

Badania eksploatacyjne elektronicznego zabezpieczenia ziemnozwarciowego stosowanego w trakcji kolejowej PKP

Wojciech Dzienis

Podstawowym urządzeniem zabezpieczającym układ zasilania trakcji elektrycznej prądu stałego od skutków zwarc i przeciążeń w PKP jest wyłącznik szybki.

W artykule przedstawiono stosowane do ochrony ziemnozwarciowej w trakcji kolejowej 3 kV DC PKP elektroniczne zabezpieczenie ziemnozwarciowe (EZZ) – omówiono jego zasadę działania, rolę w ochronie przeciwporażeniowej oraz zakres badań.

W zależności od miejsca zainstalowania (podstacja trakcyjna, kabina sekcyjna), wywalacz prądowy jest nastawiany na prąd I_{nast} w granicach 1400÷2400 A. Całkowity czas wyłączenia zwarcia przez stosowane wyłączniki szybkie typu WSe, BWS wynosi od 20 do ok. 50 ms [6]. Z uwagi na możliwość występowania zwarc doziemnych o prądach znacznie mniejszych niż I_{nast} istnieje konieczność detekcji takich zdarzeń, tym bardziej że ma to bezpośredni wpływ na zagrożenie porażeniowe. W tym celu – do identyfikacji i likwidacji takich zwarc – zainstalowane jest elektroniczne zabezpieczenie ziemnozwarciowe.

Elektroniczne zabezpieczenie ziemnozwarciowe jest przeznaczono do zabezpieczania układów zasilania trakcji elektrycznej prądu stałego z dwoma izolowanymi względem ziemi biegunami [4]. Jest to modyfikacja wcześniejszych rozwiązań urządzeń ziemnozwarciowych typu urządzenie ziemnozwarciowe (UZZ) oraz tyrystorowe urządzenie ziemnozwarciowe (TUZZ). Eksploatowane w prawidłowy sposób, zapewnia skuteczną ochronę przeciwporażeniową dla personelu ruchowego oraz osób postronnych, mogących przebywać w bezpośrednim sąsiedztwie sieci trakcyjnej i obiektów zasilania trakcji elektrycznej. Stosowanie tego urządzenia pozwala również ograniczyć przepływ prądów błądzących.

Sposób włączenia w obwód główny podstacji trakcyjnej oraz główne bloki funkcjonalne EZZ przedstawiono na rysunku 1. Urządzenie EZZ składa się z siedmiu zasadniczych bloków funkcjonalnych:

- układu ograniczania przepięć wejściowych (warystor RV),
- układu kontroli napięcia uziomu obiektu zasilania względem bieguna ujemnego i sterowania tyrystorami głównymi ($PKN 1$, $PKN 2$),
- układu pomiaru prądu i napięcia (V/A),
- układu kontroli napięcia bieguna ujemnego względem uziomu obiektu zasilania (V),
- tyrystorów głównych (TG),
- tyrystora wstecznego (TR),
- przekaźnika nadprądowego z układem opóźnienia.

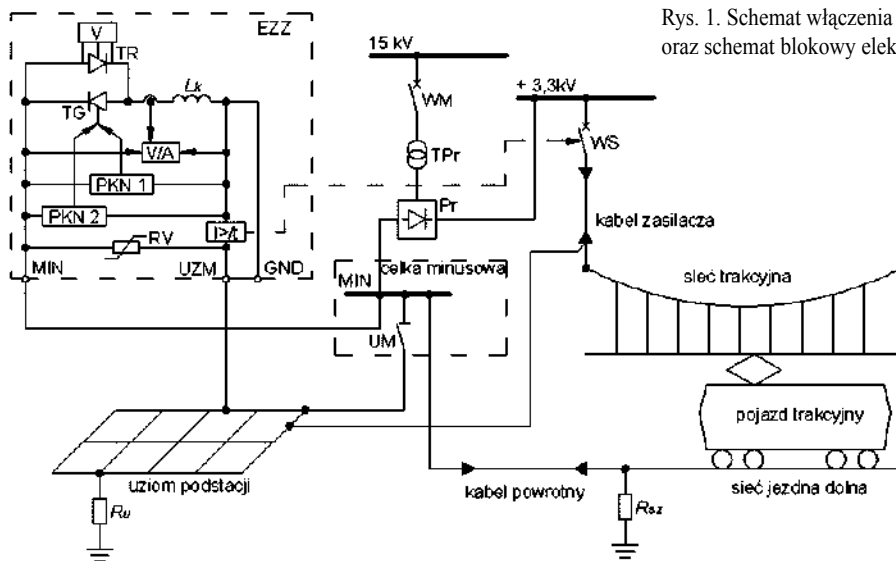
W przypadku wystąpienia doziemienia bieguna dodatniego, potencjał uziomu obiektu zasilania jest wyższy w stosunku do bieguna ujemnego. Doziemienie może mieć miejsce w kablu zasilacza sieci trakcyjnej przy zwarciu żyły roboczej do żyły powrotnej – wówczas potencjał uziomu podstacji wzrośnie. Może to spowodować wystąpienie niebezpiecznych napięć rażeniowych U_{Ru} w rejonie uziomu podstacji. Jeżeli napięcie $U_{UZM-MIN}$ uziomu obiektu zasilania względem szyny minusowej w wyniku doziemienia przekroczy wartość progową 120 V, blok PKN generuje sygnał na załączenie tyrystorów głównych TG . Występuje wówczas bezpośrednie połączenie uziomu podstacji z szyną minusową, a prąd I_k zamyka się na drodze: miejsce doziemienia – żyła powrotna – uziom obiektu zasilania – tyrystory główne – prostownik (rys. 2).

Jeżeli wartość prądu I_k przekroczy nastawę wywalacza pierwotnego I_{nast} , nastąpi wyłączenie w czasie do 50 ms zwarcia przez odpowiedni wyłącznik szybki. Natomiast jeżeli prąd I_k będzie o wartości mniejszej niż I_{nast} ale większej od 600 A, to z opóźnieniem 200 ms nastąpi wyłączenie wszystkich wyłączników szybkich w danym obiekcie zasilania, oraz po zadziałaniu uzależnień międzypodstacyjnych – w sąsiednich obiektach. Tym samym zlikwidowane zostanie zagrożenie porażeniowe.

Występujące napięcie rażeniowe oraz obwód prądu zwarcia w przypadku zadziałania urządzenia EZZ przedstawiono na rysunku 2. Przy wartości prądu I_k większego od 600 A z opóźnieniem 200 ms w przypadku podstacji trakcyjnych i 300 A w przypadku kabin sekcyjnych, człon nadprądowy generuje sygnał do wyłączenia wszystkich wyłączników szybkich zasilaczy sieci trakcyjnej występujących w danym obiekcie zasilania, co likwiduje występujące zagrożenie porażeniowe. Po zadziałaniu urządzenia ochrony ziemnozwarciowej konieczne jest zatem jednoznaczne zdiagnozowanie przyczyny wyłączenia.

Dodatkową funkcją EZZ jest ograniczenie przepływających prądów błądzących w sąsiedztwie sieci powrotnej. Tu również w przypadku wystąpienia napięcia powyżej 120 V, ale o odwrotnej polaryzacji (potencjał bieguna ujemnego wyższy względem potencjału uziemienia obiektu zasilania) następuje zadziałanie EZZ. Taka sytuacja może mieć miejsce podczas przepływu trakcyjnego prądu powrotnego przez sieć powrotną, przy jednoczesnym braku pełnej ciągłości sieci powrotnej (brak łączników międzytokowych, międzytorowych, podłużnych, kradzieże elementów sieci powrotnej). Napięcie to jest mierzone przez blok pomiaru napięcia wstecznego V i przy przekroczeniu 120 V generowany jest sygnał do przewodzenia tyrystora TR . Wówczas biegun ujemny przyjmuje potencjał uziomu podstacji trakcyjnej, co w znaczący sposób ogranicza prądy błądzące.

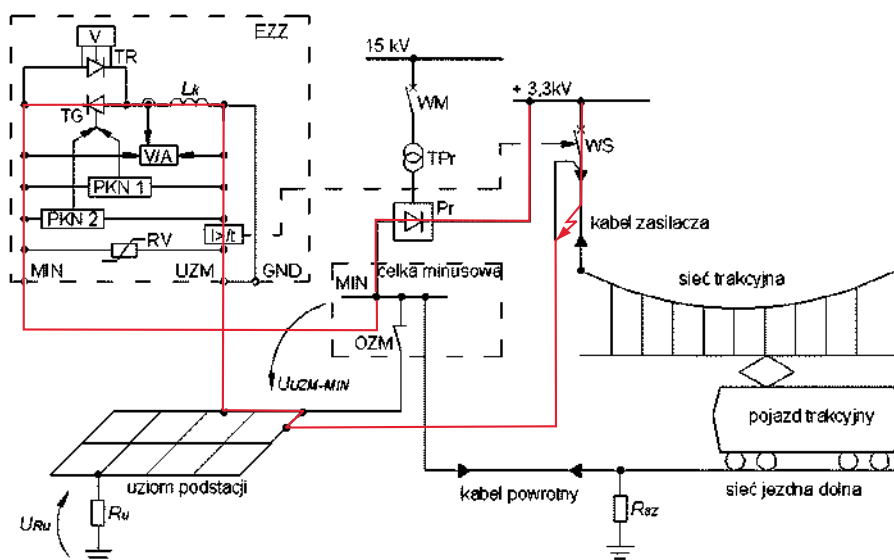
Mgr inż. Wojciech Dzienis – PKP Energetyka SA Zakład Wschodni, Białystok; Politechnika Białostocka, Wydział Elektryczny, Zakład Elektroenergetyki



Rys. 1. Schemat włączenia w obwody główne podstacji trakcyjnej oraz schemat blokowy elektronizacji zabezpieczenia ziemnozwarciowego [4]

WM – wyłącznik zespołu prostownikowego, TPr – transformator prostownikowy, Pr – prostownik, WS – wyłącznik szybki zasilacza sieci trakcyjnej, MIN – szyna minusowa, TR – tyrystor włączony w kierunku wstępnym, TG – tyrystory główne, PKN 1, PKN 2 – pakiety kontroli napięcia, V/A – blok pomiaru prądu oraz napięcia, RV – warystor do ochrony od przepięć, V – blok pomiaru napięcia wstępnego i sterowania tyrystorem wstępnym, R_u – rezystancja uziemienia obiektu zasilania, R_{sz} – rezystancja doziemna sieci powrotnej, UM – uziemnik szyny minusowej, L_k – dławiki komutacyjne, I>/t – przełącznik nadprądowy z układem opóźnienia

Rys. 2. Obwód prądu zwarciovego I_k podczas doziemienia bieguna dodatniego (zwarcie żyły roboczej do żyły powrotnej kabla zasilacza sieci trakcyjnej) po zadziałaniu EZZ. I_k – prąd zwarciovowy po zadziałaniu ochrony ziemnozwarciowej EZZ, U_{Ru} – napięcie rażeniowe występujące podczas doziemienia do chwili zadziałania ochrony ziemnozwarciowej EZZ, $U_{UZM-MIN}$ – napięcie uziomu obiektu zasilania względem szyny minusowej podczas doziemienia bieguna dodatniego



Zakres badań urządzenia ochrony ziemnozwarciowej trakcji kolejowej 3 kV DC typu EZZ

Niezawodna praca EZZ jest zapewniona przez prowadzenie prawidłowej eksploatacji, w skład której wchodzi m.in. pomiar parametrów technicznych. Czasookres oraz zakres pomiarów opisuje *Instrukcja eksploatacji urządzeń zasilania trakcji elektrycznej* [1]. Dodatkowe wymagania są określone przez [7, 8]. Zakres przedstawiony w dokumentach [1, 7, 8] uzupełniono dodatkowo pomiarem współczynnika powrotu przełącznika nadprądowego. Na podstawie tych dokumentów opracowano szczegółowy harmonogram oraz zakres badań EZZ. Kolejność badań jest tak zorganizowana, aby zminimalizować liczbę zabiegów przygotowawczych do pomiaru. Spośród parametrów ochrony ziemnozwarciowej bezpośredni wpływ na wystąpienie zagrożenia porażeniowego mają:

- napięcie progowe U_p zadziałania układu podstawowego i rezerwowego,
- nastawa przełącznika nadprądowego,
- opóźnienie zadziałania ochrony ziemnozwarciowej.

Napięcie progowe zadziałania układu podstawowego i rezerwowego

Jednym z warunków zadziałania EZZ jest prawidłowa nastawa napięcia progowego U_p pakietu PKN. Wartość nominalna jest określona na 120 V, z dopuszczalną tolerancją $\pm 5\% U_p$ i wynika z [5]. Norma ta wymaga, aby przy ciągłym przepływie prądu napięcie dostępne nie przekraczało 120 V, z wyjątkiem warsztatów i podobnych miejsc, gdzie graniczną wartością powinna być wartość 60 V [5].

Jak wynika z rysunku 1, dwa układy PKN mają zapewnić niezawodną pracę urządzenia EZZ w przypadku uszkodzenia jednego z pakietów. Moduł ten odpowiada za właściwe działanie tyrystorów głównych, które – zwierając uziom obiektu zasilania z biegunem ujemnym – zapobiegają utrzymywaniu się napięcia niebezpiecznego na drodze przepływu prądu I_{doz} . Działanie ochrony ziemnozwarciowej może być wynikiem doziemienia bieguna dodatniego, nieprawidłowej wartości rezystancji uziemienia uziomu obiektu zasilania, bądź też niewłaściwego napięcia progowego. Należy zaznaczyć, że przy sprawnym urządzeniu EZZ, dopuszczalna rezystancja uziemienia uziomu wynosi 2 Ω , w przeciwnym wypadku rezystancja ta nie może być większa niż 0,5 Ω [1].

Dla zapewnienia niezawodnej pracy EZZ celowa jest okresowa kontrola napięcia progowego U_p . Zbyt niska wartość (poniżej 114 V) może prowadzić do częstego i niepotrzebnego działania urządzenia EZZ. Następstwem tego może być błędna interpretacja personelu ruchowego co do przyczyny działania ochrony ziemnozwarciowej. Z kolei zbyt wysoka wartość tego napięcia może skutkować pojawieniem się niebezpiecznego napięcia w rejonie doziemienia bieguna dodatniego. Może to spowodować wystąpienie zagrożenia porażeniowego w miejscach, gdzie w normalnych warunkach pracy sieci trakcyjnej (perony, przejazdy kolejowe, kładki dla pieszych, wiadukty) takiego niebezpieczeństwa nie ma.

Doświadczenia eksploatacyjne pokazują, iż wartość napięcia progowego U_p w badanych urządzeniach typu EZZ osiąga wartości mniejsze niż 120 V (a zatem i bezpieczniejsze). Spośród badanych urządzeń EZZ uzyskano napięcie U_p w przedziale 108÷119 V. Nie zanotowano przy tym zbyt częstego działania EZZ, co świadczy m.in. o prawidłowej wartości rezystancji uziemienia obiektów zasilania (potwierdzone badaniami) i o zachowaniu ciągłości sieci powrotnej.

Nastawa przekaźnika nadprądowego

Przekaźnik nadprądowy w urządzeniu EZZ odpowiada za detekcję przekroczenia progu prądowego o wartości 600 A. Dopuszczalna tolerancja wynosi przy tym ± 50 A. Jest to dość specyficzne rozwiązanie, w którym rolę cewki spełnia jeden zwój w postaci szyny wiodącej prąd zwarcia międzybiegunowego. Podczas przepływu prądu zwarcia międzybiegunowego, prawidłowy próg zadziałania tego przekaźnika z odpowiednim opóźnieniem zapewnia wyłączenie wyłączników szybkich w obiekcie zasilania, oraz – po zadziałaniu uzależnień międzypodstacyjnych – również w obiektach sąsiednich, likwidując tym samym zagrożenie porażeniowe.

Zbyt duża wartość progu nastawy będzie powodować wyłączenie przy większych wartościach prądu bądź brak wyłączenia wyłączników szybkich zasilaczy sieci trakcyjnej i w efekcie długotrwałe utrzymywanie się zagrożenia porażeniowego. Z kolei zbyt niska wartość tej nastawy będzie powodowała wcześniejsze niż to wynika z wymagań ochrony przeciwporażeniowej wyłączenie napięcia z sieci trakcyjnej, a tym samym zbędne perturbacje ruchowe na szlaku kolejowym.

Specyficzna konstrukcja oraz wymagany znaczny prąd do sprawdzenia przekaźnika nakładają konieczność stosowania zasilacza wielkoprądowego prądu stałego o wydajności prądowej do 700 A. Przeprowadzone badania w każdym przypadku wykazały, że wartości prądu nastawy zawierają się w dopuszczalnym zakresie [7, 8].

Opóźnienie zadziałania ochrony ziemnozwarciowej

W funkcjonalnym powiązaniu z przekaźnikiem nadprądowym w EZZ dla podstacji trakcyjnych występuje układ opóźnienia. Jest on konieczny do ewentualnej samolikwidacji zwarcia doziemnego (np. zwarcie żyły roboczej do żyły powrotnej w kablu zasilacza sieci trakcyjnej) przez odpowiedni wyłącznik szybki. Opóźnienie to powinno zawierać się w przedziale czasu 160÷240 ms. W tym przypadku również zbyt krótki czas opóźnienia od osiągnięcia przez prąd zwarcia doziemnego lub międzybiegunowego wartości 600 A do wyłączenia wyłączników szybkich będzie powodować zbędną przerwę w zasilaniu. Natomiast wydłużony czas opóźnienia będzie skutkował utrzymywaniem się zagrożenia porażeniowego.

W czasie eksploatacji w żadnym przypadku nie stwierdzono zbędnego wyłączenia wyłączników szybkich zasilaczy sieci trakcyjnej z udziałem EZZ. Przeprowadzone pomiary czasu opóźnienia również mieszczą się w podanych granicach tolerancji.

Wnioski

- Przeprowadzanie okresowej kontroli parametrów technicznych ochrony ziemnozwarciowej zapewnia właściwą ochronę przeciwporażeniową. Zapewnia się przy tym warunki bezpiecznego przebywania personelu ruchowego oraz osób postronnych w bezpośrednim sąsiedztwie urządzeń sieci trakcyjnej. Należy zaznaczyć, że warunkiem skutecznego działania ochrony ziemnozwarciowej jest utrzymanie rezystancji uziemienia uziomu obiektu zasilania na wymaganym poziomie.

- Stosowanie urządzenia ochrony ziemnozwarciowej dopuszcza większą wartość rezystancji uziemienia uziomu R_u obiektu zasilania, tj. 2 Ω . W przypadku braku lub niesprawności takiego urządzenia, wymagana jest rezystancja R_u o wartości 0,5 Ω . W niektórych lokalizacjach (tereny o podłożu skalistym, piaszczystym) tak niskie wartości są trudne do osiągnięcia bez znacznych nakładów finansowych.

- Przeprowadzone badania i zebrane doświadczenia eksploatacyjne w zakresie elektronicznego zabezpieczenia ziemnozwarciowego pozwoliły na opracowanie szczegółowej instrukcji badania parametrów technicznych urządzenia ochrony ziemnozwarciowej typu EZZ oraz postępowania w przypadku odstępstw od wymagań badanych parametrów technicznych.

- W wyniku przeprowadzonych badań nie stwierdzono odchyłeń parametrów technicznych ochrony ziemnozwarciowej typu EZZ w kierunku wartości niebezpiecznych. Dowodzi to, iż zawsze była zapewniona ochrona przed pojawieniem się niebezpiecznych napięć rażeniowych.

LITERATURA

- [1] Biuletyn Polskich Kolei Państwowych: ET-3 Instrukcja eksploatacji urządzeń zasilania trakcji elektrycznej. PKP, Warszawa 1997
- [2] Kulhawik Z.: System ochrony ziemnozwarciowej i przeciwporażeniowej w obwodach trakcji elektrycznej prądu stałego. *Technika Transportu Szybnego* 2001 nr 11
- [3] Kulhawik Z., Anielak P.: Ochrona przeciwporażeniowa i ziemnozwarciowa w urządzeniach trakcji elektrycznej PKP w świetle norm europejskich. *Technika Transportu Szybnego* 2003 nr 12
- [4] Kulhawik Z., Korobowski P.: Urządzenia ochrony ziemnozwarciowej i przeciwporażeniowej w systemie zasilania trakcji elektrycznej 3 kV prądu stałego w PKP. *Prace Instytutu Elektrotechniki* 1999 z. 203
- [5] PN-EN 50122-1:2002 Zastosowania kolejowe. Urządzenia stacyjne. Część 1: Środki ochrony dotyczące bezpieczeństwa elektrycznego i uziemień
- [6] Tuliński K.: Analiza możliwości poprawy procesu wyłączania zwarc przez klasyczne wyłączniki szybkie w podstacjach trakcyjnych prądu stałego. Rozprawa doktorska, Politechnika Warszawska, 2003
- [7] Warunki techniczne odbioru elektronicznego zabezpieczenia ziemnozwarciowego typu EZZ. Elester, Łódź 1994
- [8] Zawadzki G.: Dokumentacja techniczno-ruchowa. Elektroniczne zabezpieczenie ziemnozwarciowe. Elester, Łódź 2004