

OCHRONA PRZECIWPZEPĘCIOWA ELEKTRONICZNYCH URZĄDZEŃ STEROWANIA RUCHEM KOLEJOWYM

SPIS TREŚCI

1. Wprowadzenie
2. Warunki pracy urządzeń sterowania ruchem kolejowym
3. Klasyfikacja urządzeń srk ze względu na ochronę przeciwprzebieciową
4. Impulsowe zaburzenia elektromagnetyczne
5. Metody ochrony urządzeń
6. Praktyczna realizacja ochrony przeciwprzebieciowej dla urządzeń srk
7. Badania odporności urządzeń srk na przebiecia w warunkach laboratoryjnych
8. Podsumowanie

STRESZCZENIE

Wzrost prędkości jazdy pociągów powoduje konieczność modernizacji urządzeń i systemów sterowania ruchem. Nowoczesne urządzenia elektroniczne, w stosunku do urządzeń dotychczas stosowanych, mają istotną wadę — wrażliwość na impulsowe zaburzenia elektromagnetyczne. Dotyczy to szczególnie przebiec wywołanych wyladowaniami atmosferycznymi i procesami komutacyjnymi w sieci energetycznej. Obniżenie jakości działania urządzeń w następstwie przebiec, a często i ich fizyczne uszkodzenia powodują dość poważne perturbacje w kursowaniu pociągów. W artykule przedstawiono problematykę ochrony urządzeń srk przed przebieciami, wraz z badaniami odporności na przebiecia wykonywanymi w laboratoriach przed dopuszczeniem tych urządzeń do eksploatacji. Są to zagadnienia bardzo złożone ze względu na różnorodność urządzeń srk i ich przestrzenne rozmieszczenie. Wszystkie analizy zostały oparte na obecnie obowiązujących normach.

* Autor był długoletnim pracownikiem Centrum Naukowo-Technicznego Kolejnictwa.

1. WPROWADZENIE

Elektroniczne urządzenia sterowania ruchem kolejowym, pracujące najczęściej w rozbudowanych przestrzennie systemach, cechuje duża wrażliwość na impulsowe zaburzenia elektromagnetyczne, wywołane przede wszystkim wyładowaniami atmosferycznymi.

Problematyka ta stała się bardzo ważna na PKP, dlatego na początku lat dziewięćdziesiątych Naczelny Zarząd Automatyki i Telekomunikacji zlecił Centrum Naukowo-Technicznemu Kolejnictwa uporządkowanie zagadnień dotyczących ochrony przeciwprzebieciowej i przeciwporażeniowej dla urządzeń sterowania ruchem kolejowym. Ze względu na brak odpowiednich normalizacyjnych przepisów branżowych i doświadczeń własnych w tej dziedzinie, skorzystano z zaleceń stosowanych w stosunku do urządzeń w telekomunikacji i automatyce. Powstałe w CNTK opracowanie [2], zawierające wymagane poziomy ochrony przeciwprzebieciowej zostało przyjęte do stosowania dla urządzeń srk, zarówno już eksploatowanych jak i nowo wprowadzanych.

W Unii Europejskiej w połowie lat dziewięćdziesiątych pojawiły się zalecenia dla urządzeń stosowanych w kolejnictwie, najpierw w formie prestandardu, a następnie już jako normy europejskiej. Z chwilą przystąpienia Polski do Unii Europejskiej obowiązują na terenie Polski przepisy zawarte w odpowiednich normach europejskich.

2. WARUNKI PRACY URZĄDZEŃ STEROWANIA RUCHEM KOLEJOWYM

Na warunki pracy urządzeń srk, ze względu na zaburzenia elektromagnetyczne, mają wpływ następujące czynniki:

- rozległe, przestrzenne rozmieszczenie urządzeń,
- wzajemne powiązanie funkcjonalne urządzeń,
- długość linii zasilających i transmisyjnych,
- sąsiedztwo trakcji elektrycznej,
- sąsiedztwo linii energetycznych, a zwłaszcza linii średnich napięć, prowadzonych na konstrukcjach wsporczych sieci trakcyjnej oraz skrzyżowania linii kolejowych z liniami energetycznymi.

Rozmieszczenie urządzeń na dużej powierzchni lub przestrzeni (np. w budynkach nastawni) wymaga — ze względów funkcjonalnych — licznych i długich linii zasilających oraz transmisyjnych. Sprzyja to powstawaniu rozległych pętli, w których mogą indukować się liczne i — czasami o znacznych amplitudach — sygnały zaburzające.

Przyczyną powstawania zaburzeń elektromagnetycznych (o charakterze przepięć) w liniach zasilających i transmisyjnych urządzeń srk są między innymi bezpośrednie wyładowania atmosferyczne do sieci trakcyjnej w formie udarów. Wyładowania te charakteryzują się krótkim czasem trwania i dużą amplitudą napięcia i prądu. Fala przepięciowa o pełnej amplitudzie, powstała w wyniku wyładowania bezpośredniego, utrzymuje się w sieci trakcyjnej przez około 20 μ s.

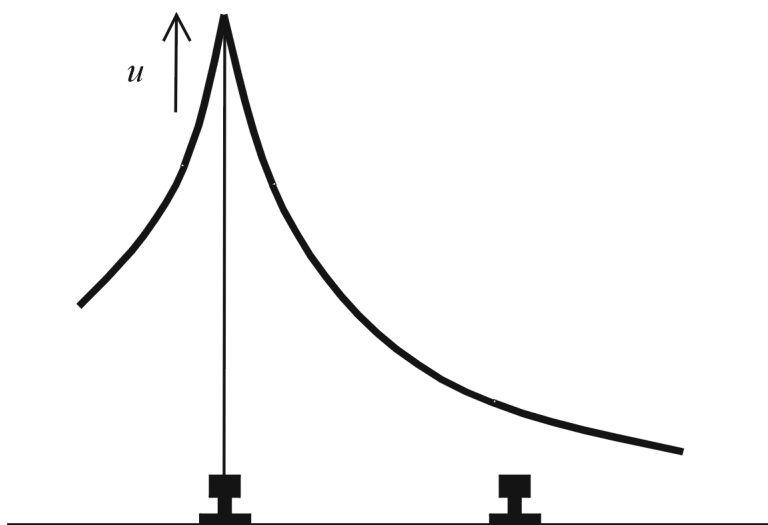
Do ochrony odgromowej w sieci trakcyjnej są stosowane odgromniki różkowe. Są one instalowane na szlakach kolejowych, w odstępach co 1200 m — na terenach o małej intensywności burzowej, i w odległości co 600 m — na terenach o dużej intensywności burzowej. Zadziałanie odgromników różkowych powoduje obcięcie amplitudy fali pier-

wotnej do około 30 kV. Tak obcięta fala rozprzestrzenia się wzdłuż sieci trakcyjnej i na odcinku około 0,5 km jej amplituda maleje o około 30% [2].

Oddziaływanie udarów do sieci trakcyjnej na urządzenia torowe następuje dwiema drogami — przez sprzężenie galwaniczne oraz magnetyczne.

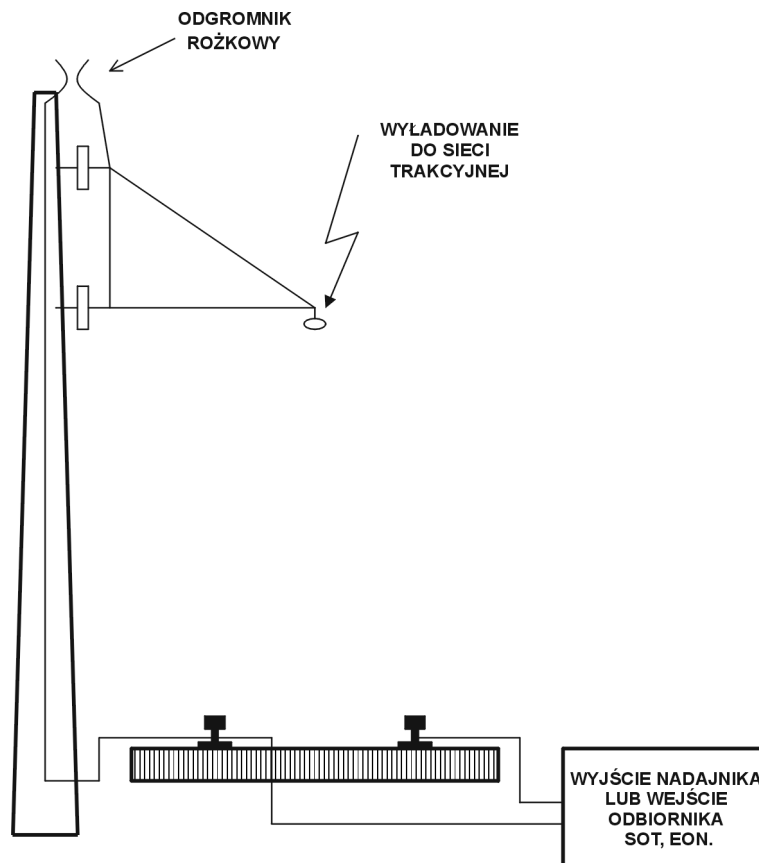
Sprzężenie galwaniczne polega na odprowadzaniu przepięcia z sieci trakcyjnej przez odgromnik różkowy do słupa trakcyjnego, który jest połączony z jednym tokiem szynowym. Przy uszynieniu indywidualnym szynę można traktować jako uziom punktowy. Oporność przejścia „szyny jezdne-ziemia” wynosi około 1Ω dla przebiegów wolno-zmiennych, natomiast dla warunków udarowych zależy od czasu trwania impulsu. Dla przebiegów trwających np. 2—3 μs wynosi ponad 20Ω . Zatem impulsy przepięć o krótkich czasach trwania mają możliwość rozprzestrzeniania się wzdłuż toków szynowych na znaczne odległości od miejsca uszynienia słupa trakcyjnego.

Sprzężenie galwaniczne podczas wystąpienia udaru piorunowego powoduje podniesienie potencjału jednego toku szynowego względem drugiego (rys.1). W miejscu uszynienia, podczas przepływu prądu udarowego do ziemi, funkcja opisująca rozkład spadku potencjału względem odległej ziemi, poprzecznie do toru kolejowego, ma kształt odwróconego stożka.



Rys. 1. Rozkład napięcia w poprzek toków szynowych w wyniku udaru piorunowego do sieci trakcyjnej

W pobliżu miejsca uszynienia występują najwyższe gęstości prądu i największy gradient napięcia. Natomiast wzdłuż toku szynowego, nachylenie zbocza stożka potencjału jest znacznie mniejsze. Skutkiem tego, na przepięcia o dużych amplitudach są narażone także urządzenia srk, mające wejścia i wyjścia dołączone do toków szynowych, zainstalowane również w znacznej odległości od miejsca udaru (rys. 2).



Rys. 2. Schemat połączeń bezślazowego obwodu torowego i elektronicznego obwodu nakładanego (wejścia/wyjścia urządzeń połączone z tokami szynowymi)

Podobne skutki do opisanego wyżej zjawiska powodują wyładowania atmosferyczne do linii potrzeb nietrakcyjnych (LPN) o napięciu 15 kV, zawieszonych często na konstrukcjach wsporczych sieci trakcyjnej 3 kV. Odgromniki rożkowe, chroniące linię potrzeb nietrakcyjnych, są dołączone również do uszynionych słupów trakcyjnych. Należy się jednak liczyć w tym przypadku z większym zasięgiem zagrożenia urządzeń srk. Z powodu wyższego poziomu izolacji tych linii, przepięcia o wyższych amplitudach rozchodzą się na większe odległości.

Oddziaływania drogą magnetyczną występują wskutek sprzężenia między kablowymi obwodami zasilania i sterowania urządzeń srk a trakcyjną siecią jezdnią, szynami toru kolejowego oraz liniami energetycznymi. Stosowane dość powszechnie kable YKSY, o żyłach w izolacji i powłoce poliwinylowej, nie mają własności ekranujących. Okolicznością sprzyjającą indukowaniu przepięć w tym przypadku są znaczne długości linii sprzężonych ze sobą, liczące często kilkaset metrów, a czasem nawet kilka kilometrów.

W sieci trakcyjnej występują również przepięcia wewnętrzne powstałe w wyniku zadziałania wyłączników szybkich i zwarć w taborze. Ich amplituda może przekraczać około 10 kV. Zatem impulsy przepięć o krótkich czasach trwania mają możliwość roz-

przestrzeniania się wzdłuż toków szynowych na znaczne odległości od miejsca uszynienia słupa trakcyjnego.

3. KLASYFIKACJA URZĄDZEŃ SRK ZE WZGLĘDU NA OCHRONĘ PRZECIWPRIEPĘCIOWĄ

Ochroną przeciwprzeięciową powinny być objęte wszystkie urządzenia srk, które występują nie tylko na szlaku kolejowym, ale również są instalowane w budynkach.

Na stacjach kolejowych powinny podlegać ochronie:

- bezzłączowe obwody torowe (SOT) i elektroniczne obwody nakładane (EON),
- elektroniczny pulpit nastawczy, wraz z jego sterownikami,
- komputerowe urządzenia zależnościowe,
- elektroniczne urządzenia automatyki rozrządzenia na górkach rozrządowych.

Wśród urządzeń liniowych należy objąć ochroną:

- urządzenia blokad liniowych,
- system diagnostyczny samoczynnych blokad liniowych,
- urządzenia kontroli prowadzenia pociągu, bezzłączowe obwody torowe (SOT) i elektroniczne obwody nakładane (EON),
- urządzenia samoczynnej sygnalizacji przejazdowej (SSP).

Urządzenia srk, które powinny podlegać ochronie, są instalowane bezpośrednio przy szynie, w puszkach przytorowych, szafach aparatowych i kontenerach oraz w budynkach. Zatem asortyment urządzeń, jak i spełniane przez nie funkcje są bardzo różnorodne. Przy wyodrębnianiu głównych grup należy brać pod uwagę ich cechy wspólne, do których — pod względem ochrony przeciwprzeięciowej — można zaliczyć lokalizację i sposób zabudowy.

Jeśli chodzi o metody ochrony przeciwprzeięciowej, to urządzenia srk można podzielić na urządzenia wewnętrzne i urządzenia zewnętrzne.

Do urządzeń wewnętrznych zalicza się wszystkie urządzenia, bez względu na realizowane funkcje, które są zainstalowane w budynkach stacyjnych, nastawniach, i kontenerach. Pozostałe urządzenia, łącznie z szafami aparatowymi, zalicza się do urządzeń zewnętrznych.

W zależności od sposobów realizacji układów zabezpieczających (przed impulsowymi zagrożeniami elektromagnetycznymi w postaci przeięć) można podzielić urządzenia srk na:

- 1) urządzenia uziemiane, w których energię przeięć odprowadza się do ziemi;
- 2) urządzenia uszyniane (które nie mogą być jednocześnie uziemiane), w których energię przeięć można jedynie rozpraszać.

Sposób likwidacji przeięć drogą rozpraszania energii jest w chwili obecnej mało znany w literaturze i nie był dotychczas stosowany na PKP. W urządzeniach uszynianych nie wolno włączać elementów przeciwprzeięciowych między zacisk uszyniający a części czynne urządzenia, nie przeznaczone funkcjonalnie do połączenia z szynami toru kolejowego. Zachodzi bowiem wówczas niebezpieczeństwo przenoszenia wysokiego potencjału szyn do obwodów elektronicznych i do sieci zasilania, w następujących przypadkach:

- zwarcia doziemnego w sieci trakcyjnej (opadnięcie przewodu trakcyjnego oraz zwarcie w taborze),

- występowania przepięć pochodzenia atmosferycznego w sieci trakcyjnej lub w energetycznej linii potrzeb nietrakcyjnych o napięciu 15 kV, prowadzonej na konstrukcjach wspierających sieci trakcyjnej.

4. IMPULSOWE ZABURZENIA ELEKTROMAGNETYCZNE

4.1. Przyczyny powstawania przepięć w obwodach elektronicznych urządzeń srk

Przepięcia zagrażające urządzeniom uszkodzeniami mogą powstawać w obwodach zasilania i obwodach sygnałowych.

Bezpośrednią przyczyną powstawania przepięć w obwodach zasilania urządzeń elektronicznych są stany nieustalone w sieciach energetycznych, wywołane procesami komutacyjnymi, oraz wyładowania atmosferyczne.

W obwodach sygnałowych przyczyną powstawania przepięć są zaindukowane przebiegi pochodzące od wyładowań atmosferycznych oraz przebiegi zaindukowane w obwodach sąsiednich, sprzężonych magnetycznie.

Przepięcia powstałe w wyniku wyładowań atmosferycznych mogą pochodzić od:

- 1) uderzenia pioruna w bliskim sąsiedztwie obwodów lub obiektów wyposażonych w aparaturę elektroniczną; część prądu piorunowego może dopłynąć do podziemnych przewodów związanych z obiektem;
- 2) odległych wyładowań doziemnych, indukujących udary w obwodach zasilania i obwodach przesyłania informacji;
- 3) wyładowań w chmurach i międzychmurowych;
- 4) wyładowań bezpośrednich w instalację odgromową obiektu, w którym znajdują się urządzenia.

Kable łączące poszczególne urządzenia są narażone na działanie impulsowego pola elektromagnetycznego. W pętłach przewodów wewnątrz obiektu, znajdujących się w pobliżu instalacji odgromowej, mogą zaindukować się przepięcia o znacznych amplitudach.

Przyczyną powstawania przepięć w energetycznej sieci zasilającej są stany nieustalone, powstałe podczas nagłych zmian napięcia lub zmian w konfiguracji połączeń w systemie energetycznym. Do najczęściej występujących źródeł przepięć należą:

- przepięcia łączeniowe, powstające podczas wyłączenia i załączania linii (szczególnie nieobciążonych), przerywanie niewielkich prądów indukcyjnych (wyłączenie nieobciążonych lub słabo obciążonych transformatorów) oraz likwidacja zwarć za pomocą szybkich układów automatyki,
- przepięcia dorywcze, powstające wskutek nagłych i dużych zmian obciążenia, nieznikających zwarć jedno- i dwufazowych z ziemią,
- przepięcia zwarciove długotrwałe, występujące podczas zwarć doziemnych w sieciach z izolowanym punktem zerowym.

Przepięcia występujące w sieciach wysokiego i średniego napięcia przedostają się przez transformatory obniżające napięcie do obwodów niskiego napięcia i dalej do urządzeń elektronicznych.

4.2. Ocena środowiska pracy urządzeń elektronicznych ze względu na wyładowania atmosferyczne

Wartości szczytowe impulsów prądów, pochodzących od uderzeń piorunowych, dochodzące do urządzeń są uzależnione od środowiska, w którym jest zainstalowany obiekt wyposażony w urządzenia elektroniczne. Ocena środowiska wymaga uwzględnienia:

- 1) czynników związanych z właściwościami terenu, na którym znajduje się obiekt, a zatem:
 - gęstości powierzchniowej wyładowań,
 - rezystancji gruntu,
 - rodzaju zabudowy w sąsiedztwie obiektu;
- 2) stopnia wyeksponowania urządzeń na działanie wyładowań atmosferycznych, to znaczy:
 - prawdopodobieństwa uderzenia pioruna w obiekt,
 - sposobów ułożenia kabli zasilających i sygnałowych w obiekcie,
 - sposobów ułożenia kabli zasilających i sygnałowych dochodzących do obiektu,
 - prawdopodobieństwa uderzenia pioruna w bliskim sąsiedztwie,
 - uzbrojenia terenu (zakopane metalowe elementy, rury, ekrany kabli);
- 3) warunków stwarzanych wewnątrz obiektów, między innymi:
 - sposobów uziemiania i zasilania,
 - zasad układania przewodów,
 - stosowania elementów zabezpieczających.

Dla prądów występujących w sieci energetycznej praca urządzeń będzie zależała od:

- rodzaju linii doprowadzającej zasilanie (napowietrzna czy podziemna),
- zastosowania wstępnej ochrony przed przepięciami (np. w rozdzielniach),
- rodzaju obciążeń, jakie występują w sieci energetycznej z danymi urządzeniami.

W zależności od przyjętego stopnia narażenia urządzeń na działanie wyładowań atmosferycznych oraz stosowanych środków ochronnych są ustalane wymagane poziomy odporności i wytrzymałości urządzeń na działanie impulsowych zaburzeń elektromagnetycznych.

W obszarach miejskich o gęstej i wysokiej zabudowie oraz rejonach o małej gęstości powierzchniowej wyładowań zaindukowane przepięcia pochodzenia atmosferycznego rzadko przekraczają wytrzymałość udarową urządzeń elektronicznych. Urządzenia pracujące w tego rodzaju środowisku klasyfikowane są jako nienarażone na działanie impulsowych zaburzeń pochodzenia atmosferycznego.

Urządzenia pracujące w innych środowiskach są klasyfikowane jako narażone na działanie impulsowych zaburzeń pochodzenia atmosferycznego.

Urządzenia elektroniczne, pod względem stopnia narażenia na działanie impulsowych zaburzeń pochodzenia atmosferycznego, można podzielić na dwie grupy:

- 1) narażone na impulsowe zaburzenia elektromagnetyczne;
- 2) narażone na zaburzenia w małym stopniu.

Urządzenia zaliczane do pierwszej i drugiej grupy są jednakowo narażone na działanie prądów pochodzących z energetycznej sieci zasilającej i ochrona przed tymi przepięciami musi być identyczna.

5. METODY OCHRONY URZĄDZEŃ

5.1. Zewnętrzna ochrona odgromowa

Zewnętrzna ochrona odgromowa jest to zespół środków służących do ochrony wnętrza chronionego obiektu przed skutkami wyładowań atmosferycznych. Jej zadaniem jest przejście prądu piorunowego i odprowadzenie go do ziemi, z jednoczesnym zapewnieniem ochrony dla:

- 1) personelu obsługi i utrzymania urządzeń przed porażeniem przez:
 - ograniczenie napięć krokowych i dotykowych wewnątrz i na zewnątrz obiektu do wartości dopuszczalnych,
 - uniemożliwienie przeskoków iskrowych między przebywającymi w obiekcie ludźmi a urządzeniami elektrycznymi;
- 2) urządzeń elektronicznych przed uszkodzeniami przez:
 - ograniczenie natężenia pola elektromagnetycznego, wywołanego przepływem prądu piorunowego,
 - zmniejszenie skoków potencjałów wewnątrz obiektu,
 - uniemożliwienie przeskoków iskrowych między poszczególnymi urządzeniami a instalacjami kablowymi w danym obiekcie,
 - zmniejszenie sprzężeń między przewodami odprowadzającymi a obwodami zasilania urządzeń i obwodami przesyłania informacji.

Polskie przepisy normalizacyjne wyróżniają dwa rodzaje ochrony odgromowej zewnętrznej: ochronę podstawową i obostrzoną. Szczegółowe zasady budowy zewnętrznej ochrony odgromowej omówione są w normach [4, 5, 6].

5.2. Wewnętrzna ochrona odgromowa (ochrona przeciwprzebiegowa)

Zadaniem wewnętrznej ochrony odgromowej jest zabezpieczenie personelu i urządzeń elektronicznych przed zagrożeniami powstającymi w wyniku rozplywu prądów piorunowych w instalacji odgromowej obiektu. Nawet najlepiej wykonana ochrona zewnętrzna nie jest w stanie zabezpieczyć urządzeń przed przepięciami wywołanymi udarem piorunowym w dany obiekt. W niektórych sytuacjach może nawet pogorszyć warunki bezpieczeństwa pracy urządzeń, ponieważ podczas przepływu prądu piorunowego przez instalację odgromową powstaje impulsowe pole elektromagnetyczne. Przy niewłaściwym prowadzeniu kabli i niekorzystnym rozmieszczeniu urządzeń mogą wystąpić silne sprzężenia między obwodami, indukujące przepięcia o znacznych amplitudach. Dlatego w obiektach budowlanych, gdzie jest instalowana aparatura elektroniczna, muszą występować obie ochrony jednocześnie. Ochrona zewnętrzna staje się uzupełnieniem ochrony wewnętrznej, która powinna być traktowana jako ochrona zasadnicza, ponieważ nie we wszystkich obiektach muszą występować obie ochrony jednocześnie (np. szafy przytrowe).

Do podstawowych środków ochrony wewnętrznej można zaliczyć:

- 1) zabezpieczenie urządzeń elementami przeciwprzebiegowymi w obwodach zasilania i przesyłania informacji na wejściu do obiektu (przyłącze kablowe); jest to tak zwana ochrona pierwotna urządzeń;

- 2) zabezpieczenie urządzeń elementami przeciwprzepięciowymi w obwodach zasilania i przesyłania informacji bezpośrednio na wejściach do poszczególnych urządzeń; jest to tak zwana ochrona podstawowa urządzeń;
- 3) zespół środków dodatkowych typu techniczno-konstrukcyjnego, w skład którego wchodzi:
 - właściwe doprowadzenie kabli do obiektu,
 - ekwipotencjalizacja i specjalne rozwiązanie uziemień,
 - sposób układania przewodów wewnątrz obiektu i rozmieszczenie urządzeń.

Zastosowanie środków ochrony odgromowej zewnętrznej i wewnętrznej jest uzależnione od typu obiektu i lokalizacji. Innego podejścia wymaga wielokondygnacyjna nastawia elektroniczna niż kontener, znajdujący się na tym samym terenie. Dla dużych obiektów (np. budynków) należy zastosować ochronę zewnętrzną oraz rozbudowaną ochronę wewnętrzną, w skład której wchodzi ochrona pierwotna, podstawowa oraz zespół środków dodatkowych typu techniczno-konstrukcyjnego. Natomiast dla obiektu małego można zrezygnować z ochrony zewnętrznej, a zabezpieczenie przeciwprzepięciowe może opierać się tylko na ochronie pierwotnej i podstawowej oraz na niektórych elementach zespołu środków dodatkowych. Ochrony pierwotna i podstawowa mogą występować razem jako jeden zespół.

Bardzo ważnym elementem w kompleksowym zabezpieczeniu obiektów jest ochrona przeciwporażeniowa. Stosowane środki ochrony przeciwporażeniowej i ochrony przeciwprzepięciowej powinny być skoordynowane w sposób umożliwiający uzyskanie równocześnie maksymalnej skuteczności i niezawodności obu rodzajów ochrony. Szczegółowe zasady realizacji ochrony przeciwporażeniowej i związanej z nią ochrony przeciwprzepięciowej dla urządzeń srk zostały omówione w pracy [2].

Realizowana dla urządzeń srk ochrona przeciwprzepięciowa dotyczy wyłącznie przepięć zaindukowanych od udarów piorunowych i przepięć łączeniowych. Udary bezpośrednie w linie kablowe należy traktować jako zjawisko losowe, przed którym urządzenia nie są chronione. Ochrona przeciwprzepięciowa przed wylądowaniami bezpośrednimi dotyczy tylko urządzeń zewnętrznych i to w ograniczonym zakresie, tzn. urządzeń dołączonych bezpośrednio do toków szynowych. Podstawowej ochronie powinny podlegać obiekty, których obwody zasilania i obwody przesyłania sygnałów dochodzą i wychodzą z obiektów stacjonarnych.

Szczegółowe zasady budowy i instalacji urządzeń przeciwprzepięciowych są omówione w wielu publikacjach, zawartych w czasopiśmie oraz w publikacjach książkowych [3, 12, 13].

6. PRAKTYCZNA REALIZACJA OCHRONY PRZECIWPRIEPĘCIOWEJ DLA URZĄDZEŃ SRK

Zabezpieczenie urządzeń wewnętrznych przed impulsowymi zaburzeniami elektromagnetycznymi wymaga skoordynowanych działań w dziedzinie zewnętrznej i wewnętrznej ochrony odgromowej. Obiektom o dużych gabarytach, położonych na terenach podatnych na wylądowania atmosferyczne, w których zainstalowano różnorodne urządzenia elektroniczne, stawia się wysokie wymagania w zakresie zewnętrznej ochrony odgromowej.

Prawidłowo zaprojektowana instalacja odgromowa nie powinna dopuszczać do wnikań impulsowego pola elektromagnetycznego do wnętrza obiektu. Można to zrealizować przez zwiększenie np. liczby zwodów, tj. zarówno przewodów bezpośrednio narażonych na uderzenie piorunowe, jak i przewodów odprowadzających prąd piorunowy do ziemi. W wyniku rozprzyszczenia prądów mniejsze będą wartości impulsowego pola elektromagnetycznego wnikań do obiektu. Najbardziej nierównomierny podział prądu powstaje podczas uderzenia pioruna w narożnik budynku. Przy zwiększeniu liczby przewodów odprowadzających, jak np. dla ochrony obostrzonej, występuje zjawisko wypierania prądu piorunowego do przewodów bardziej oddalonych.

Wewnętrzna ochrona odgromowa (ochrona przeciwprzebiegiowa) powinna składać się z co najmniej dwóch stopni, z której pierwszy stopień jest instalowany na przyłączy energetycznym do budynku. Musi ona zabezpieczać obiekt przed przebiegami i przetężeniami pochodzącymi od:

- uderzenia pioruna w obiekt (wpływ pośredni),
- uderzenia pioruna w linię energetyczną,
- zwarcie doziemnych,
- procesów komutacyjnych w linii energetycznej.

Zastosowany odgromnik powinien wytrzymać przepływ prądu wyładowczego o amplitudzie 100 kA i kształcie 10/350 μ s i powinien zredukować amplitudę przebiegu do wartości określonej w normie dla danego urządzenia. Zwykle wartość ta wynosi 4 kV dla sieci jednofazowej.

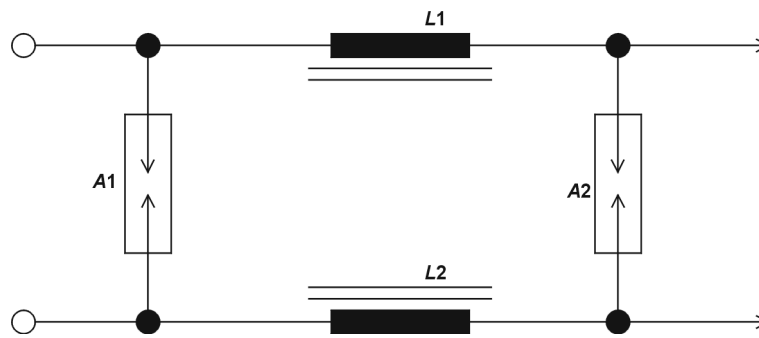
Drugi stopień ochrony obejmuje zabezpieczenie konkretnych urządzeń w danym obiekcie. Redukcja przebiegu w drugim stopniu następuje do wartości tolerowanej przez zasilane urządzenia. Najczęściej jest to wartość około 800 V.

Trzeci stopień jest instalowany wtedy, gdy występuje znacząca odległość między danym urządzeniem a drugim stopniem ochrony oraz w przypadku ochrony urządzeń przed impulsowymi zaburzeniami o nanosekundowych czasach trwania.

Następnym, bardzo ważnym czynnikiem, jest ekwipotencjalizacja, której zadaniem jest wyeliminowanie różnic potencjałów między poszczególnymi uziomami lub masami urządzeń. W przypadku uderzenia w instalację odgromową obiektu zapewnia ona skuteczną ochronę przeciwprzebiegiową oraz bezpieczeństwo personelu.

Wewnętrzne urządzenia elektroniczne instalowane w obiektach stałych powinny być również zabezpieczane po stronie przesyłania sygnałów. Obiekty duże, jak na przykład nastawnie, powinny być zabezpieczane na przyłączy kablowym i na wejściu danego urządzenia. Występowanie impulsowych zaburzeń elektromagnetycznych w kolejowych urządzeniach srk, szczególnie w obwodach przesyłania sygnałów, jest mało rozpoznane.

Urządzenia zewnętrzne srk muszą być również zabezpieczane przed przebiegami. Asortyment urządzeń zewnętrznych srk jest liczny. Należą do niego — oprócz czujników przymocowanych bezpośrednio do szyny, które nie mają połączenia z ziemią — również szafy aparaturowe urządzeń SSP, SOT. Dla szaf aparaturowych nie stosuje się zewnętrznej ochrony odgromowej. Zwykle ochronniki pierwszego i drugiego stopnia są montowane w jednej obudowie i nie jest wymagana przy tym ich odporność na duże prądy udarowe. W odgromniku zainstalowanym w szafie aparaturowej w pierwszym stopniu ochrony wymagana odporność udarowa wynosi najczęściej 10 kA. Zabezpieczenie czujników torowych polega na zainstalowaniu na wejściach lub wyjściach specjalnych ochronników, jak np. ochronnik, którego schemat jest pokazany na rysunku 3. Obecnie są produkowane układy rozbudowanych ochronników, przystosowanych do pracy w obwodach zasilania urządzeń instalowanych w strefie oddziaływania trójfazowej energii elektrycznej. Działają one na zasadzie przemiany energii elektrycznej przebiegu na energię cieplną.



Rys. 3. Schemat ideowy ochronnika do obwodów torowych
 A1, A2 — odgromnik, L1, L2 — indukcyjność

Innym czynnikiem poprawiającym ochronę przeciwprzebiegową dla urządzeń wewnętrznych jest prowadzenie kabli w instalacji zasilania i przesyłania sygnałów w sposób, który zminimalizuje występowanie zjawiska sprzęgania się ze sobą poszczególnych obwodów.

Szczegółowe informacje dotyczące poziomów ochrony, budowy elementów ochronnych, stosowanych rozwiązań zawarte są w literaturze [13].

W celu zabezpieczenia urządzeń typu EON, SOT został opracowany układ ochrony przeciwprzebiegowej dla urządzeń podłączonych bezpośrednio do toru kolejowego, zwłaszcza do obwodów torowych, dopasowany częstotliwościowo do toru. Układ ten objęty jest ochroną patentową [12] i jego schemat elektryczny pokazano na rysunku 3.

7. BADANIE ODPORNOŚCI URZĄDZEŃ SRK NA PRZEPIĘCIA W WARUNKACH LABORATORYJNYCH

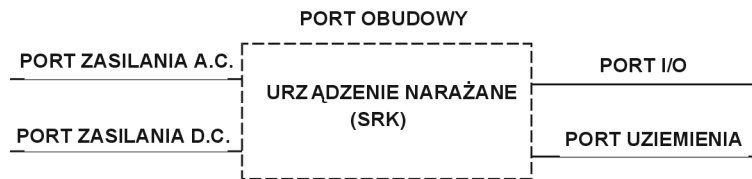
7.1. Uwarunkowania normalizacyjne

Środowisko pracy urządzeń sterowania ruchem kolejowym ma charakter złożony. Rozległość obszarowa, współistnienie środowisk elektromagnetycznych o skrajnie odmiennych poziomach narażeń, jak i brak dotychczas opracowanych pełnych wymagań normalizacyjnych w tym zakresie, dodatkowo utrudniają zapewnienie poprawnej i bezpiecznej pracy tych urządzeń.

Problematykę dotyczącą ochrony przeciwprzebiegowej urządzeń srk, instalowanych w środowisku kolejowym, obecnie najpełniej obejmuje norma PN-EN50121-4 [7], która obowiązuje od 2002 roku. Są w niej określone wymagane badania i poziomy narażeń oraz sposób prowadzenia badań, w celu otrzymania pełnej powtarzalności i porównywalności otrzymanych wyników z wynikami uzyskanymi przez różne laboratoria.

Ze względu na różnorodność urządzeń srk, każde urządzenie zostało w normie potraktowane jako obiekt z przypisanymi do niego obwodami wejściowymi i wyjściowymi wraz z obudową, nazywanymi dalej portami (rys.4). Pod pojęciem „port” należy rozumieć sposób połączenia (czy też oddziaływania) danego urządzenia ze środowiskiem zewnętrznym. Wymagane poziomy odporności zależą także od miejsca instalacji danego

urządzenia, na przykład w zależności od odległości jego lokalizacji względem osi toru. Jeżeli urządzenia są instalowane w strefie do 3 m od osi toru, to obowiązuje dla nich ostrzejsze kryterium wymagań, niż w stosunku do urządzeń instalowanych poza tą strefą.



Rys. 4. Porty definiowane przez normę

7.2. Poziomy narażeń

Metody badań, dotyczące odporności urządzeń na impulsowe narażenia elektromagnetyczne, zwane dalej przepięciami, są przedstawione w następujących normach:

PN-EN 61000-4-2: Badanie odporności na wyładowania elektrostatyczne [8],

PN-EN 61000-4-4: Badanie odporności na serie szybkich elektrycznych stanów przejściowych [9],

PN-EN 61000-4-5: Badanie odporności na udary [10].

Porty zasilania napięciem stałym i przemiennym oraz porty wejścia/wyjścia podlegają badaniom odporności na:

- wyładowania elektrostatyczne, poziom narażeń 6 kV przy wyładowaniu stykowym i 8 kV przy wyładowaniu powietrznym,
- serie szybkich elektrycznych stanów przejściowych, poziom narażeń 2 kV,
- udary elektryczne, poziom narażeń 2 kV.

Dla urządzeń srk są dopuszczalne kryteria oceny A i B. Kryterium A oznacza, że urządzenie w czasie badań i po ich ustaniu musi działać w sposób dla niego przewidziany. Natomiast kryterium B wymaga prawidłowego działania urządzenia po ustaniu narażeń. Niedopuszczone jest kryterium C, w wyniku którego następuje chwilowy zanik działania badanego urządzenia. Szczegółowe poziomy narażeń i kryteria oceny dla danych portów są zawarte w normie [7].

7.3. Typowe kształty impulsów przepięciowych stosowanych w badaniach odporności

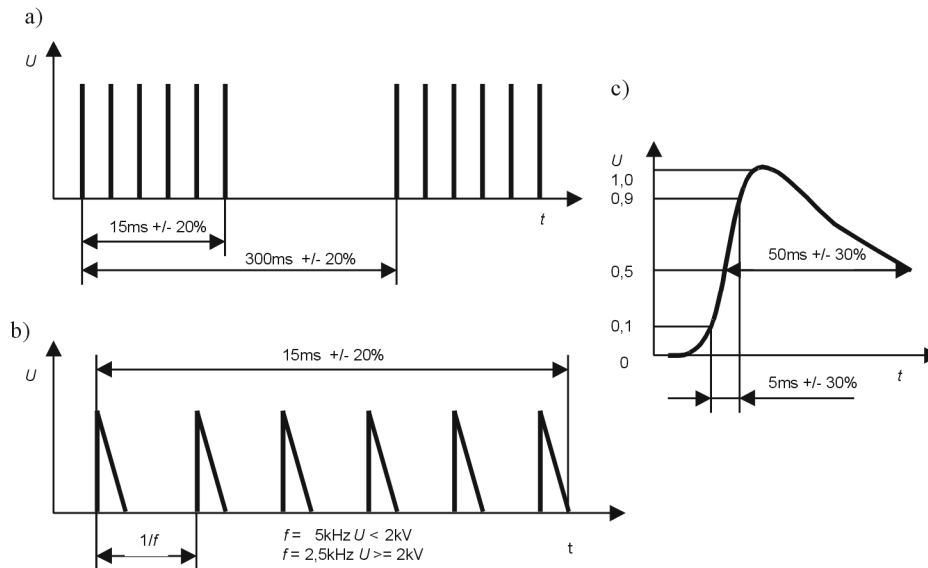
Do najistotniejszych zaburzeń impulsowych, które mogą oddziaływać na elektroniczne urządzenia srk, można zaliczyć:

- zaburzenia impulsowe nanosekundowe o energii nie większej niż 100 mJ,
- zaburzenia impulsowe o dużej energii (energia od 100 mJ do 40 J).

W energetycznej sieci zasilającej występują oba wyżej wymienione rodzaje zaburzeń impulsowych, spowodowane: pracą innych urządzeń lub systemów zlokalizowanych w

poblizu i zasilanych z tej samej sieci, procesami komutacyjnymi w sieci energetycznej oraz pochodzące od wyładowań atmosferycznych.

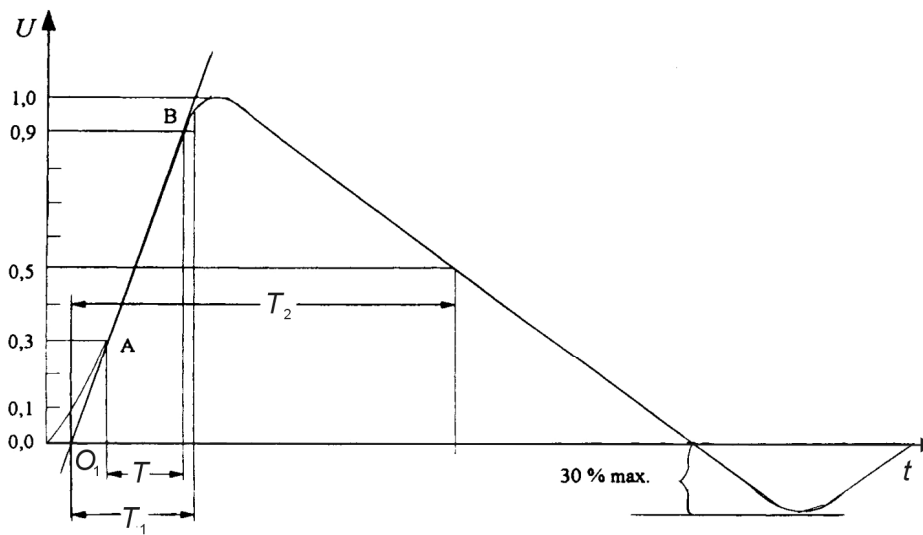
Do badań podatności urządzeń i systemów na nanosekundowe zaburzenia impulsowe stosuje się umowne sygnały testujące, pokazane na rysunku 5. Pojedynczy impuls grzebieniowy, zwany impulsem typu „burst”, zaliczany do impulsów o małej energii, charakteryzuje się czasem narastania — 5 ns i czasem opadania do półszczytu — 50 ns. W czasie badań podatności urządzeń na tego rodzaju zaburzenia stosuje się serię impulsów pokazanych na rysunku 5b. Częstotliwość powtarzania impulsów w serii powinna wynosić 2,5 kHz lub 5 kHz, w zależności od warunków badań, określonych w danej normie. Czas trwania serii powinien wynosić 15 ms, a okres powtarzania serii 300 ms.



Rys. 5. Umowny sygnał zaburzający 5/50 ns:
a) serie impulsów 5/50 ns, b) częstotliwość impulsów w serii, c) pojedynczy impuls w serii przy obciążeniu $50\ \Omega$

Charakterystyczną cechą impulsów nanosekundowych typu „burst” jest duża łatwość przedostawania się do urządzeń zainstalowanych w znacznej odległości. Impulsy te nie powodują na ogół uszkodzeń w urządzeniach.

W czasie badań odporności urządzeń srk impulsowe zaburzenia o dużej energii są odzwierciedlane przez umowne impulsy pokazane na rysunku 6. Są to klasyczne, unipolarne impulsy testowe, zalecane powszechnie w normach. Impuls $1,2/50\ \mu\text{s}$ jest impulsem napięciowym, przeznaczonym do badania obwodu otwartego. Natomiast do badania obwodu zamkniętego stosuje się impuls prądowy o czasie narastania $8\ \mu\text{s}$ i czasie opadania do półszczytu $20\ \mu\text{s}$. Impulsowe zaburzenia o dużej energii należą do impulsów niszczących urządzenia elektroniczne i dlatego są głównym problemem w technice ograniczania przepięć. Przedostają się łatwo do urządzeń położonych w znacznej odległości przez obwody zasilania i obwody przesyłania informacji.



Czas trwania czola: $T_1 = 1,67 \times T = 1,2 \mu\text{s} \pm 30 \%$

Czas do półszczytu: $T_2 = 50 \mu\text{s} \pm 20 \%$

Rys. 6. Umowny sygnał zaburzający 1,2 μs :

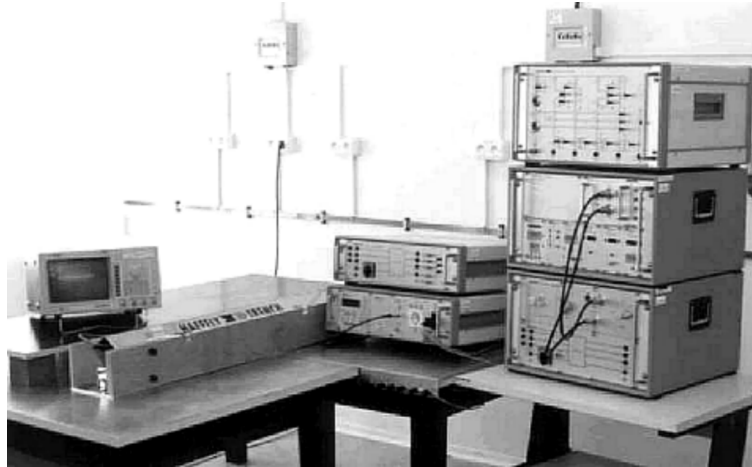
T — czas liczony od 30 do 90% amplitudy impulsu udarowego, służący do wyznaczenia według wzorów czasu narastania impulsu T_1 i czasu opadania do półszczytu T_2 ; T_1 — czas narastania impulsu udarowego, T_2 — czas opadania impulsu udarowego do półszczytu

Sposób przeprowadzania badań odporności urządzeń srk na przepięcia jest niezwykle istotny. Stąd między innymi badania należy prowadzić w ściśle określonych warunkach klimatycznych, natomiast środowisko elektromagnetyczne, istniejące w laboratorium, nie może wpływać na uzyskiwane wyniki badań.

W niektórych skrajnych przypadkach może zachodzić konieczność przeprowadzenia badań z pewnymi odstępstwami lub w szerszym zakresie niż opisany w normach, co powoduje konieczność wykonania walidacji danej metody badawczej oraz dostarczenia dowodów, że dana metoda jest wiarygodna i przydatna do rozwiązania określonego problemu. W każdym jednak przypadku niezbędne jest rejestrowanie istotnych czynników, mających wpływ na uzyskiwane wyniki badań, na przykład położenie urządzeń względem płaszczyzn ziemi odniesienia, ułożenie kabli oraz ich długość, sposób połączenia z urządzeniami współpracującymi, zastosowane urządzenia sprzęgająco-odsprężające, objawy zaobserwowane zarówno w czasie występowania narażeń, jak i po ich zakończeniu.

Norma [7] zaleca prowadzenie badań laboratoryjnych w warunkach powtarzalności wyników. Najprostszym sposobem spełnienia tego wymagania jest posiadanie wdrożonego systemu jakości. Wiarygodne badania muszą być prowadzone w odpowiednio przystosowanych pomieszczeniach i z zastosowaniem specjalistycznej aparatury badawczo-pomiarowej. Fundamentalną zasadą jest zapewnienie potwierdzenia zgodności metrologicznej dla całego wyposażenia pomiarowo-badawczego oraz kwalifikacje personelu.

Badania odporności urządzeń srk i telekomunikacyjnych na przepięcia (rys. 7.) są prowadzone w Laboratorium Automatyki i Telekomunikacji CNTK [1]. Oparte są one na znormalizowanych metodach i opracowanych własnych procedurach badawczych. Prowadzenie badań z wykorzystaniem wdrożonych procedur badawczych zapewnia uzyskanie powtarzalności otrzymanych wyników badań.



Rys. 7. Stanowiska do badań odporności na przepięcia w Laboratorium Automatyki i Telekomunikacji CNTK

Laboratorium Automatyki i Telekomunikacji CNTK od wielu lat posiada wdrożony system jakości według normy PN-EN ISO/IEC 17025 [11]. Kompetencje techniczne Laboratorium formalnie potwierdziło Polskie Centrum Akredytacji przyznając w roku 2000 akredytację na wykonywane badania, w tym i badania w zakresie odporności urządzeń na przepięcia. Od tego czasu Laboratorium pozostaje pod ciągłym nadzorem PCA i podlega corocznym audytom kontrolnym.

Od bieżącego roku Laboratorium prowadzi badania porównawcze z innymi laboratoriami akredytowanymi w celu spełnienia szczególnych wymagań normy [7], dotyczących kompetencji w zakresie porównywalności uzyskiwanych wyników badań.

8. PODSUMOWANIE

Urządzenia elektroniczne — zainstalowane w obiektach wewnętrznych i zewnętrznych — muszą spełniać wymagane poziomy odporności, określone w aktualnie obowiązujących normach. Elementy służące do budowy układów ochronnych, jak również odpowiednie ochronniki są łatwo dostępne na rynku.

Problematyka dotycząca projektowania i budowy układów ochrony przeciwprzepięciowej jest bardzo złożona, ponieważ uwzględnia również wyrównywanie potencjałów w obiekcie oraz zasady prowadzenia kabli w instalacjach elektrycznych.

Należy dążyć do tego, aby nowo instalowane urządzenia srk były lokalizowane w odległości większej niż 5 m od toru, to znaczy były poza strefą oddziaływania trakcji elektrycznej. Unika się w ten sposób konieczności uszyniania urządzeń, które komplikuje rozwiązanie konstrukcyjne ochrony przeciwprzebieciowej, ale jej nie uniemożliwia.

W wyniku występowania przebiec pochodzenia atmosferycznego i komutacyjnego w niezabezpieczonych urządzeniach mogą wystąpić awarie urządzeń srk. Pociąga to za sobą okresowe wymuszenie zmniejszenia prędkości pociągów na szlaku, co powoduje dezorganizację ruchu kolejowego, ponieważ nawet przy sprawnie działającym pogotowiu technicznym usuwanie awarii trwa zwykle kilka godzin. Zabezpieczenie urządzeń elementami ochronnymi zapewnia ponad 95-procentowe prawdopodobieństwo bezpiecznej pracy w czasie wyładowań atmosferycznych i przebiec komutacyjnych.

Z porównania kosztów elementów przeciwprzebieciowych i kosztów wynikających z awarii oraz likwidacji skutków przebiec działających na urządzenia elektroniczne wynika, że powinny być one bezwzględnie zabezpieczone. Jedynie w przypadku udaru bezpośredniego należy się liczyć z uszkodzeniami urządzeń. Pełne zabezpieczenie urządzeń z punktu widzenia ekonomicznego jest nieuzasadnione, bowiem prawdopodobieństwo wystąpienia udaru bezpośredniego do danego urządzenia na terenie kolejowym zelektryfikowanym jest niewielkie.

BIBLIOGRAFIA

1. *Frankiewicz W., Toruń A.*: Ocena odporności elektromagnetycznej urządzeń sterowania ruchem kolejowym i telekomunikacyjnych. SEMTRAK 2004, Kraków, Zakopane-Kościelisko. Politechnika Krakowska, 2004.
2. *Laskowski M., Kulawiak A.*: Ochrona przeciwprzebieciowa i przeciwporażeniowa w urządzeniach srk z elementami elektronicznymi. Praca CNTK, temat nr 1002/24. Warszawa 1994.
3. Opis patentowy nr 176994 z dnia 31.08.1999 r. Układ ochrony przeciwprzebieciowej dla urządzeń podłączonych bezpośrednio do toru kolejowego, zwłaszcza do obwodów torowych dopasowanych częstotliwościowo do toru.
4. PN-86/E05003.01 Ochrona odgromowa obiektów budowlanych. Wymagania ogólne.
5. PN-86/E05003.03 Ochrona odgromowa obiektów budowlanych. Ochrona obostrzona.
6. PN-86/E05003.04 Ochrona odgromowa obiektów budowlanych. Ochrona specjalna.
7. PN-EN 50121-4:2002(U) Zastosowania kolejowe. Kompatybilność elektromagnetyczna. Część 4: Emisja i odporność na zakłócenia urządzeń sygnalizacji i telekomunikacji.
8. PN-EN 61000-4-2:1999 Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC). Metody badań i pomiarów. Badanie odporności na wyładowania elektrostatyczne. Podstawowa publikacja EMC.
9. PN-EN 61000-4-4:2005(U) Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC). Metody badań i pomiarów. Badanie odporności na serie szybkich elektrycznych stanów przejściowych. Podstawowa publikacja EMC.

10. PN-EN 61000-4-5:1998 Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC). Metody badań i pomiarów. Badanie odporności na udary.
11. PN-EN ISO/IEC17025:2005 Ogólne wymagania dotyczące kompetencji laboratoriów badawczych i wzorcujących.
12. Sowa A.: Analiza zagrożenia piorunowego urządzeń elektronicznych. Politechnika Białostocka, Rozprawy Naukowe nr 2, Wydawnictwo Politechniki Białostockiej, Białystok 1990.
13. Sowa A.: Ochrona odgromowa i przeciwprzebieciowa. Kompleksowa ochrona odgromowa i przeciwprzebieciowa. Kielce 1998.