

Ochrona przeciwprzebieciowa kolejowych urzadzonych elektronicznych

Andrzej BIAŁOŃ¹, Mieczysław LASKOWSKI², Andrzej KAZIMIERCZAK³

Streszczenie

W artykule przedstawiono podstawowe zasady realizacji ochrony odgromowej i przeciwprzebieciowej sieci trakcyjnej, urzadzonych sterowania ruchem instalowanych bezpośrednio w torze (np. urzadzonych stwierdzania niezajętości torów) oraz urzadzonych instalowanych w nastawniach i kontenerach. Zasady te są zgodne z obowiązującymi normami i poparte dotychczasowymi doświadczeniami autorów.

Słowa kluczowe: ochrona przeciwprzebieciowa, sieć trakcyjna, sterowanie ruchem kolejowym

1. Wstęp

Niezawodna praca urzadzonych elektronicznych instalowanych na terenie kolejowym zależy przede wszystkim od właściwie zaprojektowanej i zainstalowanej ochrony odgromowej i przeciwprzebieciowej. Duża różnorodność urzadzonych elektrycznych i elektronicznych rozmieszczonych na znacznym obszarze, zasilanych napięciem przemiennym i stałym o różniących się wartościami napięcia powoduje, że nie można zastosować jednego uniwersalnego systemu zabezpieczeń. Nasycenie elektroniką podstacji i pojazdów trakcyjnych w coraz większym stopniu pociąga za sobą konieczność modyfikacji stosowanego dotąd systemu zabezpieczeń zarówno po stronie sieci trakcyjnej, jak i w pojeździe. Przestrzenne rozmieszczenie urzadzonych sterowania ruchem wraz ze znacznymi długościami linii zasilających i przesyłania sygnałów powodują większą wrażliwość na przebiecia zarówno pochodzenia atmosferycznego, jak i komutacyjnego.

W artykule przedstawiono podstawowe zasady realizacji ochrony odgromowej i przeciwprzebieciowej sieci trakcyjnej, urzadzonych sterowania ruchem instalowanych bezpośrednio w torze (np. urzadzonych stwierdzania niezajętości torów)

¹ Dr inż.; Instytut Kolejnictwa; e-mail: abialon@ikolej.pl.

² Dr inż.; Instytut Kolejnictwa; e-mail: mlaskowski@ikolej.pl.

³ Dr inż.; Instytut Kolejnictwa; e-mail: akazimierczak@ikolej.pl.

oraz urządzeń instalowanych w nastawniach i kontenerach. Ochrona przeciwprzebieciowa musi zawsze dotyczyć zarówno urządzeń uszynianych, jak i uzemi-
nianych.

2. Ochrona odgromowa i przeciwprzebieciowa urządzeń trakcyjnej elektrycznej i sterowania ruchem

Problematyka przeciwprzebieciowej ochrony urządzeń dołączanych bezpośrednio i pośrednio do sieci trakcyjnej jest wielowątkowa, ponieważ składają się na nią następujące zagadnienia:

- ograniczanie amplitud przebiec do wymaganego poziomu za pomocą zewnętrznie dołączanych ograniczników przebiec,
- koordynacja ochrony obwodów, do których wpływają ograniczone już amplitudy przebiec,
- propagacja przebiec wzdłuż sieci trakcyjnej po ograniczeniu ich amplitud,
- propagacja przebiec w sieci powrotnej zakłócające pracę urządzeń srk i inne urządzenia przyłączone do sieci powrotnej.

Podstawowym zagadnieniem jest ochrona sieci trakcyjnej oraz dołączonych do niej urządzeń elektrycznych i elektronicznych przed przebieciami pochodzenia atmosferycznego, przenoszonymi przez sieć trakcyjną, a także ochrona przed przebieciami łączeniowymi, powstającymi wewnątrz instalacji w wyniku skokowych zmian obciążenia i działania urządzeń dołączanych do sieci trakcyjnej [3, 6].

Obecnie, podstawowe zabezpieczenie odgromowe sieci trakcyjnej jest realizowane za pomocą odgromników różkowych, które są rozmieszczone wzdłuż sieci jezdnej w odstępach wynoszących około 1200 m. W obszarach zwiększonej aktywności burzowej, odległości rozstawienia odgromników są mniejsze i wynoszą 600 m. Otwarte końce sieci jezdnej są zabezpieczone odgromnikami. Przy podstacjach i kabinach sekcyjnych kable zasilaczy od strony sieci po modernizacji są chronione warystorowymi ogranicznikami przebiec.

Zastosowanie warystorowych ograniczników przebiec do ochrony sieci trakcyjnej może zapewnić skuteczną ochronę urządzeń sterowania trakcją, sterowania ruchem kolejowym i pojazdów oraz elementów mikroelektroniki przy uwzględnieniu warunków właściwego doboru ich parametrów i poprawnej wzajemnej koordynacji zabezpieczeń przeciwprzebieciowych. W Instytucie Kolejnictwa opracowano metodę ochrony sieci trakcyjnej za pomocą warystorowych ograniczników przebiec, wyznaczając jednocześnie optymalne odległości rozmieszczenia ich względem siebie. Wprowadzenie elementów mikroelektroniki do zabezpieczenia za pomocą odgromników różkowych urządzeń sterowania trakcją,

ruchem kolejowym i pojazdami nie spełni jednak swojej roli z następujących powodów:

- poziom ochrony za pomocą odgromnika rozkowego jest niestabilny i zależy od warunków atmosferycznych i regulacji mechanicznej przerwy iskrowej,
- szybkość działania elementów ochrony nie jest dostosowana do reakcji elementów półprzewodnikowych,
- brak jest pierwszego stopnia ochrony przeciwprzebieciowej w sieci powrotnej,
- brak koordynacji elementów ochrony urzadzonych dołączanych do sieci powrotnej z lokalizacją odgromnika rozkowego.

Ochrona sieci trakcyjnej przed przebieciami powinna być skoordynowana z ochroną urzadzonych zasilanych z sieci trakcyjnej i urzadzonych przyłączonych do sieci powrotnej, ponieważ:

- amplituda przebiecia pochodzącego od sieci trakcyjnej nie powinna przekraczać wytrzymałości udarowej urzadzonych zasilanych z sieci trakcyjnej i przyłączonych do sieci powrotnej,
- lokalizacja elementów ochrony odgromowej nie powinna ujemnie oddziaływać na urzadzonych srk,
- lokalizacja elementów ochrony przebieciowej od miejsca przyłączenia urzadzonych srk do toru powinna być udokumentowana wynikami badań w warunkach terenowych.

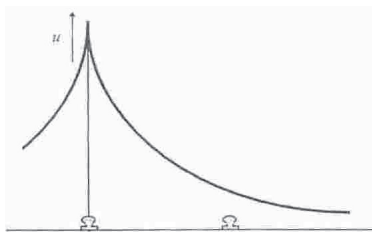
Z tego względu konieczne jest stworzenie kompleksowej ochrony przeciwprzebieciowej z zastosowaniem elementów nowej generacji. W wyniku przeprowadzonych badań dotyczących ochrony sieci trakcyjnej przed przebieciami wybrano warystorowe ograniczniki przebiec charakteryzujące się następującymi cechami:

- elementy ochrony są przystosowane do montażu na konstrukcjach wsporczych sieci trakcyjnej,
- uszkodzenie elementu (układu elementów) ochrony nie powinno powodować trwałego zwarcia sieci trakcyjnej do obwodu powrotnego,
- element ochrony powinien wytrzymać najwyższe trwałe napięcie zasilania sieci trakcyjnej 3900 V,
- element ochrony powinien wytrzymać prąd udarowy 100 kA dla impulsu 4/10 μ s.

Oddziaływanie udarów do sieci trakcyjnej na urzadzonych torowe następuje przez sprzężenie galwaniczne, które polega na odprowadzaniu przebiecia z sieci trakcyjnej przez odgromnik rozkowy do słupa trakcyjnego, który jest połączony (w przypadku sieci trakcyjnej z uczynieniami indywidualnymi) z jednym tokiem szynowym. Przy uszynieniu indywidualnym, szynę można traktować jako uziom

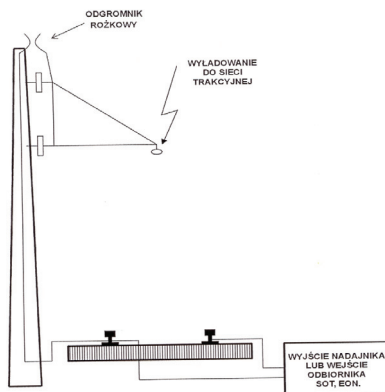
punktowy. Oporność przejścia „szyny jezdne – ziemia” wynosi około 1Ω dla przebiegów wolnozmiennych, natomiast dla warunków udarowych zależy od czasu trwania impulsu. Dla przebiegów trwających np. $2\text{--}3 \mu\text{s}$ wynosi ponad 20Ω . Zatem impulsy przepięć o krótkich czasach trwania mają możliwość rozprzestrzeniania się wzdłuż toków szynowych na znaczne odległości od miejsca uszynienia słupa trakcyjnego.

Sprężenie 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. W pobliżu miejsca uszynienia występują najwyższe gęstości prądu i największy gradient napięcia. Natomiast wzdłuż toku szynowego, nachylenie zbocza stożka potencjału jest znacznie mniejsze.



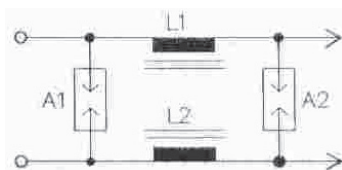
Rys. 1. Rozkład napięcia w poprzek toków szynowych w wyniku udaru piorunowego do sieci trakcyjnej

Skutkiem tego, na przepięcia o dużych amplitudach są narażone urządzenia srk mające wejścia i wyjścia dołączone do toków szynowych, zainstalowane również w znacznej odległości od miejsca udaru, co ilustruje rysunek 2.



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

W celu zabezpieczenia urządzeń typu EON, SOT opracowano układ ochrony przeciwprzepięciowej dla urządzeń podłączonych bezpośrednio do toru kolejowego, zwłaszcza do obwodów torowych, dopasowany częstotliwościowo do toru. Układ ten był objęty ochroną patentową, a jego schemat elektryczny pokazano na rysunku 3.



Rys. 3. Schemat ideowy ochronnika do obwodów torowych

Ogranicznik ten wytrzymywał udary prądowe o amplitudzie nie większej niż 20 kA. W celu zapewnienia pełnej ochrony powinien być zainstalowany ogranicznik drugiego stopnia, który wyrównywałby różnicę potencjałów między tokami szynowymi. Dopiero trzeci stopień, razem z drugim stopniem może stanowić pełną ochronę obwodów torowych.

3. Ochrona urządzeń sterowania ruchem zlokalizowanych w obiektach budowlanych

Urządzenia sterowania ruchem zlokalizowane w obiektach budowlanych powinny mieć instalację odgromową, o ile ona jest konieczna oraz ochronę przeciwprzepięciową. Najlepiej wykonana ochrona odgromowa nie jest w stanie zabezpieczyć urządzeń przed przepięciami wywołanymi udarem piorunowym w dany obiekt lub w jego pobliżu. 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, co spowoduje indukowanie się napięć o znacznych amplitudach. Dlatego w obiektach budowlanych, w których jest instalowana aparatura elektroniczna muszą występować obie ochrony jednocześnie [7, 8]. Do podstawowych środków ochrony przeciwprzepięciowej można zaliczyć:

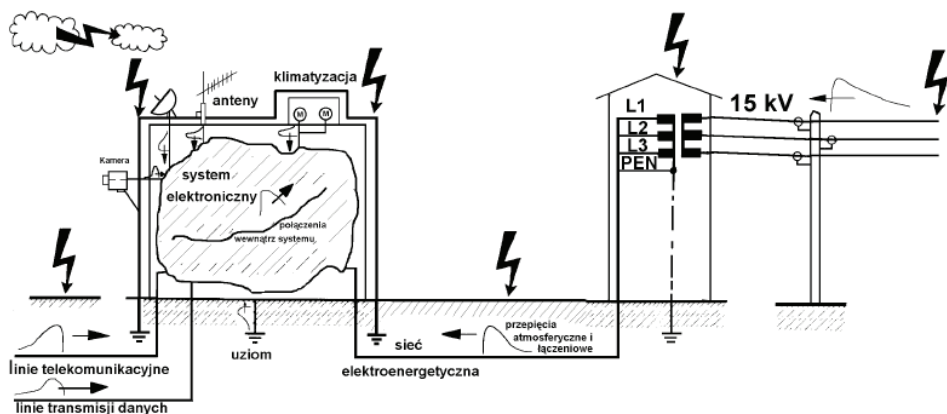
1. Zabezpieczenie urządzeń elementami przeciwprzepięciowymi w obwodach zasilania i przesyłania informacji na wejściu do obiektu (przyłączy kablowe). Jest to tak zwana ochrona pierwotna urządzeń.
2. Zabezpieczenie urządzeń elementami przeciwprzepięciowymi w obwodach zasilania i przesyłania informacji 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 obydwu środków ochrony jest uzależnione od typu obiektu i jego lokalizacji. Innego podejścia wymaga na przykład wielokondygnacyjna nastawnia elektroniczna w porównaniu z kioskiem znajdującym się na tym samym terenie. Dla dużych obiektów (np. budynków) należy zastosować ochronę odgromową oraz rozbudowaną ochronę przeciwprzepięciową, w skład której wchodzi ochrona pierwotna, podstawowa oraz zespół środków dodatkowych typu techniczno-konstrukcyjnego. Natomiast dla małego obiektu można zrezygnować z ochrony odgromowej, a zabezpieczenie przeciwprzepięciowe może opierać się tylko na ochronie pierwotnej i podstawowej oraz na niektórych elementach zespołu środków dodatkowych. Ochrona pierwotna i podstawowa mogą występować razem jako jeden zespół [7, 9].

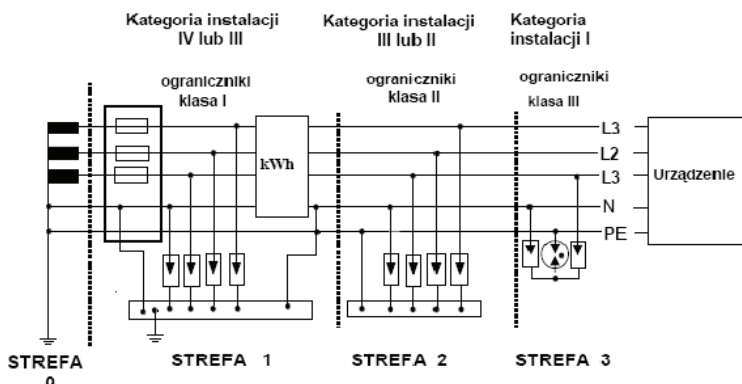
Bardzo ważnym elementem w kompleksowym zabezpieczeniu obiektów jest ochrona przeciwporażeniowa. Stosowane środki ochrony przeciwporażeniowej i ochrony przeciwprzepięciowej powinny być skoordynowane w taki sposób, który pozwala uzyskać równocześnie maksymalną skuteczność i niezawodność obu rodzajów ochrony. Przeciwprzepięciowa ochrona srk urządzeń, dotyczy wyłącznie przepięć zaindukowanych od uderów piorunowych i przepięć łączeniowych. Urazy bezpośrednie w linie kablowe należy traktować jako zjawisko losowe, przed którym urządzenia nie są chronione. Stopień narażenia urządzeń zlokalizowanych w obiekcie ilustruje rysunek 4.



Rys. 4. Stopień narażenia urządzeń zainstalowanych w obiekcie

Stacjonarne obiekty są zasilane z linii LPN o napięciu 15 kV AC przez obniżenie napięcia przez transformator do wartości 230 V. W przypadku wyładowania atmosferycznego należy się jednak liczyć w tym przypadku z większym zagrożeniem urządzeń srk. Z uwagi na wyższy poziom izolacji linii LPN, przebiecia o wyższych amplitudach rozchodzą się na większe odległości i stają się niebezpieczne dla urządzeń zasilanych napięciem 230 V. Na rysunku nr 4 pokazano możliwe drogi oddziaływania wyładowań atmosferycznych w tym również przez indukowanie się przebiec w obwodach elektrycznych.

Zatem w celu zapewnienia niezawodnej pracy urządzeń zasilanych z sieci energetycznej o napięciu 230 V przez linię LPN, konieczna jest instalacja ochrony przeciwprzebieciowej złożonej z trzech stopni ochrony. Pierwszy stopień ochrony powinien być wyposażony w iskiernikowy ogranicznik przebiec o maksymalnym prądzie udarowym nie mniejszym niż 50 kA. Drugi stopień ochrony zawiera warystorowy ogranicznik przebiec. W zależności od lokalizacji poszczególnych urządzeń względem rozdzielni głównej można zastosować I i II stopień występujący w jednej obudowie. Należy pamiętać, że jeżeli odległość pomiędzy poszczególnymi stopniami będzie przekraczać $1/20$ długości fali udarowej, to drugi stopień powinien mieć wyższą odporność udarową lub nawet powinien być wyposażony w tak zwany ogranicznik kombinowany, czyli warystor występujący jednocześnie z iskiernikiem. Najczęściej, jeżeli ta odległość wynosi ponad 20 m w terenie o dużej liczbie wyładowań, to należy wtedy tę zasadę stosować [1], natomiast w przypadku kiedy odległość pomiędzy stopniem B i C będzie wynosić co najmniej 75 m, to wtedy stopień B powinien być wyposażony w iskiernik. Dla kabla odległość ta może stanowić równowartość anteny ćwierćfalowej z możliwością indukowania się przebiec o dużej amplitudzie. Na rysunku 5 pokazano schemat ideowy trójstopniowego układu ochrony przeciwprzebieciowej w układzie zasilania napięciem przemiennym 230 V dla układu sieciowego TN-S.



Rys. 5. Schemat ideowy trójstopniowego układu ochrony przeciwprzebieciowej w układzie TN-S

W obecnie modernizowanych liniach LPN o napięciu 15 kV do ochrony odgromowej stosowane są warystorowe ograniczniki przepięć zamiast rozkwy. Ograniczają one amplitudę przepięć do minimalnego poziomu około 30 kV. Przepięcia o takiej wartości amplitudy mogą przedostać się do obwodu wtórnego transformatora po stronie niskiego napięcia 230V / 50Hz, który zasila urządzenia infrastruktury kolejowej.

Sieć LPN o napięciu 15 kV jest budowana jako sieć z nieskutecznie uziemianym punktem neutralnym, tzw. kompensacja za pomocą cewki Petersena. Literatura branżowa podaje, że w przypadku takiego typu sieci amplituda przepięcia powstałego w wyniku wystąpienia zwarcia doziemnego, może osiągnąć wartość od 2 do 4,5 krotności napięcia fazowego. Przepięcia tego typu mogą doprowadzić do zniszczenia izolacji i powstania zwarcia dwufazowego. Podstawowym parametrem charakteryzującym warunki zwarcia jest moc zwarcia, która jest wyznaczana jako iloczyn napięcia znamionowego, prądu zwarcia i liczby $\sqrt{3}$. Skutkuje to po stronie niskiego napięcia podwyższeniem napięcia znamionowego 230 V do wartości 400 V i jest określane mianem przepięcia dorywczego [1].

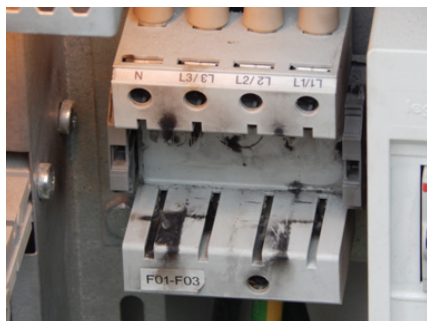
Zwarcie jest to połączenie dwóch lub więcej punktów systemu elektroenergetycznego, nieprzewidziane w normalnym stanie pracy, przy czym za punkt systemu uważa się również ziemię. Połączenie z ziemią może mieć charakter losowy lub celowy, jeżeli nastąpi ponowne załączenie linii, która znajduje się już w stanie zwarcia. Na wartość amplitudy i charakter generowanych przepięć powstających w czasie wystąpienia zwarcia w sieci LPN decydujące znaczenie ma sposób uziemienia punktu neutralnego transformatora. W przypadku wystąpienia zwarcia doziemnego, powstające przepięcia są przetransformowane do sieci niskiego napięcia przez stację transformatorową 25 / 0,4 kV.

W sieci energetycznej niskiego napięcia o nominalnej wartości 230 V, dopuszczalne tolerancje zmian napięcia wynoszą zgodnie z normą PN-EN 50125 +10% i -15% i do tej tolerancji zmian napięcia zasilającego są na ogół dostosowane wszystkie standardowe urządzenia elektryczne i elektroniczne instalowane w obiektach budowlanych użyteczności publicznej i w obiektach o charakterze przemysłowym.

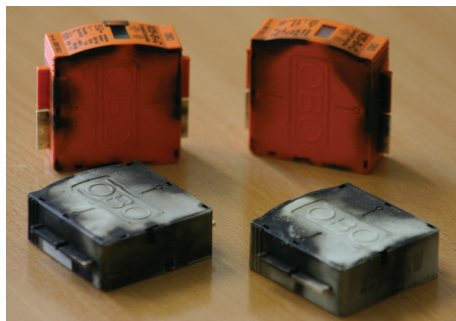
Podwyższenie napięcia zasilania do wartości około 400 V może spowodować uszkodzenie obwodów wejściowych urządzeń zasilających urządzenia elektroniczne, tym bardziej, że czas oddziaływania podwyższonego napięcia jest najczęściej trudny do oszacowania i żaden z zainstalowanych ograniczników przepięć nie zabezpiecza urządzeń elektronicznych przed podwyższonym napięciem.

Warystorowe ograniczniki przepięć są urządzeniami o dużej niezawodności i mogą pracować przez kilkanaście lat i więcej, ale są to urządzenia, które mogą również ulec awarii. Dlatego urządzenia zasilane z sieci energetycznej o konfiguracji sieci energetycznej, z tzw. nieskutecznie uziemionym punktem neutralnym, powinny mieć odporność na przepięcia dorywcze (TOV), zgodnie z obowiązującą

normą w tym zakresie [4], której zalecenia obowiązują dla elementów ochrony przeciwprzepięciowej. Na rysunkach 6 i 7 pokazano przykładowe skutki po wystąpieniu przepięć w przypadku nie przestrzegania zasad przy doborze ograniczników przepięć w stopniu C.



Rys. 6. Skutki nie przestrzegania zasad prawidłowego doboru ograniczników przepięć



Rys. 7. Skutki nie przestrzegania zasad prawidłowego doboru ograniczników przepięć

4. Podsumowanie

Prawidłowo zaprojektowana i wykonana zewnętrzna ochrona odgromowa oraz wewnętrzna ochrona odgromowa (ochrona przeciwprzepięciowa), zapewni w 98% niezawodną pracę urządzeń elektronicznych w obecności wyładowań atmosferycznych i przepięć pochodzenia komutacyjnego. Pozostałe 2% obejmuje konieczność zawarcia umowy z firmą ubezpieczeniową w celu uniknięcia ewentualnych kosztów po awarii w wyniku wyładowania atmosferycznego.

Znaczącym utrudnieniem w wykonaniu ochrony przeciwprzepięciowej urządzeń kolejowych instalowanych wzdłuż szlaku jest przestrzenne rozmieszczenie urządzeń wzdłuż szlaku, co pociąga za sobą konieczność doprowadzenia zasilania z sieci energetycznej wysokiego i niskiego napięcia na znaczące odległości. Taka sytuacja będzie dodatkowo sprzyjała indukowaniu się przepięć od bliskich wyładowań atmosferycznych oprócz przepięć pochodzenia komutacyjnego i wyładowań do sieci energetycznej. Dlatego dobór parametrów ograniczników przepięć powinien być poprzedzony skrupulatną analizą stopnia ich zagrożenia.

Urządzenia elektroniczne zasilane z sieci LPN 15 kV z tzw. nieskutecznie uziemionym środkiem przez transformator obniżający napięcie do 230 V, są narażone w przypadku zwarcia doziemnego na przepięcia dorywcze o amplitudzie 400 V. Dobór ograniczników przepięć powinien być prowadzony również pod względem ich odporności na przepięcia dorywcze. W asortymencie produkowanych ograniczników nie wszystkie ograniczniki mają odporność na przepięcie

dorywcze o amplitudzie 400 V/5s. Znacząca część ograniczników ma oporność na napięcie dorywcze na przykład 335 V/5 s, co może się okazać niewystarczające. Również przetwornice do zasilania urządzeń srk napięciem 24 V DC powinny mieć odporność na przepięcia dorywcze.

Znacznie lepsze warunki pracy ograniczników występują w obwodach przesyłania sygnałów. W tym przypadku obowiązuje przestrzeganie reguł instalacyjnych dotyczących przepięć indukowanych, polegające na unikaniu sprzężeń magnetycznych z obwodami zasilania napięciem stałym i przemiennym. Należy również brać pod uwagę, że parametry warystora w toku eksploatacji ulegają degradacji i analogicznie, jak instalacja odgromowa, powinny podlegać kontroli. Producenci warystorowych ograniczników przepięć zakładają, że okres ich eksploatacji wynosi około 20 lat.

Literatura

1. Charoy A.: *Zakłócenia w urządzeniach elektronicznych. Zasady i porady instalacyjne*, Tom 4, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 2000.
2. Kanicki A.: *Wyznaczanie wielkości zwarciovych w systemie elektroenergetycznym*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Łódzkiej.
3. PN-EN 50125-2:2003: *Zastosowania kolejowe – Warunki środowiskowe stawiane urządzeniom – Część 2: Elektryczne urządzenia stacjonarne*.
4. PN-EN 61643-11:2013: *Niskonapięciowe urządzenia ograniczające przepięcia – Część 11: Urządzenia ograniczające przepięcia w sieciach elektroenergetycznych niskiego napięcia – Wymagania i metody badań*.
5. PN-EN 50160:2010: *Parametry napięcia zasilającego w publicznych sieciach elektroenergetycznych*.
6. PN-EN 62305-1:2011: *Ochrona odgromowa – Część 1: Zasady ogólne*.
7. PN-EN 62305-2:2012: *Ochrona odgromowa – Część 2: Zarządzanie ryzykiem*.
8. PN-EN 62305-3:2011: *Ochrona odgromowa – Część 3: Uszkodzenia fizyczne obiektów i zagrożenie życiem*.
9. PN-EN 62305-4:2011: *Ochrona odgromowa – Część 4: Urządzenia elektryczne i elektroniczne w obiektach*.

Surge Protection Rail Electronic Devices

Summary

The paper outlines the basic rules for the implementation of lightning protection and surge catenary, traffic control devices installed directly in the path (e.g. Equipment declaring unoccupied track) and installed in signaling devices and containers. These policies are consistent with applicable standards and supported by previous experience of the authors.

Keywords: surge protection, catenary, rail traffic control

Защита от перенапряжения железнодорожных электронных устройств

Резюме

В докладе представлены принципы осуществления молнезащиты и защиты от перенапряжения контактной сети, устройств для управления железнодорожным движением установленных прямо в пути (напр. устройств для осуществления незанятости пути) и устройств установленных в контейнерах и постах. Эти принципы в соответствии с действующими нормами и базируются на многолетнем опыте авторов.

Ключевые слова: защита от перенапряжения, контактная сеть, управление железнодорожным движением