

Zygmunt Kulhawik

Ocena stosowanych na PKP rozwiązań w ochronie ziemnozwarciowej i przeciwporażeniowej na podstawie doświadczeń eksploatacyjnych

System zasilania trakcji elektrycznej 3 kV prądu stałego, stosowany w PKP, ma oba bieguny izolowane od ziemi. Biegun dodatni, który ma pełną izolację na poziomie napięcia znamionowego 3 kV, jest połączony z siecią jezdnią. Biegun ujemny, który ma izolację do ziemi na poziomie 1 kV, jest połączony z siecią szynową (szyny toru kolejowego wraz z łącznikami podłużnymi i poprzecznymi). Sieć szynowa jest izolowana od ziemi warstwą tłucznia oraz podkładów drewnianych lub betonowych z przekładkami izolacyjnymi.

Stan izolacji sieci szynowej względem ziemi ma decydujący wpływ na wielkość prądów błądzących i zależy od wielu czynników, w tym: stanu technicznego toru, warunków atmosferycznych, sposobu uszynienia konstrukcji wsporczych sieci jezdnej itp. Sieć szynowa musi jednocześnie spełniać wymagania związane z obwodem prądu powrotnego 3 kV, pracą obwodów zabezpieczenia ruchu kolejowego i ograniczeniem prądów błądzących, przy jednoczesnym zapewnieniu właściwej ochrony przeciwporażeniowej.

Podstawowym zabezpieczeniem w obwodach zasilania sieci trakcyjnej prądu stałego jest wyłącznik szybki wyposażony w wy-

zwalczacz pierwotny wymagający dużego prądu do jego zadziałania. Wyłączenie prądu zwarcia lub przeciążenia następuje, jeżeli wielkość prądu przewyższa wielkość nastawioną na wyzwalaczu pierwotnym. Czas wyłączenia prądu zwarcia przez aktualnie stosowane wyłączniki szybkie nie przekracza z reguły 20–40 ms.

Zapewnienie właściwej ochrony ziemnozwarciowej i przeciwporażeniowej w obwodach zasilania trakcji elektrycznej prądu stałego jest realizowane przez szybkie wyłączenie prądu zwarcia przez wyłącznik szybki wyposażony w wyzwalacz pierwotny.

Warunkiem szybkiego wyłączenia prądu zwarcia jest szybkie przekształcenia zwarcia doziemnego w zwarcie międzybiegunowe o dużej wielkości prądu. Dodatkowym warunkiem jest zapewnienie ciągłości w obwodzie zwarciovym, w tym ciągłości sieci powrotnej. Ciągłość sieci powrotnej można zapewnić wykonując połączenia poprzeczne i podłużne w sieci szynowej oraz kontrolę ciągłości kabli powrotnych bądź uszyniających.

Stosowany od kilkunastu lat system ochrony przeciwporażeniowej i ziemnozwarciowej zapewnienia wyłączalności zwarć doziemnych, właściwą ochronę przeciwporażeniową oraz w sposób znaczący ogranicza prądy błądzące.

Na rysunku 1 pokazano podstawowe elementy oraz rezystancje mające wpływ na poprawne działanie systemu ochrony oraz wielkość prądów błądzących.

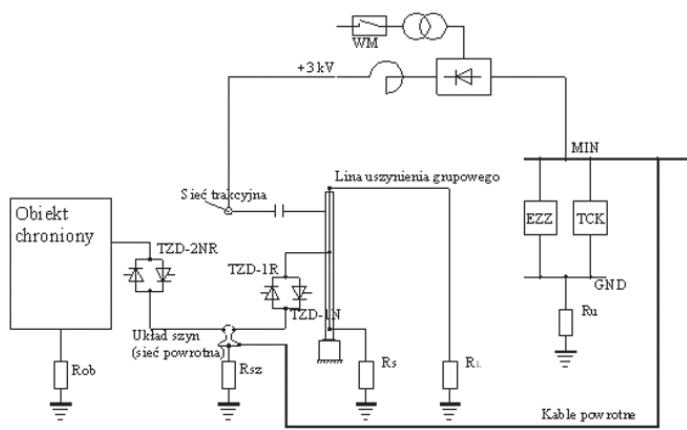
Poprawność działania systemu osiągnie się stosując ochronę ziemnozwarciową w obiektach zasilania (podstacje trakcyjne i kabiny sekcyjne) oraz uszynienie otwarte przez ograniczniki niskonapięciowe konstrukcji wsporczych sieci trakcyjnej i innych obiektów dla których wymagane jest uszynienie. Dodatkowym czynnikiem poprawiającym skuteczność systemu jest pomiar ciągłości połączeń uszyniających w obiektach zasilania.

W odniesieniu do konstrukcji wsporczych sieci trakcyjnej stosowane jest uszynienie grupowe, tzn. konstrukcje są uziemione i połączone między sobą liną uszynienia grupowego na długości 2–3 km i połączone do szyn poprzez ograniczniki niskonapięciowe. Uszynienie otwarte gwarantuje, że w normalnym układzie zasilania szyny kolejowe nie są połączone z ziemią przez uziomy uszynianych konstrukcji, a więc rezystancja przejścia szyny–ziemia zależy wyłącznie od stanu technicznego toru.

Prezentowany system spełnia wymagania obowiązujących norm PN-EN 50122-1 w zakresie bezpieczeństwa i PN-EN 50122-2 w zakresie prądów błądzących.

Ochrona ziemnozwarciowa i przeciwporażeniowa w obiektach zasilania

W obiektach zasilania sieci trakcyjnej PKP (podstacje trakcyjne i kabiny sekcyjne) szyna minusowa zawsze była izolowana od zie-



Rys. 1. Rozmieszczenie urządzeń i rezystancji doziemnych mających wpływ na działanie systemu ochrony ziemnozwarciowej i przeciwporażeniowej
EZZ – urządzenie ochrony ziemnozwarciowej w obiekcie zasilania; TCK – tester ciągłości kabli powrotnych; TZD-1N, TZD-1R – ogranicznik niskonapięciowy w układzie dwukierunkowym; TZD-2NR – ogranicznik niskonapięciowy w układzie dwukierunkowym dla obiektów inżynierskich; R₀ – rezystancja doziemna obiektu zasilania (maks. 2 Ω); R₁ – wypadkowa rezystancja doziemna liny uszynienia grupowego (maks. 2 Ω); R_{sz} – rezystancja doziemna sieci szynowej (0,1–0,2 Ω); R_{ob} – rezystancja doziemna obiektu chronionego

mi. Dla zapewnienia wyłączalności zwarcí doziemnych między szyną minusową a ziemią stosowany był iskiernik niskonapięciowy. Iskiernik niskonapięciowy był urządzeniem prostym, lecz zawodnym. Według literatury poziom zadziałania iskiernika wynosił od 120 do 250 V. W rzeczywistości iskiernik był zwarty lub działał przy napięciu powyżej 400 V (wg teorii najniższe napięcie przeskoku iskry w powietrzu wynosi 385 V). Podczas zwarcí doziemnych zdarzały się przypadki niezadziałania iskiernika, jak też przypadki jego „wyparowania” podczas zwarcí o prądzie nie wystarczającym do zadziałania wyzwalacza wyłącznika szybkiego, np. podczas zwarcia na końcu długiego kabla zasilacza. Taki stan zabezpieczenia ziemnozwarciowego był przyczyną rozległych uszkodzeń przynajmniej w kilku obiektach zasilania w ciągu roku.

Na początku lat osiemdziesiątych ubiegłego wieku został opracowany i wdrożony układ zabezpieczenia ziemnozwarciowego typu UZZ zastępujący iskiernik niskonapięciowy. Układ był zbudowany w oparciu o wyłącznik szybki ze zmienionym układem wyzwalania. Po wystąpieniu zwarcia doziemnego lub w wyniku innego zakłócenia powodującego wzrost napięcia szyny minusowej względem ziemi powyżej 120 V, w ciągu 5–7 ms szyna minusowa była zwierana z ziemią przez styki tego wyłącznika. Szeregowo ze stykami wyłącznika włączony był przekaźnik nadprądowy nastawiony na wielkość 600–800 A. Jeżeli prąd zwarcia nie spowodował zadziałania wyzwalacza nadprądowego wyłącznika szybkiego, to styki wykonawcze przekaźnika nadprądowego wymuszały wyłączenie wszystkich wyłączników szybkich zasilaczy i wyłączników mocy zespołów prostownikowych z opóźnieniem ok. 200 ms. W obiektach zasilania wdrożono kilkadziesiąt sztuk tego typu urządzeń.

Pod koniec lat osiemdziesiątych opracowano i wdrożono tyrystorowe urządzenie zabezpieczenia ziemnozwarciowego typu TUZZ. Zasada działania urządzenia była taka sama, z tym, że styki wyłącznika szybkiego zostały zastąpione zestawem połączonych równolegle tyrystorów. Do eksploatacji wdrożono kilkadziesiąt sztuk tych urządzeń w obiektach zasilania.

W połowie lat dziewięćdziesiątych wdrożono do eksploatacji kolejną wersję ochrony ziemnozwarciowej typu EZZ. Podstawowym elementem EZZ jest tyrystorowy ogranicznik dwukierunkowy przystosowany do przewodzenia prądu zwarcia w kierunku od ziemi do szyny minusowej i prądu obciążenia w kierunku od szyny minusowej do ziemi w warunkach awaryjnych sieci szynowej. W podstacjach trakcyjnych zasilanych bezpośrednio napięciem 110 kV, ogranicznik przystosowany jest do przewodzenia prądu zwarcia doziemnego w obwodzie 110 kV. Ogranicznik jest wyzwalany napięciem przyłożonym do jego zacisków zewnętrznych i nie wymaga dodatkowego zasilania do jego zadziałania. Czas przejścia ogranicznika z poziomu wysokiej rezystancji do poziomu zwarcia zależy od poziomu napięcia wymuszającego i skraca się wraz ze wzrostem napięcia wymuszającego. Charakterystyka napięcia wymuszającego jest tak dobrana, aby w całym zakresie napięć na ograniczniku było poniżej dopuszczalnych napięć rażeniowych, czyli zachowane są warunki ochrony przeciwporażeniowej. Urządzenie kontroluje prąd w obwodzie ogranicznika po jego zadziałaniu, a przekroczenie wielkości progowej powoduje wyłączenie obiektu z ruchu z opóźnieniem ok. 200 ms.

Dla poprawienia pewności działania ochrony ziemnozwarciowej został opracowany i wdrożony do stosowania tester ciągłości kabli powrotnych typu TCK. Tester jest włączony między szyną minusową a uziomem podstacji trakcyjnej (kabiny sekcyjnej).

Podczas pomiaru wykonywanego automatycznie mierzona jest suma rezystancji kabli powrotnych, rezystancji przejścia szyny–ziemia (R_{sz}), rezystancji uziomu obiektu zasilania (R_u) oraz rezystancji połączeń kabli powrotnych (uszyniających). Tester ma dwie nastawy progowe o wielkościach 2 Ω i 4 Ω . Przekroczenie pierwszego progu jest sygnalizowane, a przekroczenie drugiego powoduje wyłączenie obiektu z ruchu.

Tester przystosowany jest do współpracy z urządzeniem ochrony ziemnozwarciowej. Podczas doziemienia bieguna ujemnego przez urządzenie ochrony ziemnozwarciowej tester nie wykonuje pomiaru i jest w stanie oczekiwania. Stan taki występuje również w czasie, gdy napięcie między biegunem ujemnym a ziemią przekracza 40 V. W przypadku przekroczenia wielkości pierwszego progu (2 Ω) tester sygnalizuje ten stan i wraca do normalnego cyklu pracy. Po przekroczeniu wielkości drugiego progu (4 Ω) następuje wyłączenie obiektu i blokada testera, co wymaga ręcznego odblokowania.

Ochrona ziemnozwarciowa w sieci trakcyjnej

Jako system ochrony ziemnozwarciowej w sieci trakcyjnej podstawowo stosowane było bezpośrednie uszynienie konstrukcji wsporczych sieci trakcyjnej. W odniesieniu do innych obiektów znajdujących się w bezpośredniej strefie oddziaływania sieci górnej i pantografu stosowano bezpośrednie uszynienie, jeżeli rezystancja względem ziemi uszynianego obiektu była nie mniejsza niż 20 Ω i uszynienie otwarte przez iskiernik niskonapięciowy w przypadku, gdy rezystancja ta była mniejsza od 20 Ω .

Pod koniec lat 90. XX w. wdrożono system uszynień grupowych w układzie otwartym z zastosowaniem ograniczników niskonapięciowych. Jednocześnie wdrożono fundamenty palowe, z zastosowaniem izolacji między fundamentem a konstrukcją wsporczą sieci jezdnej. Konstrukcje wsporcze były uziemione. System ten został wdrożony w wyniku kilkuletnich badań prowadzonych przez Centrum Naukowo-Techniczne Kolejnictwa na podstawie założeń dla systemu opracowanych przez Politechnikę Warszawską

W układzie uszynień grupowych stosowano ograniczniki niskonapięciowe typu TZD-1N i TZD-1R. Ograniczniki te połączone równolegle stanowią układ dwukierunkowy, gdzie ogranicznik TZD-1N przystosowany jest do przewodzenia prądu zwarcia, a TZD-1R do przewodzenia części prądu obciążenia w warunkach awaryjnych (np. przerwa w sieci powrotnej).

W przypadku powstania zwarcia doziemnego w sieci trakcyjnej (np. uszkodzenie się izolacji górnjej), ogranicznik TZD-1N przechodzi w stan przewodzenia, przekształcając zwarcie doziemne w zwarcie międzybiegunowe o dużej wielkości prądu, co umożliwia szybkie wyłączenie prądu zwarcia przez wyłączniki szybkie w sąsiednich obiektach zasilania. Po wyłączeniu prądu zwarcia ogranicznik przechodzi do stanu dużej rezystancji.

W przypadku powstania przerwy w sieci powrotnej (przerwa na połączeniach dławika torowego, wymiana szyn, rozjazdów bez połączeń obejściowych, itp.) następuje wzrost potencjału szyn względem ziemi, co powoduje zadziałanie ogranicznika TZD-1R. Część prądu trakcyjnego płynie przez ten ogranicznik i wypadkową rezystancję liny uszynienia grupowego (R_L) do ziemi i wraca do podstacji trakcyjnej, co przeważnie powoduje zadziałanie urządzenia EZZ. W przypadku dużej wielkości prądu (powyżej progu nastawienia EZZ) nastąpi wyłączenie podstacji trakcyjnej z ruchu.

Zjawisko takie może wystąpić w szczególności na liniach jednotorowych lub przy braku łączników międzytorowych.

W odniesieniu do innych obiektów wymagających uszynienia zasada działania jest analogiczna. Opadnięcie sieci jezdnej na obiekt chroniony (np. szafa przytorowa, most) lub dotknięcie (np. kładka dla pieszych, wiadukt) powoduje zadziałanie ogranicznika i szybkie wyłączenie prądu zwarcia. W odniesieniu do obiektów, których rezystancja względem ziemi jest większa niż 2Ω , zastosowano ogranicznik dwukierunkowy typu TZD-2NR. W przypadku, gdy rezystancja ta jest nie większa niż 2Ω należy stosować zestaw dwóch ograniczników, tj. TZD-1N i TZD-1R potoczonych równolegle.

Doświadczenia eksploatacyjne systemu stosowanego w PKP

Aktualnie wszystkie podstacje trakcyjne i kabiny sekcyjnej wyposażone są w urządzenia ochrony ziemnozwarciowej typu EZZ, TUZZ bądź UZZ.

Urządzenia TCK zainstalowane są w kilkudziesięciu obiektach zasilania. Jest to aktualnie przyjęty standard w odniesieniu do obiektów budowanych i modernizowanych.

System uszynień grupowych w układzie otwartym, z ogranicznikami niskonapięciowymi typu TZD, w odniesieniu do konstrukcji wsporczych sieci trakcyjnej jest zainstalowany na długości ok. 1500 km z wykorzystaniem ok. 1500 szt ograniczników tyrystorowych TZD-1N i TZD-1R. W odniesieniu do innych konstrukcji, wymagających uszynienia, zainstalowano kilkaset sztuk ograniczników typu TZD-2NR.

Podstawowym zadaniem urządzenia ochrony ziemnozwarciowej jest zapewnienie wyłączalności zwarć doziemnych, co realizowane jest przez przekształcenie zwarcia doziemnego w zwarcie międzybiegunowe o dużym prądzie, gwarantującym zadziałanie wyłącznika szybkiego. W przypadku przepływu prądu zwarcia o wielkości mniejszej od nastaw wyzwalacza wyłącznika szybkiego lub gdy nastąpi uszkodzenie wyłącznika szybkiego, urządzenie zabezpieczenia ziemnozwarciowego w sposób pośredni spowoduje wyłączenie prądu zwarcia od strony zespołów prostownikowych i od strony sieci trakcyjnej. Urządzenie ochrony ziemnozwarciowej wyłącza prądy zwarcia o wielkości 600 A dla podstacji trakcyjnych i 300 A dla kabin sekcyjnych, niezależnie od wielkości nastaw zabezpieczeń bezpośrednich na wyłącznikach szybkich. Zastosowanie ochrony ziemnozwarciowej, w miejsce przedtem stosowanego iskiernika niskonapięciowego w obiektach zasilania, poza zapewnieniem właściwej ochrony przeciwporażeniowej, w sposób zdecydowany ograniczyło zakres uszkodzeń wywołanych zvarciami doziemnymi. Podczas wdrażania kolejnych wersji urządzeń ochrony ziemnozwarciowej w podstacjach trakcyjnych i kabinach sekcyjnych wykonano wiele badań i pomiarów zjawisk zachodzących między biegunem ujemnym a ziemią. Doświadczenia te umożliwiły opracowanie ostatecznej wersji urządzenia typu EZZ przystosowanej do przewodzenia prądu w obu kierunkach.

Rezystancja uziomu obiektów zasilania, jak też ciągłość połączeń uziemiających i uszyniających tych obiektów, ma zasadniczy wpływ na wyłączalność zwarć doziemnych, natomiast nie ma bezpośredniego wpływu na pracę urządzeń zasilania w czasie ich normalnej eksploatacji. Stwierdzenie nieprawidłowości w obwodach uziemiających i/lub uszyniających wymaga wykonania pomiarów, które personel utrzymujący urządzenia w ruchu wykonuje

z reguły raz w roku. Tak więc przez okres jednego roku obwody te mogą pozostawać uszkodzone lub nie spełniać wymaganych parametrów, czego skutkiem może być nie wyłączenie zwarć doziemnych i powodować duże zagrożenie porażeniowe dla ludzi i rozległe uszkodzenia urządzeń. Zastosowanie testera ciągłości kabli rozwiązuje ten problem. Podstawowym elementem testera jest impulsowy miernik rezystancji. Miernik ten jest przystosowany do wykonywania pomiarów rezystancji w strefie oddziaływania trakcji elektrycznej prądu stałego, z wykorzystaniem sieci szynowej jako elektrody pomiarowej. Kilkunastoletnie doświadczenia oraz badania laboratoryjne i eksploatacyjne 10 szt. testerów, przeprowadzone przez Centrum Naukowo-Techniczne Kolejnictwa [3], potwierdziły przedstawione cechy urządzenia.

Zastosowanie ochrony ziemnozwarciowej typu EZZ (TUZZ, UZZ) w obiektach zasilania zapewnia naturalne warunki do poprawnej pracy systemu uszynień otwartych w sieci trakcyjnej z ogranicznikami niskonapięciowymi, co byłoby niemożliwe przy uziemionej szynie minusowej. Uziemienie szyny minusowej sprawia, że potencjał szyn jest zawsze dodatni względem ziemi, a więc po zadziałaniu ogranicznika niskonapięciowego nie ma naturalnych warunków do jego powrotu do stanu wysokiej rezystancji.

W pierwszym okresie stosowania uszynień grupowych w systemie otwartym zastosowano ograniczniki niskonapięciowe przystosowane do przewodzenia prądu tylko w kierunku od ziemi do szyn, tj. dla przypadku wystąpienia zwarcia doziemnego w obwodzie 3 kV prądu stałego, zakładając ciągłość sieci powrotnej. Doświadczenia eksploatacyjne w krótkim czasie wykazały, że warunki te nie zawsze są spełnione. W praktyce występuje (świadomy lub nieświadomy) brak łączników międzytorowych i to na całych liniach lub szlakach kolejowych. Sporadycznie występują też przerwy w ciągłości sieci szynowej (uszkodzenie lub kradzież dławika torowego, wymiana szyn lub rozjazdów bez wykonania połączeń obejściowych, itp.). Przerwy w sieci powrotnej były przyczyną uszkodzania się ograniczników przystosowanych do przewodzenia prądu tylko w jednym kierunku.

Sytuacja taka wymusiła zastosowanie ograniczników przystosowanych również do przewodzenia prądu od szyn do ziemi w sposób długotrwały, jako części prądu obciążenia. W wyniku tych doświadczeń został zastosowany układ stosowany do chwili obecnej. W sekcji uszynienia grupowego na szlaku zastosowano trzy ograniczniki, w tym dwa typu TZD-1N przystosowane do przewodzenia prądu zwarcia montowane na obu końcach sekcji i jeden typu TZD-1R przystosowany do przewodzenia części prądu obciążenia montowany na jednym z końców sekcji. W stacjach montowane są cztery ograniczniki, po dwa na każdym końcu sekcji. Układ z trzema ogranicznikami w sekcji uszynienia grupowego stwarza warunki do uszkodzenia się pojedynczego ogranicznika typu TZD-1N w przypadku przerwy w linii uszynienia grupowego, co niestety zdarza się dość często w wyniku kradzieży liny. Doświadczenia nie wykazują częstego uszkodzania się ograniczników, jak to miało miejsce w początkowej fazie wdrażania systemu, ponieważ muszą tu nastąpić dwa zjawiska jednocześnie – kradzież liny oraz przerwa w sieci powrotnej.

W celu uniknięcia takiego zagrożenia, bez podnoszenia kosztów inwestycyjnych został opracowany ogranicznik dwukierunkowy typu TZD-1NR, przystosowany do przewodzenia prądu w obu kierunkach. Powinien być on stosowany na obu końcach sekcji uszynienia grupowego zarówno na szlaku kolejowym, jak i na stacji.

System uszynień grupowych w układzie otwartym może być stosowany zarówno w odniesieniu do konstrukcji wsporczych sieci trakcyjnej na fundamentach palowych, jak i tradycyjnych. Wszystkie konstrukcje wsporcze powinny być uziemiane, co zapewnia lepszy poziom bezpieczeństwa i chroni te konstrukcje przed korozją. Konstrukcje wsporcze nie izolowane od fundamentu powinny być uziemiane za pośrednictwem uziomów szpilkowych ocynkowanych lub ze stali nierdzewnej.

W ostatnich latach były próby stosowania innych rozwiązań ochrony ziemnozwarciowej i przeciwporażeniowej w odniesieniu do sieci trakcyjnej polegające na bezpośrednim uszynieniu konstrukcji wsporczych izolowanych od fundamentu palowego. Stwarza to zagrożenie pozostawiania przez długi czas konstrukcji wsporczej pod potencjałem sieci trakcyjnej w przypadku zerwania uszynienia i uszkodzenia się izolacji głównej sieci trakcyjnej. Drugim zagrożeniem tego rozwiązania jest wynoszenie potencjału szyn do konstrukcji wsporczej izolowanej od ziemi, posadowionej nawet w odległości do 5 m od szyn (np. perony). Potencjał takiej konstrukcji może osiągać względem ziemi wielkości nawet do kilkuset woltów w czasie normalnej eksploatacji przy dużych wielkościach prądu obciążenia. Rozwiązanie to jest niezgodne z obowiązującą normą, która mówi, że konstrukcje wsporcze sieci jezdnej izolowane od ziemi powinny być traktowane jako część czynna obwodu głównego.

Z doświadczeń eksploatacyjnych wynika, że uziemienie konstrukcji wsporczej (uziom szpilkowy konstrukcji na fundamencie palowym o wielkości do 50 Ω lub rezystancja fundamentu tradycyjnego o wielkościach powyżej 20 Ω) zawsze wpływa pozytywnie na poziom bezpieczeństwa, szczególnie w przypadkach uszkodzeń w obwodach ochronnych. Dotyczy to przypadków kradzieży liny uszynienia (odizolowanie jednej lub kilku konstrukcji wsporczej od ograniczników na końcach sekcji) lub przerwy w uszynieniu indywidualnym. W każdym z tych przypadków następuje widoczny przepływ prądu zwarcia doziemnego, powodujący duże iskrzenia lub wręcz „palenia się” gruntu w pobliżu konstrukcji wsporczej do czasu operacyjnego wyłączenia napięcia z sieci trakcyjnej. Zwarcie takie jest niewyłączalne, niemniej z daleka widoczne. Uziom konstrukcji wsporczej sieci jezdnej zapewnia też właściwy rozkład potencjału ziemi wokół tej konstrukcji. Jeżeli potencjał konstrukcji wsporczej względem ziemi odniesienia przekracza wielkości dopuszczalne (np. indywidualne uszynienie bezpośrednie), to w przypadku uziemionej konstrukcji wsporczej (może to być uziom fundamentowy) potencjał tej konstrukcji względem ziemi w odległości 1 m nie powinien przekraczać 10% potencjału konstrukcji względem ziemi odniesienia.

Istotnym problemem systemu ochrony ziemnozwarciowej i przeciwporażeniowej jest ochrona budowli inżynierskich, takich jak: mosty, wiadukty, estakady, kładki dla pieszych, wiaty itp., znajdujących się w strefie oddziaływania sieci jezdnej i pantografu. Stosowany dotychczas iskiernik niskonapięciowy jest aparatem zawodnym, trudnym w utrzymaniu, a wykonanie pomiarów kontrolnych jest niemożliwe z uwagi na brak odpowiednich przyrządów pomiarowych. Można stwierdzić, że większość z nich jest na stałe zwarta lub tak zmontowana, że nie zadziała podczas wystąpienia zwarcia doziemnego, co z kolei może stworzyć duże zagrożenie porażeniowe podczas zwarć w sieci trakcyjnej, szczególnie gdy przez te obiekty przebiegają instalacje niskiego napięcia. Zwarty iskiernik zwiększa oddziaływanie elektrokorozji wywołanej prądami błędzącymi. Koszty remontu tych obiektów są

zazwyczaj bardzo duże, a ograniczenie prądów błędzących mogłoby wydłużyć okres żywotności omawianych obiektów.

Od kilkunastu lat przy modernizacji linii kolejowych do ochrony obiektów inżynierskich znajdujących się w strefie oddziaływania sieci jezdnej i pantografu stosowane są ograniczniki niskonapięciowe typu TZD-2NR. Ograniczniki te są dwukierunkowe i mogą być stosowane do ochrony dowolnych obiektów przewodzących, z tym, że gwarancją ich bezawaryjnego działania wymagane jest aby rezystancja doziemna chronionego obiektu względem ziemi była większa niż 2 Ω . Kilkunastoletnie doświadczenia potwierdzają poprawność tego rozwiązania, nie stwierdzono uszkodzeń tych ograniczników w przypadkach poprawnego ich zastosowania.

Ograniczniki TZD-2NR nie mogą być stosowane w systemie uszynień grupowych, czego dowodem jest ich uszkodzenie się po zastosowaniu w torach podmiejskich tunelu średnicowego w Warszawie. Ograniczniki TZD-2NR mogą być natomiast stosowane do indywidualnych uszynień konstrukcji wsporczych sieci jezdnej.

Stosowany system uszynień otwartych z zastosowaniem ograniczników niskonapięciowych wymaga jak każdy system okresowej kontroli jego parametrów. Do podstawowych pomiarów pomontażowych i kontrolnych tego systemu należy zaliczyć pomiar poprawności działania ogranicznika niskonapięciowego oraz pomiar wypadkowej rezystancji uziomu liny uszynienia grupowego, rezystancji uziomów poszczególnych konstrukcji wsporczych sieci trakcyjnej lub uziomów innych obiektów podlegających uszynieniu przez ogranicznik niskonapięciowy. Przy pomocy tradycyjnych metod i przyrządów pomiarowych było to utrudnione, gdyż wymagane było wyłączenie napięcia z sieci trakcyjnej do badań ograniczników lub stosowanie metody technicznej do badań rezystancji.

W związku z powyższym opracowany został specjalny tester do kontroli ograniczników niskonapięciowych typu TOZ oraz impulsowy miernik rezystancji typu IMR wykorzystujący szyny kolejowe jako elektrodę o znanej rezystancji. Rozwiązania tych przyrządów umożliwiają wykonywanie pomiarów bez wyłączenia napięcia z sieci trakcyjnej, nie wprowadzają zakłóceń w innych obwodach, w tym srk, związanych z siecią szynową i uzyskały pozytywną opinię CNTK [4,5].

Dotychczasowe doświadczenia eksploatacyjne potwierdzają poprawność działania opracowanych przyrządów pomiarowych.

Wnioski

1. Zastosowanie urządzeń ochrony ziemnozwarciowej w obiektach zasilania, kontrola ciągłości kabli powrotnych i uszyniających oraz uszynienia otwarte ze ogranicznikami niskonapięciowymi konstrukcji przewodzących stanowi kompleksowy system rozwiązujący problem wyłączalności zwarć doziemnych w obwodach zasilania trakcji elektrycznej 3 kV prądu stałego zapewniający jednocześnie właściwą ochronę przeciwporażeniową i ograniczenie do minimum prądów błędzących. Uzupelnienie całości stanowią specjalne mierniki do pomiaru parametrów mających istotny wpływ na skuteczność działania całego systemu. Prezentowany system spełnia wymagania obowiązujących od 2002 r. norm PN-EN 50122-1 w zakresie bezpieczeństwa i PN-EN 50122-2 w zakresie prądów błędzących.

2. Opisane rozwiązanie systemu uszynień otwartych, z zastosowaniem tyrystorowych ograniczników niskonapięciowych w sieci trakcyjnej, jest możliwe, ponieważ w obiektach zasilania jest za-

stosowany system ochrony ziemnozwarciowej zapewniający w normalnych warunkach izolowanie szyny minusowej układu zasilania od ziemi (w stanach awaryjnych następuje doziemienie szyny minusowej). System ten był sukcesywnie wdrażany od lat 80. XX w.

3. Skuteczność działania systemu jest uwarunkowana zachowaniem ciągłości sieci powrotnej, co w warunkach PKP nie zawsze jest spełnione, a w szczególności w wyniku prac remontowych torów kolejowych oraz kradzieży. Należy zauważyć, że prace w torach nawet przy wyłączonym napięciu na danym odcinku zasilania nie zwalniają z wykonywania połączeń obejściowych, gdyż prąd powrotny w sieci szynowej może płynąć nawet przy wyłączonym napięciu w sieci jezdnej na danym odcinku.

4. Można stwierdzić, że wdrażany w PKP system uszynień otwartych z zastosowaniem ograniczników niskonapięciowych jest najnowocześniejszy w Europie. Były próby zastosowania tego systemu w innych zarządach kolejowych, jednak z uwagi na rozwiązania ochrony ziemnozwarciowej w obiektach zasilania nie jest to takie proste. W większości przypadków szyna minusowa w obiektach zasilania jest połączona z ziemią przez układ diodowy, co nie stwarza naturalnych warunków do poprawnego działania systemu uszynień otwartych z zastosowaniem tyrystorowych ograniczników niskonapięciowych. Stosowany jest system uszynień grupowych z zastosowaniem diod, co nie do końca spełnia wymagania związane z ograniczeniem prądów błędnych i nie jest rozwiązaniem tańszym (diody muszą być przystosowane do ciągłego prądu, a więc układ chłodzenia musi być bardziej wydajny). Należy zauważyć, że w systemie uszynień grupowych ograniczniki nisko-

napięciowe stanowią jedynie 15÷20% kosztów takiego systemu. Analogiczny jak w PKP system uszynień otwartych, łącznie z systemem ochrony ziemnozwarciowej typu EZZ w obiektach zasilania, jest aktualnie wdrażany w kolejach słoweńskich.



Literatura

- [1] Dziuba W.: *Sieć powrotna i prądy błędzące*. Wydawnictwo Książkowe Instytutu Elektrotechniki, Warszawa 1995.
- [2] *Analiza rozwiązań ochrony ziemnozwarciowej i przeciwporażeniowej urządzeń sieci trakcyjnej 3 kV prądu stałego – uszynień i uziemienia konstrukcji wsporczych sieci trakcyjnej*. Praca studialna. Politechnika Warszawska. Warszawa 1995.
- [3] *Nowy system ochrony przeciwporażeniowej i ziemnozwarciowej dla urządzeń sieci trakcyjnej – badania w warunkach eksploatacyjnych*. Praca nr 3016/23, Warszawa 1996.
- [4] *Urządzenie do badania ciągłości kabli powrotnych i uszynających*. Centrum Naukowo-Techniczne Kolejnictwa. Praca nr 3018/21. Warszawa 1998.
- [5] *Badania systemu uszynień grupowych w układzie otwartym dla linii kolejowych*. Centrum Naukowo-Techniczne Kolejnictwa. Praca nr 3048/23, Warszawa 2001.

Autor

mgr inż. Zygmunt Kulhawik
PKP Energetyka Sp. z o.o.

W następnym numerze **tts** artykuł Martina Moláka **Ochrona przeciwporażeniowa na kolejach Republiki Czeskiej**

IX Międzynarodowa Konferencja MET'2009

Nowoczesna Trakcja Elektryczna

Gdańsk, 24–26 września 2009 r.

Tematyka: Transport miejski i regionalny ■ Koleje dużych prędkości ■ Modelowanie i symulacja systemów trakcji elektrycznej ■ Systemy elektromechaniczne w transporcie ■ Automatyka i sterowanie pojazdami i urządzeniami infrastruktury transportowej ■ Kompatybilność w systemach trakcji elektrycznej ■ Wibroakustyka pojazdów ■ Transport w zintegrowanej Europie – problemy techniczne, ekologiczne i organizacyjne ■ Diagnostyka techniczna w trakcji elektrycznej

Organizatorzy: Katedra Inżynierii Elektrycznej Transportu, Wydział Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej ■ Zakład Trakcji Elektrycznej, Instytut Maszyn Elektrycznych Politechniki Warszawskiej ■ Sekcja Trakcji Elektrycznej Komitetu Elektrotechniki Polskiej Akademii Nauk ■ IEE – Sekcja Polska, Oddział Warszawski ■ Instytut Elektrotechniki, Warszawa ■ Centrum Naukowo-Techniczne Kolejnictwa

Sekretariat konferencji
Politechnika Gdańska
Wydział Elektrotechniki i Automatyki
Katedra Inżynierii Elektrycznej Transportu

Zgłoszenia i informacje
ul. G. Narutowicza 11/12, 80-952 Gdańsk
tel. +48 58 347 11 58, +48 58 347 25 34
fax +48 58 341 08 80
e-mail: met@ely.pg.gda.pl