potencjału wewnątrz obiektu można osiągnąć, umieszczając metalową siatkę w posadzce obiektu budowlanego. Połączenia uziemiające urządzeń nie posiadających żadnych połączeń zewnętrznych mogą być dołączone bezpośrednio do siatki w posadzce obiektu.
- Wybierając materiały na uziomy, należy postępować zgodnie z przedstawionymi poniżej zasadami.

Uziom nie powinien być, o ile jest to możliwe, wykonany z miedzi, lecz ze stali z powłoką miedzianą. W przypadku uziomów z miedzi lub ze stali z powłoką miedzianą nie należy łączyć ich metalicznie z instalacjami stalowymi (stalowe rury, zbiorniki, wsporniki) lub uziomami ze stali ocynkowanej. Instalacje te mogą być połączone za pomocą iskierników. Uziom ze stali ocynkowanej ułożony w gruncie należy łączyć za pomocą ochronnika ze zbrojeniem dużych fundamentów żelbetowych. Jeżeli są konieczne przewodzące połączenia elektryczne z elementami stalowymi, to do budowy uziomu należy wykorzystać, np. stal lub miedź w powłoce ołowianej. W przypadku stosowania do budowy uziomu różnych metali i możliwości występowania korozji na stykach tych metali należy stosować podkładki bimetalowe. Przewody miedziane w płaszczu ołowianym lub stalowe z płaszczem miedzianym nie mogą być zatopione bezpośrednio w betonie. Wymagane jest stosowanie dodatkowej otuliny (powłoki) chroniącej przed korozją. Uziomy umieszczone na dnie wykopów fundamentowych powinny być wykonane ze stalowych prętów lub taśm. Wykopy, w których są układane uziomy, należy zasypywać tak, aby w bezpośrednim kontakcie z uziomem nie było kamieni, żwiru, żużlu, gruzu lub brył węgla.

Materiały na uziomy należy stosować zgodnie z wymaganiami przedstawionymi w tabl. 4.

Minimalne wymiary elementów stosowanych na uziomy

Materiał	Kształt uziomu	Minimalny przekrój [mm ²]	Minimalna grubość [mm]	Wymiary specjalne
Stal ułożona w gruncie, ocynkowana z minimalną powłoką cynku 70 μm	taśma	100	3	
	pręt	78 (co odpowiada średnicy ok. 10 mm)		min. średnica uziomów pionowych: 20 mm
	rura			min. φ: 25 mm, min. grubość ścianki 2 mm
	kształtownik	100	3	
Stal z powłoką Cu	pręt	dla stali wewnętrzz: 50, dla powłoki Cu - 20%, ale minimum 35		w uziomach pionowych min. średnica pręta 15 mm; miejsca połączeń muszą być tak wykonane, aby ich odporność na korozję była równoważna powłoce Cu
Miedź	taśma	50	2	
	lina	35		min. φ drutu: 18 mm; przy płaszczu ołowianym min. grubość płaszczka: 1 mm
	pręt	35		
	rura			min. φ: 20 mm, min. grubość ścianki 2 mm

● Jeśli w odległości mniejszej niż 2 m od uziomu instalacji odgronomiczej znajdują się inne uziomy lub podziemne metalowe elementy obiektów, to zaleca się je połączyć z uziomem piorunochronnym bezpośrednio lub za pomocą ochronnika.

W przypadkach większych odstępów między uziomami od 2 do 20 m, zaleca się łączenie wszystkich uziomów między sobą bezpośrednio lub za pomocą ochronników.

Jeżeli wartość rezystywności gruntu przekracza $500 \Omega \cdot m$, to zaleca się połączenie wszystkich uziomów z uziomem ochrony odgromowej także przy odległościach większych niż 20 m.

● Odległość kabla od uziomu piorunochronnego nie powinna być mniejsza niż 1 m.

Jeżeli rezystancja uziemienia piorunochronnego jest mniejsza niż 10Ω dopuszcza się zmniejszenie tej odległości do:

- 0,75 m dla kabli telekomunikacyjnych i kabli energetycznych o napięciu znamionowym do 1 kV;
- 0,5 m dla kabli elektroenergetycznych o napięciu znamionowym powyżej 1 kV.

Jeżeli zachowanie wymaganych odstępów jest niemożliwe, należy w miejscu zbliżenia ułożyć przegrodę izolacyjną (niehigroskopijną) o grubości co najmniej 5 mm (np. płytę lub rurę winidurową) tak, aby najmniejsza odległość między uziomem a kablem mierzona w ziemi wokół przegrody nie była mniejsza niż 1 m.

3. WEWNĘTRZNA OCHRONA PRZED DZIAŁANIEM LEMP I NEMP NA URZĄDZENIA ELEKTRONICZNE I TELEKOMUNIKACYJNE W OBIEKTACH BUDOWLANYCH

Zewnętrzna ochrona obiektów budowlanych wymaga uzupełnienia o dodatkowe sposoby ochrony, które działają wewnątrz obiektów, o tzw. ochronę wewnętrzną. Zadaniem ochrony wewnętrznej obiektu jest:

- ochrona urządzeń elektrycznych, elektronicznych i telekomunikacyjnych oraz pracowników obsługujących te urządzenia przed zagrożen-

niem powstającym podczas rozplywu prądu piorunowego w obiekcie budowlanym;

- ograniczenie do dopuszczalnych wartości sygnałów zakłócających wywołanych przez inne źródła zakłóceń.

Podstawowymi środkami ochrony wewnętrznej są:

- a) odstępy izolacyjne,
- b) poprawne układanie przewodów wewnątrz obiektu,
- c) ekwipotencjalizacja,
- d) dodatkowe zabezpieczenia urządzeń wymagających ochrony,
- e) specjalne rozwiązania uziemień.

W niniejszym artykule szczególną uwagę zwrócono na punkty a), b), c) i e). Zagadnienia dotyczące elementów i układów ochrony przepięciowej urządzeń przedstawiono bardzo ogólnie na kilku przykładach, gdyż dobór odpowiednich zabezpieczeń zależy od odporności udarowej urządzenia elektronicznego lub telekomunikacyjnego.

3.1. Rozplyw prądu piorunowego w elementach ochrony zewnętrznej obiektu

Umiejętność określania rozplywu prądu udarowego w obiektach budowlanych, w które uderzył piorun, jest niezbędną podczas wyznaczania napięć indukowanych w układach przewodów ułożonych wewnątrz tych obiektów. Oceniając wartości prądów udarowych, płynących w poszczególnych przewodach instalacji odgromowej lub przewodzących elementach konstrukcyjnych obiektu, uwzględniono wyniki badań modelowych oraz obliczeń teoretycznych. Rozplyw prądu piorunowego przeanalizowano w następujących obiektach:

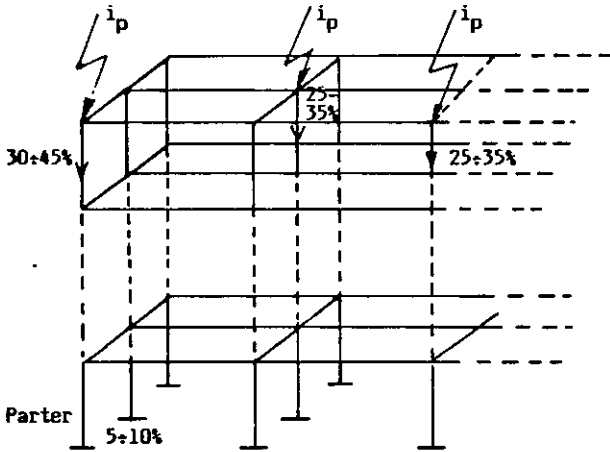
- budynkach wielokondygnacyjnych o konstrukcji żelbetowej;
- niskich, lecz rozległych budowlach (jedno- lub dwukondygnacyjnych);
- wieloprzewodowych konstrukcjach żelbetowych.

3.1.1. Obiekty wielokondygnacyjne

W obiektach, których wysokości zmieniają się od kilkunastu do kilkudziesięciu metrów (budynkach od 4- do 11-piętrowych), a liczba biegnących do ziemi przewodów odprowadzających konstrukcji stalowej lub żelbetowej budynku zawiera się w przedziale od 12 do 24, oceniając rozptyw prądu podczas uderzenia piorunu w budynek, należy uwzględnić niżej podane uwagi.

- Najbardziej nierównomierny podział prądu piorunowego następuje na najwyższych kondygnacjach podczas uderzenia piorunu w narożnik budynku. W takich przypadkach prąd płynący w odprowadzających przewodach pionowych konstrukcji stalowej lub żelbetowej pod miejscem trafienia piorunu osiąga wartości od 30% I_{pmax} do 45% I_{pmax} (I_{pmax} - wartość szczytowa prądu piorunowego wpływającego do obiektu).
- W przypadku uderzenia piorunu w inny dowolny punkt instalacji odgromowej lub konstrukcji przewodzącej budynku (poza narożnikiem obiektu) maksymalna wartość prądu występującego w pionowych przewodach odprowadzających leżących pod miejscami udarów zawiera się w przedziale od 25% I_{pmax} do 35% I_{pmax} .
- W miarę zbliżania się do niższych pięter obiektu następuje wyrównywanie wartości szczytowych prądów płynących w poszczególnych pionowych elementach przewodzących. Zjawisko to zachodzi niezależnie od punktu trafienia pioruna na dachu obiektu.
- Na parterze budynku, niezależnie od miejsca uderzenia piorunu na dachu obiektu, maksymalne wartości prądów w przewodach pionowych nie przekraczają 15% I_{pmax} . Wartości przeciętne zawierają się w przedziale od 5 do 10% I_{pmax} .

Powyższe spostrzeżenia zaprezentowano w uproszczony sposób na rys. 10.



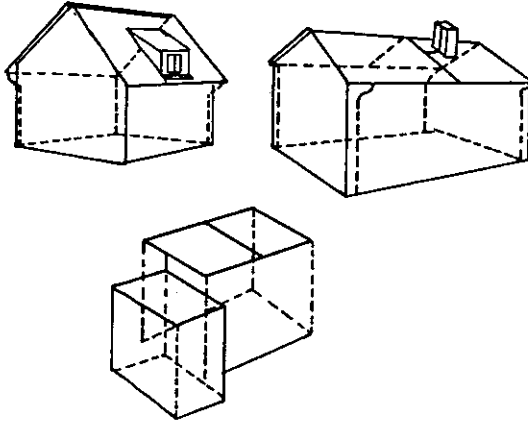
Rys. 10. Wartości prądów w pionowych przewodach odprowadzających podczas uderzenia piorunów w budynki wielokondygnacyjne (wartości prądów wyrażono w % prądu I_{pmax})

W budynkach mających klasyczną instalację odgromową, uniemożliwiająca wnikanie prądu piorunowego do przewodzących elementów konstrukcji stalowej lub żelbetowej, oceniając rozptył prądu, należy uwzględnić uwagi przedstawione w rozdz. 3.1.2.

3.1.2. Obiekty niskie

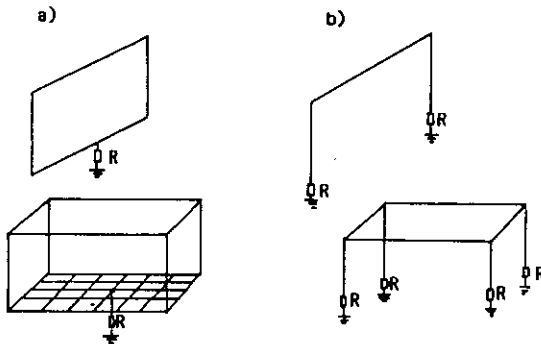
W niskich obiektach budowlanych (budynki od parterowych do kilkupiętrowych) do ochrony odgromowej są wykorzystywane zwody poziome niskie układane na dachach budynków. Krańce zwodów są prowadzone na wspornikach po krawędzi dachu. Na dachach pochylonych przy nachyleniu ponad 30° jeden ze zwodów należy prowadzić wzdłuż kalenicy. Jako zwody są wykorzystywane metalowe pokrycia dachów z blachy stalowej, miedzianej, cynkowej lub aluminiowej.

Zwody poziome są połączone z uziemem za pomocą przewodów odprowadzających. Przykłady typowych rozwiązań układów instalacji odgromowych pokazano na rys. 11.



Rys. 11. Przykłady typowych rozwiązań instalacji odgromowej na obiektach niskich

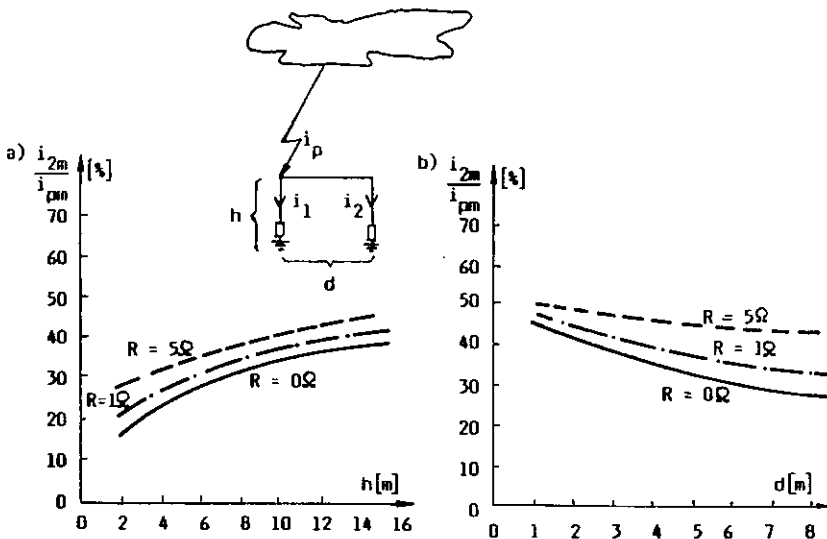
W przedstawionych układach instalacji odgromowych do rozważań rozplywu prądu piorunowego zastosowano uproszczone schematy zastępcze instalacji podane na rys. 12. Schematy otrzymano, zakładając wykorzystywanie w obiektach uziomów fundamentowych lub otokowych.



Rys. 12. Schematy zastępcze instalacji odgromowych
a) uziom fundamentowy; b) uziom otokowy

Rys. 13 ilustruje zmiany wartości prądów i_2 w najprostszej instalacji odgromowej w funkcji:

- wysokości h przy stałej odległości $d = 12$ m;
- odległości d przy stałej wysokości $h = 8$ m.

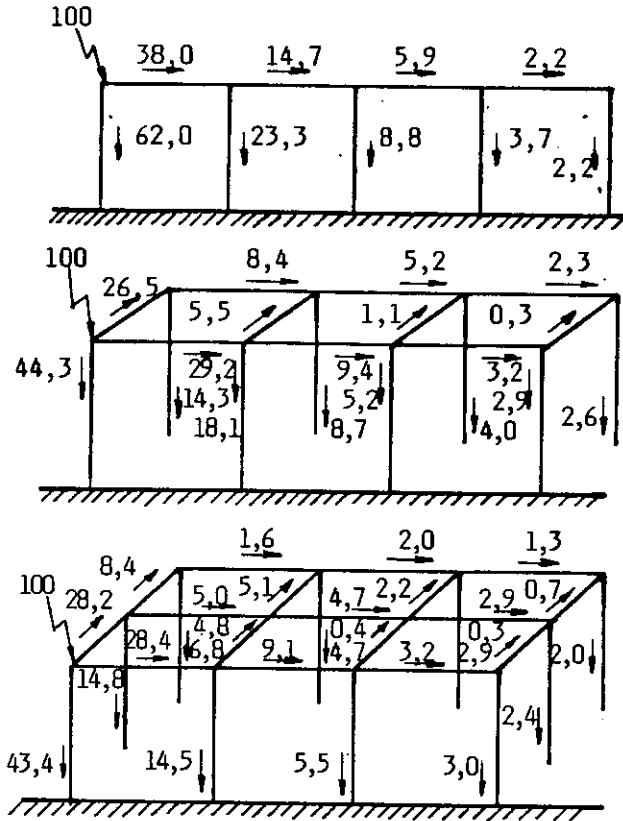


Rys. 13. Zmiany wartości prądu i_2 w funkcji

- wysokości h ($d = \text{const.}$); b) odległości d ($h = \text{const.}$)

W obiektach bardziej rozbudowanych wzrasta liczba przewodów odprowadzających prąd piorunowy. Przykłady rozptyłu prądu piorunowego w takich instalacjach przedstawiono na rys. 14.

W analizowanych w tym rozdziale układach instalacji odgromowych najbardziej nierównomierny, a tym samym stwarzający największe zagrożenie dla urządzeń elektronicznych, podział prądu występuje podczas uderzenia piorunu w narożnik instalacji. W takich

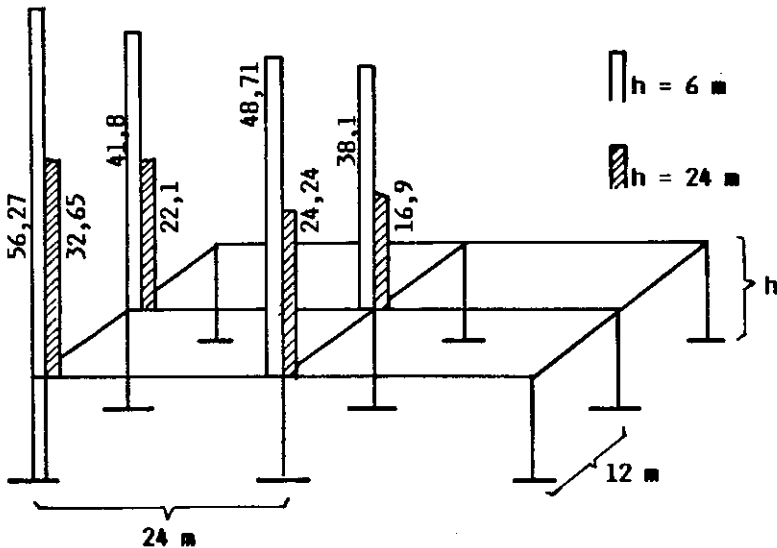


Rys. 14. Przykład rozplywu prądu piorunowego w przewodach instalacji ogromowej rozbudowanego obiektu (wartości prądów wyrażono w procentach prądu I_{pmax})

przypadkach w przewodzie odprowadzającym pod miejscem uderzenia może popłynąć ok. 60% całkowitego prądu piorunowego wpływającego do obiektu. Dokładne obserwacje zmian wartości prądów płynących w przewodach narożnych wykazały, że:

- zwiększanie liczby przewodów odprowadzających powyżej 9 praktycznie nie zmienia wartości prądów;
- w obiektach niskich ($h = 4 \div 6$ m) wprowadzanie dodatkowych wewnętrznych elementów odprowadzających prąd piorunowy minimalnie wpływa na wartości tych prądów;
- zmniejszanie wysokości obiektu lub zwiększanie odległości między przewodami odprowadzającymi powoduje wzrost ich wartości.

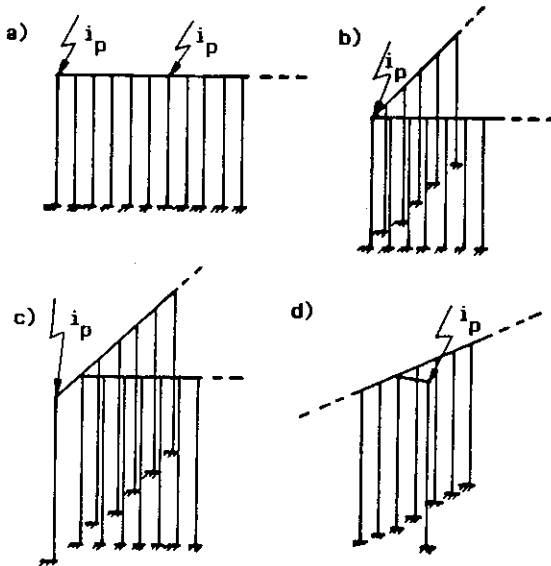
Analizując uderzenia piorunów w inne węzły (miejsca połączeń zwodów lub zwodów z przewodami odprowadzającymi), oceniono maksymalne wartości prądów, jakie mogą wystąpić w przewodach instalacji odgromowej. Otrzymane wyniki zilustrowano w formie graficznej na rys. 15.



Rys. 15. Maksymalne wartości prądu płynącego w słupach pod miejscami uderzenia piorunu w instalacji odgromowej, składającej się z 9 przewodów odprowadzających (wartości prądów wyrażono w procentach prądu I_{pmax})

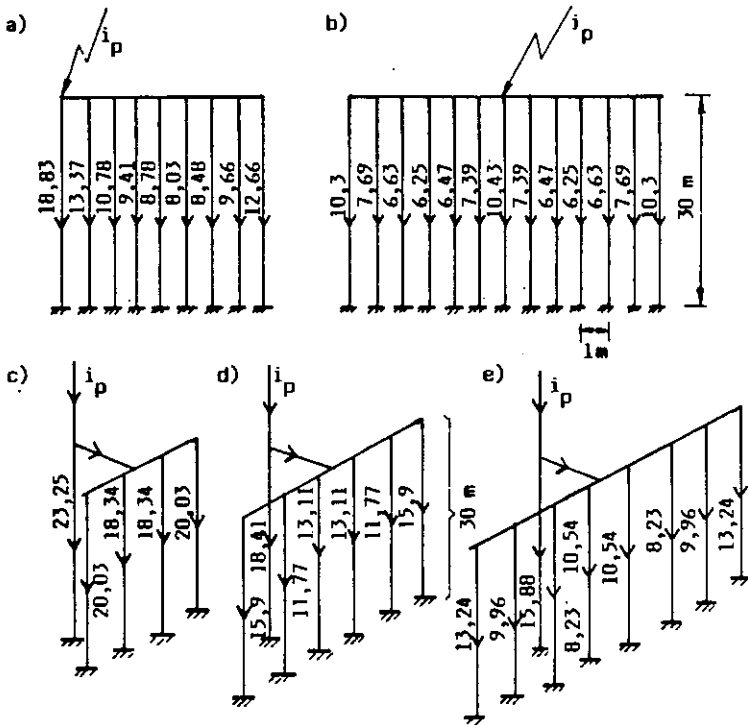
3.1.3. Konstrukcje żelbetowe

W budynkach o konstrukcji stalowej lub żelbetowej jest zalecane wykorzystanie przewodzących elementów konstrukcyjnych do tworzenia siatki zwodów i przewodów odprowadzających (rozdz. 2). Dzięki temu następuje rozpylenie prądu piorunowego w większej liczbie przewodów, co powoduje najczęściej zmniejszenie natężenia pola elektrycznego i różnic potencjałów wewnątrz tych obiektów. Ogromna różnorodność rozwiązań konstrukcyjnych uniemożliwia szczegółowe rozpatrywanie każdego z nich. Poniżej przedstawiono jedynie przykłady oraz ogólne zasady podziału prądu piorunowego w układach wieloprzewodowych (np. prętach stalowych konstrukcji żelbetowej), w których długości przewodów są znacznie większe w porównaniu z odległościami między nimi. Przykłady takich układów pokazano na rys. 16.



Rys. 16. Przykłady analizowanych konstrukcji żelbetowych w budynku

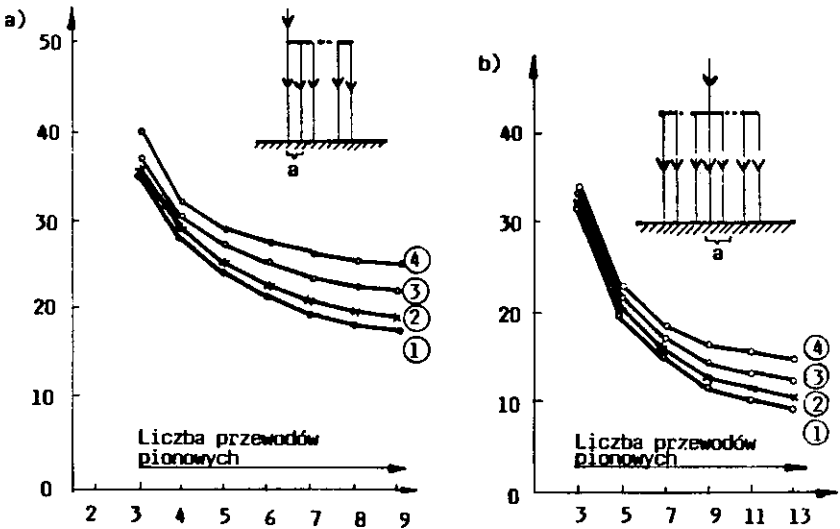
Analiza wyników pomiarów laboratoryjnych wskazuje na występowanie efektów wypierania prądu piorunowego z przewodów leżących pod miejscem uderzenia pioruna do przewodów bardziej oddalonych. W układach wieloprzewodowych prąd płynący w przewodach (prę-



Rys. 17. Przykłady rozpyływu prądu piorunowego w konstrukcjach wieloprzewodowych (wartości prądów podano w % wartości szczytowej prądu piorunowego). W analizowanych układach, mających powyżej 4 przewodów odprowadzających, prąd w przewodzie pod miejscem trafienia pioruna osiąga wartości

- a) od 20 do 30% I_{pmax} w układach niesymetrycznych; b) od 10 do 15% I_{pmax} w układach symetrycznych; c,d,e) od 10 do 15% I_{pmax} w układach symetrycznych narożnikowych

tach) pod miejscem uderzenia pioruna może osiągać mniejsze wartości w porównaniu z wartościami prądów w przewodach najbardziej oddalonych od miejsca trafienia. Przykłady wyznaczonego rozptywu prądu piorunowego w wieloprzewodowych konstrukcjach żelbetowych przedstawiono na rys. 17.



Rys. 18. Zmiany wartości prądów płynących w przewodach pod miejscami uderzeń przy wzrastającej liczbie przewodów pionowych

a) mniejsza liczba przewodów pionowych; b) większa liczba przewodów pionowych

① - $a = 0,5$ m, ② - $a = 1$ m, ③ - $a = 2$ m, ④ - $a = 3$ m

W konstrukcjach żelbetowych pręty pionowe najczęściej są łączne przewodami lub prętami poziomymi. Porównując amplitudy prądów uderzowych płynących w przewodach konstrukcji żelbetowych

z dodatkowymi połączeniami poziomymi i konstrukcji bez połączeń, można stwierdzić, że:

- następuje bardziej równomierny podział prądu piorunowego we wszystkich przewodach pionowych, leżących poniżej najwyższego dodatkowego połączenia poziomego;
- w każdym z badanych układów wprowadzenie dodatkowych połączeń poziomych powodowało zwiększenie wartości prądu płynącego w przewodach poprowadzonych pod miejscami uderzenia pioruna.

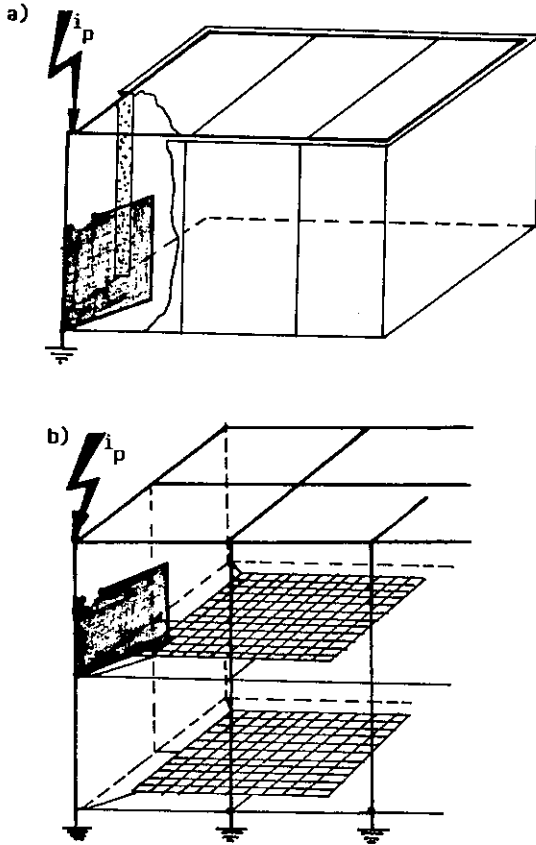
W wieloprzewodowych układach elementów konstrukcyjnych ułożonych blisko siebie zaobserwowano również znaczący wpływ wzrastającej liczby przewodów na wartości prądów płynących w przewodach pod miejscami uderzeń (rys. 18).

3.2. Odstępy izolacyjne

W galwanicznie odizolowanych urządzeniach lub otwartych pętłach, które umieszczono w pobliżu przewodów z prądem piorunowym, są indukowane napięcia pochodzenia atmosferycznego. Mogą one spowodować porażenie ludzi lub wystąpienie przeskoków iskrowych, groźnych zarówno dla personelu obsługującego urządzenia, jak i dla samych urządzeń. Indukowane napięcia powstają w pętłach tworzonych z:

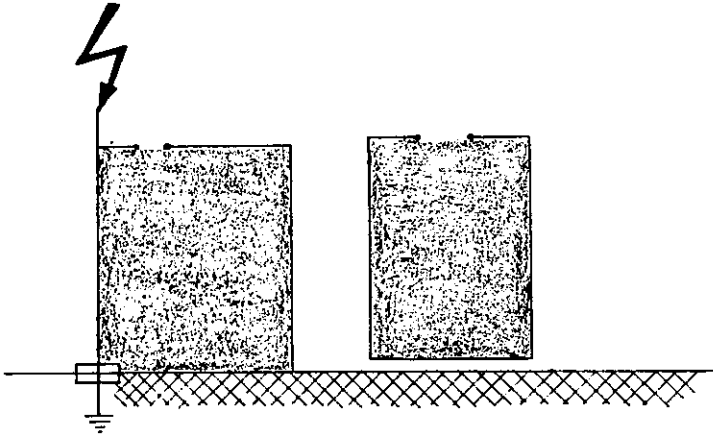
- przewodów z prądem piorunowym i instalacji przewodzących lub ludzi;
- elementów przewodzących w galwanicznie rozdzielonych urządzeniach.

Typowe pętle bezpośrednio przylegające do przewodów z prądem piorunowym w budynku parterowym i wielokondygnacyjnym zaprezentowano na rys. 19. Pokazano przykład największego zagrożenia podczas uderzenia w narożnik obiektu. Uproszczony układ oblicze-



Rys. 19. Pętle bezpośrednio przylegające do przewodów odprowadzających prąd piorunowy w obiekcie
a) parterowym; b) jednopiętrowym

niowy składa się z przewodu, w którym płynie część prądu piorunowego oraz przyległej i odsuniętej pętli (rys. 20). Zasady wyznaczania wartości napięć atmosferycznych w przedstawionych pętlach opisano w rozdz. 3.3.



Rys. 20. Uproszczony układ składający się z przewodu, w którym płynie część prądu piorunowego oraz pętli przyległej i odsuniętej

Określając możliwość wystąpienia przeskoków iskrowych, należy określić wytrzymałość elektryczną przerw izolacyjnych. W obiektach budowlanych wartość napięcia przeskoku przerw powietrznych zależy od ich długości, rodzaju zakończeń przerw (tzw. rodzaj elektrod) oraz kształtu i biegunowości doprowadzanego napięcia. Za najbardziej reprezentatywny w obiekcie i wprowadzający największe obostrzenia należy uznać przeskok iskrowy w układzie dodatnie ostrze - ostrze uziemione.

Wytrzymałość układu ostrze - ostrze uziemione dla uderów krótkich (czas do ucięcia równy ok. $3 \mu\text{s}$, co odpowiada w przybliżeniu kształtowi indukowanego napięcia pochodzenia atmosferycznego) powietrznej przerwy izolacyjnej o długości od ok. 5 cm do 100 cm może być określona z zależności:

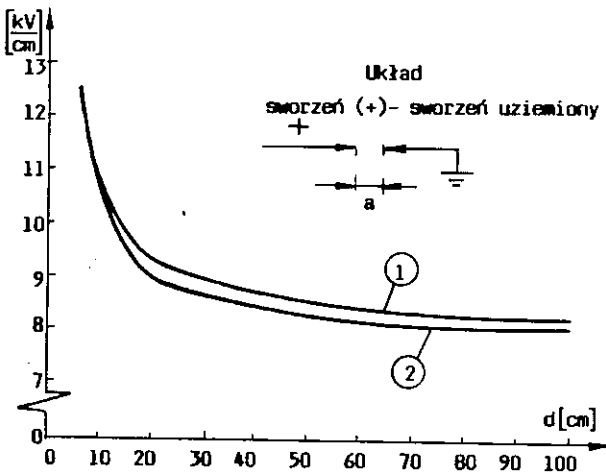
$$U_p = 24 + 7,9 x \quad [\text{kV}]$$

przy czym x [cm] jest odległością między ostrzami.

Powyższa zależność pozwala na określenie warunku uniemożliwiającego wystąpienie przeskoku w układzie. Przeskok nie wystąpi, jeśli:

$$x > \frac{U_p - 24}{7,9} \quad [\text{cm}]$$

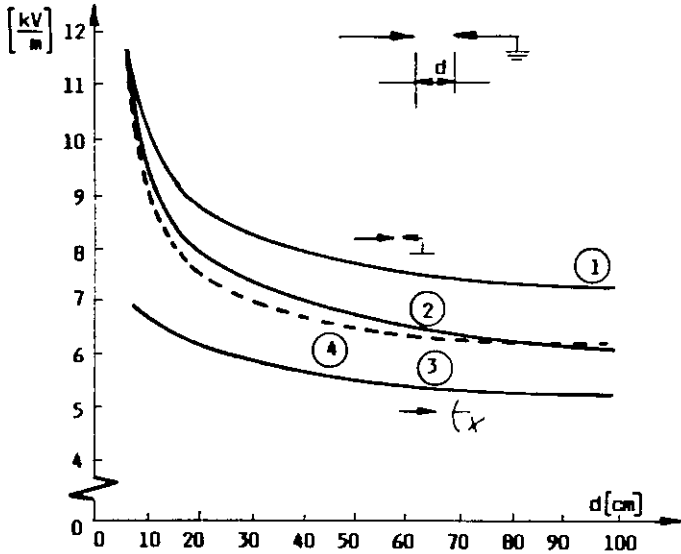
Do oceny możliwości wystąpienia przeskoku iskrowego w układzie można wykorzystać dane przedstawione na rys. 21 i 22.



Rys. 21. Wartości przeciętnej wytrzymałości jednostkowej powietrznej przerwy iskrowej w funkcji odstępów d między elektrodami
 1 - wg S. Szpora [17]; 2 - wg Z. Flisowskiego [4]

W przypadku uderzeń napięciowych dłuższych o kształcie $1,2/50 \mu\text{s}/\mu\text{s}$ lub $1,5/40 \mu\text{s}/\mu\text{s}$ wartości przeciętnej wytrzymałości jednostkowej przerw iskrowych zestawiono na rys. 22. Ze względu na kształty indukowanych napięć pochodzenia atmosferycznego najczęściej są wykorzystywane dane zaprezentowane na rys. 22.

Analizując możliwość wystąpienia przeskoczków iskrowych w obiekcie, w części przypadków należy uwzględnić wytrzymałość betonu na działanie uderzeń napięciowych. W przypadku braku możli-



Rys. 22. Przeciętna wytrzymałość jednostkowa przerw iskrowych w funkcji odstępów d
 1, 2, 3 - wg S. Szpora [17]; 4 - przebieg obliczony

wości otrzymania wymaganych odstępów izolacyjnych należy wykonać dodatkowe połączenia wyrównawcze w miejscach zbliżeń.

3.3. Zasady układania przewodów wewnątrz obiektu

Poniżej podano zasady postępowania umożliwiające zmniejszanie wartości napięć piorunowych indukowanych w obiekcie budowlanym uderzonym przez piorun.

Wewnętrzne połączenia wewnątrz budynku należy układać pod posadzką na lub obok uziemionych elementów (np. siatki, blachy, kątowniki), do których są dołączone przewody uziemiające urządzeń.

Uziemione elementy powinny być połączone z uziemieniem budynku połączeniami o możliwie najmniejszej impedancji.

W przypadku szczególnie wrażliwych urządzeń uziemionym elementem, obok którego lub na którym leżą przewody, powinna być blacha miedziana o grubości umożliwiającej osiągnięcie tego samego potencjału w całym pomieszczeniu.

Optymalnym sposobem ochrony jest układanie przewodów (na całej ich długości) w metalowych kanałach kablowych lub stosowanie kabli ekranowanych.

● W obiektach wielokondygnacyjnych należy unikać rozmieszczania rozbudowanych systemów elektronicznych na najwyższych piętrach (1÷3 górnych kondygnacji).

Przewody transmisji sygnałów powinny być układane w ekranowanych kanałach (szybach, traktach) biegnących pionowo.

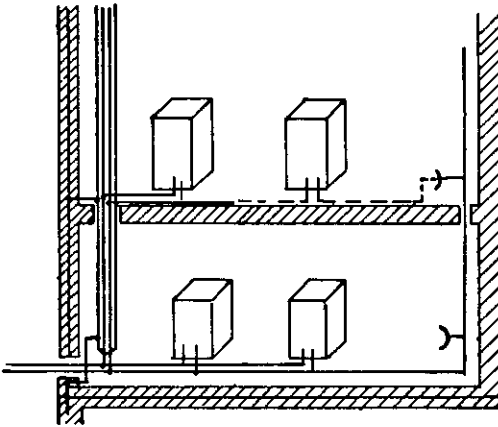
Kanału (szybu, traktu) z przewodami nie należy umieszczać w pobliżu przewodów, w których może płynąć prąd piorunowy. Najbardziej optymalnym rozwiązaniem jest kanał biegnący w środku obiektu.

Kanał doprowadzający przewody na najwyższe kondygnacje lub dach obiektu powinien być zakończony osłoną metalową, np. siatką o wymiarach 50x50x3 mm, którą należy połączyć z ekranem kanału.

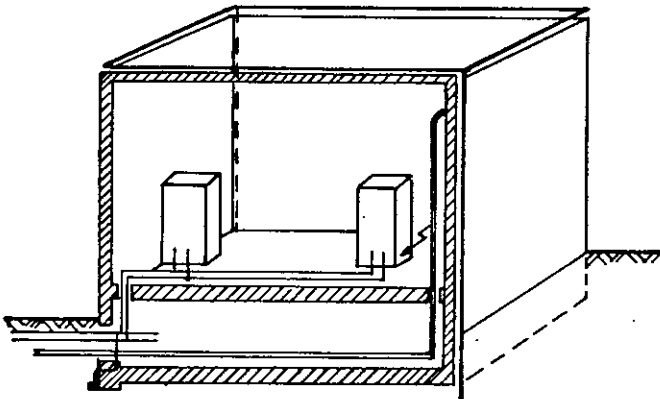
● Jeżeli przewody transmisji sygnałów i zasilania nie są umieszczone w przewodzącym kanale, to należy je układać możliwie najbliżej siebie (zachowując odległości uniemożliwiające wystąpienie przeni-ków) i prowadzić drogą możliwie najkrótszą. W ten sposób unikamy tworzenia z przewodów dużych pętli, w których mogłyby indukować się przepięcia o znacznych wartościach.

● Zabrania się układania przewodów w taki sposób, aby tworzyły one duże pętle. Analizując zagrożenie piorunowe, należy uwzględnić możliwość powstawania pętli tworzonych z przewodów sieci zasilającej, linii przesyłu sygnałów, przewodowych elementów konstrukcyjnych budynku, sieci wodno-kanalizacyjnej, c.o. itp.

Indukowane w pętlach napięcia mogą spowodować przebicie izolacji lub przeskoki iskrowe. Przykłady nieprawidłowych rozwiązań przedstawiono na rys. 23 i 24.

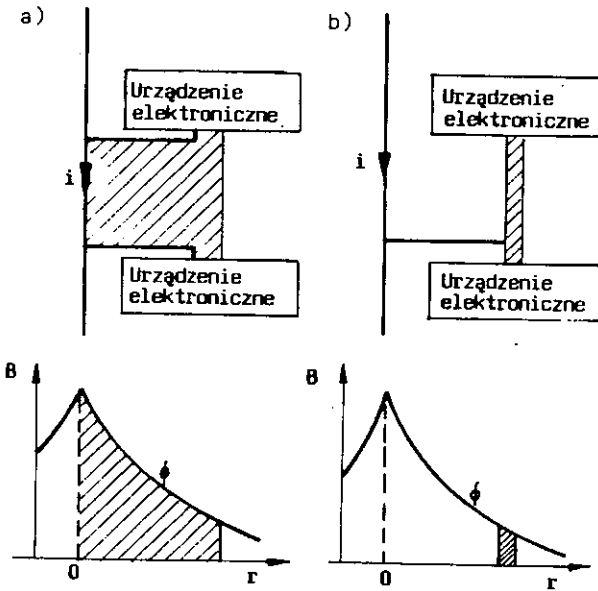


Rys. 23. Napięcia indukowane w pętli tworzonej przez przewody zasilające i linie transmisji sygnałów



Rys. 24. Napięcia indukowane w pętli tworzonej przez przewody zasilające i instalację wodno-kanalizacyjną

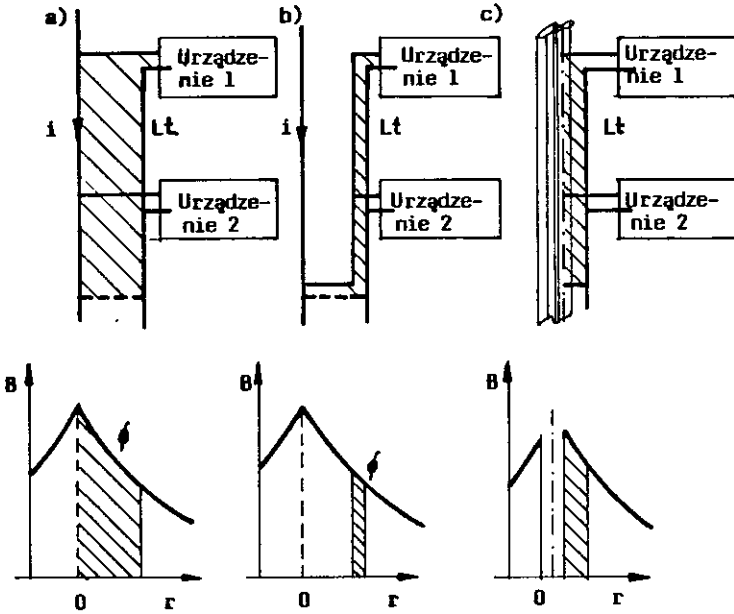
Wartości napięć indukowanych w pętach tworzonych z przewodów zasilających i linii przesyłu sygnałów zależą od pola powierzchni pętli, przez które przenika strumień magnetyczny, oraz od szybkości zmian tego strumienia w czasie. Przykłady zagrożenia stwarzanego w przypadku różnego rodzaju połączeń pokazano na rys. 25 i 26.



Rys. 25. Przenikanie strumienia magnetycznego przez pętle tworzone z przewodów

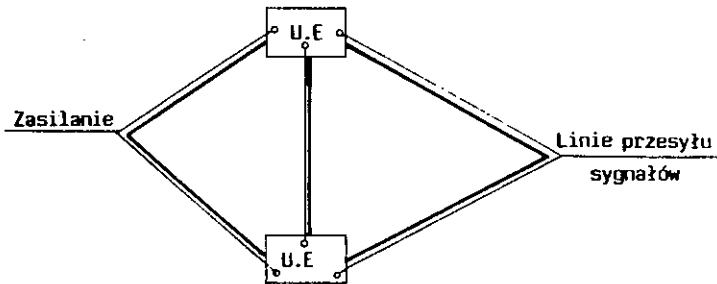
a) rozwiązanie błędne; b) rozwiązanie poprawne, wyraźne zmniejszenie wymiarów pętli znajdującej się w polu magnetycznym

● Jeżeli w obwodzie nie można unikać tworzenia dużych pętli, to należy układać przewody niskonapięciowe w rurkach lub stosować dodatkowe przewody (taśmy) miedziane, układane w bliskim sąsiedztwie układu przewodów tworzących pętle. Przykład takiego postępowania zaprezentowano na rys. 27.



Rys. 26. Przykłady oddziaływania pola magnetycznego na różnego rodzaju układy połączeń

a) rozwiązanie błędne; b, c) rozwiązania poprawne



Rys. 27. Ograniczenie napięć indukowanych w dużych pętlach za pomocą dodatkowych przewodów
UE - urządzenie elektroniczne

Układając przewody w sposób przedstawiony na rys. 27 otrzymujemy duże "zwarne" pętle tworzone przez dodatkowe przewody (taśmy). W pętlach tych zewnętrzne pole magnetyczne, wywołane przez rozprzyskający się prąd piorunowy, indukuje prądy udarowe. W takich układach w miejscach ułożenia przewodów wartość natężenia pola magnetycznego jest równa różnicy natężenia wywołanego przez rozprzyskający się prąd piorunowy oraz prąd udarowy płynący w pętlach. Wypadkowa wartość natężenia pola magnetycznego ulega znacznemu zmniejszeniu.

● Nie należy układać przewodów przesyłu sygnałów i zasilających równolegle do przewodów instalacji odgromowej lub przewodzących elementów konstrukcyjnych, w których płyną prądy piorunowe.

Jeżeli przewody niskonapięciowe i odgromowe są ułożone blisko siebie, to dopuszczalne długości odcinków ich równoległego ułożenia względem siebie wynoszą:

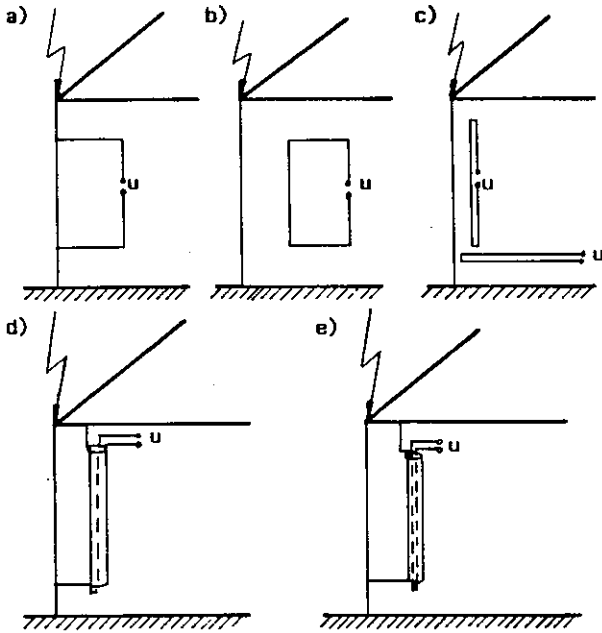
- 2 m w przypadku przewodów dochodzących do szczególnie wrażliwych urządzeń elektronicznych;
- 10 m w pozostałych przypadkach.

● W rozległych obiektach lub kompleksach budynków przewody o znacznych długościach biegnące w budynku lub między budynkami należy układać w całkowicie osłoniętych (ekranowanych) kanałach.

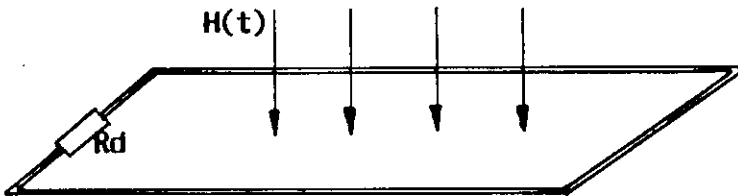
3.3.1. Wyznaczanie napięć indukowanych w układach przewodów wewnątrz obiektów

Uproszczone układy pętli i przewodów występujących w obiektach budowlanych pokazano na rys. 28.

Podczas bezpośredniego uderzenia piorunu w obiekt układy przewodów znajdują się w obszarze działania zmiennego pola magnetycznego (rys. 29).



Rys. 28. Uproszczone układy narażone na działanie pola magnetycznego wywołanego przez rozplywający się prąd piorunowy
 a, b) układy rozległych pętli; c) pętłe z ułożonych blisko siebie przewodów; d, e) przewody ekranowane



Rys. 29. Oddziaływanie zmiennego pola magnetycznego na pętlę tworzoną z przewodów

Zjawiska zachodzące w pętli znajdującej się w zmiennym polu magnetycznym opisuje równanie:

$$L \cdot \frac{di(t)}{dt} + R_c \cdot i(t) = - \frac{d\Phi_c}{dt}$$

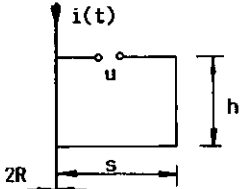
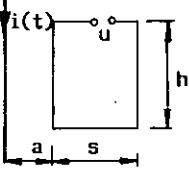
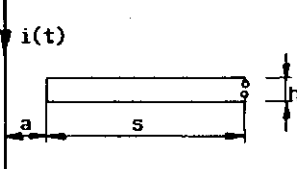
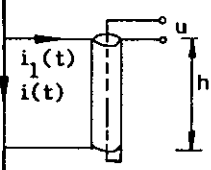
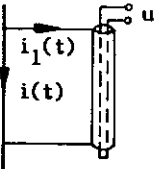
gdzie:

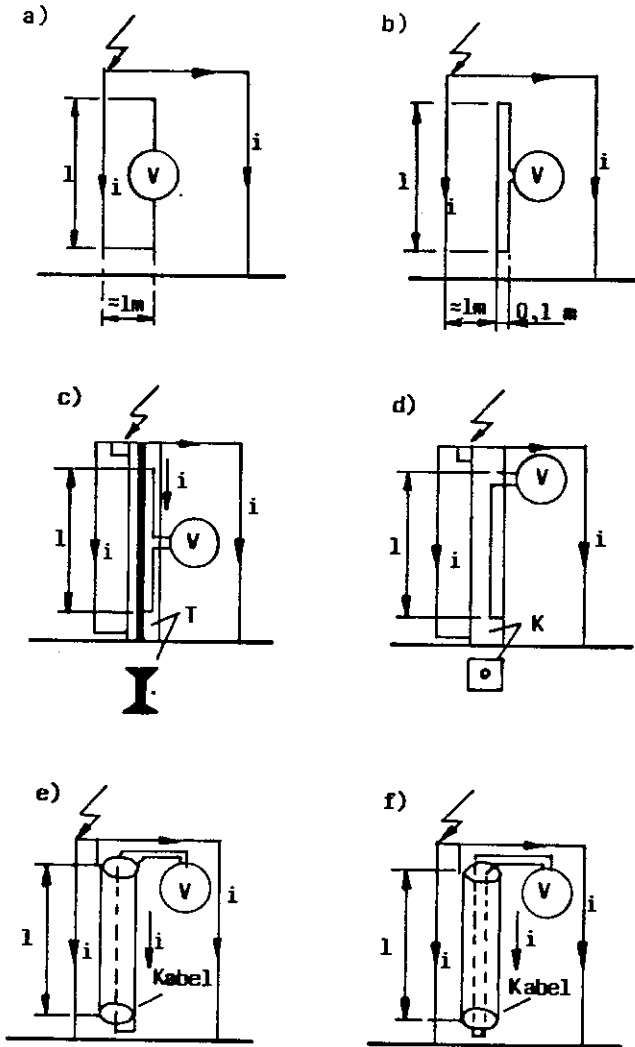
- $i(t)$ - prąd indukowany w zakłócanej pętli,
- L - indukcyjność własna pętli,
- $R_c = R_1 + R_d$ - rezystancja pętli (suma rezystancji przewodów R_1 oraz rezystancji dołączonej do obwodu R_d),
- Φ - zewnętrzny strumień magnetyczny wywołany przez rozprzyskujący się prąd piorunowy.

Uproszczone zależności, umożliwiające wyznaczenie napięć indukowanych przez prąd udarowy w pętlach i układach przewodów, zestawiono w tablicy 5. Zależności podane w tabl. 5 określają napięcia indukowane przez część prądu piorunowego płynącego w pojedynczym przewodzie instalacji odgromowej (lub przewodzącym elemencie konstrukcyjnym obiektu), który znajduje się w najbliższej analizowanej pętli lub przewodzie. Wartość szczytową prądu zakłócającego oraz jego przebieg czasowy przyjęto na podstawie danych z rozdz. 3.1.

Przybliżone wartości napięć piorunowych indukowanych w pętlach lub przewodach ułożonych w obiektach posiadających różne rozwiązania instalacji odgromowych (rys. 30) zaprezentowano w tablicy 6. Przedstawione zależności umożliwiają wyznaczenie napięć indukowanych w 1 metrze bieżącym pętli lub przewodzie.

Zależności określające napięcia indukowane przez prąd udarowy
płynący w pojedynczym przewodzie

Schemat układu	Zależności określające indukowane napięcia
	$u(t) = \frac{di(t)}{dt} \cdot \frac{\mu_o}{2\Pi} \cdot h \cdot \ln\left(\frac{s+R}{R}\right)$
	$u(t) = \frac{di(t)}{dt} \cdot \frac{\mu_o}{2\Pi} \cdot h \cdot \ln\left(\frac{s+a}{a}\right)$
	$u(t) = \frac{di(t)}{dt} \cdot \frac{\mu_o}{2\Pi} \cdot h \cdot \ln\left(\frac{s+a}{a}\right)$
	$u(t) = Z_T \cdot i_1(t) \cdot h$ <p>Z_T - impedancja przejścia ekranu kabla [mΩ/m]</p>
	$u(t) \approx 0$



Rys. 30. Różne układy przewodów, w których analizowano napięcia piorunowe indukowane w obiektach posiadających różne rozwiązania instalacji odgromowych (por. tabl. 6)

Przybliżone zależności określające napięcie indukowane przez prąd udarowy płynący w różnego rodzaju układach przewodów

Układy ochrony odgromowej	Analizowany układ przewodów (rys. 30)					
	a)	b)	c)	d)	e)	f)
	$\frac{U_i}{1} \left[\frac{kV}{m} \right]$	$\frac{U_i}{1} \left[\frac{kV}{m} \right]$	$\frac{U_i}{1} \left[\frac{kV}{m} \right]$	$\frac{U_i}{1} \left[\frac{kV}{m} \right]$	$\frac{U_k}{R_m} \left[\frac{kV}{\Omega} \right]$	$\frac{U_i}{1} \left[\frac{kV}{m} \right]$
Typowa instalacja odgromowa, min. 4 przewody odgromowe, odległość 10÷20 m	$\sqrt{\frac{a}{h}} \cdot 140$	$\sqrt{\frac{a}{h}} \cdot 2,8$	$\sqrt{\frac{a}{h}} \cdot 5,5$	≈ 0	$\sqrt{\frac{a}{h}} \cdot 100$	≈ 0
Szkielet stalowy lub żelbetowy	$\sqrt{\frac{a}{h}} \cdot 55$	$\sqrt{\frac{a}{h}} \cdot 2,8$	$\sqrt{\frac{a}{h}} \cdot 5,5$	≈ 0	$\sqrt{\frac{a}{h}} \cdot 100$	≈ 0
Metalowe fasady z oknami	$\frac{1}{\sqrt{h}} \cdot 14$	$\frac{1}{h} \cdot 0,55$	$\frac{1}{\sqrt{h}} \cdot 0,55$	≈ 0	$\frac{1}{\sqrt{h}} \cdot 10$	≈ 0
Konstrukcje żelbetowe bez okien	$\frac{1}{\sqrt{h}} \cdot 2,8$	$\frac{1}{h} \cdot 0,14$	$\frac{1}{\sqrt{h}} \cdot 0,14$	≈ 0	$\frac{1}{\sqrt{h}} \cdot 2$	≈ 0

3.4. Ekwipotencjalizacja

Podstawowym zadaniem ekwipotencjalizacji jest wyeliminowanie różnic potencjałów pomiędzy uziomami lub uziemionymi punktami wewnątrz budynku, a także, w niektórych przypadkach, na zewnątrz obiektu. Poprawnie wykonana ekwipotencjalizacja przyczynia się do:

- zwiększenia poprawności i bezawaryjności działania urządzeń elektrycznych, elektronicznych i telekomunikacyjnych pracujących w budynku;
- zapewnienia skutecznego działania urządzeń ochrony przepięciowej;
- zapewnienia bezpieczeństwa ludzi przebywających w obiekcie.

Wykonanie poprawnej ekwipotencjalizacji w obiekcie wymaga przestrzegania przedstawionych poniżej zasad postępowania.

- Ekwipotencjalizacją należy objąć instalacje wprowadzane do obiektu oraz instalacje przebiegające wewnątrz obiektu.

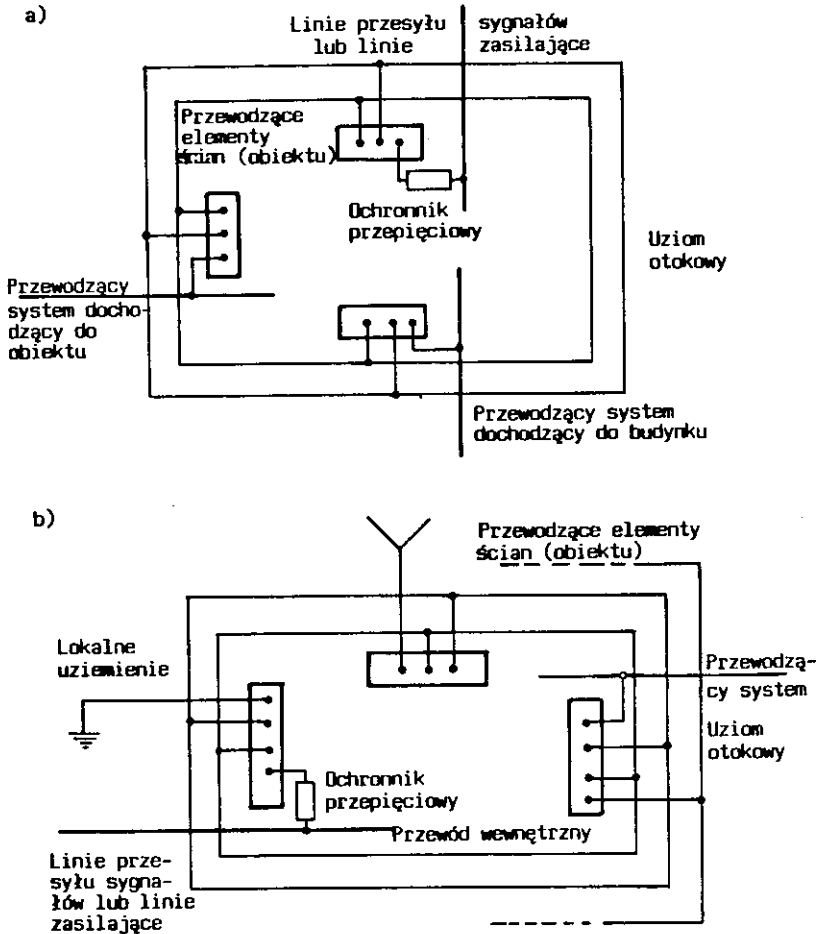
- Instalacje wprowadzane do obiektu należy wprowadzać do budynku i łączyć z dowolnym elementem urządzenia piorunochronnego lub metalowym elementem konstrukcji obiektu, zgodnie z zasadami podanymi w rozdz. 4.

- Jeżeli instalacje zewnętrzne, linie zasilające oraz telekomunikacyjne nie mogą dochodzić do obiektu w jednym punkcie i wymagane jest zastosowanie kilku szyn ekwipotencjalizacyjnych, to powinny być one połączone możliwie najkrótszym przewodem z uziomem lub metalowymi elementami konstrukcji żelbetowej. Zalecanym rozwiązaniem jest również wzajemne połączenie szyn przewodem, ułożonym wewnątrz lub na zewnątrz obiektu (ale zawsze po ścianach zewnętrznych), który połączono z uziomem przewodami odprowadzającymi, elementami konstrukcji żelbetowej. Typowe rozwiązania przedstawiono na rys. 31.

Przewód łączący szyny ekwipotencjalizacyjne powinien być podłączony do przewodzących elementów konstrukcji żelbetowej lub innego rodzaju elementów przewodzących ekranujących co ok. 5 m.

- W obiekcie należy zapewnić skuteczne połączenie z uziomem kanałów kablowych, szybów dźwigów, korpusów maszyn i urządzeń, stojaków z aparaturą, metalowych ram okiennych i framug drzwi oraz innych metalowych elementów znajdujących się w obiekcie. Ww. elementy należy połączyć bezpośrednio z przewodami uziemiającymi lub za pomocą połączeń wyrównawczych z szyną ekwipotencjalizacyjną.

Szyny ekwipotencjalizacyjne powinny obiegać dookoła od wewnątrz cały budynek po jego ścianach zewnętrznych i być tak zlokalizowane w obiekcie, aby można było je połączyć z uziomami za pomocą możliwie najkrótszych przewodów.



Rys. 31. Przykłady rozwiązań układu ekwipotencjalizacji

W celu uzyskania najkrótszych połączeń z uziemem wskazane jest instalowanie szyny ekwipotencjalizacyjnej w suterenie obiektu.

W budynkach nie posiadających podziemnych kondygnacji szyna ekwipotencjalizacyjna powinna być zamocowana możliwie najniżej, nie wyżej jednak niż 300 mm nad poziomem ziemi.

● W budynkach jednokondygnacyjnych do celów wyrównywania potencjałów można zastosować metalową siatkę w posadzce. W takich obiektach urządzenia, metalowe elementy i instalacje należy łączyć bezpośrednio do siatki.

W niewielkich obiektach najczęściej stosowanym elementem jest krótka szyna ekwipotencjalizacyjna umieszczona na jednej ze ścian budynku.

● W obiektach wielokondygnacyjnych przewód wyrównawczy biegnący dookoła budynku należy instalować na każdym piętrze.

Umieszczone na poszczególnych piętrach przewody otokowe należy łączyć ze sobą za pomocą pionowych przewodów rozmieszczonych co około 10÷15 m. W wyjątkowych przypadkach odległość między przewodami pionowymi może być zmniejszona, np. do 5 m.

● Minimalne przekroje poprzeczne przewodów łączących poszczególne urządzenia, systemy lub elementy z szyną ekwipotencjalizacyjną zależą od wielkości prądu, który może wystąpić w tych przewodach. Wartości przekrojów poprzecznych różnego rodzaju materiałów połączeń wyrównawczych wynoszą odpowiednio:

	*	**
- przewód miedziany	16 mm ²	6 mm ²
- przewód aluminiowy	25 mm ²	10 mm ²
- przewód stalowy	50 mm ²	16 mm ²

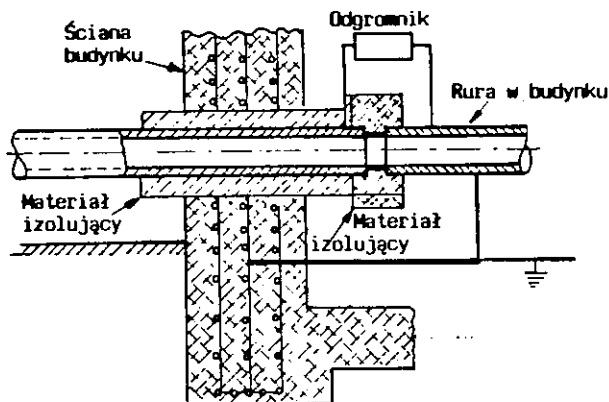
*, ** - w przewodzie może popłynąć odpowiednio znaczna i nieznaczna część prądu piorunowego.

● Łącząc tablice rozdzielcze niskiego napięcia z szyną ekwipotencjalizacyjną, należy stosować przewód, którego minimalne pole przekroju poprzecznego (w mm²) zależy od pola przekroju poprzecznego przewodów zasilających połączonych z daną tablicą rozdzielczą. Minimalne wartości pól przekrojów poprzecznych zestawiono w tablicy 7.

Pola przekrojów poprzecznych przewodów łączących tablice rozdzielcze niskiego napięcia z szynami ekwipotencjalizacyjnymi

Rodzaj przewodów	Wartość pola przekroju poprzecznego przewodów [mm ²].						
Przewody zasilające	10	15	25	35	50	70	95
Przewody wyrównawcze	10	16	16	16	25	35	50

● Systemy, elementy i urządzenia, które z przyczyn eksploatacyjnych lub ochrony przed korozją nie mogą być na trwałe uziemione, muszą być łączone z szynami ekwipotencjalizacyjnymi lub innymi elementami konstrukcji stalowej za pośrednictwem iskierników ochronnych. Przykład takiego połączenia pokazano na rys. 32.



Rys. 32. Przykład połączenia za pomocą iskiernika ochronnego metalowej rury z konstrukcją budynku

● W celu uniknięcia przeskoków iskrowych pomiędzy końcami długich przewodów biegnących w przybliżeniu równolegle względem

siebie (np. pionowe przewody odprowadzające i inne układy przewodów), które są połączone na jednym końcu odcinka równoległego, należy połączyć je na drugim końcu, jeśli:

- przewody są ułożone w odległości mniejszej niż 2 m,
- biegną równolegle względem siebie na odcinku dłuższym od 10 m.

● Podczas bezpośredniego uderzenia pioruna w budynek skoki potencjałów mogą osiągnąć wartości setek kV. W celu uniknięcia przeskoków, uszkodzeń izolacji i innych zagrożeń należy łączyć z uziemem wszelkie metalowe przedmioty, elementy konstrukcyjne itp. występujące na zewnątrz obiektu. Obszar zagrożenia obejmuje odległości w granicach ok. 5 m od uziomu obiektu.

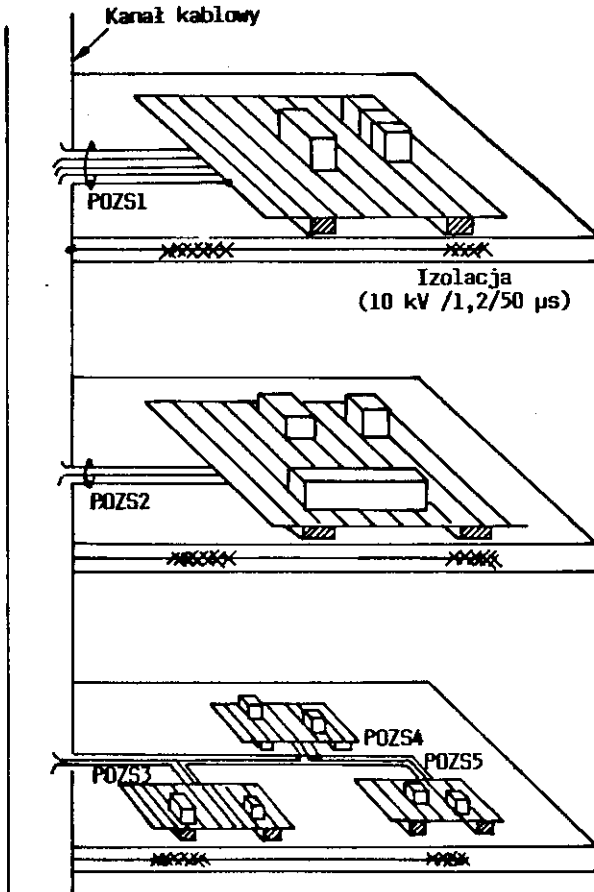
3.5. Uziemianie "hybrydowe" urządzeń elektronicznych i telekomunikacyjnych

Właściwe uziemienie i poprawna instalacja wszelkiego oprzewodowania stanowi podstawowy czynnik poprawy kompatybilności elektromagnetycznej pomiędzy różnymi układami elektrycznymi i elektronicznymi, a ponadto nie wymaga znaczących zmian w samych układach. Jednakże stosowanie wielopunktowego łączenia szyn ekwipotentjalizacyjnych z instalacją uziemiającą, konstrukcją stalową budynku lub innymi elementami metalowymi nie zawsze zapewnia optymalny poziom ochrony. Pojawiają się problemy, których przyczynami są:

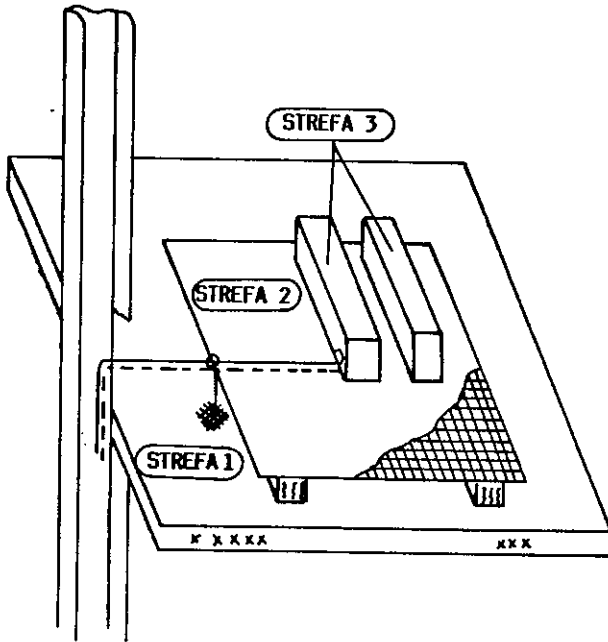
- emisja zakłóceń przez urządzenia (urządzenie staje się źródłem zakłócenia),
- oddziaływanie wytwarzanych zakłóceń na inne urządzenia (ważna jest kwestia wrażliwości urządzeń),
- oddziaływanie "prądów błędzących w ziemi" rozważanego systemu.

W tym ostatnim przypadku pojedyncze urządzenie lub układ urządzeń może:

- generować prądy w ziemi innych urządzeń i układów oraz powodować ich wadliwe działanie;
- ulegać wpływom "prądów błądzących" w ziemi danego układu; prądy te mogą pochodzić od innych nieznanymi układów mających dużą zdolność do ich generacji.



Rys. 33. Uziemianie hybrydowe
POZS = punkt odniesienia ziemi systemu

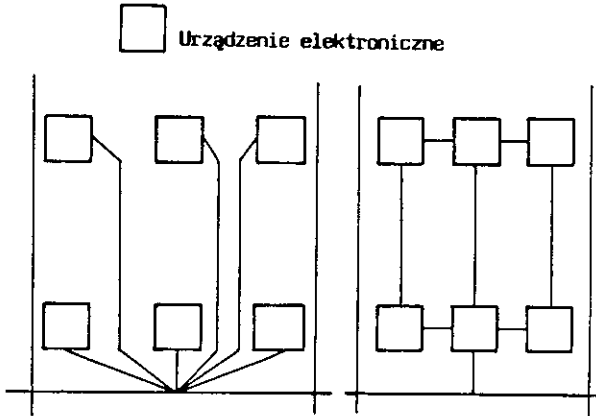


Rys. 34. Uziemianie hybrydowe

Skala powyższych problemów w tradycyjnym wielopunktowym systemie uziemiania jest bardzo trudna do wstępnego szacowania, a stopień zagrożenia zmienia się w przypadku dołączenia innych układów uziemiających, metalowych elementów konstrukcyjnych itp. Optymalnym rozwiązaniem tego problemu jest zastosowanie tzw. uziemiania hybrydowego.

Hybrydowy system uziemiania składa się z sieci wzajemnie połączonej "ziemi" systemu chronionego, która łączy się z innymi układami uziemiającymi tylko w jednym punkcie. Punkt ten jest jednocześnie jedynym punktem geometrycznym sprzężenia z innymi systemami (np. rys. 33 i 34). Sieć "ziemi" systemu może mieć konfigurację gwiazdową lub oczkową (rys. 35). Uziemienie hybrydowe jest

określane jako układ wielooczkowej sieci uziemiającej z pojedynczym punktem uziemiania.



Rys. 35. Konfiguracja gwiazdowa i oczkowa sieci uziemiającej

Poniżej podano podstawowe cechy takiego uziemiania.

- 1) System, układ, zespół urządzeń elektronicznych ma wyodrębniony wielooczkowy obwód ziemi o małej impedancji prowadzony od stojaków z aparaturą chronioną i powiązany korytkami kabli, siatkami itp. Obwód taki stanowi tzw. ziemię systemu. Uwaga: Sieć ziemi systemu zapewnia małą impedancję uziemienia także dla sygnałów wysokiej częstotliwości. Fakt ten ma poważną zaletę w porównaniu z tradycyjną konfiguracją gwiazdową ziemi systemu.
- 2) Ziemia systemu jest połączona z przewodami uziemiającymi nie należącymi do układu tylko w jednym i wyodrębnionym punkcie, tzw. punkcie odniesienia ziemi systemu; w dalszej części opracowania punkt ten będzie oznaczany jako POZS. Takie połączenie powoduje, że każdy z przewodów połączonych z ziemią systemu (np. ekrany kabli) jest też połączony z POZS. Uwaga: Dzięki

przedstawionej technice połączeń prądy małych częstotliwości płynące z ziemi nie mogą opuścić systemu i odwrotnie - prądy powstające poza systemem nie mogą do niego wpłynąć.

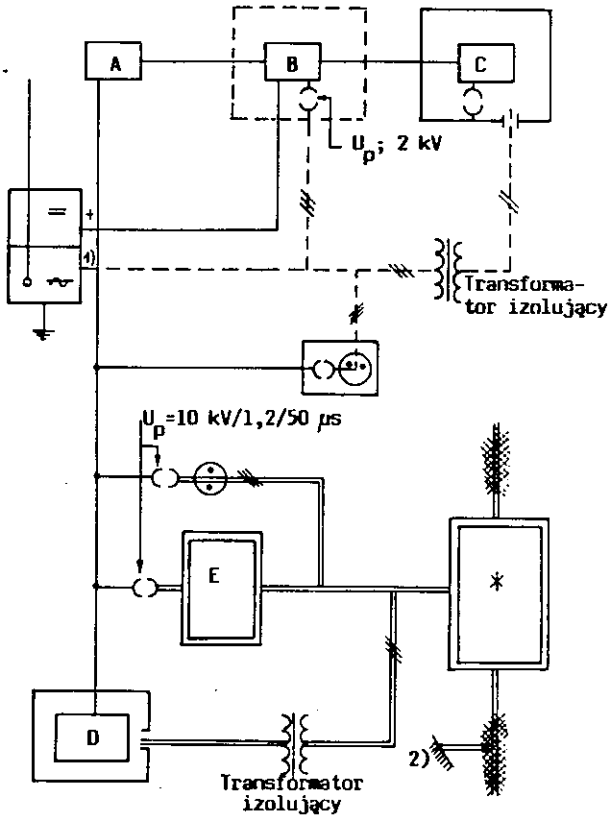
- 3) Każdy system może mieć swój własny POZS.
- 4) Duże systemy są dzielone na podsystemy, z których każdy ma odrębny POZS.
- 5) Impedancja wzajemnego połączenia między różnymi POZS musi mieć małą wartość (np. wykorzystanie do tego celu ekranujących kanałów kablowych).
- 6) Wszystkie kable wchodzące do systemu i wychodzące z niego przechodzą przez POZS. Uwaga: Zostają ograniczone wówczas do minimum pętle indukcyjne, które mogą emitować zakłócenia oraz unika się problemów wynikających z wrażliwości urządzeń.

W celu ułatwienia dalszej analizy właściwości uziemiania hybrydowego zostaną wprowadzone następujące określenia:

- UPZS - urządzenie połączone z ziemią systemu galwanicznie, np. urządzenia łączności, aparatura kontrolna itd.;
- UIZS - urządzenie izolowane od ziemi systemu, np. urządzenia oświetleniowe, wentylacyjne, ruchomy sprzęt pomiarowy itp.

Rys. 36 ilustruje wszystkie możliwe rozwiązania zagadnienia uziemiania i zasilania. Należy zauważyć, iż również dla UPZS sieć zasilająca jest izolowana od ziemi systemu z niżej podanych powodów.

- a) Badania [11] wykazały, że wewnątrzsystemową kompatybilność elektromagnetyczną można dodatkowo poprawić, jeśli ochronny przewód zerujący (uziemiający) sieci zasilającej UPZS jest izolowany od ziemi systemu. Wymaganie to stanowi jedynie zalecenie i nie jest obowiązujące. Warunkiem koniecznym jest jednak wprowadzenie sieci zasilającej UPZS w obszar systemu przez POZS oraz połączenie ochronnego przewodu uziemiającego z POZS.



Rys. 36. Różne rozwiązania zasilania i uziemiania

A,B,C,D - urządzenia połączone z ziemią systemu galwanicznie (UPZS); E - urządzenie izolowane od ziemi systemu (UIZS); A - urządzenie zasilane prądem stałym; B - urządzenie zasilane prądem przemiennym w przypadku odizolowania od ziemi systemu; C - urządzenia zasilane prądem przemiennym nieizolowane od ziemi systemu; D - urządzenia zasilane prądem przemiennym z obwodu zasilającego UIZS (np. urządzenia peryferyjne poza strefą uziemiania); dla urządzeń o izolacji II klasy nie jest wymagany transformator separujący (urządzenia te posiadają wzmocnioną izolację i nie mają żadnego przewodu ochronnego); G,F - gniazda zasilające odpowiednio UPZS i UIZS; 1) - zasilanie UPZS; 2) - uziom budynku; — - "ziemia" systemu i UPZS; ---- - przewody zasilające UPZS; == - UIZS i przewody je zasilające; xxx - łączenie z uziomem budynku, tj. zbrojeniem, układem ochrony odgromowej itp.; * - zasilanie niskim napięciem UIZS; -() - izolowanie; -(-) - połączenie

- b) W celu zmniejszenia sprzężenia elektromagnetycznego w sieci ziemi systemu należy zachować odległości ok. 50 cm pomiędzy kablami należącymi odpowiednio do UPZS i UIZS. Dopuszczalne są wyjątki, o ile zostaną przyjęte specjalne środki (np. ekranowane kable). Uwaga: Kable nieekranowane biegnące w pobliżu kabli ekranowanych mogą podlegać wpływowi prądu płynącego w ekranie. Fakt ten należy uwzględnić podczas układania nowych instalacji kabli ekranowanych w sąsiedztwie istniejących instalacji kabli nieekranowanych.

Aspekty ochrony odgromowej przy bezpośrednim uderzeniu pioruna w budynek są uwzględniane przez:

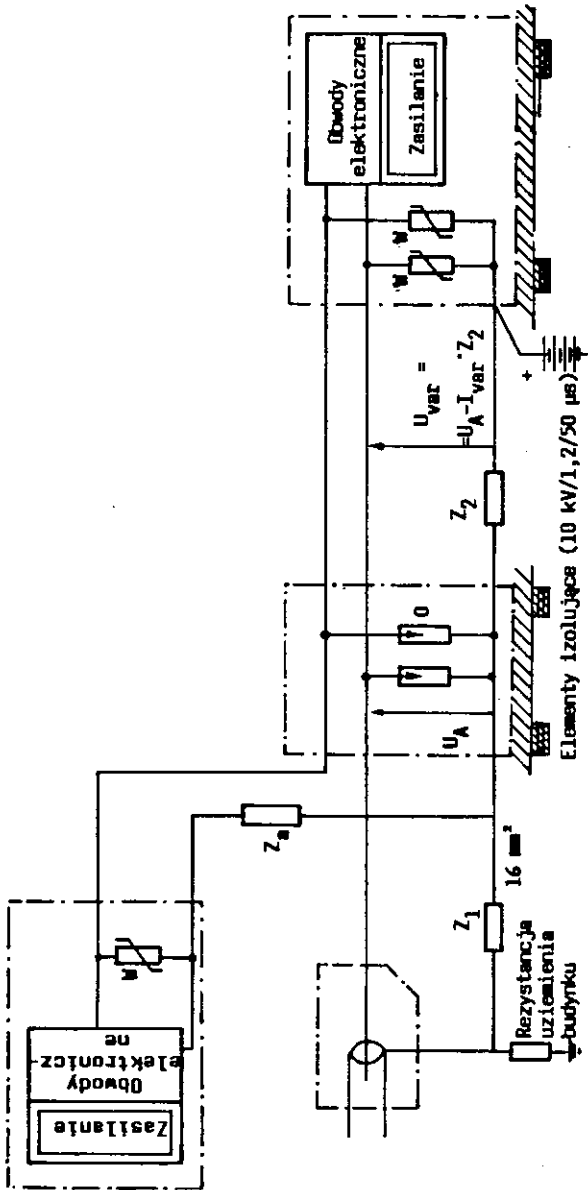
- rozmieszczenie okablowania,
- połączenie na każdej kondygnacji POZS ze wspólną instalacją uziemiającą budynku,
- test wytrzymałości elektrycznej wskazany na rys. 33 i 36.
- zapewnienie środków pozwalających osiągnąć małą wartość impedancji połączeń pomiędzy różnymi POZS.

Jako tory niskoimpedancyjne można przyjąć:

- drogi tworzone z wzajemnie połączonego zbrojenia betonu,
- stalowe kanały (najlepiej zamknięte),
- wzajemnie połączone arkusze blachy o polu przekroju poprzecznym ok. 2000 mm².

Kable prowadzone pomiędzy POZS należy kłaść wewnątrz kanałów bądź bardzo blisko arkuszy blachy.

Stosowanie instalacji uziemiającej typu hybrydowego (rys. 37) jest wskazane, np. w abonenckich centralach telefonicznych. Wymaganie to jest dyktowane notowaną w praktyce dużą liczbą uszkodzeń w abonenckich elektronicznych automatycznych centralach telefonicznych wywoływanych przez przepięcia atmosferyczne i odnosi się nie tylko do przepięć wywołanych przez LEMP, lecz również przez NEMP.



Rys. 37. Uziemianie i ochrona przepięciowa w abonentkach automatycznych centralach telefonicznych

W większości takich instalacji jest stosowany tylko jeden POZS (główny uziom budynku), który zwykle usytuowano przy wejściu linii telekomunikacyjnej do budynku. Funkcjonalna ziemia urządzeń telekomunikacyjnych składa się ze specjalnie przeznaczonego do tego celu przewodu uziemiającego, który biegnie trasą okablowania telekomunikacyjnego i jest uziemiony jedynie w POZS.

Napięcie przebicia izolacji owego przewodu uziemiającego i wszystkich urządzeń z nim połączonych w odniesieniu do elementów ziemi budynku musi wynosić 10 kV przy udarze probierczym 1,2/50 $\mu\text{s}/\mu\text{s}$. Pozwala to uniknąć przypadkowego kontaktu pomiędzy ziemią funkcjonalną a otoczeniem.

Pomiędzy wszystkimi liniami telekomunikacyjnymi a głównym uziomem są włączone urządzenia podstawowej ochrony przepięciowej (iskierniki). W takim układzie prąd udarowy nie płynie przez przewód uziemiający o impedancji Z_2 . Przy chronionej aparaturze instaluje się urządzenia dodatkowej ochrony przepięciowej (warystory), której stopień zależy od parametrów ochrony podstawowej.

Przedstawiony wyżej system uziemiania hybrydowego zapewnia niezawodne funkcjonowanie elektronicznych cyfrowych central telefonicznych, nawet w środowisku elektromagnetycznym o dużym poziomie zakłóceń.

3.6. Ekranowanie urządzeń elektronicznych

Oceniając zagrożenie urządzeń elektronicznych narażonych na działanie LEMP i NEMP, należy uwzględnić oddziaływanie na impulsowe pole elektromagnetyczne:

- elementów przewodzących konstrukcji żelbetowych obiektu,
- jednorodnych ekranów ochronnych.

Podstawowymi zagadnieniami, jakie należy rozważyć w takich przypadkach, są:

- właściwości ekranujące różnego rodzaju połączeń tworzonych z metalowych prętów konstrukcji żelbetowych obiektu,
- właściwości ekranów wykonywanych z jednorodnych materiałów przewodzących (blachy z różnych materiałów),
- przenikanie impulsowego pola elektromagnetycznego przez różnego rodzaju otwory lub szczeliny w jednorodnym ekranie, np. otwory wentylacyjne, okienne, drzwiowe.

W niniejszym artykule problemy związane z powyższymi zagadnieniami zostaną jedynie zasygnalizowane. Dokładne ich rozwiązanie, wymagające badań laboratoryjnych i analizy teoretycznej, może być przedmiotem dalszych opracowań.

3.6.1. Ekranujące właściwości konstrukcji żelbetowych

Właściwości ekranujące różnego rodzaju konstrukcji stalowych lub żelbetowych są określane najczęściej na podstawie wyników badań laboratoryjnych lub terenowych rzeczywistych obiektów bądź ich części składowych. Przykłady skuteczności ekranowania przed polem elektromagnetycznym o częstotliwości od kilkudziesięciu kHz do kilkuset MHz różnego rodzaju elementów w obiekcie przedstawiono w tablicy 8.

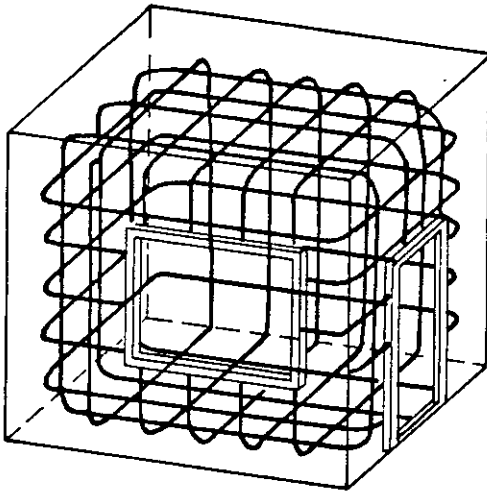
Tablica 8

Właściwości ekranujące elementów konstrukcji budynku

Rodzaj konstrukcji	Skuteczność ekranowania [dB]
Ścianki działowe	8÷11
Ściany budynków	15÷25
Całe budynki żelbetowe	18÷35

Są to jedynie dane orientacyjne i w przypadku konieczności dokładnego ich określania należy przeprowadzić pomiary w analizowanym obiekcie.

W celu uzyskania możliwie najlepszych właściwości ekranujących należy przewodzące elementy konstrukcyjne łączyć zarówno między sobą, jak i z metalowymi framugami drzwi oraz okien. Przykład takiego rozwiązania zaprezentowano na rys. 38.



Rys. 38. Połączenie w obiekcie przewodzących elementów konstrukcyjnych

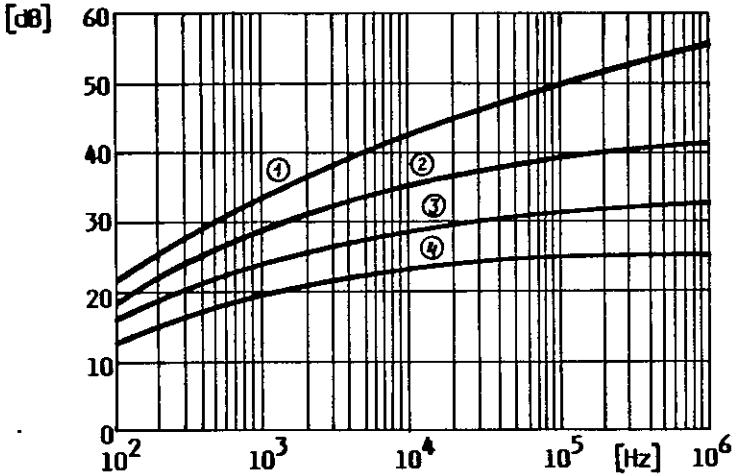
Do oceny właściwości ekranujących różnego rodzaju połączeń elementów przewodowych w obiekcie można wykorzystać następujące równanie:

$$S_{Bmax} = 20 \log \frac{H_{1max}}{H_{2max}}$$

gdzie:

H_{1max} , H_{2max} - maksymalna wartość natężenia pola magnetycznego wewnątrz obiektu w przypadku odpowiednio bez konstrukcji żelbetowej i z konstrukcją żelbetową.

Skuteczność ekranowania konstrukcji żelbetowych jest wyznaczana najczęściej doświadczalnie. Przykład zmierzonych zmian właściwości ekranujących konstrukcji żelbetowych w funkcji częstotliwości zmian pola magnetycznego pokazano na rys. 39.



Rys. 39. Zmiany skuteczności ekranowania konstrukcji żelbetowych w funkcji częstotliwości. Wymiary "oka" konstrukcji:

- ① - 12 mm x 12 mm, d = 2 mm; ② - 100 mm x 100 mm, d = 12 mm;
 ③ - 200 mm x 200 mm, d = 18 mm; ④ - 400 mm x 400 mm, d = 25 mm

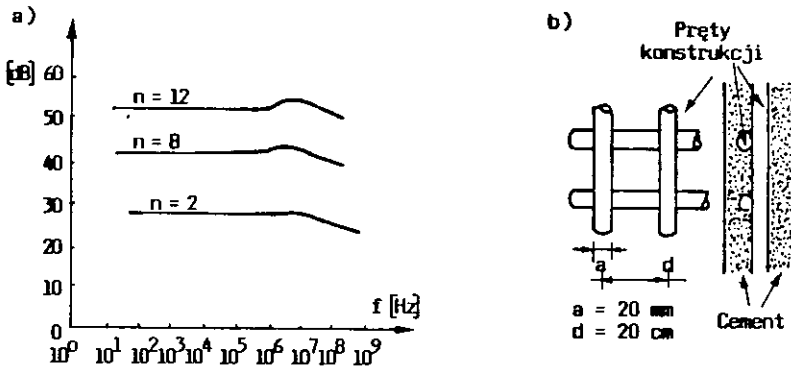
Równoległe z pomiarami prowadzonymi w rzeczywistych obiektach są podejmowane również próby teoretycznego rozwiązania tego zagadnienia. Do wyznaczania skuteczności ekranowania konstrukcji przedstawionej na rys. 40b przed polem elektrycznym i magnetycznym w funkcji częstotliwości można wykorzystać równanie:

$$S_{EH} = 94 + 10 \cdot \log \left(\frac{F_s}{F_c} \right) - 2,5 \cdot \log (2,56 \cdot 10^{18} + 3150 \cdot \omega^2) - 5 \cdot \log \mu_r$$

gdzie:

ω - pulsacja padającej fali elektromagnetycznej,
 $\mu_{rs} = 1000$ dla drutów i prętów stalowych.

Na podstawie powyższej zależności wyznaczono wartości skuteczności ekranowania konstrukcji składającej się z "n" warstw stalowych prętów (rys. 40).



Rys. 40. Konstrukcja żelbetowa składająca się z kilku warstw prętów stalowych i jej skuteczność ekranowania

a) wykres skuteczności ekranowania dla $n = 2, 8, 12$ warstw prętów stalowych; b) praktyczne ułożenie dwóch warstw ekranujących ($n = 2$);
 n - liczba warstw prętów stalowych

3.6.2. Ekranu jednorojne

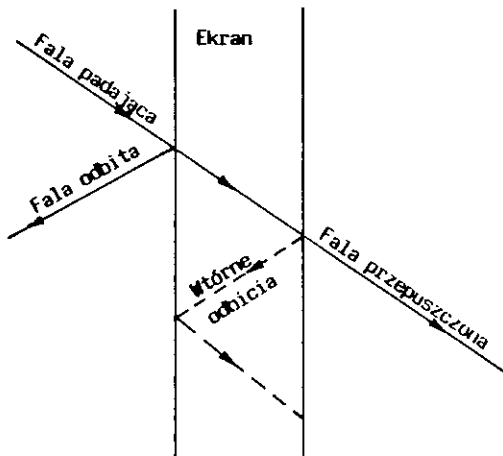
Teoretyczne rozważania, dotyczące zagadnień skuteczności ekranowania ekranów jednorodnych przed zakłóceniami elektromagnetycznymi (EMI) oraz promieniowaniem elektromagnetycznym (EMR) są prowadzone najczęściej z wykorzystaniem jednego z dwóch przedstawionych założeń:

- 1) pole elektromagnetyczne indukuje w ekranie prądy wirowe, które wytwarzają pole przeciwnego znaku do pola zakłócającego; dzięki temu wypadkowe pole elektromagnetyczne ulega zmniejszeniu;
- 2) ekrany tłumią pole elektromagnetyczne na skutek zjawisk związanych z odbiciem i pochłanianiem pola.

W drugim z powyższych przypadków energia fali elektromagnetycznej jest:

- odbijana od obu powierzchni ekranu,
- pochłaniana przez ekran,
- przepuszczana przez ekran.

Przykład takiego oddziaływania ekranu na falę elektromagnetyczną pokazano na rys. 41.



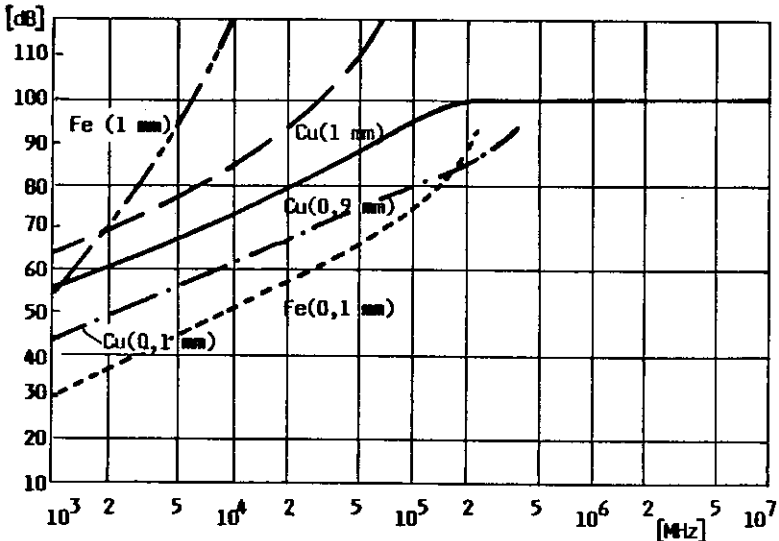
Rys. 41. Oddziaływanie ekranu na padającą falę elektromagnetyczną

Skuteczność ekranowania w przedstawionym przykładzie może być wyznaczona z zależności:

$$S = A + R + B \quad [\text{dB}]$$

gdzie:

- A - tłumienie związane ze zjawiskiem pochłaniania fali [w dB],
- B - składnik związany z wewnętrznym odbiciem [w dB],
- R - składnik związany z odbiciem fali od powierzchni ekranu, na który ona pada.



Rys. 42. Skuteczność ekranowania blach o różnych grubościach

Składnik B jest uwzględniany, jeśli pochłanianie jest dostatecznie małe i straty wynikające z faktu wewnętrznego odbicia są znaczne. Składnik B jest pomijalny, jeżeli A jest większe od 10÷15 dB. Uproszczona zależność określająca skuteczność ekranowania przybiera wówczas postać:

$$S = A + R \quad [\text{dB}]$$

a tłumienie związane ze zjawiskiem pochłaniania fali (składnik A) wynosi:

$$A = k \cdot t \cdot \sqrt{\mu \cdot f \cdot G}$$

gdzie:

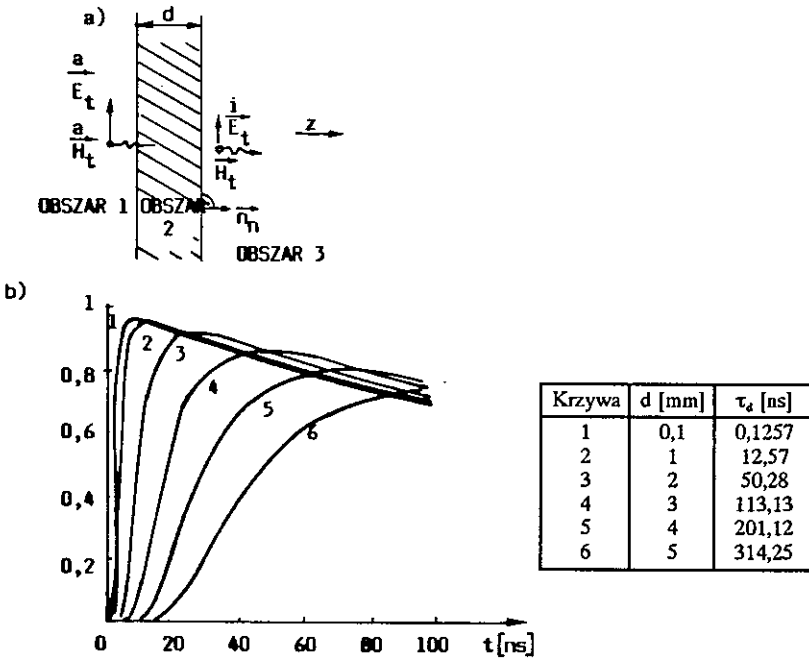
k - współczynnik zależny od wyboru jednostek,

t - grubość ekranu,

f - częstotliwość,

G - przewodność ekranu.

Przykłady wyznaczonych wartości skuteczności ekranowania w funkcji częstotliwości ekranów o różnych grubościach podano na rys. 42. Dodatkowo na rys. 43 zilustrowano wpływ grubości ekranu



Rys. 43. Zmiany kształtu impulsu elektromagnetycznego po przejściu przez ekran o różnej grubości

a) widok ogólny fali padającej i ekranu; b) przebiegi czasowe impulsów elektromagnetycznych po przejściu przez ekran

na kształt impulsu pola elektromagnetycznego przechodzącego przez ekrany o różnych grubościach.

3.6.3. Zasady tworzenia stref ochronnych wewnątrz obiektu

Kompleksowa ochrona urządzeń elektronicznych pracujących wewnątrz różnego rodzaju obiektów wymaga równoczesnego zabezpieczenia przed:

- bezpośrednim oddziaływaniem na urządzenia impulsowego pola elektromagnetycznego LEMP lub NEMP,
- przepięciami/przetężeniami dochodzącymi do urządzeń różnego rodzaju przewodami.

Uwzględniając powyższe sposoby oddziaływania impulsów zakłócających, należy podejmować próby równoczesnego ich ograniczania. Sposoby zabezpieczania oraz rodzaje stosowanych układów ochronnych zależą od poziomów odporności udarowej chronionych urządzeń.

Przy wyborze odpowiedniego systemu ochrony należy uwzględnić zarówno spodziewane poziomy sygnałów zakłócających, jak i poziomy odporności udarowej urządzeń. W większości przypadków optymalnym rozwiązaniem jest tworzenie wewnątrz obiektu stref o różnym stopniu zagrożenia i umieszczanie w tych strefach urządzeń elektromagnetycznych, które mogą bezawaryjnie pracować przy danym poziomie zakłóceń.

W przypadku wyładowań atmosferycznych należy uwzględnić niżej podane strefy.

STREFA 0

Urządzenia lub systemy elektroniczne w tej strefie są narażone na bezpośrednie uderzenie pioruna. Zabezpieczając urządzenia w tej strefie, należy uwzględnić możliwość przepływu w elementach przewodzących całego prądu piorunowego oraz wystąpienie impulsowego

pola elektromagnetycznego o maksymalnych wartościach (kilkaset kV/m, kilkadziesiąt kA/m).

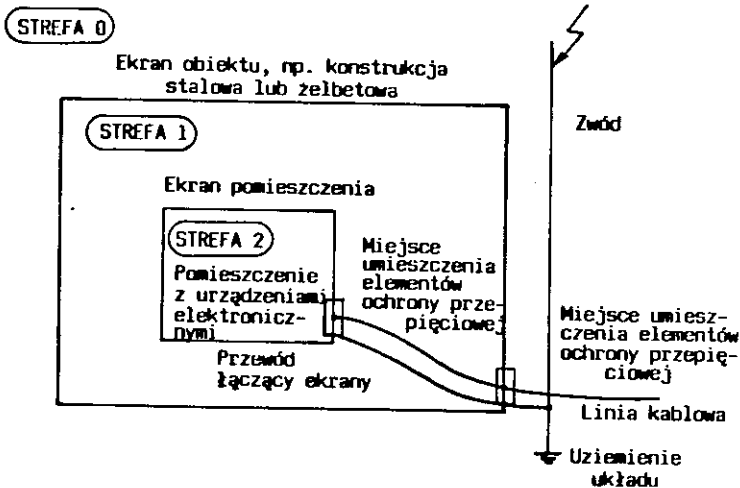
STREFA 1

Urządzenia lub systemy w tej strefie nie są zagrożone możliwością bezpośredniego uderzenia pioruna. Prądy, jakie wystąpią w elementach przewodzących, stanowią jedynie część prądu piorunowego. Dodatkowo pomieszczenia, w których pracują urządzenia są ekranowane (konstrukcje żelbetowe, ekrany jednorodne). Przepięcia dochodzące do urządzeń są ograniczone.

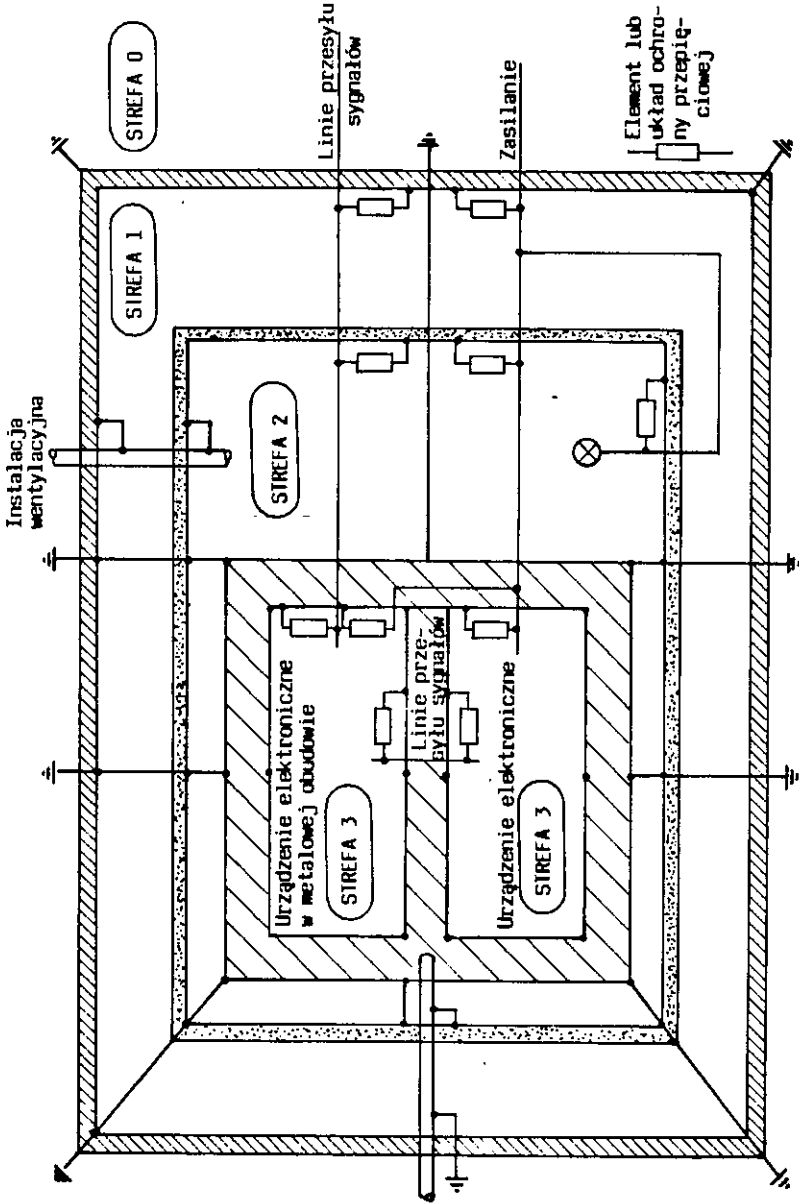
STREFY 2, 3 ... itd.

Dalszy podział obiektu na kolejne strefy zależy od poziomów odporności udarowej urządzeń elektronicznych. Każda z tworzonych stref powinna posiadać odrębne ekranowanie oraz elementy lub układy ochrony przepięciowej przy wejściu wszelkiego rodzaju instalacji.

Przykładowe podziały obiektu na strefy pokazano na rys. 44 i 45.



Rys. 44. Przykładowy podział obiektu na trzy strefy zagrożenia piorunowego



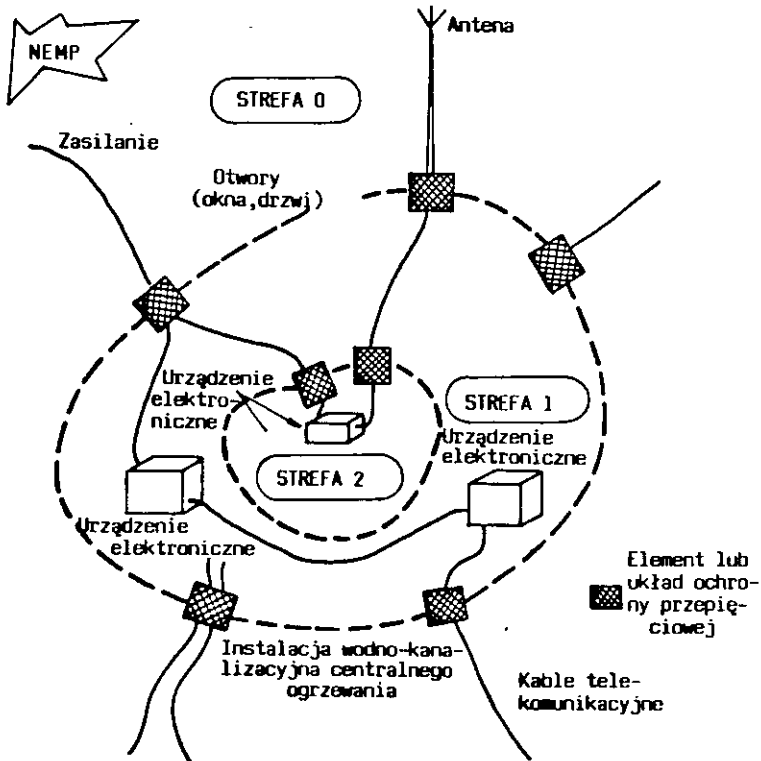
Rys. 45. Przykładowy podział obiektu na cztery strefy zagrożenia piorunowego

Podane przykłady ilustrują dwa warianty połączeń poszczególnych stref:

WARIANT 1 - połączenie ekranów poszczególnych stref ze sobą tylko w jednym punkcie (rys. 44),

WARIANT 2 - wielopunktowe połączenie ekranów poszczególnych stref (rys. 45).

Wybór sposobu połączenia stref zależy od przyjętej dla danego obiektu koncepcji ochrony.



Rys. 46. Przykład podziału obiektu na strefy zagrożenia

Podobny podział na strefy zagrożeń urządzeń należy stosować przy analizie oddziaływania NEMP. Parametrami charakteryzującymi poszczególne strefy są:

- wartości amplitud oraz szybkość narastania natężenia pól elektrycznego i magnetycznego w danej strefie,
- wartości amplitud i kształty udarów napięciowych/prądowych dochodzących do urządzeń w danej strefie.

Punktem wyjścia przy wyodrębnianiu stref zagrożenia impulsem NEMP jest tzw. strefa 0, w której urządzenia są narażone na bezpośrednie działanie impulsowego pola elektromagnetycznego o maksymalnej amplitudzie i najkrótszym czasie narastania. Amplitudy i szybkość narastania udarów napięciowych/prądowych także osiągają maksymalnie niekorzystne wartości.

Wprowadzanie kolejnych stref (STREFA 1, 2 ...) powoduje ograniczanie zagrożeń stwarzanych zarówno przez impulsowe pole elektromagnetyczne, jak i przez udary napięciowe oraz prądowe.

Ogólny przykład podziału obiektu na strefy pokazano na rys. 46.

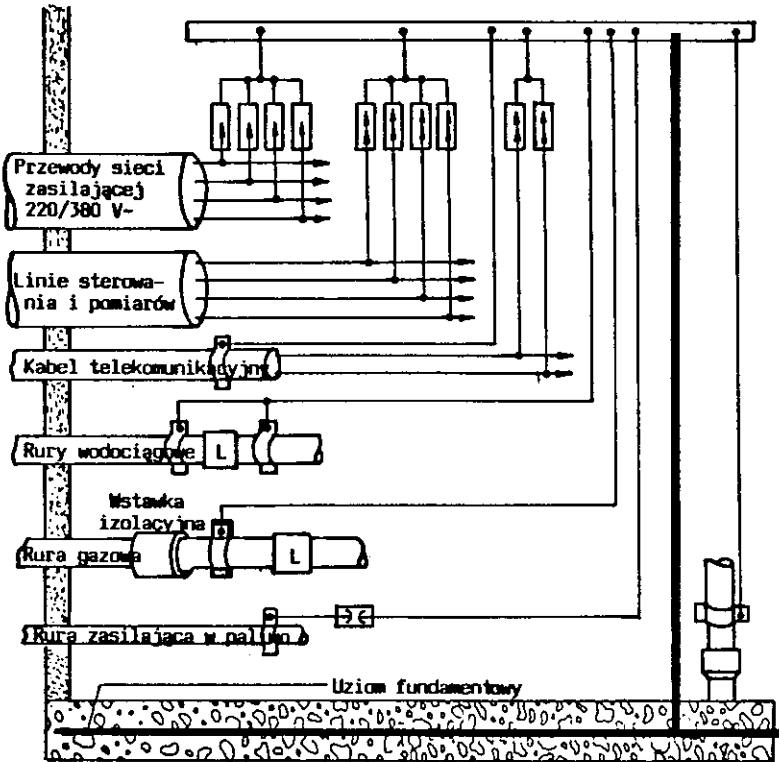
4. DOPROWADZENIE PRZEWODÓW DO OBIEKTÓW BUDOWLANYCH

W obiektach budowlanych szczególnie ważne jest poprawne rozwiązanie przejścia przewodów do wnętrza obiektu. Poniżej przedstawiono zasady ogólne oraz szczegółowe rozwiązania dla obwodów zasilających oraz linii przesyłu sygnałów (linii telekomunikacyjnych).

4.1. Zalecenia ogólne

● W obiektach budowlanych wszelkie elektryczne i nieelektryczne metalowe przewody przychodzące do obiektów należy łączyć z szy-

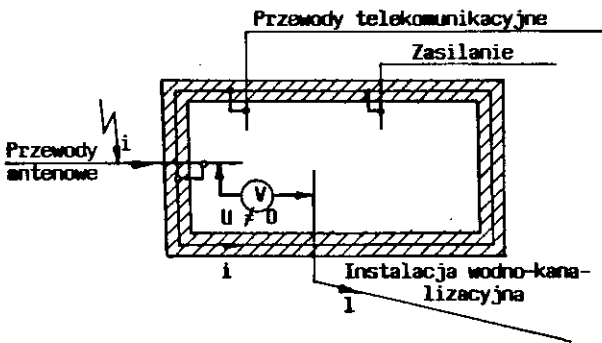
nami wyrównywania potencjałów. Przykładowe rozwiązanie podano na rys. 47.



Rys. 47. Połączenia przewodów z szyną wyrównywania potencjałów w miejscu ich wprowadzania do obiektu
L - licznik

Doprowadzanie przewodów do budynków w dowolnych punktach stwarza możliwość wystąpienia przepięć pomiędzy poszczególnymi obwodami przewodzącymi. Przepięcia mogą być wywołane przez prąd piorunowy wpływający do obiektu jedną z przychodzących

instalacji. Występujące w takich przypadkach zagrożenie przedstawiono na rys. 48. W pokazanym układzie prąd piorunowy wpływający do budynku w ekranie przewodu antenowego może popłynąć do instalacji wodno-kanalizacyjnej. Przepływ prądu w takim układzie spowoduje powstanie napięcia pomiędzy punktami uziemienia przewodów antenowych i instalacji wodno-kanalizacyjnej (napięcie U na rys. 48.).

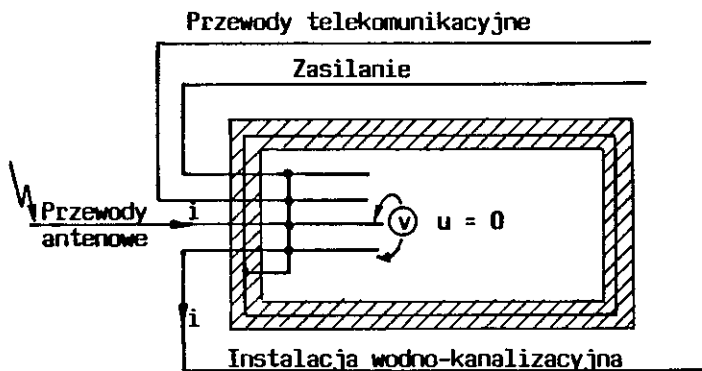


Rys. 48. Wprowadzanie w różnych punktach elektrycznych i nieelektrycznych metalowych przewodów do obiektu

● W obiektach budowlanych, w których pracują urządzenia elektroniczne, należy unikać różnic potencjałów pomiędzy poszczególnymi instalacjami, co stwarza konieczność wprowadzania ich do obiektów w jednym punkcie znajdującym w strefie ochronnej (rys. 49).

W punkcie wejścia przewodów do budynku do szyny wyrównywania potencjałów należy dołączyć (rys. 47) m.in.:

- metalowe rury wodno-kanalizacyjne, gazowe, centralnego ogrzewania;
- ekrany lub przewodzące elementy konstrukcyjne linii transmisji sygnałów;
- ekrany kabli sterujących;
- ekrany przewodów antenowych.



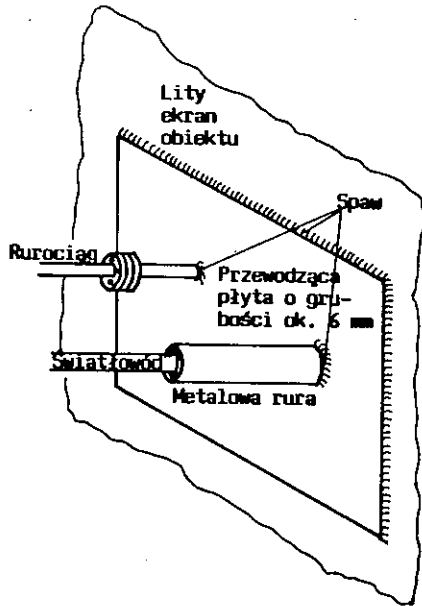
Rys. 49. Wprowadzanie do obiektu w jednym punkcie elektrycznych i nieelektrycznych przewodów

Do szyny wyrównującej potencjał należy również dołączyć elementy ochrony przepięciowej stosowane w sieci zasilającej i liniach przesyłu sygnałów (linie telekomunikacyjne, sterowania i pomiaru).

Rury doprowadzające/odprowadzające paliwo z ochroną katodową należy łączyć z szyną wyrównywania potencjałów przez iskiernik lub odgromnik.

● Wykorzystanie szczególnie wrażliwych urządzeń elektronicznych wymaga zastosowania metalowej płyty w miejscu dojścia przewodów do obiektu (rys. 50).

Płytę, wykonaną ze stali lub stopu miedzi z cynkiem, należy połączyć ze wszystkich stron z ekranem zastosowanym w obiekcie. Wytrzymałość mechaniczna płyty powinna zapewnić utrzymanie elementów niezbędnych do przejścia przewodów do budynku, np.: rur, złączy wtykowych, bolców lub gniazd przyłączeniowych. W przypadku wykorzystania do ekranowania obiektów prętów zbrojenia lub metalowej siatki wymiary płyty powinny być tak dobrane, aby odległość od miejsca wejścia przewodów do najbliższego kąca płyty wynosiła ok. 1,5 m (rys. 51b).



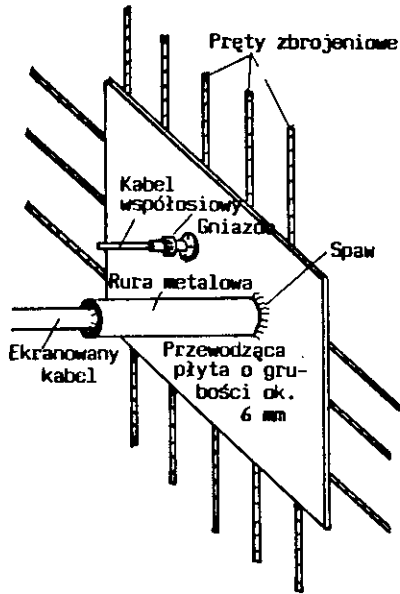
Rys. 50. Zastosowanie metalowej płyty na wejściu do obiektu ekranowanego przez jednolity ekran

Jeśli w obiekcie nie występują elementy ekranujące, to płytę należy połączyć z uziemieniem obiektu.

● Metalowe rury stosowanych przepustów należy dokładnie ze wszystkich stron zespawać lub szczelnie przylutować do ekranu obiektu albo do płyty metalowej, jeśli taką zastosowano na wejściu do obiektu.

Nieprzewodzące rury lub przewody światłowodowe mogą być wprowadzane do obiektu przez krucce rurowe.

Falowody, zewnętrzne przewody kabli koncentrycznych, metalowe powłoki, osłony kabli telekomunikacyjnych i energetycznych łączy się szczelnie ze wszystkich stron, tj. na całym ich obwodzie (spawanie, lutowanie itp.), z rurami przepustów. W przypadkach, w których ekrany są wykorzystywane podczas normalnej pracy i nie jest moż-

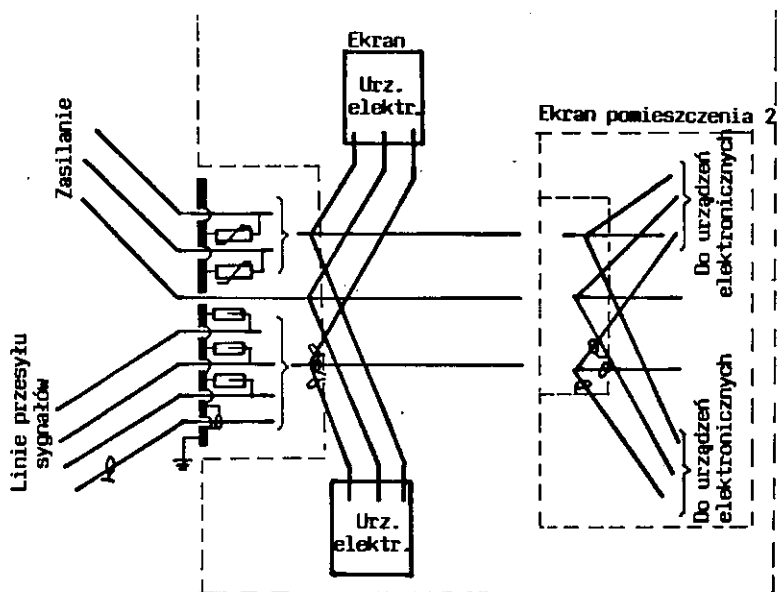


Rys. 51. Zastosowanie metalowej płyty na wejściu do obiektu ekranowanego przez elementy przewodzące konstrukcji żelbetowej

liwe połączenie ekranów kabli z rurami przepustów, należy zastosować specjalne, dodatkowe środki ochronne, np.: dodatkowy ekran lub połączenia ochronne.

● Przewody w kablowych liniach transmisji sygnałów i zasilających należy połączyć z elementami/układami ochrony przepięciowej przed ekranem lub płytą.

Jeśli elementy/układy ochrony przepięciowej znajdują się wewnątrz ekranowanego obiektu lub za płytą wejściową, to należy je umieścić w ekranowanej obudowie połączonej z ekranem obiektu lub płytą. Przykład takiego rozwiązania, obejmujący przewody zasilające i przesyłu sygnałów, przedstawiono na rys. 52.



Rys. 52. Przykład ochrony przepięciowej sieci zasilającej i linii przesyłu sygnałów

4.2. Doprowadzenie linii transmisji sygnałów

Doprowadzając linie transmisji sygnałów do obiektu, należy stosować niżej podane zasady.

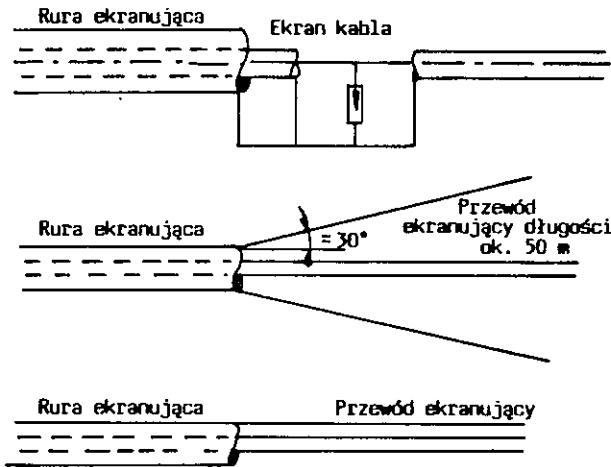
- W przypadku szczególnie wrażliwych urządzeń elektronicznych należy stosować kable ekranowane lub nieekranowane - przewody umieszczać w stalowych rurkach.

Rurki stalowe o grubości ścianki 3 - 4 mm zapewniają całkowitą ochronę przed działaniem prądów piorunowych.

Rurki stalowe powinny być uziemiane co ok. 15 m.

Połączenia wzajemne rurek powinny być wykonane bardzo starannie, najlepiej sprawne dookoła.

Nawet ekranowane przewody kablowe przed wprowadzeniem do budynku powinny być na odcinku kilkunastu-kilkudziesięciu metrów układane w stalowych rurkach ekranujących. W miejscu wejścia przewodu do rurki umieścić należy element ochronny ograniczający przepięcie (najczęściej są stosowane odgromniki - rys. 53).



Rys. 53. Różne rozwiązania ochronne w miejscu wejścia przewodu transmisji sygnałów do rurek ekranujących

W miejscu wejścia przewodów transmisji sygnałów do rurek ekranujących mogą być również dołączone przewody ekranujące.

● Do ochrony odgromowej szczególnie ważnych linii transmisji sygnałów ułożonych w gruncie o dużej rezystywności można zastosować jeden lub dwa dodatkowe przewody ułożone nad kablem. Dzięki temu uzyskujemy zmniejszenie:

- prawdopodobieństwa bezpośredniego uderzenia pioruna w kabel lub wystąpienia przeskoków iskrowych pomiędzy zakopanymi przewodzącymi elementami, korzeniami drzew a kablami sygnałowymi;

- wartości prądu płynącego w ekranie kabla w przypadku uderzenia pioruna w obszarze leżącym nad kablem;
- różnic potencjałów w ziemi w sąsiedztwie kabla sygnałowego.

● W miejscu wejścia kabli transmisji sygnałów do obiektu rurki stalowe, ekrany oraz dodatkowe przewody ochronne ułożone nad kablami należy połączyć z uziemieniem lub szyną wyrównywania potencjałów. Jeśli w obiekcie zastosowano na wejściu przewodów dodatkową płytę metalową, to należy powyższe elementy połączyć z tą płytą.

● W każdej linii dochodzącej do obiektu, szczególnie dotyczy to linii biegnących w terenach podmiejskich lub wiejskich, należy stosować na wejściu do obiektu elementy/układy ochrony przed przepięciami.

Do ograniczania przepięć należy stosować odgromniki lub układy składające się z odgromnika i warystora. Zabezpieczenie stosowane na wejściu do obiektu nazywane jest zabezpieczeniem pierwotnym.

Elementy lub układy ochrony przepięciowej łączące żyły kabli z uziemieniem lub szyną wyrównywania potencjałów należy umieszczać możliwie jak najbliżej miejsca wprowadzania przewodów do obiektu.

Wybór elementów lub układów zabezpieczenia pierwotnego zależy od typu chronionych urządzeń.

● Odcinki przewodów, które wychodzą na zewnątrz obiektu, np. połączenia z urządzeniami znajdującymi w sąsiednich obiektach, należy układać w specjalnych traktach.

4.3. Doprowadzenie przewodów zasilających

Poniżej przedstawiono ogólne uwagi, dotyczące doprowadzania przewodów sieci zasilającej do obiektów budowlanych, w których pracują urządzenia elektroniczne.

● Podstacja elektromagnetyczna zasilająca obiekt powinna znajdować się w odległości kilkunastu metrów (minimum 15 m) od obiektu.

Przewody zasilające biegnące od podstacji do obiektu należy układać pod ziemią w stalowych rurkach.

Jeżeli w podstacji zasilającej obiekt budowlany dochodzą przewody napowietrzne, to należy je chronić przed bezpośrednim uderzeniem pioruna. Do tego celu można wykorzystać przewód odgromowy biegnący na odcinku kilkuset metrów od podstacji (tzw. podejście chronione). Przewód odgromowy tworzy strefę ochronną, w której powinny znajdować się przewody sieci zasilającej. Przeciętna wysokość zawieszenia przewodu odgromowego nad chronionymi liniami wynosi od 0,75 do 3 m. Przewód odgromowy należy uziemiać przy każdym słupie. Zastosowanie przewodu odgromowego zapewnia:

- ochronę przewodów sieci zasilającej przed bezpośrednimi uderzeniami piorunów;
- ograniczenie wartości przepięć atmosferycznych indukowanych podczas uderzeń w sąsiedztwie linii. W przybliżeniu stopień ograniczenia określa zależność:

$$K_E = 1 - \frac{Z_M}{Z_s}$$

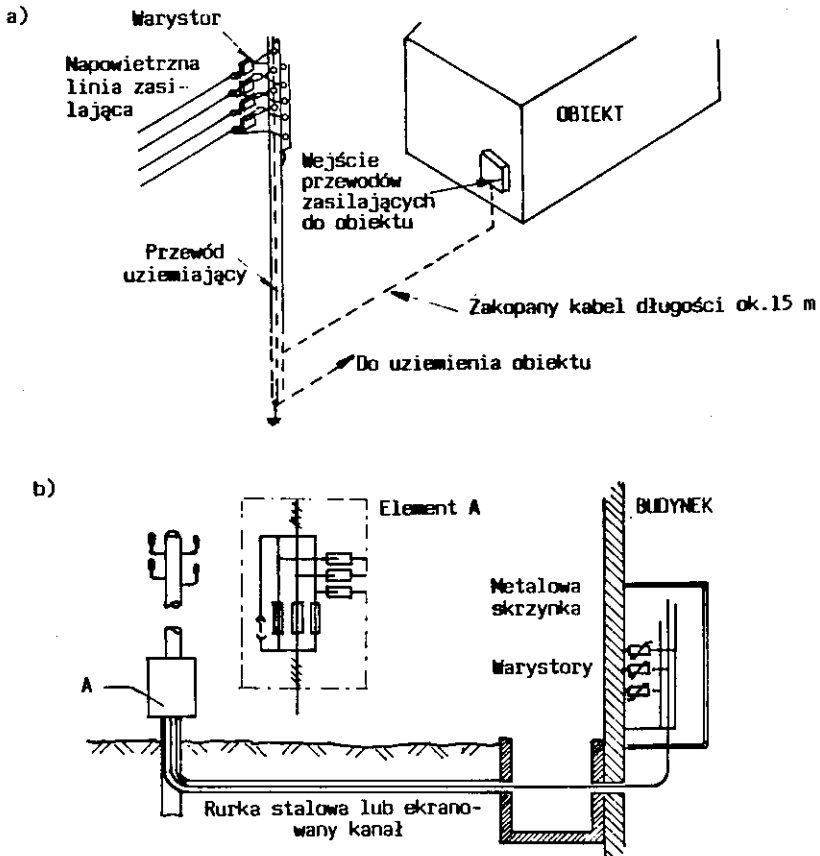
gdzie:

Z_s - impedancja charakterystyczna obwodu, składającego się z przewodu odgromowego i ziemi,

Z_M - impedancja wzajemna między przewodami.

Przeciętnie wartość współczynnika K_E zawiera się w granicach od 0,6 do 0,8.

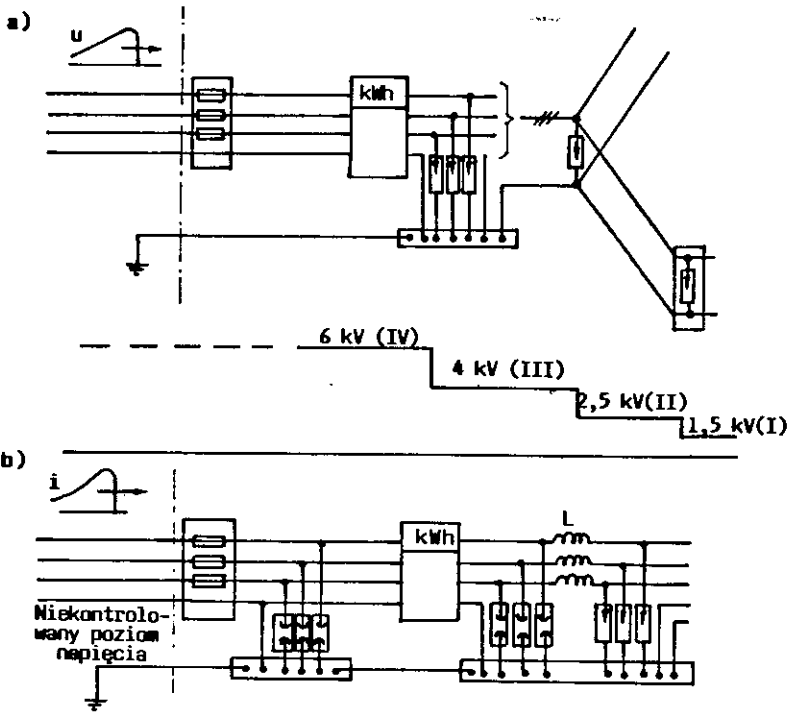
Każda linia dochodząca do obiektu powinna być chroniona za pomocą odgromnika zaworowego (tzw. zabezpieczenie pierwotne).



Rys. 54. Ochrona przepięciowa obiektu budowlanego zasilanego z sieci napowietrznej

a) widok obiektu; b) rozwiązanie doprowadzenia zasilania do budynku

Odgromniki należy instalować w metalowych szafkach, które najlepiej umieszczać na zewnątrz obiektu. Odgromniki powinny być połączone z uziemieniem ochronnym obiektu.



Rys. 55. Typowe rozwiązania wielostopniowej ochrony przepięciowej systemu zasilania obiektów budowlanych

- a) do obiektu dochodzi napięcie obniżone do poziomu 6 kV, np. przez odgromniki w podstacji elektroenergetycznej lub na słupie przed obiektem;
 b) napięcie dochodzące do budynku ma niekontrolowaną wartość szczytową

● W obiektach zasilanych z sieci napowietrznej w celu ochrony przed przepięciami należy zastosować następujące rozwiązania:

- odgromniki ograniczające przepięcia na słupie stojącym najbliższym obiektu;
- przewody sieci zasilającej na odcinku słup z odgromnikami - obiekt należy układać pod ziemią w stalowych rurkach lub traktach;

- w punkcie wejścia linii do obiektu należy również zastosować elementy ograniczające przepięcia, np. warystory.

Przykładowe rozwiązania takich układów ochronnych przedstawiono na rys. 54.

● W przypadku wrażliwych urządzeń elektronicznych należy instalować dodatkowe elementy zabezpieczające umieszczone wewnątrz budynku (tzw. zabezpieczenie wtórne). Przykłady typowych rozwiązań wielostopniowej ochrony przepięciowej pokazano na rys. 55.

4.4. Przewody i kable między budynkami obiektu budowlanego

● Przewody i okablowanie biegnące pomiędzy różnymi budynkami na zewnątrz obiektu należy prowadzić w odpowiedni sposób i z zastosowaniem odpowiednich rodzajów kabli tak, aby zapewnić właściwą ochronę przepięciową (kable ekranowane bądź układane w metalowych rurach lub kanałach).

Ekranowanie wszelkich obwodów na zewnątrz obiektu jest najbardziej skuteczne w przypadku połączenia z uziomem ekranów i metalowych powłok oraz kanałów wszystkich kabli. Ważne jest, aby ekrany kabli były połączone z ziemią na obu krańcach, zaś wszystkie przewody uziemiające miały możliwie najmniejszą impedancję i dlatego krótkie oraz proste trasy, częste łączenia itp.

● Linie przesyłu sygnałów (np. kable wysokiej częstotliwości, telekomunikacyjne itp.) nie stwarzają na ogół żadnych szczególnych problemów, gdyż z reguły powinny być one ekranowane. Z drugiej jednak strony, elektroenergetyczne obwody zasilające muszą także być prowadzone kablami ekranowymi, co w pewnych przypadkach może stwarzać trudności techniczno-ekonomiczne.

Praktyczne rozwiązania, jakie można przyjąć, zależą od wymaganego stopnia ochrony obiektu i aktywności burzowej terenu. W przypadkach obiektów, dla których jest wymagany mniejszy stopień

niezawodności, elektryczną sieć rozdzielczą można wykonać kablami nieekranowanymi, lecz wówczas przepięcia poprzeczne indukowane w kablach mogą stwarzać zagrożenie dla urządzeń elektronicznych. Ograniczenie tych przepięć można uzyskać poprzez transpozycję przewodów lub ich zaekranowanie. W obiektach wymagających szczególnie wysokiego stopnia niezawodności kable ekranowane są niezbędne w każdym przypadku. W obiektach wymagających najwyższego stopnia niezawodności jest zalecane stosowanie kabli ekranowanych kładzionych w stalowych rurach lub kabli o budowie warstwowej.

● Przepięcia podłużne w kablach można ograniczyć, zwiększając przekrój poprzeczny i współczynnik ekranowania powłoki.

Najlepszy sposób to ekranowanie ekranem litym, zaś ekranowanie w postaci plecionki jest lepsze od ekranowania helikoidalnego taśmą.

● W momencie wyładowania atmosferycznego skok potencjału może osiągać wartości rzędu setek kV, więc zasadniczą sprawą jest połączenie z uziemieniem wszystkich elementów przewodzących w sąsiedztwie obiektu, takich jak: wszelkie konstrukcje metalowe, kable, rury, ogrodzenie itp., o ile znajdują się one nie dalej niż 5 m od uziemienia. Pozwala to na uniknięcie przeskoków i uszkodzeń izolacji oraz wynikających z nich zagrożeń.

● W przypadku zasilania obiektu z linii SN powłoki kabli SN i NN, korpus transformatora SN/NN, punkt zerowy jego uzwojenia NN połączonego w gwiazdę, ziemia urządzeń ochronnych po stronie SN i przewód osłonowy wchodzącej linii (o ile linia posiada taki przewód) muszą być połączone z uziemieniem obiektu.

Jeżeli jest to niemożliwe lub niewskazane z pewnych względów, wówczas konieczne okazać się może wprowadzenie na pewnym odcinku połączeń izolujących i ochrona kabli przed przepięciami.

● Wyładowania piorunowe w pobliżu obiektu mogą wywoływać znaczne podskoki potencjału kabli i przewodów lub ich powłok oraz innych instalacji technicznych, np. rurociągowych na terenie obiektu.

Wszystkie wchodzące lub wychodzące z obiektu linie i instalacje techniczne muszą być chronione, ponieważ są one połączone z ziemią także w punktach bardziej lub mniej odległych od obiektu i skutkiem tego z powodu różnic potencjału ziemi podlegają naprężeniom.

● Kryteria ochrony linii i kabli napowietrznych są zasadniczo te same dla przesyłu sygnałów i dla przesyłu energii. Tym niemniej, zależnie od energii przesyłanej w obwodzie, który ma być chroniony, od jego napięcia znamionowego i poziomu izolacji, istnieje różnica w urządzeniach ochronnych. Ponadto trzeba mieć na uwadze, iż w przypadku linii napowietrznej izolacja linii jest samoodnawialna, natomiast tak nie jest w przypadku kabli.

Zasadnicze kryteria ochrony są następujące:

- a) wszystkie przewody pod napięciem w punktach wejścia do budynków obiektu muszą być chronione przez odgromniki;
- b) wszystkie nie wykorzystane (np. zapasowe) przewody w kablach przesyłu sygnałów (np. kablach w.cz., kablach telekomunikacyjnych) i przewód zerowy linii zasilającej NN muszą być połączone z uziomem obiektu;
- c) linki nośne kabli napowietrznych, ich ekrany (o ile są to kable ekranowane) i przewody osłonowe linii napowietrznych muszą być połączone z ziemią;
- d) połączenia uziemiające wymienione w punktach a), b), c) powinny być możliwie najprostsze i wykonane do uziomu otokowego wokół transformatora SN/NN w przypadku połączeń po jego stronie pierwotnej oraz uziomu otokowego wokół budynku obiektu lub do szyny ekwipotencjalizacyjnej w samym budynku dla obwodów wchodzących bezpośrednio do budynku;
- e) stosowane kable powinny posiadać izolację termoplastyczną;
- f) w celu uniknięcia propagacji udarów wzdłuż linii i uszkodzeń linii lub przyłączonych do niej urządzeń konieczne jest zainstalowanie odgromników w każdym punkcie nieciągłości właściwości izolacji

linii (przejście z linii w kabel, przejście z kabla o izolacji termoplastycznej w kabel o izolacji z papieru impregnowanego lub z kabla ekranowanego w kabel nieekranowany) oraz w punkcie rozgałęziania się linii; w przypadku kabli transmisji sygnałów chronione muszą być wszystkie przewody (połączone, nie wykorzystane, w obwodzie głównym i w odgałęzieniach), a ponadto w punktach odległych 300-500 m od obiektu.

Stosowane ochronniki powinny wytrzymać dużą energię związaną z prądem piorunowym; z tego powodu na ogół nie zaleca się stosowania odgromników z rezystancją nieliniową. Wskazane jest stosowanie:

- 1) dla obwodów sygnałowych - iskierników gazowanych,
- 2) dla obwodów zasilających SN - ochronników rozładowanych bezpośrednio na izolatorach linii napowietrznej,
- 3) dla obwodów zasilających NN - iskierników otwartych lub gazowanych.

W tym ostatnim przypadku zwykle konieczne jest zapewnienie właściwej koordynacji izolacji w celu poprawy właściwości izolacyjnych linii i przyłączonych urządzeń.

Kable nieekranowane, nawet te zakopane, wymagają takich samych środków ochrony, jak linie napowietrzne.

Przy ochronie kabli ekranowanych podstawowym kryterium jest ograniczenie przepięć pomiędzy rdzeniem a płaszczem kabla (powodowanych przepływem prądu piorunowego wzdłuż ekranu kabla) do poziomu odpowiadającego izolacji kabla, co oznacza zmniejszenie do określonych wartości impedancji sprzężenia rdzeń-ekran. W tym celu kable kładzie się w stalowych rurach lub stosuje się kable o budowie warstwowej.

● Jeżeli kabel został zakopany w gruncie o jednolitej konduktancji, wówczas prąd wiedziony przez płaszcz kabla będzie rozpływał się w ziemi progresywnie i zmniejszał swą wartość w powłoce kabla, zaś

w liniach i izolowanych kablach napowietrznych prąd piorunowy ma tę samą wartość na całej ich długości.

Z powyższej przyczyny w obszarach o dużej aktywności burzowej jest niewskazane stosowanie linii i kabli napowietrznych.

Dla zmniejszenia naprężeń w kablach równoległe z nimi należy układać przewody lub taśmy uziemiające połączone z płaszczami kabli.

● Jeżeli kable przebiegają w pobliżu innych uziomów, należy – w miarę możliwości – w celu ekwipotencjalizacji łączyć z nimi powłoki kabli. Jeśli jest to niemożliwe, wówczas należy zapewnić odpowiednią izolację.

● Podczas układania kabli w stalowych kanałach ochronnych długość kanałów jest zasadniczo zależna od konduktywności gruntu otaczającego terenu.

W obiektach usytuowanych na obszarach górzystych o złej konduktywności gruntu kanały ochronne mogą być konieczne nawet na długości kilku km. Jednakże, w większości przypadków, kanał jest konieczny jedynie na drodze do następnego budynku obiektu, przy którym ponownie będzie wymagana ekwipotencjalizacja.

Również w miejscach o dużej aktywności burzowej, położonych na terenach nizinnych, stalowy kanał kablowy stanowi optymalną ochronę szczególnie wtedy, gdy można go zakopać w dobrze przewodzącej ziemi przy dobrym kontakcie z otaczającym gruntem, co ułatwia szybkie rozpraszanie prądu piorunowego.

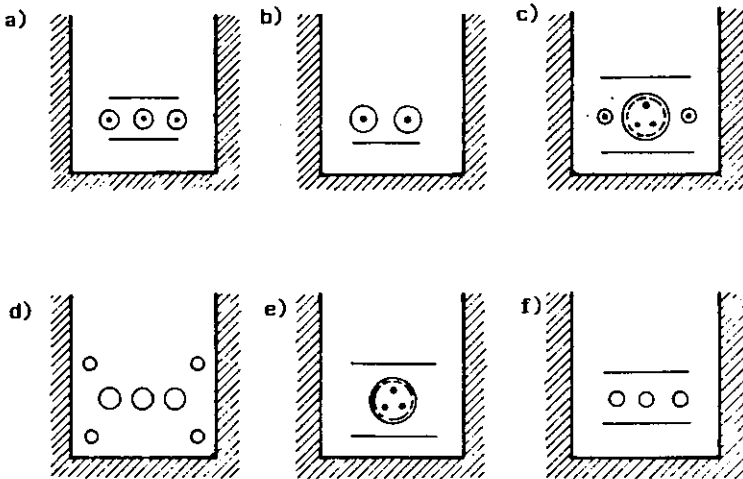
Jeżeli tą samą trasą biegnie kilka kabli lub przewodów, to muszą one być układane w tym samym kanale.

We wszystkich przypadkach energetyczne kable zasilające powinny być prowadzone oddzielnie od innych instalacji, w celu uniknięcia przenoszenia się na drodze indukcyjnej przepięć z układu zasilania.

● Ażeby uniknąć sprzężenia indukcyjnego lub pojemnościowego z obiektami, które mogą być narażone na przepięcia, szczególnie

wrażliwe obwody należy ekranować. Ponadto napięcia zasilające na wejściach takich obwodów powinny być starannie filtrowane.

● Jeżeli kable lub przewody różnego przeznaczenia biegnące pomiędzy różnymi budynkami na terenie obiektu są prowadzone w kanałach niemetalowych, wówczas należy chronić je dodatkowo za pomocą przewodów bądź, jeszcze lepiej, szerokich taśm osłonowych (ekranujących).



Rys. 56. Rozmieszczanie i ochrona kabli w kanałach kablowych:

a,b,c) - pomiędzy masztem antenowym a budynkiem dyspozytorni, centrum łączności lub mieszczącym aparaturę nadawczą/odbiorczą itp.; d,e,f) - pomiędzy transformatorem zasilającym a budynkiem obiektu

○ - kabel jednożyłowy w izolacji termoplastycznej, ⊙ - kabel koncentryczny o małej średnicy, ○ - przewody osłonowe (ekranujące), ⊕ - kabel koncentryczny o dużej średnicy, ⊗ - kabel energetyczny zasilający ekranowany lub w rurze

Przewody osłonowe w kanale kablowym powinny być trwale połączone na obu końcach z uziomami obiektów połączonych ka-

nałem, zapewniając w ten sposób ekwipotencjalizację. Przykładowe rozwiązania rozmieszczenia w kanale różnych kabli i przewodów osłonowych względem siebie przedstawiono na rys. 56a,b,c dla kabli łączących przykładowo obiekt tego typu, jak maszt antenowy z budynkiem dyspozytorni, centrum łączności bądź mieszczącym aparaturę nadawczą/odbiorczą itp. oraz na rys. 56d,e,f dla kabli łączących transformator zasilający z budynkiem obiektu. Jeśli w kanale biegną jedynie kable koncentryczne o dużej średnicy, wtedy jest wystarczająca obecność jednego przewodu osłonowego – rys. 56b; natomiast gdy w kanale biegną też kable zasilające, wówczas kable i przewody osłonowe należy rozmieścić jak na rys. 56c.

Praktyczne rozwiązania zależą od pożądanego stopnia ochrony oraz aktywności burzowej. W przypadku obiektu, dla którego wymagany jest mniejszy stopień niezawodności, na wewnętrzną elektryczną sieć rozdzielczą można stosować przewody nieekranowane, zaś dla kabli zewnętrznych kładzionych w kanałach można dopuścić tylko częściowe ekranowanie. Energetyczne kable zasilające powinny być rozmieszczone w kanałach symetrycznie względem przewodów osłonowych, których liczba i rodzaj zależy od wymaganego stopnia ochrony. Stopień ochrony rośnie kolejno dla przykładów przedstawionych na rys. 56d,e,f. Ponieważ całkowitą ochronę można osiągnąć jedynie w pełni zamkniętych kanałach więc, w warunkach szczególnie krytycznych (bardzo długi kanał, bardzo wysoka rezystywność gruntu, duża aktywność burzowa), okazać się może konieczne zapewnienie całkowicie metalowego, zamkniętego kanału kablowego. O ile nie jest możliwe zainstalowanie takiego kanału w postaci jednej ciągłej konstrukcji, wówczas poszczególne jego sekcje powinny być łączone, najlepiej przez spawanie.

5. PRZYKŁADY KOMPLEKSOWEJ OCHRONY PRZED DZIAŁANIEM LEMP I NEMP

5.1. Obiekty radionadawcze

Nadawcze stacje radiowe i telewizyjne oraz wiele linii radiowych są szczególnie narażone na oddziaływania wyładowań atmosferycznych i NEMP. Zagrożenie to wynika z lokalizacji obiektów przeważnie w odkrytym terenie (często na wzniesieniach) oraz ze specyficznych cech ich budowy (obecności wysokich masztów lub wież antenowych). Istnieją przy tym ograniczone możliwości stosowania elementów zwodowych i osłonowych, jak również szczególne warunki uziemieniowe, a także obostrzone wymagania co do stopnia ciągłości pracy i wreszcie niebezpieczeństwo powstawania dużych strat w wyniku uszkodzenia kosztownej aparatury.

Oddziaływania impulsów wywołanych przez LEMP i NEMP stwarzają na ogół przy ochronie radiostacji znaczne problemy, które w wielu wypadkach są trudne do rozwiązania ponieważ, z jednej strony, zjawiska te są niezmiernie rzadkie w naturze, zaś z drugiej strony, koniecznością staje się zapewnienie bardzo niskich wartości przepięć indukowanych w urządzeniach ze względu na stosowanie bardzo wrażliwych elementów i układów półprzewodnikowych.

W przypadku wyładowań atmosferycznych największe szkody w urządzeniach stacji radiowych i telewizyjnych mogą powstać przy bezpośrednim uderzeniu pioruna w obiekt stacji. Prawdopodobieństwo trafienia pioruna zależy głównie od aktywności burzowej na danym terenie, wysokości i powierzchni obiektu oraz jego usytuowania w terenie. Właściwe podejście do problemów ochrony odgromowej jest szczególnie ważne dla wysokich obiektów radiowych i telewizyjnych, w których nie można liczyć na 100% ochronę (za pomocą zwodów poziomych ustawionych nad antenami) anten UKF i TV oraz linii radiowych zainstalowanych na wieżach i masztach. Stosowanie

zwodów pionowych ze względu na promieniowanie anten jest niemożliwe. W przypadku bocznego uderzenia pioruna prąd, a zatem i zagrożenie, jest znacznie mniejsze.

Uszkodzenia, jakie piorun może spowodować w obiekcie nadawczym, mogą być wynikiem bezpośredniego przepływu prądu wyładowania lub też oddziaływań związanych z nim pól elektrycznego i magnetycznego. Uszkodzenia wywołane przez impulsy NEMP są podobne do skutków pośrednich oddziaływań piorunowych. Przepływ prądu pioruna stwarza zagrożenia dynamiczne, termiczne, chemiczne oraz napięciowe dla ludzi i urządzeń elektrycznych oraz elektronicznych. Ich zasięg, a także skutki zależą od wartości prądu i jego rozptyłu w trafianym obiekcie.

5.1.1. Oddziaływania piorunowe w obiekcie radionadawczym

- Działanie cieplne prądu wyładowania atmosferycznego ujawnia się:
 - przy przejściu prądu z kanału wyładowania do elementu zwodowego,
 - przy przepływie prądu w przewodach odprowadzających,
 - przy złych stykach w przewodzącym torze prądu,
 - przy przejściu prądu do materiałów źle przewodzących,
 - w źle przewodzącej ziemi,
 - w organizmach żywych.

Nie jest na ogół groźne działanie cieplne prądu przy jego przejściu z kanału do elementu zwodowego. Elementy zwodowe i metalowe elementy konstrukcyjne przy normalnie występujących przekrojach zapewniają dostatecznie małą rezystancję dla przepływu prądu pioruna. Ponieważ czas trwania impulsu prądu pioruna jest bardzo krótki, nagrzewanie się dobrych przewodników jest zwykle niewystarczające do spowodowania stopienia materiału. Miedź o przekroju poprzecznym 16 mm^2 i stal o przekroju 25 mm^2 mogą wieść typowe prądy

piorunowe bez uszkodzeń - wytrzymują wzrost temperatury o 100°. Jednak, wskutek niskiego punktu topnienia ołowiu, uszkodzeniu mogą ulec ołowiane płaszczki kabli.

Niebezpieczne, szczególnie przy kontakcie z materiałami łatwopalnymi, są rozłożone na drodze prądowej styki o rezystancji przejścia już rzędu kilku miliomów. Występuje na nich tak duże wydzielanie się ciepła, że metal ulega wytopieniu z odpryskami, zaś znajdujący się w pobliżu materiał łatwopalny ulega zapaleniu.

Szczególnie duża energia zostaje wydzielona w postaci ciepła w czasie przepływu prądu piorunowego w materiałach nieprzewodzących takich, jak drewno lub mur. Zawarta w nich wilgoć momentalnie odparowuje, zaś powstające przy tym bardzo wysokie ciśnienie powoduje eksplozyjne rozrywanie drewnianych masztów, belek i murów. Sprzyjają temu miejsca, w których może gromadzić się wilgoć (szczeliny, pęknięcia, otwory, itp.) lub w których następuje duża zmiana gęstości prądu.

Zjawisko zmiany gęstości prądu występuje na granicy przewodnika i materiału źle przewodzącego, np. metalowe elementy konstrukcyjne, stalowe rury wodociągowe, pręty zbrojeniowe czy nawet kable elektryczne, osadzone w murze, przez które przepływa prąd piorunowy.

● Przy przepływie prądu piorunowego dwiema drogami w przypadku mniejszej lub większej równoległości torów należy liczyć się z siłami dynamicznymi (występującymi między odcinkami tych torów), których wielkość zależy od wartości prądu i odległości pomiędzy odcinkami torów wiodących prąd.

Na skutek działania sił dynamicznych mogą ulegać uszkodzeniu równoległe cienkie przewody antenowe lub może nastąpić stłoczenie wraz z uszkodzeniami izolacji gęsto ułożonych izolowanych przewodów elektrycznych.

Wszelkie łuki lub pętle w przewodach podczas przepływu przez nie prądu piorunowego będą dążyły do wyprostowania się.

- Ponieważ, zgodnie z prawem Faraday'a, rozkład elektrolityczny materiałów metalicznych wskutek ładunku pioruna 100 C wynosi w przypadku żelaza zaledwie 30 mg, zaś dla innych metali jest równy równoważnikowi elektrochemicznemu, w normalnych warunkach zjawisko to można pominąć.
- Poważniejsza jest przyspieszona korozja pod wpływem prądów ziemnych zakopanych elementów metalowych takich, jak: kable, instalacje rur, a także elektrody uziomowe.
- Znaczne prądy wyładowań atmosferycznych są źródłem silnych pól elektrycznych i magnetycznych co, przy uwzględnieniu dużych stro-mości narastania czoła prądu, może wywoływać zjawiska indukcji w pętłach metalicznych zauważalne w znacznych odległościach od kanału wyładowania (szczególnie w napowietrznych, lecz również i zakopanych liniach zasilających oraz przesyłu sygnałów).
- Praktycznie w każdym przypadku uszkodzenia piorunowego stacji zostają trafione: albo system zasilania w energię, albo maszt antenowy.
- Wyładowania atmosferyczne do lub w sąsiedztwie linii zasilającej powodują przepięcia, które mogą dotrzeć do urządzeń radionadawczych lub odbiorczych przez transformator obniżający lub izolujący. Z kolei wyładowania atmosferyczne do masztu antenowego powodują przepływ prądów o dużych wartościach w przewodach odprowadzających i uziomach, stwarzając różnice potencjałów między różnymi częściami układu uziomowego, a także naprężenia cieplne i mechaniczne.

Wyładowania atmosferyczne do masztu antenowego są stosunkowo częste w przypadku obiektów radionadawczych ponieważ, z przyczyn technicznych, anteny zwykle muszą być wyniesione na znaczną wysokość ponad ziemię i często znajdują się one na obszarach położonych na dużej wysokości nad poziomem morza, w rejonach o dużej aktywności burzowej. Stalowe konstrukcje masztów sprzyjają powsta-

waniu wyładowań liderowych skierowanych ku górze i w wyniku tego wyładowań do samej konstrukcji. Bezpośrednie wyładowania do konstrukcji masztu antenowego prowadzić mogą do oddziaływań dwojakiego rodzaju. Prąd piorunowy na swej drodze do ziemi może wywoływać duże różnice potencjałów pomiędzy różnymi elementami układu uziomowego, powodując uszkodzenia wrażliwych urządzeń połączonych z nimi nawet, jeśli nie uległ uszkodzeniu wskutek przepływu prądu piorunowego żaden z elementów samego masztu. Jednocześnie przepływ prądu piorunowego może indukować prądy w pobliskich przewodnikach (np. metalowych konstrukcjach, przewodach i obwodach), a w szczególności w przewodzących pętlach, wytwarzając w ten sposób różnice potencjałów i naprężenia mechaniczne, które mogą prowadzić do uszkodzeń.

5.1.2. Ochrona odgromowa

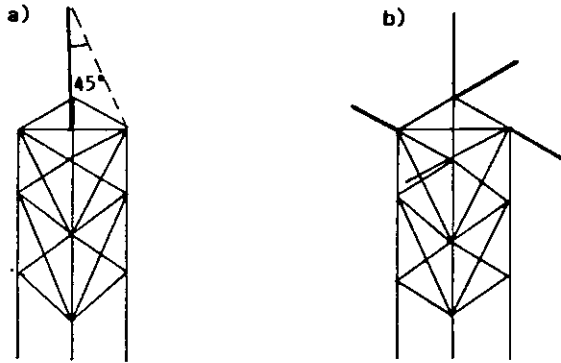
Właściwa ochrona odgromowa obiektu radionadawczego wymaga wielu środków zabezpieczających przed bezpośrednimi i pośrednimi skutkami wyładowań atmosferycznych oraz odpowiedniej ich koordynacji. W przypadku trafienia pioruna bezpośrednio w dowolny element stacji energia wyładowania powinna zostać rozproszona w bezpieczny sposób, zaś w przypadku pośrednich oddziaływań wyładowań (np. na system zasilania, łącza telekomunikacyjne, ciągi kablowe itp.) zagrażające napięcia udarowe należy ograniczyć do niewielkich poziomów. Trudności, jakie powstają podczas projektowania i wykonywania instalacji ochrony odgromowej, wynikają głównie z dużych wartości szczytowych i dużych stromości narastania udarów prądowych i powstających różnic potencjału o wartości aż do kilku tysięcy kV oraz pól elektromagnetycznych o dużych natężeniach. Środki ochrony powinny w znacznym stopniu ograniczać powstające różnice potencjału oraz napięcia indukowane w konstrukcjach przewodzących niebezpieczne dla obsługi, budynku i wyposażenia obiektu.

5.1.2.1. Zwody

● Typowym punktem trafienia wyładowań rozwijających się ku dołowi lub punktem wyjścia wyładowań rozwijających się ku górze (które są znacznie częstsze w przypadku obiektów radionadawczych) jest wierzchołek konstrukcji antenowej - zarówno maszt, jak i same anteny.

Stalowe maszty kratownicowe są chronione same przez się, bowiem są dobrym elementem do odprowadzania prądu piorunowego.

Uszkodzeniu mogą ulec anteny (jeśli np. ładunek wyładowania jest wystarczająco wysoki do nadtopienia anteny w punkcie trafienia). Zwykle jednak anteny są chronione albo wskutek swej konstrukcji, albo ponieważ posiadają elementy ochronne (np. szczeliny bądź elementy dostrajające), które dla prądu piorunowego stanowią zwarcie. Anteny mikrofalowe (paraboloidalne i tubowe) jeśli są całkowicie metalowe, okazują się na ogół wystarczająco mocne, aby znieść bez uszkodzeń nawet największe wyładowania atmosferyczne; z drugiej strony jednak mogą one ulec uszkodzeniu, jeśli są konstruowane z tworzyw sztucznych z wewnętrzną warstwą przewodzącą. W przypadku braku pewności, czy antena jest zdolna wytrzymać bez uszkodzenia naprężenia wynikające z wyładowania atmosferycznego, należy umieszczać ją w strefie osłonowej utworzonej przez samą konstrukcję wsporczą (maszt antenowy) lub przez odpowiednio rozmieszczone zwody. Anteny montowane najwyżej (przeważnie na pasmo decymetrowe) powinny być "osłonięte" albo przez samą konstrukcję wsporczą, albo przez zwody - rys. 57a. Przy wysokościach masztu większych od 15-20 m istnieje duże zagrożenie bezpośrednim trafieniem pioruna w najwyższe jego sekcje. W przypadku gdy jest konieczna ochrona także najwyższych elementów konstrukcji, należy zastosować zwody o bardziej złożonej geometrii, np. z prętami wychodzącymi poziomo z wierzchołka konstrukcji - rys. 57b.



Rys. 57. Zwody

a) pojedynczy, prętowy, pionowy dla konstrukcji niskich; b) dodatkowe pręty poziome dla konstrukcji o wysokościach powyżej 15÷20 m

● Każda wysoka konstrukcja masztowa/wieżowa z platformą u wierzchołka, w celu ochrony osób tam pracujących, musi być wyposażona w pionowe zwody prętowe wystające co najmniej 3 m ponad platformę.

5.1.2.2. Przewody odprowadzające

● Obiekty radionadawcze posiadające kratownicowe wieże lub maszty w całości stalowe (łącznie z wierzchołkiem, na którym mocowane są anteny) z reguły nie muszą posiadać przewodów odprowadzających od zwodu do uziomu, ponieważ pole przekroju poprzecznego konstrukcji jest zwykle wystarczające do odprowadzenia prądu piorunowego.

Przy wykorzystaniu kratownicy konstrukcji masztowej lub wieżowej obiektu należy zapewnić odpowiednią powierzchnię styku pomiędzy kolejnymi sekcjami wieży lub masztu.

● W przypadków masztów niemetalowych jako przewodów odprowadzających można użyć metalowych powłok biegnących wzdłuż konstrukcji kabli współosiowych pod warunkiem, iż powłoki te mają odpowiedni przekrój poprzeczny i są trwale uziemione na obu końcach.

Jeśli natomiast kable koncentryczne lub zasilające mają jedynie cienkie powłoki, wówczas wskazane jest zainstalowanie odrębnego przewodu odprowadzającego.

● Często anteny, np. stacji retransmisyjnych małej mocy, radiofonii, punktów dowodzenia itp. są instalowane na szczytach budynków. Jeżeli są to budynki o konstrukcji żelbetowej, to rozładowanie energii pioruna następuje przez szkielet stalowy obiektu i wówczas nie są wymagane oddzielne przewody odprowadzające.

Stalowy szkielet budynku stanowi dla prądu drogę o stosunkowo małej impedancji; konieczne jest jedynie zapewnienie możliwie najmniejszej impedancji połączenia z uziomem. Jest to ważne ze względu na spadki potencjału wytwarzane wzdłuż drogi przepływu prądu.

● W przypadku wież żelbetowych użyteczne jest wykorzystanie jako przewodu odprowadzającego stalowego zbrojenia.

Najbardziej efektywne rozwiązanie polega na połączeniu skrajnych (tj. zewnętrznych, najbardziej odległych od środka budowli) prętów zbrojenia u szczytu oraz u stóp wieży i utworzeniu poziomych pętli oraz takich samych dodatkowych pętli w odległościach pionowych co ok. 3 m.

W zależności od wielkości konstrukcji może okazać się konieczne zainstalowanie na jej powierzchni w regularnych odstępach i połączenie ze zbrojeniem dodatkowych przewodów odprowadzających.

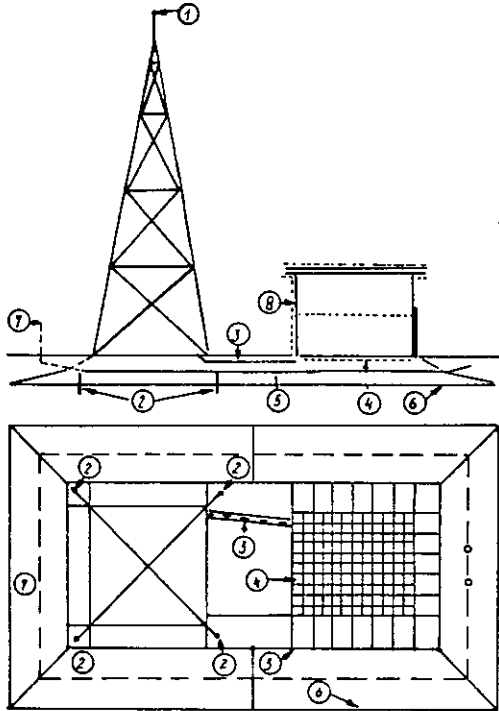
W wieżach, składających się z odrębnych sekcji, zbrojenia na swych złączach muszą być połączone ze sobą galwanicznie; połączenia mogą być wykonane również przewodami zewnętrznymi.

- W przypadku zewnętrznej instalacji odprowadzającej należy zapewnić połączenie przewodów zewnętrznych ze zbrojeniem poszczególnych sekcji konstrukcji. Zwody i przewody odprowadzające muszą być także połączone ze wszystkimi elementami metalowymi na szczycie wieży (np. platformami itp.).
- W przypadkach kiedy budynek nadajnika nie stoi w strefie osłownej, zapewnianej przez konstrukcję masztową anteny, należy przedsięwziąć odpowiednie środki ochrony - zależnie od charakteru budynku.

5.1.2.3. Uziomy

Uziom w istocie stanowi łączyce pomiędzy drogą rozładowania prądu piorunowego a ziemią geologiczną. W celu ograniczenia do minimum wzrostu potencjału w całej instalacji jego impedancja powinna być wystarczająco mała. Nie mniej ważna jest wartość impedancji uziomu ze względu na działanie NEMP; w tym przypadku również powinna być ona możliwie najmniejsza i zapewniać efektywne ograniczanie wartości przepięć indukowanych.

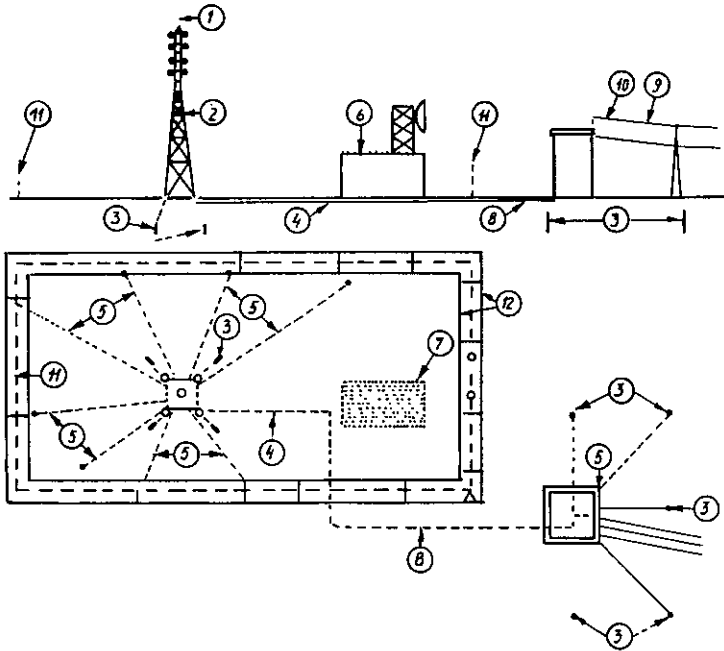
W celu zaprojektowania uziomu i właściwego zwymiarowania elektrod uziomowych zasadniczą rzeczą jest dokładna znajomość rezystywności gruntu w miejscu lokalizacji obiektu. Rezystywność gruntu wchodzi do wszystkich zależności dotyczących impedancji udarowej różnych układów elektrod uziomowych, dlatego też w pracy projektowej nie zaleca się posługiwania tablicami podającymi rezystywność różnych rodzajów gruntu, lecz należy opierać się na pomiarach. W szczególności dotyczy to obiektów, których niezawodność jest ważna i miejsc o dużej aktywności burzowej. Jako elektrody uziomowe można także wykorzystać zbrojenie fundamentów budynku, a zwłaszcza cokołów konstrukcji wieżowej bądź masztowej anteny.



Rys. 58. Typowy układ uziomowy obiektu radionadawczego o zasilaniu autonomicznym

1 - zwód, 2 - uziomy prętowe, 3 - kanał kablowy kabli koncentrycznych, 4 - siatka ekwipotencjalizacyjna w posadzce, 5 - uziom otokowy, 6 - dodatkowe uziomy ochronne, 7 - metalowe ogrodzenie obiektu, 8 - klatka Faraday'a

Obszerne informacje dotyczące uziomów przedstawiono w rozdz. 2.4., zaś przykładowe rozwiązania układów uziomowych stacji radionadawczych ilustrują rys. 58 (dla obiektów o zasilaniu autonomicznym, np. z agregatem prądotwórczym z silnikiem Diesla) i rys. 59 (dla obiektów zasilanych z zewnątrz - w przykładzie linią napowietrzną).



Rys. 59. Typowy układ uziomowy obiektu radionadawczego o zasilaniu zewnętrznym

1 - zwód, 2 - przewody odprowadzające, 3 - uziomy, 4 - kanał kablowy kablów koncentrycznych, 5 - uziom promieniowy, 6 - klatka Faradaya, 7 - siatka ekwipotencjalizacyjna w posadzce, 8 - kanał kabli zasilających, 9 - przewód osłonowy, 10 - ochronniki różkowe, 11 - metalowe ogrodzenie obiektu, 12 - dodatkowe uziomy ochronne

5.1.3. Ekranowanie układów elektrycznych i elektronicznych

Szybkoszmiennie pole magnetyczne o znacznych wartościach szczytowych towarzyszące zarówno wyładowaniom atmosferycznym, jak i wybuchom nuklearnym, a więc LEMP i NEMP, jest źródłem oddziaływań indukowanych w elementach metalowych na dużym obszarze. Dlatego też, aby oddziaływania owe ograniczyć do mini-

mum, aparatura i okablowanie w obiekcie radionadawczym powinny być ekranowane za pomocą klatek Faraday'a.

5.1.3.1. Instalacje i urządzenia wewnątrz budynku obiektu

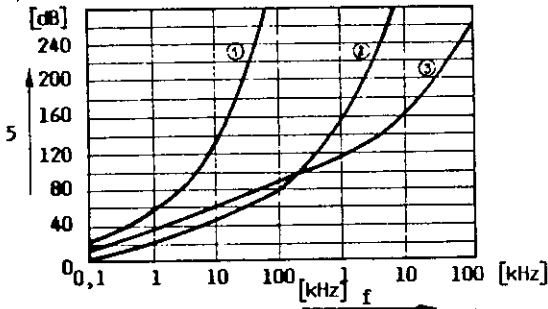
● W przypadku obiektów nadawczych małej mocy najprostszą klatką Faraday'a jest budynek (celka) mieszczący aparaturę nadawczą w całości, zbudowany z arkuszy blachy falistej, tzw. typu kontener. Stanowi on również optymalne rozwiązanie dla rozptywu prądów piorunowych oraz ekranowania od pól elektromagnetycznych. Ekranowanie przed składową elektryczną jest skuteczne, ponieważ żadne linie sił pola nie wnikają do wnętrza, zaś tłumienie składowej magnetycznej wzrasta ze wzrostem częstotliwości.

● Jeśli niemożliwe jest powyższe rozwiązanie, np. w budynku z materiału o złej przewodności elektrycznej (beton), wówczas jest konieczne połączenie elektryczne stalowego szkieletu bądź prętów zbrojeniowych w dachu i posadzkach poziomów oraz włączenie ich do instalacji ochrony odgromowej.

● Odpowiednią ochronę zapewniają również wieże nadawcze i retransmisyjne budowane w ten sposób, że urządzenia elektryczne i elektroniczne oraz sprzęt radionadawczy mieszczą się w dolnej żelbetowej części wieży, a anteny są montowane w części górnej na stalowym maszcie (tubularnym lub kratownicowym).

W wieżach żelbetowych mieszczących aparaturę nadawczą najbardziej zewnętrzne pręty zbrojeniowe muszą być połączone ze sobą przewodami otokowymi łączonymi na poziomie każdej kondygnacji do przewodów odprowadzających instalacji odgromowej. Powstały w ten sposób ekran stanowi ochronę przed zewnętrznymi polami elektromagnetycznymi. Ażeby uniknąć niebezpiecznych różnic potencjałów w wieży, jest konieczne również na poziomie każdego piętra, połączenie przewodu otokowego z wszystkimi metalowymi elementami obiektu, takimi jak: klatki oraz szyby dźwigów, kanały wentylacyjne, szafki kablowe i stojaki z aparaturą itp.

● Jeśli, w szczególnych przypadkach, jest wymagane jeszcze bardziej skuteczne ekranowanie, to można je osiągnąć przez wyłożenie pomieszczenia ze szczególnie wrażliwą aparaturą blachą lub folią metalową. Na rys. 60 pokazano tłumienie pola magnetycznego w funkcji częstotliwości w pomieszczeniu całkowicie zaekranowanym.



Rys. 60. Tłumienie pola magnetycznego w funkcji częstotliwości w pomieszczeniu całkowicie zaekranowanym

1 - blachą stalową o grubości 1 mm i przenikalności magnetycznej względnej równej 200, 2 - folią stalową o grubości 0,1 mm i przenikalności magnetycznej względnej równej 200, 3 - folią miedzianą o grubości 0,1 mm

5.1.3.2. Instalacje wchodzące do budynku obiektu nadawczego

● Urządzenia i okablowanie znajdujące się poza budynkiem obiektu radionadawczego również muszą znajdować się w klatkach Faraday'a, będących przedłużeniem klatek z budynku, które w praktyce można stworzyć przez zastosowanie odpowiednio ekranowanych kabli bądź układania kabli w metalowych rurach lub kanałach.

● Obwody te można skutecznie ekranować przez połączenie z uzioziemieniem ekranów i metalowych powłok wszystkich kabli, chassis urządzeń elektrycznych, elektronicznych i aparatury nadawczej oraz korpusów maszyn i transformatora izolacyjnego bądź obniżającego.

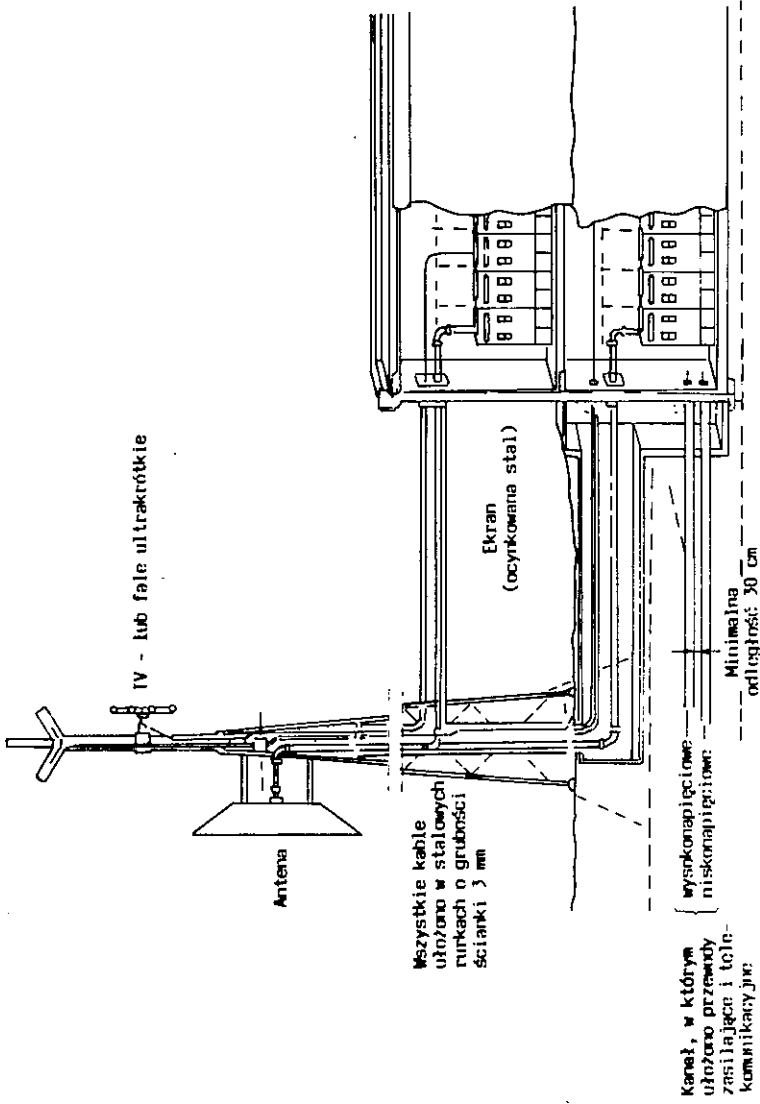
- Metalowe płaszcze i ekrany kabli muszą być na obu krańcach połączone z ziemią; wszystkie przewody uziemiające muszą mieć możliwie najmniejszą impedancję i dlatego krótkie oraz proste trasy, częste łączenia itp.
- Kable wysokiej częstotliwości na ogół nie stwarzają żadnych szczególnych problemów, gdyż są one z reguły ekranowane. Z drugiej strony, elektroenergetyczne obwody zasilające muszą także być prowadzone kablami ekranowanymi, co w pewnych przypadkach może stwarzać trudności techniczno-ekonomiczne.
- Praktyczne rozwiązania, jakie można przyjąć, zależą od wymaganego stopnia ochrony i aktywności burzowej terenu.

W przypadku obiektów, dla których wymagany jest mniejszy stopień niezawodności, wewnętrzną elektryczną sieć rozdzielczą można wykonać kablami nieekranowanymi, lecz wówczas przepięcia poprzeczne indukowane w kablach mogą stwarzać zagrożenie dla urządzeń elektronicznych. Ograniczenie tych przepięć można uzyskać poprzez transpozycję przewodów lub ich zaekranowanie.

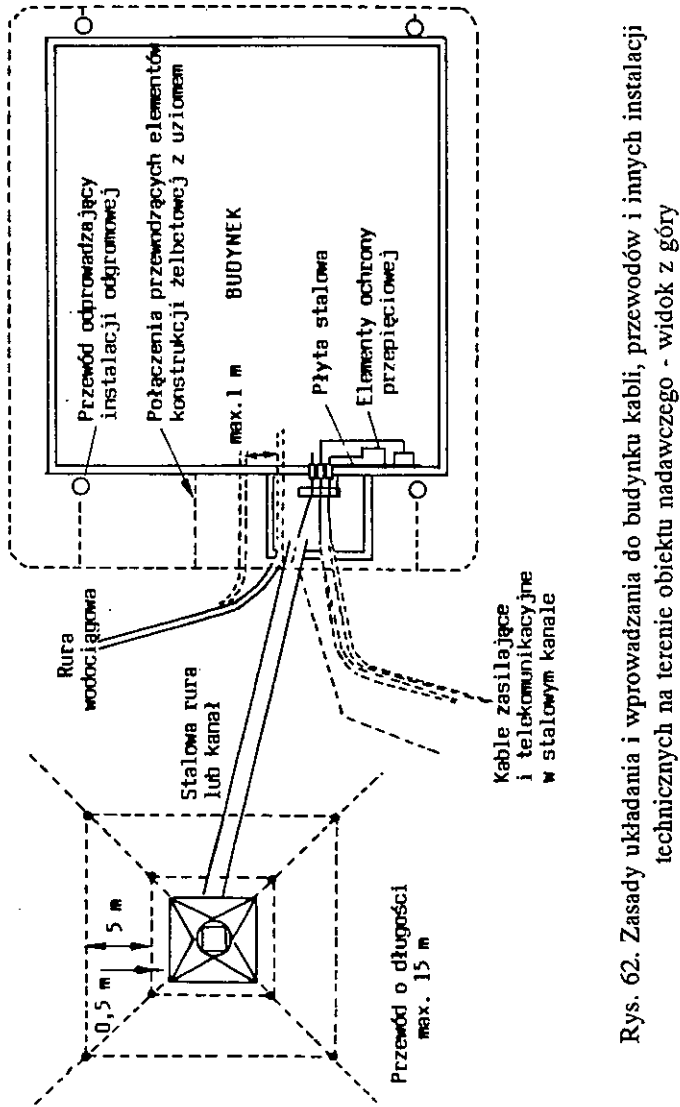
W obiektach nadawczych wymagających szczególnie wysokiego stopnia niezawodności kable ekranowane są niezbędne w każdym przypadku. Przepięcia podłużne w kablach można ograniczyć, zwiększając przekrój poprzeczny i współczynnik ekranowania powłoki. Najlepszy sposób to ekranowanie ekranem litym, zaś ekranowanie w postaci plecionki jest lepsze od ekranowania helikoidalnego (po linii śrubowej) taśmą.

W obiektach wymagających najwyższego stopnia niezawodności jest zalecane stosowanie kabli ekranowanych układanych w stalowych rurach lub kabli o budowie warstwowej.

Ekranowanie instalacji biegnących poza budynkami obiektu nadawczego, a także pomiędzy budynkiem z aparaturą radionadawczą a masztem antenowym oraz zasady rozmieszczania przewodów i kabli na terenie stacji nadawczej szerzej omówiono w rozdziale 4.4. zaś przykładowe rozwiązanie przedstawiono na rys. 61 i 62.



Rys. 61. Zasady układania i wprowadzania do budynku kabli, przewodów i innych instalacji technicznych na terenie obiektu nadawczego - widok ogólny



Rys. 62. Zasady układania i wprowadzania do budynku kabli, przewodów i innych instalacji technicznych na terenie obiektu nadawczego - widok z góry

5.1.4. Ekwipotencjalizacja na terenie obiektu nadawczego

W celu uniknięcia różnic potencjałów pomiędzy różnymi układami uziemiającymi - takimi, jak ziemia instalacji odgromowej, ziemia zasilającej sieci elektromagnetycznej, ziemia (masa) urządzeń i innymi uziemionymi elementami budynków oraz urządzeń takich, jak kanały kablowe i wentylacyjne, metalowe szafki i stojaki, szyby dźwigów i inne, wywołanych przepływem prądu piorunowego oraz przez LEMP i NEMP - wszystkie te konstrukcje powinny być trwale połączone ze sobą. Od eliminacji niebezpiecznych różnic potencjału na terenie stacji zależy również bezpieczeństwo jej personelu, a także skuteczne działanie urządzeń ochronnych.

5.1.4.1. Maszt antenowy

- Metalowe płaszcze lub ekrany wszystkich kabli i przewodów (w.cz., zasilających i in.) biegnących wzdłuż masztu i metalowe kanały ochronne powinny być połączone z nim przy wierzchołku i podstawie.
- Łączenie, nawet jeśli nie jest nieodzownie konieczne, jest pożądane również we wszystkich tych punktach, w których kanały kablowe lub kable są mocowane do konstrukcji masztu.
- Jeśli przewodność elektryczna konstrukcji masztu nie jest doskonała na całej jego wysokości, wówczas należy ją poprawić przez zainstalowanie dodatkowo jednego lub więcej przewodów odprowadzających, łączących zwody na wierzchołku konstrukcji z uziemem zakopany u jej podstawy.
- Poszczególne sekcje masztu, a także ekranów i metalowych płaszczy kabli oraz falowodów i kanałów kablowych powinny być połączone z przewodami odprowadzającymi przynajmniej na obu końcach. Giętkie odcinki falowodów należy zbocznikować przewodzącymi taśmami łączącymi odcinki sztywne.

5.1.4.2. Urządzenia i aparatura w budynku

Dla ułatwienia uziemienia korpusów maszyn i urządzeń stojaków z aparaturą i innych metalowych elementów wewnątrz budynku i zapewnienia bezpośredniego i skutecznego ich połączenia z uziomem należy zainstalować szynę ekwipotencjalizacyjną - patrz rozdz. 3.4.

Elementy budynków i urządzenia, które z przyczyn eksploatacyjnych bądź korozyjnych nie mogą być trwale uziemione, należy łączyć z uziomem instalacji odgromowej lub szyną ekwipotencjalizacyjną za pośrednictwem iskierników izolujących.

5.1.4.3. Metalowe przedmioty i elementy poza budynkiem obiektu

W momencie wyładowania atmosferycznego skok potencjału może osiągać wartości setek kV, więc zasadniczą sprawą jest połączenie z uziomem wszystkich obiektów przewodzących w sąsiedztwie budynku, takich jak wszelkie konstrukcje metalowe, kable, rury, ogrodzenie itp., o ile znajdują się one nie dalej niż 5 m od uziomu. Pozwala to na uniknięcie przeskoków i uszkodzeń izolacji oraz wynikających z nich zagrożeń. W przypadku zasilania stacji nadawczej z linii SN (średnich napięć) powłoki kabli SN i NN (niskich napięć), korpus transformatora SN/NN, punkt zerowy jego uzwojenia NN połączonego w gwiazdę, ziemia urządzeń ochronnych po stronie SN i przewód osłonowy wchodzącej linii (o ile linia posiada taki przewód) muszą być połączone z uziomem stacji. Jeżeli jest to niemożliwe lub niewskazane z pewnych względów (np. w celu uniknięcia propagacji oddziaływań prądów piorunowych rozpraszanych przez uziom masztu antenowego, instalacje rur lub powłoki kabli), wtedy konieczne okazać się może wprowadzenie na pewnym odcinku połączeń izolujących i ochrony kabli przed przepięciami.

5.1.5. Ochrona linii i instalacji technicznych wchodzących na teren obiektu nadawczego

Wyładowania piorunowe w pobliżu stacji nadawczej, impulsy LEMP i NEMP mogą wywoływać znaczne podskoki potencjału kabli i przewodów lub ich powłok oraz innych instalacji technicznych, np. rurociągowych na terenie stacji. Wszystkie wchodzące lub wychodzące ze stacji linie i instalacje muszą być chronione, ponieważ są one połączone z ziemią także w punktach bardziej lub mniej oddległych od stacji i skutkiem tego z powodu różnic potencjału ziemi podlegają naprężeniom.

5.1.5.1. Linie i kable napowietrzne

Kryteria ochrony linii i kabli napowietrznych są zasadniczo te same dla telekomunikacji i dla przesyłu energii. Tym niemniej, zależnie od energii przesyłanej w obwodzie, który ma być chroniony, od jego napięcia znamionowego i poziomu izolacji, istnieje różnica w urządzeniach ochronnych. Ponadto trzeba mieć na uwadze, iż w przypadku linii napowietrznej izolacja linii jest samoodnawialna, natomiast tak nie jest w przypadku kabli.

Zasadnicze kryteria ochrony są następujące:

- a) wszystkie przewody pod napięciem w punktach wejścia do budynku stacji muszą być chronione przez odgromniki;
- b) wszystkie nie wykorzystane (np. zapasowe) przewody w kablach telekomunikacyjnych i przewód zerowy niskonapięciowej linii zasilającej muszą być połączone z uziemieniem stacji;
- c) linki nośne kabli napowietrznych, ich ekrany (o ile są to kable ekranowane) i przewody osłonowe linii napowietrznych muszą być połączone z ziemią;
- d) połączenia uziemiające wymienione w punktach a), b) i c) powinny być możliwie najprostsze i wykonane do:

- uziomu otokowego wokół transformatora SN/NN (średnich napięć/niskich napięć) w przypadku połączeń po jego stronie pierwotnej;
 - uziomu otokowego wokół budynku stacji lub do szyny ekwipotencjalizacyjnej w samym budynku dla obwodów wchodzących bezpośrednio do budynku;
- e) stosowane kable powinny posiadać izolację termoplastyczną;
- f) w celu uniknięcia propagacji udarów wzdłuż linii i uszkodzeń linii lub przyłączonych do niej urządzeń konieczne jest zainstalowanie odgromników:
- w każdym punkcie nieciągłości właściwości izolacji linii (przejście z linii w kabel, przejście z kabla o izolacji termoplastycznej w kabel o izolacji z papieru impregnowanego lub z kabla ekranowego w kabel nieekranowany);
 - w punkcie rozgałęziania się linii; w przypadku kabli telekomunikacyjnych chronione muszą być wszystkie przewody (połączone, nie wykorzystane, w obwodzie głównym i w odgałęzieniach;
 - w punktach odległych 300-500 m od stacji.

Stosowane ochronniki powinny być zdolne wytrzymać dużą energię związaną z prądem piorunowym; z tego powodu na ogół nie zaleca się stosowania odgromników z rezystancją nieliniową.

Wskazane jest stosowanie:

- 1) dla obwodów telekomunikacyjnych - iskierników gazowanych,
- 2) dla obwodów zasilających SN - ochronników różkowych montowanych bezpośrednio na izolatorach linii napowietrznej,
- 3) dla obwodów zasilających NN - iskierników otwartych lub gazowanych.

W tym ostatnim przypadku zwykle jest konieczne zapewnienie właściwej koordynacji izolacji w celu poprawy właściwości izolacyjnych linii i przyłączonych urządzeń.

5.1.5.2. Kable ziemne

Kable nieekranowane, nawet te zakopane, wymagają takich samych środków ochrony, jak linie napowietrzne. Natomiast przy ochronie kabli ekranowanych podstawowym kryterium jest ograniczenie przepięć pomiędzy rdzeniem a płaszczem kabla (powodowanych przepływem prądu piorunowego wzdłuż ekranu kabla) do poziomu odpowiadającego izolacji kabla. Oznacza to zmniejszenie do określonych wartości impedancji sprzężenia rdzeń-ekran. W tym celu kable należy kłaść w stalowych rurach lub stosować kable o budowie warstwowej.

Jeżeli kabel został zakopany w gruncie o jednolitej konduktancji, wówczas prąd wiedziony przez płaszcz kabla będzie rozptywał się w ziemi progresywnie i zmniejszał swą wartość w powłoce kabla, zaś w liniach i izolowanych kablach napowietrznych prąd piorunowy ma tę samą wartość na całej ich długości. Z powyższej przyczyny na terenach o dużej aktywności burzowej jest niewskazane stosowanie linii i kabli napowietrznych. Dla zmniejszenia naprężeń w kablach równoległe z nimi należy układać przewody lub taśmy uziemiające połączone z płaszczami kabli - patrz rozdz. 4.4. Jeżeli kable przebiegają w pobliżu innych uziomów, należy - w miarę możliwości - w celu ekwipotencjalizacji łączyć z nimi powłoki kabli. Jeśli jest to niemożliwe, wówczas należy zapewnić odpowiednią izolację.

5.1.6. Ograniczenie przepięć

Pomimo podjęcia wszystkich wcześniej omówionych środków ochrony, oddziaływania bezpośrednie wyładowań atmosferycznych, LEMP oraz NEMP mogą powodować niebezpieczne przepięcia przy braku odpowiedniego ich ograniczania i właściwej koordynacji izo-

lacji. Najważniejszym elementem obiektu nadawczego, który musi być szczególnie chroniony, jest układ zasilania w energię elektryczną.

5.1.6.1. Urządzenia ochronne obwodów zasilających SN

Trzy podstawowe typy urządzeń ochronnych do obwodów SN stanowią: iskierniki, odgromniki wydmuchowe i odgromniki z rezystancją nieliniową. Ich funkcją jest ograniczanie przepięć; są one instalowane równoległe z urządzeniami, które mają być chronione. Biorąc pod uwagę ich właściwości eksploatacyjne (m.in. stałość napięcia przeskoku, błędne zadziałania, wartość prądu następczego, właściwości gaszące i podatność na uszkodzenia) zaleca się wybór iskierników rożkowych i odgromników z rezystancją nieliniową.

5.1.6.2. Urządzenia ochronne obwodów zasilających NN, obwodów telekomunikacyjnych i innych obwodów pomocniczych

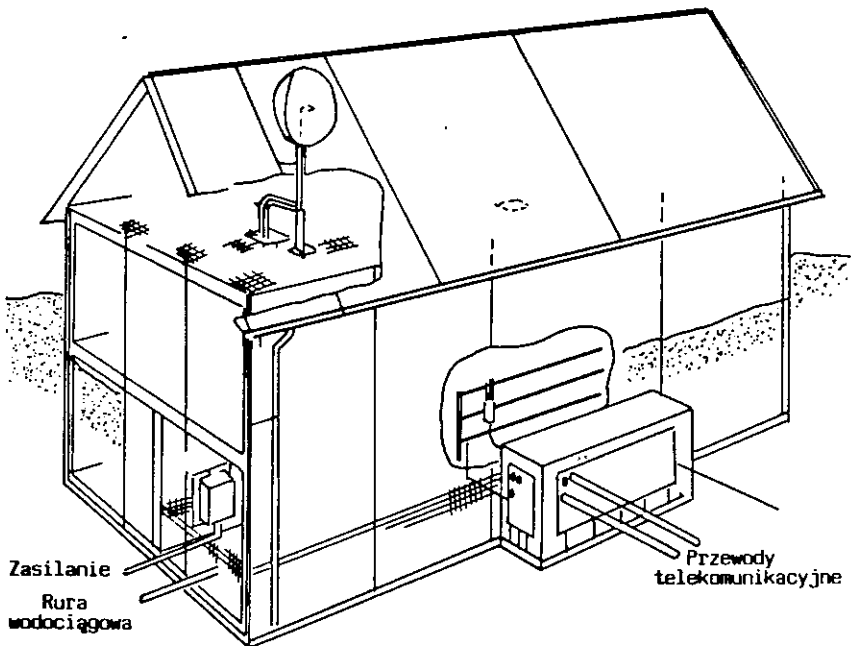
Do ochrony obwodów prądu przemiennego NN można stosować zarówno iskierniki, jak i odgromniki z rezystancją nieliniową. Jest jednak konieczne włączanie od strony napięciowej odgromników z rezystancją nieliniową bezpiecznika, który izolowałby uszkodzony odgromnik od zasilania w przypadku zniszczenia przez wyładowanie iskiernika lub rezystancji.

W przypadku obwodów stałoprądowych ochronę przed przepięciami uzyskać można za pomocą klasycznych układów zabezpieczających takich, jak: pojemności równoległe, indukcyjności szeregowy, filtry dolnoprzepustowe, diody Zenera i inne. Stosowane są również specjalne odgromniki.

Ochrony przepięciowej wymagają także obwody telekomunikacyjne, sterujące, pomiarowo-kontrolne i inne obwody pomocnicze wchodzące do budynku radiostacji z zewnątrz. Zasady i środki ochrony są analogiczne, jak dla niskonapięciowych obwodów zasilających.

5.2. Obiekty budowlane naziemne

Zasady tworzenia poprawnej ochrony odgromowej tego typu obiektów w przypadku bezpośredniego uderzenia pioruna opisano w rozdz. 2. Na rys. 63 pokazano przykładowe rozwiązania ochrony przepięciowej urządzeń elektronicznych pracujących w obiekcie o konstrukcji żelbetowej.



Rys. 63. Przykład ochrony obiektu przed działaniem LEMP i NEMP

Do celów ochrony przepięciowej zastosowano:

- doprowadzenie do obiektu przewodów telekomunikacyjnych i zasilania w metalowych rurkach na odcinku kilkudziesięciu metrów;

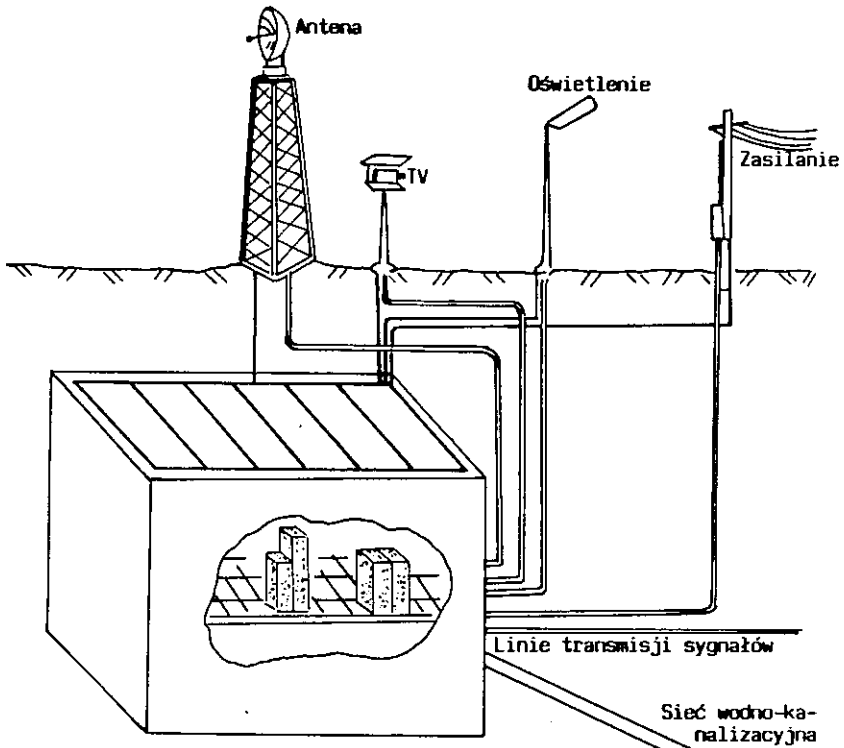
- płytę stalową połączoną z konstrukcją żelbetową i uziemioną, do której dochodzą przewody telekomunikacyjne;
- elementy/układy ochrony przepięciowej umieszczone w metalowej skrzynce (zasilanie) lub ekranowanym panelu (przewody telekomunikacyjne), który jest połączony z elementami przewodzącymi konstrukcji budynku i uziemieniem.

Przedstawiony sposób ochrony zapewnia poprawną ochronę urządzeń elektronicznych przed działaniem LEMP. W przypadku zagrożenia NEMP należy zastosować dodatkowe ekrany wewnątrz obiektu.

5.3. Obiekty budowlane podziemne

Chroniąc urządzenia elektroniczne pracujące w obiektach podziemnych (rys. 64), należy spełnić następujące warunki:

- stworzyć rozległy uziom, który najkorzystniej jest umieścić nad obiektem;
- w miejscach wejść pod ziemię należy łączyć z uziomem ekrany kabli i układy ochrony przepięciowej;
- wszelkiego rodzaju przewody powinny dochodzić do obiektu tylko w jednym miejscu do płyty stalowej o grubości ok. 6 mm (rozd. 4);
- przewody zasilające, telekomunikacyjne i przesyłu sygnałów dochodzące do obiektu należy układać w metalowych rurkach;
- na wejściu kabli i przewodów do obiektu (za metalową płytą) stosować należy elementy/układy ochrony przepięciowej umieszczone w specjalnym ekranowanym pomieszczeniu;
- w przypadku zagrożenia NEMP cały obiekt podziemny należy ekranować, stosując blachę stalową o grubości 5-6 mm.

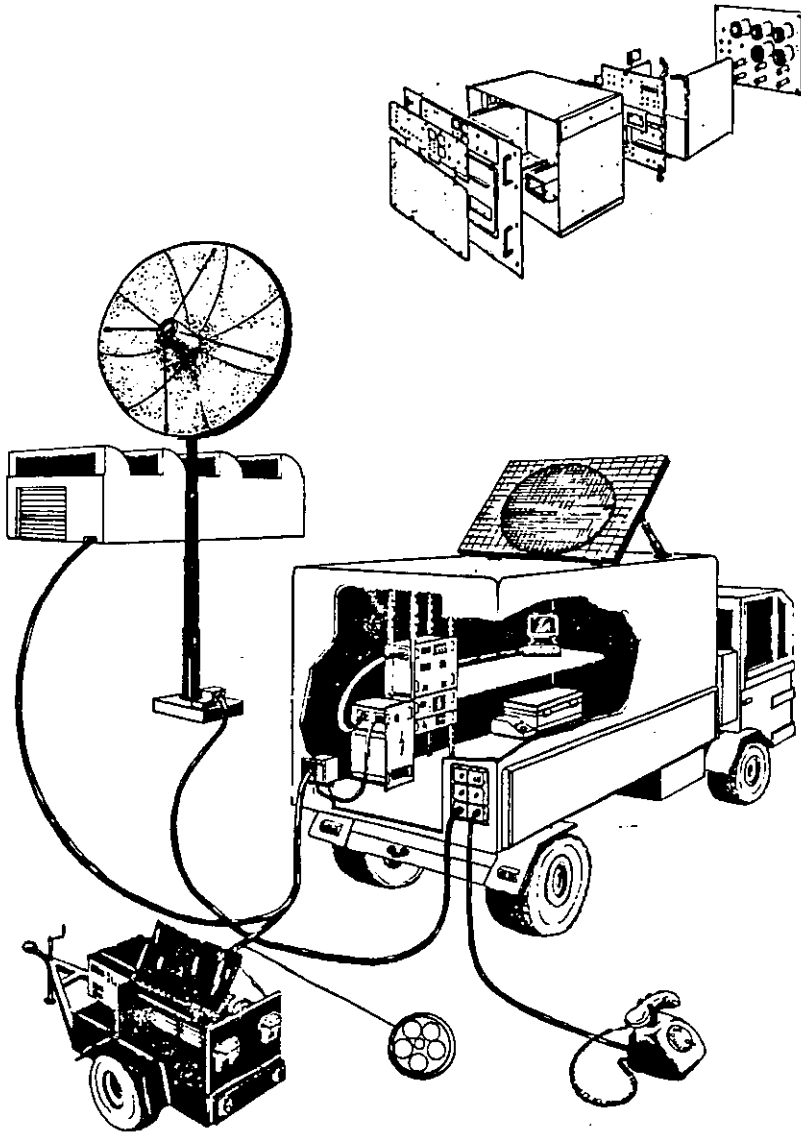


Rys. 64. Przykład ochrony obiektu podziemnego przed działaniem LEMP i NEMP

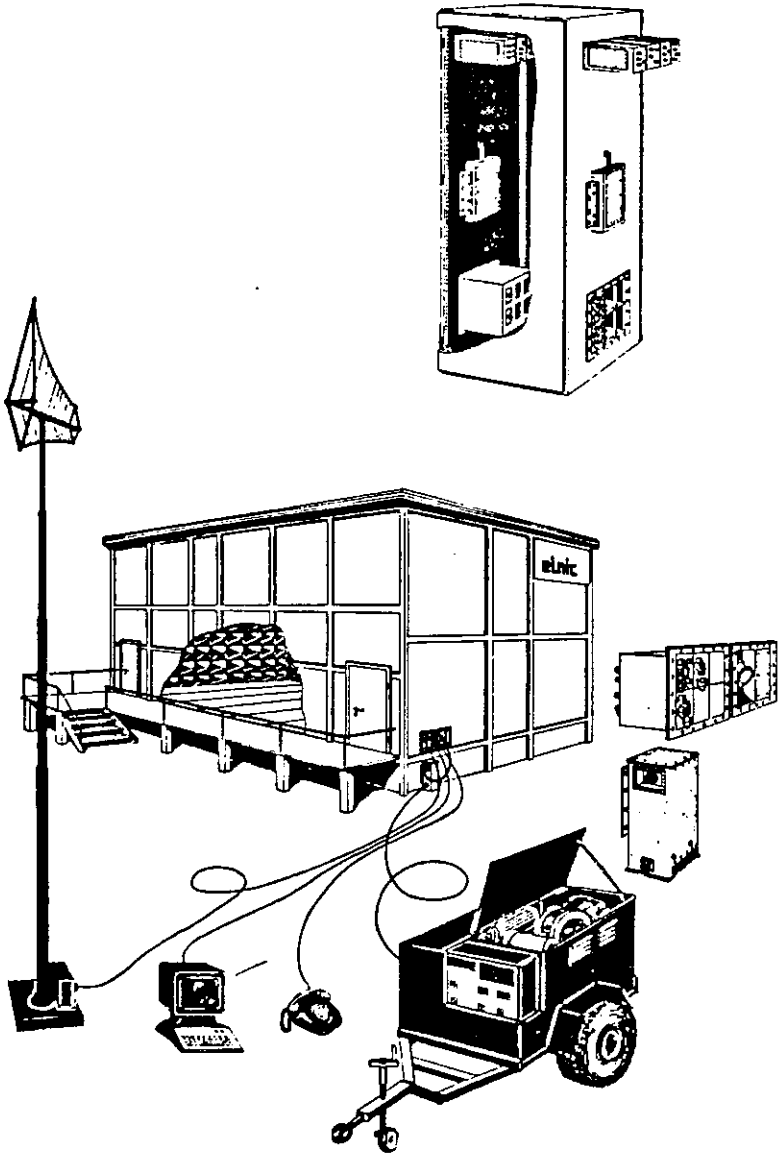
5.4. Pojazdy i obiekty przenośne

Konstrukcje pojazdów lub obiektów przenośnych stosowanych do celów łączności wojskowej najczęściej zapewniają odpowiedni stopień ekranowania przed impulsowym polem elektromagnetycznym. W obiektach takich należy jedynie zapewnić ochronę przepięciową urządzeń elektronicznych. W miejscach wejść do tego typu obiektów przewodów zasilających i transmisji sygnałów należy umieścić ekranowane panele z elementami ochrony przepięciowej.

Przykłady rozwiązań praktycznych podano na rys. 65 i 66.



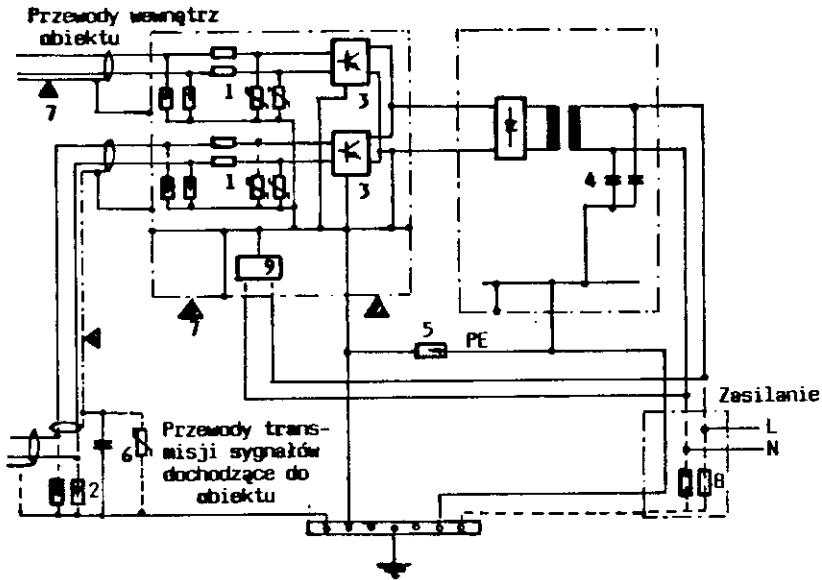
Rys. 65. Przykład ochrony przepięciowej punktu łączności na samochodzie



Rys. 66. Przykład ochrony przepięciowej przenośnego punktu łączności

5.5. Przykładowe rozwiązania uziemiania urządzeń telekomunikacyjnych

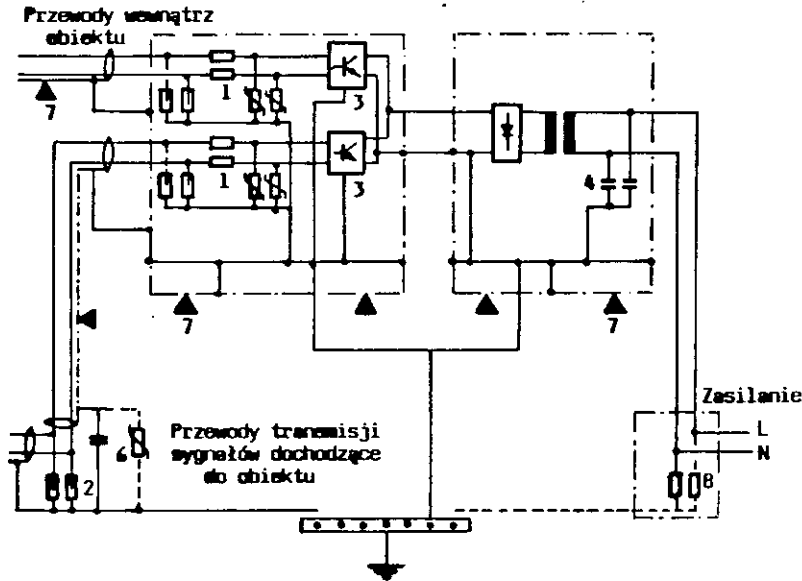
Na rys. 67, 68 i 69 pokazano różne możliwości uziemiania urządzeń telekomunikacyjnych. Ponieważ różnorodność wariantów uziemiania jest bardzo duża, więc ograniczono się jedynie do zaprezen-



Rys. 67. Przykładowe rozwiązanie ochrony przepięciowej elektronicznych urządzeń telekomunikacyjnych o izolowanych obwodach wejściowych

1 - kompleksowa ochrona przepięciowa urządzenia telekomunikacyjnego od strony linii przesyłu sygnałów (rozwiązanie przykładowe), 2 - ochrona przepięciowa podstawowa przy wejściu do budynku zewnętrznej linii telekomunikacyjnej, 3 - obwody wejściowe lub wyjściowe elektronicznych urządzeń telekomunikacyjnych, 4 - ochrona przed zakłóceniami radioelektrycznymi (rozwiązanie przykładowe), 5 - izolowane połączenia uziemiające za pomocą ochronników, 6 - pośrednie uziemienie ekranu kabla - przerwa dla prądu stałego, wymagane ze względów eksploatacyjnych (przykład wykonania), 7 - izolowanie obudowy urządzenia od otoczenia, 8 - ochrona przepięciowa przy wejściu do budynku elektroenergetycznej linii zasilającej (odgromniki zaworowe), 9 - urządzenie o zasilaniu bezpośrednio z sieci

wania tylko pewnych typowych sposobów uziemiania. Należy zaznaczyć, iż przedstawione rozwiązania ochrony przepięciowej urządzeń telekomunikacyjnych są tylko przykładami i w praktyce mogą być wykonane także inaczej.



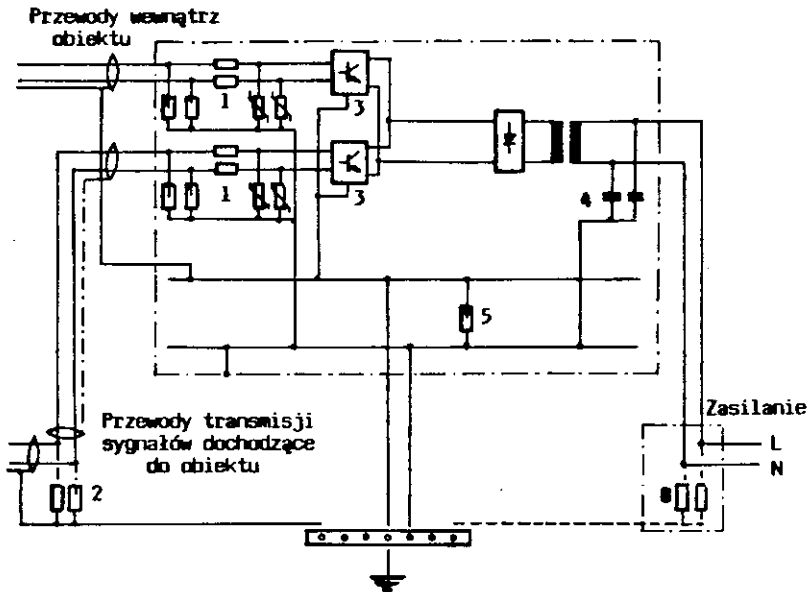
Rys. 68. Przykładowe rozwiązanie ochrony przepięciowej elektronicznych urządzeń telekomunikacyjnych o izolowanych obwodach wejściowym i zasilającym.

Oznaczenia jak na rys. 67

Stosowanie w ochronie przepięciowej kondensatorów czy też uziemianie ekranu kabla stanowi, w ramach podanych przykładów, tylko jedną z wielu możliwości.

W przypadku wchodzących do budynku zewnętrznych linii telekomunikacyjnych stosowanie ochronników gazowanych konieczne jest jedynie w liniach o dużym stopniu narażeń impulsowych (np. w liniach biegnących w terenie o dużej aktywności burzowej), natomiast

odgromniki zaworowe są wymagane tylko wtedy, gdy w linii elektroenergetycznej zasilającej obiekt spodziewane są wysokie przepięcia (a więc ponownie głównie w obszarach o podwyższonym lub ekstremalnie wysokim zagrożeniu piorunowym).



Rys. 69. Przykładowe rozwiązanie ochrony przepięciowej elektronicznych urządzeń telekomunikacyjnych
Oznaczenia jak na rys. 67

Przedstawione na schematach połączenia uziemiające izolowane dokonane za pośrednictwem ochronników gazowanych w praktyce mogą być również realizowane inaczej przez inne elementy i urządzenia zabezpieczające, jak np. warystory, diody Zenera, itd. Zapobiegają one przeskokom elektrycznym pomiędzy różnymi elementami urządzeń (np. ziemią roboczą a ziemią ochronną) w momencie wystąpienia przepięć.

W celu odseparowania urządzenia telekomunikacyjnego od sieci zasilającej także w czasie zwarć do masy lub doziemnych, napięcie zadziałania elementów ochronnych (zabezpieczających) powinno być zdeterminowane przez górną graniczną wartość napięcia zasilającego.

Obudowa urządzenia może być uziemiona albo galwanicznie, albo przez rezystancję. To drugie rozwiązanie jest celowe wówczas, gdy powoduje zmniejszenie sprzęgania się napięć zakłócających.

6. PODSUMOWANIE

W opracowaniu przedstawiono podstawowe zasady kompleksowej ochrony przed zakłóceniami impulsowymi rozbudowanych systemów elektronicznych. Szczegółowo opisano zasady:

- doprowadzania różnego rodzaju przewodów do budynku,
- ekwipotencjalizacji i uziemiania urządzeń elektronicznych,
- układania przewodów wewnątrz obiektów,
- rozmieszczania elementów i układów ochrony przepięciowej.

Poszczególne zagadnienia omówiono w krótkiej i zwięzłej formie, umożliwiającej łatwe ich wykorzystanie.

WYKAZ LITERATURY

1. Baum C.: Electromagnetic Topology: A Formal Approach to the Analysis and Design of Complex Electronic Systems. Symposium on EMC-81, Zurich 1981, pp. 209-214.
2. Breuning W.: Österreichische Bestimmung für Elektrotechnik: Schutz gegen Schädigende Transiente Überspannungen. 18 ICLP, Monachium 1985, pp. 385÷394.
3. Cooray V., Scuka V.: EMP - radiation from lightning and its effects on digital communication equipment. 18 ICLP, Monachium 1985, pp. 259÷263.
4. Flisowski Z.: Trendy rozwojowe ochrony odgromowej budowli. Część 1. Wyladowanie piorunowe jako źródło zagrożenia. PWN, Warszawa 1986.
5. Ghose R.N.: EMP Environment and Systems Hardnes Design. Don White Consultans Inc., 1984.
6. Hansen D.: EMP - Schutz in Geraten und Anlagen. SEV, 1985.
7. Hart W.C., Malone E.: Lightning and Lightning Protection. Multi - Volume EMC Encyclopedia Series, vol. 5.
8. Hasse P., Wiesinger J.: Handbuch für Blitzschutz und Erdnung. 2 Aufl. Berlin, VDE - VERLAG GmbH, 1982.
9. Lee K.S.H. (editor): EMP Interaction, Principles, Techniques and References Data, Handbuch for use Workshop at the EMC-81, Zurich 1981.
10. Martzloff F.D.: Coordination of Surge Protectors in Low-Voltage AC Power Circuits. Trans. IEEE, vol. PAS-99, No 1, 1980.
11. Montandon E.: Die Entwicklung der Hybriderdung bei den PTT von 1976 bis 1986. Technische Mitteilungen PTT, No 8, pp. 368-379, 1987.
12. Press J.L.: EMP Response of a Generic Groundbase Facility. Symposium on EMC-90, Washington 1990, pp. 74-79.
13. Scuka V.: EMI control in low-voltage power installation. Zurich EMC Symposium, 1987, pp. 429-434.
14. Sowa A., Augustyniak L.: Ochrona odgromowa obiektów telekomunikacyjnych. Praca N-B. Politechnika Białostocka, 1991.
15. Sowa A., Floryński R., Augustyniak L.: Zakłócenia impulsowe wywołane przez wyladowania atmosferyczne. Prace Instytutu Łączności, nr 100, 1992.

16. Sowa A., Floryński R.: Zakłócenia impulsowe powodowane przez impulsy elektromagnetyczne wybuchu jądrowego. Prace Instytutu Łączności, nr 100, 1992.
17. Szpor S., Samuła J.: Ochrona odgromowa. Tom I, II, III, WNT, Warszawa 1983, 1984, 1987
18. Uman M.A.: Lightning. Dover Publication, New York, 1984.

NORMY I ZALECENIA

19. FTZ 47771 TV 1.: Überspannungableiter. Deutsche Bundespost, Fernmeldetechnisches Zentralamt, 5, 1978, s. 2-11.
20. IEEE Std. 587-1980: IEEE Guide For Surge Voltages In Low-Voltage AC Power circuit.
21. IEEE Std. 472-1974, ANSI Std. C 37.90A-1974: Guide For Surge Withstand Capability (SWC).
22. ÖVE-F1.: Schutz gegen Schädlinge Transiente Überspannungen. Teil 7. 1986.
23. Wytyczne ochrony odgromowej telekomunikacyjnych kabli dalekosiężnych o powłokach metalowych. Praca nr 9/DW/720/1200 Instytut Łączności, Warszawa 1973.
24. VDE 0845/4.76, DIN 57845: VDE - Bestimmung für den Schutz von Fernmeldeanlagen gegen Überspannungen.
25. VG 96900: Schutz gegen Nuclear - Elektromagnetischer Puls (NEMP) und Blitzschlag.



Jedna z najstarszych firm komputerowych w Warszawie
OFERUJE:

Sprzedaż Naprawy Modernizacja

2 lata gwarancji

KOMPUTERY

386/486

Notebooki Panele LCD

- | | | | |
|------------------------|-----------|-------------------------------|-------------------------|
| Urządzenia peryferyjne | Akcesoria | Licencjonowane oprogramowanie | Stałą obsługę serwisową |
| drukarki | filtry | edytory tekstów | naprawy |
| skanery | myszy | arkusze kalkulacyjne | modernizacja |
| plotery | dyskietki | programy graficzne | zakładanie sieci |

Raty Leasing Rabaty

ul. Willowa 8/10 tel. 48 03 05, tel./fax 48 66 23

