



Europejski
Instytut Miedzi
Copper Alliance



Jakość energii

Uziemienie i EMC – Systemowe podejście do zagadnienia uziemień

Reyer Venhuizen
KEMA T&D Power

Nr ref EIM: EIM01226

Wstęp

Uziemianie instalacji i urządzeń jest zagadnieniem, które wykracza poza dziedziny związane z budową i wyposażeniem nowoczesnych budynków komercyjnych i przemysłowych. Inżynierowie budowlani powinni porozumiewać się ze specjalistami z dziedziny aparatury, a informatycy - omawiać problemy z inżynierami elektrykami itd. Niekiedy jednak, inżynierowie różnych specjalności nie rozmawiają tym samym językiem lub nawet nie są świadomi, jakie są potrzeby instalacji z punktu widzenia innych specjalności. Przedstawione w tym opracowaniu, kompleksowe podejście do zagadnienia uziemień ma służyć zespołom reprezentującym wiele różnych dyscyplin, jako podstawowe wytyczne w zakresie uziemiania i tłumienia zaburzeń.

Ogólnie, każdy system uziemiający powinien spełniać trzy wymagania:

- **Wyładowania atmosferyczne i zwarcia:** system uziemienia musi zabezpieczać użytkowników budynku i zapobiegać bezpośrednim zagrożeniom, takim jak pożar, przeskok lub wybuch w wyniku bezpośredniego uderzenia pioruna lub przegrzania wywołanego przepływem prądu zwarcia.
- **Bezpieczeństwo:** system uziemiający musi być zdolny do przewodzenia prądów wyładowań atmosferycznych i prądów zwarciovych bez wywoływania niedopuszczalnych napięć krokowych i dotykowych.
- **Ochrona urządzeń i funkcjonalność:** system uziemienia musi chronić urządzenia elektroniczne zapewniając połączenia o niskiej impedancji pomiędzy różnymi, współpracującymi urządzeniami. Ważnymi aspektami są: prawidłowe prowadzenie kabli, grupowanie odbiorów i ich ekranowanie. Celem ich jest zapobieganie zakłóceniom w pracy urządzeń elektrycznych powodowanych przez różne źródła zaburzeń.

Chociaż wymagania w tych trzech aspektach są często formułowane oddzielnie, ich wdrożenie wymaga zintegrowanego, systemowego podejścia.

Podejście systemowe

Podstawowym celem uziemienia ochronnego jest zapewnienie bezpieczeństwa ludzi i mienia w strefie chronionej przez system uziemiający. Wymaga to wykonania połączenia o dużej obciążalności prądowej i stosunkowo niskiej impedancji dla częstotliwości podstawowej, aby duży prąd zwarciovych nie wywoływał niebezpiecznych napięć.

Można bardzo łatwo wykonać połączenie z ziemią o niskiej impedancji. Potrzebny jest do tego przewód o dużej przewodności, odporny na korozję (najlepszym materiałem jest miedź), ułożony w ziemi na takiej głębokości, aby nie było zamarzania ani wysychania gruntu, o wymiarach wystarczających dla zapewnienia dużej powierzchni styku z ziemią, obejmujący w miarę duży obszar i tak ułożony, aby inne układy uziemiające nie wpływały na niego. Duża objętość ziemi zmniejsza gęstość prądu, a zatem rezystancję uziemienia. Duża powierzchnia systemu uziemień pozwala na odpowiednie ukształtowanie pola elektrycznego i zmniejszenie napięcia dotykowego i krokowego (omawiane dalej). To jest ziemia odniesienia – przynajmniej taka ziemia odniesienia, jaka może być wytworzona.

Problemy pojawiają się wraz z przyłączaniem urządzeń do systemu uziemień. W praktyce na jakość ziemi odniesienia wpływają inne, pobliskie systemy uziemień i, zwykle w większym stopniu, urządzenia samej instalacji.

Stosowanie połączonego przewodu ochronnego i neutralnego (PEN), jak w systemie TN-C, nie daje się pogodzić z zasadami właściwego projektowania, przedstawionymi w zarysie w niniejszym opracowaniu. W systemie TN-C prądy neutralne - łącznie z trzecią harmoniczną – oraz prądy doziemne płyną wspólnie w przewodach ochronno-neutralnych oraz w połączonej z nimi konstrukcji stalowej. Instalacje odbiorcze powinny być zawsze wykonywane w systemie TN-S, nawet jeśli są zasilane z sieci w systemie TN-C po stronie zasilania. Bardzo ważne jest zachowanie jednego punktu galwanicznego podłączenia przewodu neutralnego do uziemienia.

Tradycyjna praktyka instalacyjna koncentruje się – słusznie - na bezpieczeństwie. Początkowo uważano, że wystarczy po prostu zapewnić połączenie o niskiej impedancji doziemnej. Nowoczesna praktyka wymaga „kształtowania” pola elektrycznego w ziemi w celu kontrolowania gradientu napięcia wokół uziomu.

Przewód ochronny musi również zapewniać funkcjonalne uziemienie urządzeń pracujących w systemie - to znaczy powinien zapewnić drogę dla prądów upływu (o częstotliwości podstawowej) oraz dla prądów szumu pochodzących np. z zasilaczy impulsowych poprzez filtry zaburzeń częstotliwości radiowej (RFI); wyznacza on również napięciowy poziom odniesienia dla interfejsów sygnałowych.

Wartość prądów upływu zmienia się w zależności od miejsca w instalacji. Ponieważ doziemne prądy upływu pochodzą głównie z jednofazowych urządzeń przyłączonych do każdej z trzech faz, składowe symetryczne dla częstotliwości podstawowej znoszą się tak, że prąd w przewodzie ochronnym może wzrastać lub maleć w miarę jak urządzenia są dołączane do systemu zasilania. Często najgorsza sytuacja jest w jednofazowym obwodzie zasilającym urządzenia informatyczne (IT). Prądy upływu są nieszkodliwe, gdy spływają do ziemi, ale mogą osiągnąć groźny poziom w razie uszkodzenia połączenia, zatem konieczne jest rozwiązanie całościowe. W gruncie rzeczy wymaga to podwójnych dróg połączenia (każda z nich o zdolności do przeniesienia pełnego prądu zwarciovego) oraz odpornych i niezawodnych połączeń, np. odpornych na korozję przewodów miedzianych, instalowanych przez elektryków, a nie stalowych korytek kablowych, instalowanych przez pracowników budowlanych. Jeżeli pancerze kabli wykorzystano jako jedną z dróg, to szczególną uwagę należy poświęcić zapewnieniu niezawodnych połączeń na mufach kablowych. Zasady integralnego projektowania muszą obejmować całość systemu, aż do biurka, np. instalowanie odpowiednich gniazd wtyczkowych, gdyż nie zaleca się stosowania przedłużaczy sieciowych z blokami gniazd wtyczkowych, z pojedynczym, niepewnym przewodem ochronnym.

Jeżeli chodzi o funkcjonalność, to poważnym problemem mogą okazać się prądy o wysokiej częstotliwości. Wiele spośród urządzeń, które generują zaburzenia wysokoczęstotliwościowe, jest również na nie wrażliwych, ale istnieje różnica: urządzenia wytwarzają *prądy* szumu, a są wrażliwe na *napięcia* szumu. Wszystko jest dobrze, jeżeli prądy szumu mogą być przenoszone do ziemi bez wytworzenia spadku napięcia szumu. Wymaga to połączenia z ziemią, które ma niską impedancję dla wszystkich częstotliwości. W celu zmniejszenia zaburzeń promieniowanych, droga dla prądu szumu powinna przebiegać blisko przewodów zasilających. Należy zauważyć, że w tym kontekście zajmujemy się impedancją połączenia do systemu uziemiającego, który reprezentuje powierzchnię ekwipotencjalną, potocznie nazywaną „ziemią”, a nie fizyczną ziemią - odmiennie niż w odniesieniu do bezpieczeństwa i ochrony odgromowej, w której sama impedancja uziomu ma kluczowe znaczenie.

Jeżeli liczba zainstalowanych urządzeń jest niewielka, to zwykle prowadzi się oddzielny przewód uziemiający, o dużym przekroju, wprost do głównego zacisku uziemiającego lub nawet do oddzielnego uziomu prętowego (również połączonego galwanicznie z głównym zaciskiem uziemiającym, zgodnie z lokalnymi przepisami). Zwykle to wystarcza - po części dlatego, że systemy te i ich urządzenia peryferyjne są rozmieszczone na topograficznie małym obszarze, zatem można je utrzymać nie tyle na potencjale zerowym, co na wspólnym potencjale. Droga powrotna dla szumu powinna również przebiegać blisko przewodów zasilających, zmniejszając w ten sposób szum promieniowany. Jednakże długie, promieniowe połączenia do uziemienia dają efekty rezonansu ćwierćfalowego¹, zwiększającego impedancję dla pewnych częstotliwości, co sprawia, że technika ta jest nieprzydatna w przypadku nowoczesnych, w znacznym stopniu rozproszonych, instalacji. Nowoczesne systemy komputerowe rozciągają się zwykle na kilka pięter budynku. Utrzymanie powierzchni ekwipotencjalnej pomiędzy tak rozproszonymi urządzeniami wymaga lepszego rozwiązania.

Faktem jest, że większość rozproszonych systemów komputerowych działa. Wraz z rozwojem układów mikroelektronicznych i zmniejszeniem napięcia ich pracy, uległa redukcji także energia potrzebna do przełączania stanów logicznych, a także zmalała odporność tych urządzeń na szumy napięciowe, tzn. wzrosła ich czułość na ten rodzaj zaburzeń. Skutki tego trendu zostały zrównoważone przez udoskonalenia w projektowaniu systemów w kierunku polepszenia odporności na szumy. Polegają one na zastosowaniu interfejsów różnicowych i lepszych rozwiązań w dziedzinie oprogramowania, takich, jak detekcja błędów i protokoły korekcji błędów w sieciach. Techniki te są bardzo skuteczne, ale zmniejszają przepustowość sieci, ponieważ przesyłają nadmiarowe dane (kontroli błędów) i wymagają retransmisji wadliwych pakietów danych. Ze wzrostem poziomu szumu wzrasta stopa błędów, a przepustowość maleje, aż do zupełnego zaniku użytecznej komunikacji. Z punktu widzenia użytkownika wygląda to tak, jakby system został nagle

¹ Projektowanie systemu uziemiającego budynku, łącznie z systemem ochrony odgromowej, wymaga wielkiej staranności, jeżeli mają być spełnione wszystkie założone cele. Jak zwykle, najlepszym i najtańszym rozwiązaniem będzie jeżeli zostanie on od początku prawidłowo zaprojektowany, niż gdyby miał być przeprojektowany i przerabiany już po oddaniu budynku do eksploatacji.

uszkodzony, podczas gdy w rzeczywistości uległ on degradacji w takim stopniu, że jego mechanizmy regeneracji nie radzą sobie już z zaistniałą sytuacją. Jeżeli uda się zmniejszyć szum do wystarczająco niskiego poziomu, to zmniejszy się również stopa błędów i transmisja danych znowu będzie możliwa. Wysoki poziom szumów zmniejsza przepustowość i wydajność sieci dla tego, że wymaga powtarzania transmisji. Wydajność sieci wiąże się w oczywisty sposób ze sprawnością przetwarzania danych, z którą z kolei związana jest efektywność przedsiębiorstwa. Podobnie jak w wielu innych przypadkach, wydajność jest najgorsza wtedy, gdy jest najbardziej potrzebna – kiedy sieć jest obciążona. Obniżenie poziomu szumu w środowisku przetwarzania danych jest kluczowe dla zwiększenia wydajności. Niestety, w większości inwestycji przeznaczonych na wynajem najpowszechniej stosowanym przewodem do przesyłu danych w sieciach jest nieekranowana skrętka dwużyłowa. W budynkach o dużym nasyceniu urządzeniami IT, i szybkości transmisji danych 100 Mb/s, powinna być stosowana ekranowana skrętka dwużyłowa.

Najlepszym sposobem zredukowania szumów do minimum jest stosowanie powierzchni odniesienia w postaci siatki miedzianej. Ta technika była często stosowana w „pomieszczeniach komputerowych”, gdy przetwarzanie danych było zcentralizowane, i nadal jest często jedynym, realnym z technicznego punktu widzenia, rozwiązaniem, które funkcjonuje prawidłowo ponieważ istnieje bardzo wielka liczba dróg przez siatkę, o różnej pozornej długości elektrycznej. Podczas gdy niektóre z tych dróg mogą być krotnościami ćwiartki długości fali, to niewątpliwie jest wiele innych, równoległych dróg, które nie są takimi krotnościami, w wyniku czego, połączenie ma niską impedancję w szerokim zakresie częstotliwości. Siatka taka powinna pokrywać całą powierzchnię, na której są zainstalowane urządzenia – obecnie zwykle powierzchnię całego budynku. Nie należy zapominać, że ma to zastosowanie zarówno w pionie jak i w poziomie. Instalowanie poziomych siatek na każdym piętrze nie ma większego sensu, jeżeli są połączone tylko do jednego pionowego przewodu odprowadzającego. Siatki są zwykle wykonywane z cienkiej taśmy, aby zminimalizować zjawisko naskórkowości. Jeżeli, jako siatka, zostały użyte elementy konstrukcyjne, takie jak np. wsporniki podniesionej podłogi, wybrane raczej ze względu na swoje mechaniczne niż elektryczne właściwości, należy zapewnić aby elementy te były połączone ze sobą elektrycznie – za pomocą *krótkich* odcinków miedzianej plecionki – na każdym skrzyżowaniu.

Można by sądzić, że instalacja w całości z siatki miedzianej w zwykłych budynkach komercyjnych jest raczej kosztowna – szczególnie w przypadku budynków budowanych na wynajem. Koszt ten nie okazuje się być wielki i jest oczywiste, że najmniejsze koszty całkowite uzyskuje się wprowadzając siatkę w stadium projektowania, a najbardziej kosztowne jest jej instalowanie na drodze modernizacji po oddaniu budynku do eksploatacji. Skuteczny system uziemiający gwarantuje, że budynek będzie odpowiedni dla szerszego spektrum użytkowników, a zatem bardziej atrakcyjny pod względem rynkowym. W takim budynku można uzyskać wyższe czynsze, uzasadnione zmniejszeniem liczby problemów dotyczących najemców (i związanych z tym kosztów) oraz wynikających stąd kosztów operacyjnych.

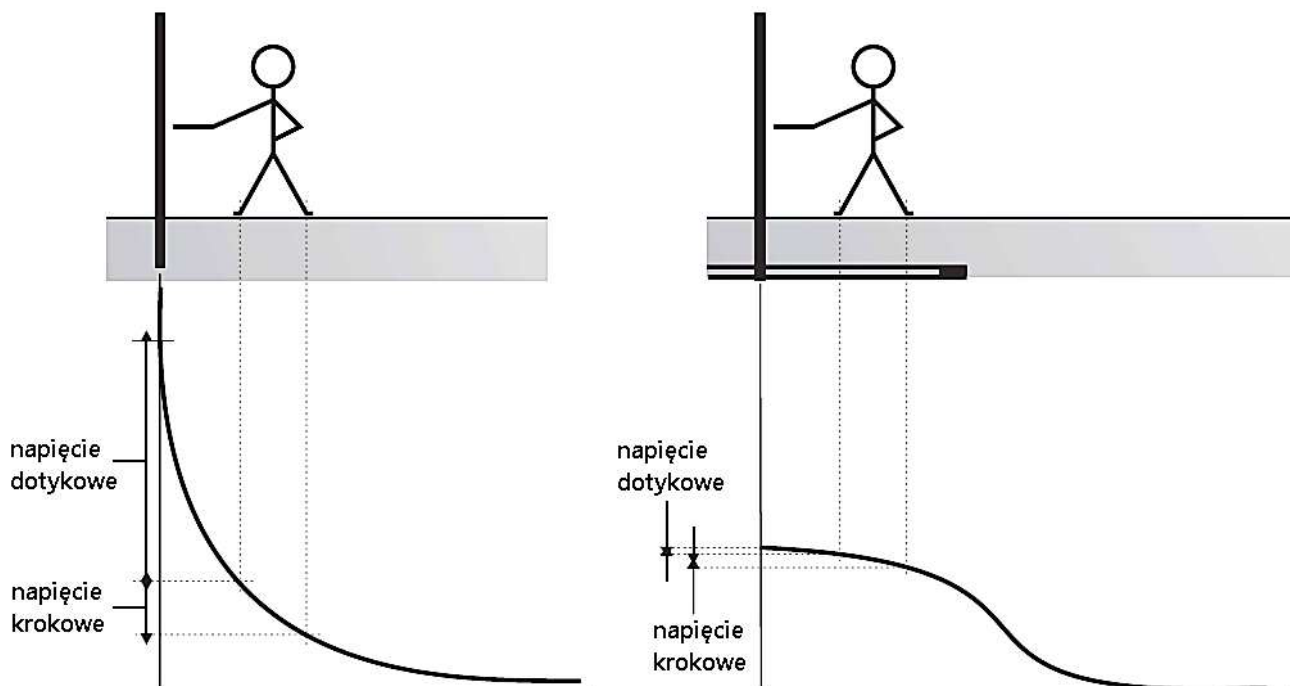
Wdrażanie koncepcji do praktyki

Uziom

Zaprojektowanie uziomu – jego wymiarów, kształtu i ułożenia – ma kluczowe znaczenie nie tylko dla uzyskania wystarczająco małej impedancji, ale także dla ukształtowania rozkładu pola elektrycznego na powierzchni gruntu.

Rezystancja systemu uziemiającego i prąd płynący do ziemi wyznaczają różnicę napięć między systemem a ziemią. Dla dużych prądów zwarciovych napięcie to będzie bardzo wysokie przy samym uziemiu i będzie malało wraz z odległością od przewodu uziemiającego, w miarę jak będzie się zwiększała objętość gruntu, przez który prąd przepływa. Ten przyrost potencjału ziemi może powodować niebezpieczne sytuacje.

Przed dalszym opisywaniem tego zagadnienia należy zdefiniować niektóre terminy (patrz rysunek 1). „Napięcie dotykowe” jest to różnica potencjałów pomiędzy uziemioną konstrukcją a osobą stojącą na ziemi w odległości umożliwiającej dotyk tej konstrukcji. „Napięcie krokowe” jest różnicą potencjałów pomiędzy stopami osoby stojącej na ziemi (przy założeniu odległości 1 metra między stopami). Maksymalne graniczne wartości napięcia dotykowego i napięcia krokowego są określone w normach.



Rysunek 1. Napięcie krokowe i napięcie dotykowe.

Uzyskanie małej impedancji jest możliwe - w odpowiednich warunkach gruntowych - za pomocą jednego pręta uziemiającego. Typowy rozkład pola jest pokazany na rysunku 1, po lewej stronie. Można zauważyć, że nachylenie krzywej rozkładu potencjału ziemi jest bardzo duże, tzn. napięcia krokowe i dotykowe mogą być wysokie, tak więc nie jest to właściwy wybór elektrody. Rysunek 1 (po prawej stronie) przedstawia skutek dodania do systemu uziemiającego pierścienia ochronnego wokół budynku, w odległości 1 metra, na głębokości 0,5 m – jest to tak zwany uziom otokowy. W ten sposób nie tylko zmniejszyła się impedancja, a zatem i przyrost potencjału ziemi (ponieważ większa objętość ziemi bierze udział w przewodzeniu prądu), ale także kontrolowany jest kształt pola wewnątrz pierścienia, co powoduje zmniejszenie napięcia dotykowego i napięcia krokowego.

Jak można zauważyć, przy zastosowaniu uziomu otokowego napięcie dotykowe i napięcie krokowe wokół budynku są znacznie mniejsze. Przebieg rozkładu potencjału uległ rozszerzeniu i spłaszczeniu dzięki właściwościom kształtowania pola przez pierścień ułożony w gruncie. Bez użycia uziomu otokowego przebieg jest bardziej stromy i osiąga wyższe wartości, szczególnie w pobliżu pręta uziemiającego lub betonowego słupa, co może powodować zagrożenie.

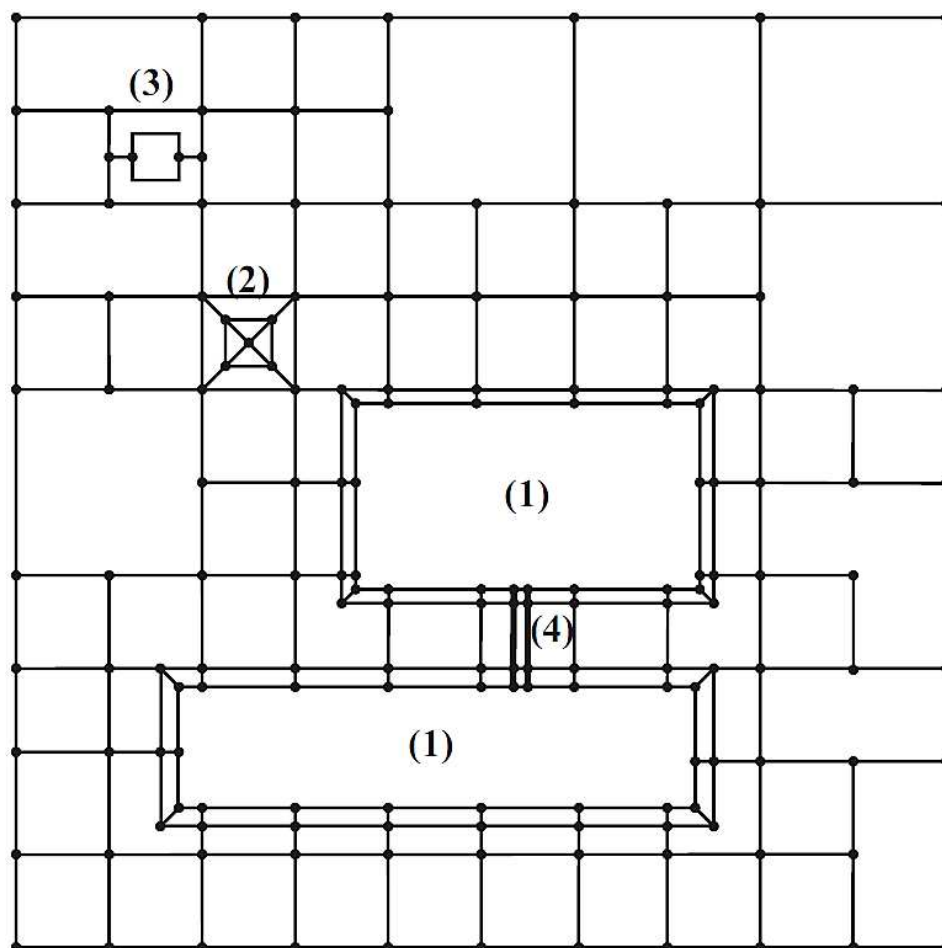
Ułożona w ziemi elektroda uziomu otokowego wokół budynku powinna być umieszczona w odległości co najmniej 1 metra od ściany zewnętrznej. Powinna ona znajdować się wystarczająco głęboko, żeby nie była narażona na zamarzanie w zimie, ani na wysychanie w lecie. W przypadku braku odpowiednich lokalnych zaleceń głębokość ta powinna wynosić co najmniej 0,5 m. Uziom otokowy powinien być wykonany z miedzi, o przekroju poprzecznym co najmniej 50 mm^2 .

Pierścieniowa elektroda uziemiająca musi być połączona z siatką pod konstrukcją budynku i, jeżeli taka istnieje, z siatką wokół budynku. Uziom otokowy musi być połączony w kilku miejscach z resztą systemu uziemiającego budynku lub zakładu.

Ogólnozakładowy system uziemiający

Połączenie o niskiej impedancji z ziemią jest konieczne w celu sprowadzenia wyładowań atmosferycznych i prądów zwarciovych do ziemi. Główny system uziemiający powinien tworzyć sieć, która zapewni połączenie o niskiej impedancji pomiędzy wszystkimi obiektami oraz dobry, rozłożony przestrzennie, kontakt z ziemią. Musi być ona również zdolna do przewodzenia wszystkich prądów, jakie mogą się pojawić, pozwalając na uniknięcie niebezpiecznych napięć dotykowych i dużych prądów w kablach łączących odległe obiekty.

Rysunek 2 przedstawia kratowy system uziemiający zakładu. Dla budynków (1) stalowe zbrojenie tworzy sieć o drobnych oczkach, która jest połączona z nie izolowanym pierścieniem miedzianym ułożonym w ziemi wokół budynku, w celu zabezpieczenia przed nadmiernym napięciem krokowym i dotykowym. W pozostałych miejscach zainstalowano uziemienie kratowe. Bezpośrednio wokół budynków rozstaw sieci kratowej wynosi 5 m. Wieża (2) i urządzenia wolno stojące (3) są również połączone z siecią kratową. Każdy obiekt jest połączony z systemem uziemiającym za pomocą wielokrotnych połączeń. Jako ochrona dla kabli ułożonych między budynkami zostało wykorzystane korytko kablowe (4).



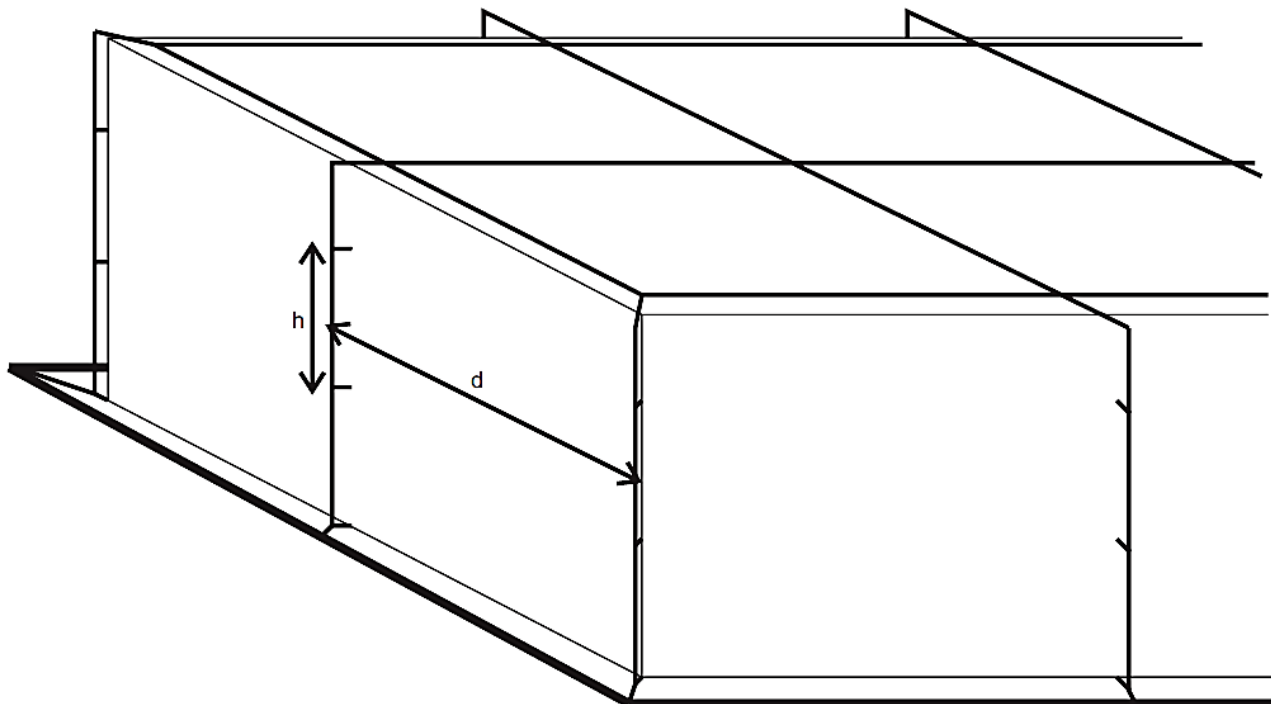
Rysunek 2. Kratowy system uziemiający (wg rys. 8 z normy IEC 61312-2).

Instalacja odgromowa

W celu ograniczenia uszkodzeń spowodowanych bezpośrednim uderzeniem pioruna w chroniony obiekt musi być zapewnione połączenie o niskiej impedancji od zwodów umieszczonych na dachu obiektu do ziemi. Na poziomie ziemi, system ochrony odgromowej jest bezpośrednio połączony z uziomem i z resztą systemu uziemiającego. Rysunek 3 przedstawia typowy system odgromowy dla budynku.

Maksymalny odstęp d pomiędzy pionowymi przewodami odprowadzającymi wynosi 10 m dla ochrony podstawowej i 5m przy ochronie obostrzonej. Należy stosować przynajmniej dwa przewody odprowadzające pionowe, o przekroju co najmniej 20 mm^2 . Przewody te powinny być połączone z systemem uziemiającym budynku, najkorzystniej na każdym piętrze, lecz w odstępach nie mniejszych niż 20 m. Ma to na celu utworzenie wokół budynku klatki Faradaya, składającej się z zewnętrznego układu pionowych przewodów odprowadzających i poziomych połączeń na każdym piętrze, które tworzą „strefy ekwipotencjalne” dla każdego piętra.

Należy koniecznie pamiętać, że wyładowanie atmosferyczne jest przebiegiem przejściowym, a więc indukcyjność i zjawisko naskórkowości muszą być ograniczone przez stosowanie przewodów z płaskich taśm, układanych wzdłuż linii prostych.



Rysunek 3. Rozmieszczenie pionowych przewodów odprowadzających instalacji odgromowej.

Przewód ochronny budynku

Przewód ochronny budynku spełnia szereg funkcji:

- Sprowadza prąd zwarcia do ziemi i umożliwia w ten sposób działanie zabezpieczenia nadprądowego,
- Sprowadza prąd upływu do ziemi,
- Działa jako płaszczyzna odniesienia dla sygnałów, umożliwiając prawidłową pracę interfejsów sygnałowych przyłączonych urządzeń,
- Gwarantuje kompatybilność elektromagnetyczną (EMC),
- Sprowadza do ziemi prądy szumów, pochodzących z filtrów zaburzeń częstotliwości radiowej (RFI).

Nazbyt często „przewód ochronny” jest projektowany tak, jakby był tylko przewodem ochronnym, z pełnym pominięciem jego pozostałych, różnorodnych funkcji. Szkoda, że nie stosuje się dla niego lepszej nazwy.

Prąd zwarcia

Projektowanie w dziedzinie prądów zwarcia jest dobrze opanowane. Przy prawidłowo zaprojektowanym zabezpieczeniu nadprądowym i zwarcia jest ograniczony, a wartość wyzwolonej energii będzie zawarta w bezpiecznych granicach. Jest to standardowe projektowanie instalacji. W tym kontekście ważną rolę odgrywają wartość rezystancji uziomu oraz rezystancja pętli zwarcia obejmującej źródło, przewód fazowy i przewód ochronny.

Prąd upływu

Prądy upływu są często nieuwzględniane. Pochodzą one głównie z filtrów redukujących zaburzenia częstotliwości radiowej (RFI); chociaż udział każdego z urządzeń jest niewielki, to łączna wartość prądu upływu może być znacząca. Jeżeli jakiś odcinek przewodu ochronnego zostanie odizolowany, na przykład przewód ochronny obwodu promieniowego zostanie przerwany w punkcie rozgałęzienia, to wtedy potencjał odizolowanego przewodu ochronnego wzrośnie do poziomu połowy napięcia zasilania. Możliwy prąd źródła będzie zależał od liczby przyłączonych urządzeń – to, czy są one załączone, czy wyłączone, jest zwykle nieistotne - i napięcie może osiągnąć wartość, przy której dotknięcie może mieć skutek śmiertelny. Właściwa praktyka polega na poprawie ciągłości przewodu ochronnego przez zapewnienie więcej niż jednej drogi powrotu od punktu przyłączenia urządzeń do rozdzielni zasilającej. Przynajmniej jedną z tych dróg musi

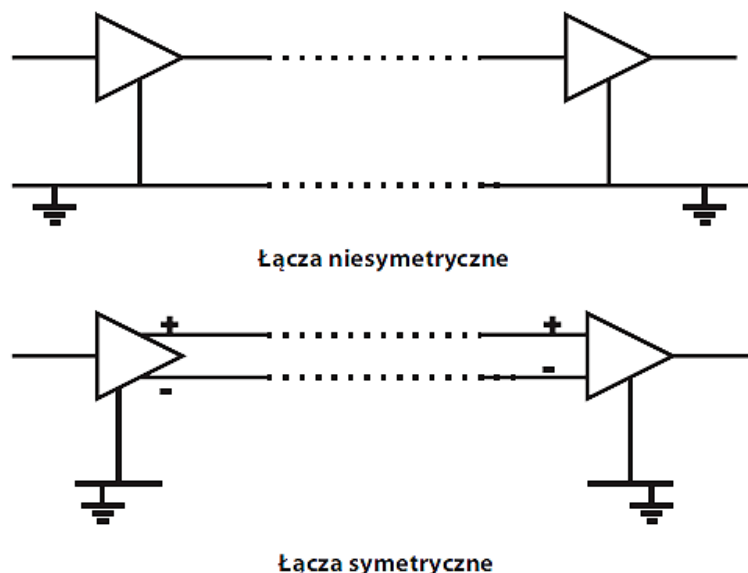
tworzyć wydzielony, mechanicznie odporny przewód, podczas gdy jako pozostałe drogi przewodzenia można wykorzystać pancerze kabli, rury lub korytka kablowe. Jeżeli wykorzystuje się tego rodzaju połączenie, to musi ono być zainstalowane i utrzymywane w taki sposób, aby zapewnić ciągłość połączenia. Ponieważ ten rodzaj prądu upływu jest faktycznie właściwością filtrów RFI stosowanych w urządzeniach, to w niektórych przepisach dotyczących instalacji jest on często określany jako „prąd przewodu ochronnego”.

Ze względu na prądy upływu najważniejszym czynnikiem jest ciągłość przewodu ochronnego. Prądy te są stosunkowo małe, tak więc nie rezystancja stanowi tu problem, lecz bardzo wysokie ryzyko porażenia elektrycznego w przypadku przerwania przewodu ochronnego. Najtrudniejszym zagadnieniem jest to w jaki sposób utrzymać ciągłość połączenia – nie ma prostego sposobu stwierdzenia, że integralność została naruszona przez uszkodzenie jednej z dróg. Podobnie nie ma objawów całkowitego uszkodzenia, dopóki niefortunny użytkownik sam tego nie odkryje.

Ziemia odniesienia dla sygnałów

Żeby przewód ochronny mógł spełniać funkcję napięciowego poziomu odniesienia, co gwarantuje, że przyłączone urządzenia mogą pracować prawidłowo, powinien mieć bardzo małą impedancję w szerokim przedziale częstotliwości. Istotą problemu jest to, że cały system uziemienia, reprezentowany przez przewód ochronny, powinien stanowić powierzchnię ekwipotencjalną, innymi słowy, w całym, interesującym nas, zakresie częstotliwości i na całej powierzchni budynku różnica potencjałów pomiędzy dwoma punktami powinna wynosić zero. Praktycznie nie oznacza to, że różnica potencjałów powinna wynosić rzeczywiście zero, lecz że powinna być ona dostatecznie mała, aby nie powodować wadliwej pracy zainstalowanych urządzeń. W wielu interfejsach stosuje się sygnał różnicowy (interfejsy sieciowe, łącze RS 485), dzięki czemu tolerują one stosunkowo wysokie (do kilku woltów) różnice w napięciowym poziomie odniesienia. Niektóre starsze standardy interfejsu, takie, jak łącza RS 232 używane w modemach i IEEE 1284 stosowane dla drukarek, są niesymetryczne, a zatem mniej „tolerancyjne”.

Rysunek 4 przedstawia typowe łącza niesymetryczne i symetryczne. W obwodzie niesymetrycznym do przesyłania sygnału stosowany jest pojedynczy przewód oraz ziemia jako droga powrotna. Jasne jest, że każda różnica potencjałów pomiędzy lokalną „ziemią” nadajnika i odbiornika pojawia się szeregowo z sygnałem i łatwo może spowodować zniekształcenie danych. Pozornie proste rozwiązanie, polegające na dodaniu przewodu sygnałowego pomiędzy dwoma punktami ziemi, nie jest wykonalne – będzie płynął duży i nieokreślony prąd, który będzie powodował zakłócenia i może być przyczyną uszkodzenia.



Rysunek 4. Łącza transmisji sygnału: niesymetryczne (u góry) i symetryczne (u dołu).

W łączu symetrycznym używa się dwóch przewodów sygnałowych, a dane są przesyłane jako różnica napięć między nimi. W idealnej sytuacji odbiornik jest czuły tylko na napięcie różnicowe między torami sygnałowymi, a niewrażliwy na napięcie sygnału wspólnego (średnie napięcie pomiędzy torami sygnałowymi). W praktyce tak nie jest i napięcie wspólne w dalszym ciągu musi być ograniczane, ale na poziomie około jednego do

dwóch rzędów wielkości wyższym niż poziom wymagany dla łącza niesymetrycznego. Stosunek wzmocnienia sygnału różnicowego do wzmocnienia sygnału wspólnego jest określany jako współczynnik tłumienia sygnału współbieżnego (CMRR) [ang.: Common Mode Rejection Ratio] i jest wyrażany w dB (napięcia). Dla większości odbiorników półprzewodnikowych CMRR jest wysoki przy małych częstotliwościach, ale maleje gwałtownie ze wzrostem częstotliwości. Inaczej mówiąc, zastosowanie łączy symetrycznych, jakkolwiek pomocne w zmniejszaniu stopy błędów, nie powoduje złagodzenia wymagań odnośnie systemu przewodu ochronnego.

Należy zauważyć, że istotne znaczenie odgrywa nie impedancja uziomu, ale impedancja (w szerokim zakresie częstotliwości) pomiędzy dwoma punktami przewodu ochronnego.

Ogólnie, środki wymagane do zapewnienia dobrej ziemi odniesienia dla sygnału są podobne do środków wymaganych dla zapewnienia kompatybilności elektromagnetycznej, omawianej niżej.

Kompatybilność elektromagnetyczna

Każde urządzenie elektryczne i elektroniczne wytwarza pewne promieniowanie elektromagnetyczne. Podobnie, każde urządzenie jest także wrażliwe, w większym lub mniejszym stopniu, na promieniowanie elektromagnetyczne. Jeżeli wszystko ma działać, to sumaryczny poziom promieniowania w rozważanym środowisku elektromagnetycznym musi być niższy od poziomu, który uniemożliwi działanie urządzeń w tym środowisku. W tym celu, urządzenia są projektowane, budowane i badane zgodnie z normami tak, aby zmniejszać poziom emitowanego promieniowania oraz zwiększać poziom emisji, który może być tolerowany.

W normach serii IEC 61000 kompatybilność elektromagnetyczna jest definiowana jako:

„Zdolność urządzenia lub systemu do zadowalającego działania w określonym środowisku elektromagnetycznym bez wprowadzania do tego środowiska niedopuszczalnych zaburzeń elektromagnetycznych”.

Utrzymanie tej kompatybilności w praktyce wymaga dużej staranności w projektowaniu i budowie instalacji i systemu uziemiającego. Szczegółowe wytyczne zostaną podane w dalszych częściach tego Poradnika; tutaj przedstawiono tylko ogólny przegląd zagadnienia.

W tradycyjnej elektrotechnice stosowano oddzielne systemy uziemiające dla, na przykład, uziemienia sygnałowego, komputerowego, siły, instalacji odgromowej itd. Współczesna elektrotechnika wypracowała nowe poglądy na zagadnienie uziemienia i jego relacji do ochrony aparatury. Porzucono koncepcję oddzielnych systemów uziemiających. Normy międzynarodowe zalecają jeden, wspólny system uziemiający. Nie ma już takich pojęć jak „idealna” ziemia.

Koncepcja jednego uziemienia oznacza w praktyce, że przewody ochronne PE, równoległe przewody uziemiające, szafy, ekrany kabli energetycznych i ekrany kabli transmisji danych, są wspólnie połączone. Również części konstrukcji stalowych oraz rury wodne i gazowe są częścią tego systemu. W idealnym przypadku, wszystkie kable dochodzące do danej strefy muszą wchodzić w jednym jej miejscu, w którym są połączone wszystkie ekrany i przewody uziemiające.

W celu zredukowania zaburzeń oddziałujących na urządzenia, pętle pomiędzy ekranami kabli i innymi konstrukcjami uziemiającymi muszą być małe. Galwaniczne łączenie ekranów kabli z konstrukcjami metalowymi powoduje, że konstrukcje te działają jak równoległe przewody uziemiające (PEC). Równoległe konstrukcje uziemiające są stosowane zarówno dla kabli transmisji danych, jak i energetycznych. Przykładami – w kolejności ich skuteczności – są: przewody uziemiające, drabinki kablowe, płaskie powierzchnie metalowe, korytka kablowe i rury metalowe. Równoległe przewody uziemiające zmniejszają impedancję pętli tworzonych przez sieć kabli i uziemień. Rezystancja uziomu systemu uziemiającego nie jest specjalnie istotna dla ochrony urządzeń. Bardzo skuteczną formą PEC jest ekran kabla, całkowicie zamknięty lub o gęstym oplocie i o dużym przekroju poprzecznym, połączony na całym obwodzie na obu końcach kabla.

W celu zapewnienia małej impedancji dla wysokich częstotliwości, połączenia galwaniczne w sieci uziemiającej muszą być wykonane za pomocą przewodu wysokiej częstotliwości (tzw. lica) lub pasków metalowych o stosunku długości do szerokości mniejszym niż 5. Dla częstotliwości większych niż 10 MHz nie należy stosować drutu.

Podniesiona podłoga może służyć jako dobra płaszczyzna ekwipotencjalna. Krata miedziana pod podłogą musi mieć rozstaw nie większy niż 1,2 m i być przyłączona do wspólnej sieci za pomocą wielu przewodów ekwipotencjalnych. Powinna być także połączona z miedzianym pierścieniem o przekroju 50 mm², otaczającym obszar podniesionej podłogi, z połączeniami do podłogi wykonanymi w odstępach 6 m. Kable energetyczne i sygnałowe powinny być układane w odległości co najmniej 20 cm, i nie powinny się krzyżować pod kątem prostym.

Wnioski

System uziemiający budynku lub zakładu jest kluczową częścią infrastruktury elektrycznej i może stanowić o przyszłej rentowności przedsiębiorstwa korzystającego z tej infrastruktury. Powinien on być skuteczny zarówno dla krótkotrwałych prądów zwarciovych o natężeniu kilkuset amperów, prądów ustalonych o natężeniu kilku amperów, jak i prądów wysokoczęstotliwościowych szumów oraz sprowadzać je do ziemi przy spadku napięcia bliskim zeru dla prądu szumów i bez ryzyka uszkodzeń przy prądach zwarciovych. Musi też zabezpieczać urządzenia i personel znajdujący się w budynku w przypadku wyładowań atmosferycznych (szybkie przebiegi przejściowe, w zakresie kiloamperów).

Projektowanie systemu uziemiającego budynku, łącznie z systemem ochrony odgromowej, wymaga wielkiej staranności jeżeli mają być spełnione wszystkie założone cele. Jak zwykle, najlepszym i najtańszym rozwiązaniem będzie jeżeli zostanie on od początku prawidłowo zaprojektowany, z uwzględnieniem czasu eksploatacji budynku i, o ile to możliwe, potencjalnego wykorzystania w tym czasie. Przeprojektowanie i przerabianie kiedy budynek jest już użytkowany jest zawsze kosztowne.