

UDC 621.331.3

A. BIAŁOŃ, J. FURMAN, A. KAZIMIERCZAK, M. LASKOWSKI (INSTYTUT KOLEJNICTWA, POLSKA)

Institute of railways, 04-275 Warsaw, Poland, 50 Chlopitskogo Street, tel.: +48224731453, fax: +48224731036, e-mail: abialon@ikolej.pl

PROBLEMATYKA OCHRONA SIECI TRAKCYJNEJ 3 KV PRĄDU STAŁEGO PRZED PRZEPIĘCIAMI

Wprowadzenie

Kolejowa sieć trakcyjna narażona jest na działanie przepięć pochodzenia zewnętrznego (wyładowania atmosferyczne) i wewnętrznego (przebiecia komutacyjne). Na dzień dzisiejszy urządzeniem, które chroni sieć trakcyjna przed przepięciami jest odgromnik różkowy, instalowany na konstrukcjach wsporczych sieci trakcyjnej. Ze względu na wysoki próg zadziałania odgromnik różkowy nie jest w stanie ograniczyć amplitud wszystkich przepięć, jakie mogą występować w sieci trakcyjnej, dotyczy to przede wszystkim przepięć komutacyjnych. W warunkach eksploatacyjnych próg zadziałania odgromnika różkowego mieści się w granicach 20-30 kV. Tak wysoki próg zadziałania odgromnika różkowego nie jest w stanie zapewnić odpowiedniego poziomu ochrony dla nowoczesnych urządzeń elektronicznych stosowanych na kolei. W związku z powyższym powstała koncepcja zastosowania warystorowych ograniczników przepięć do ochrony sieci trakcyjnej, które zapewniają bardziej stabilny i niższy poziom ochrony.

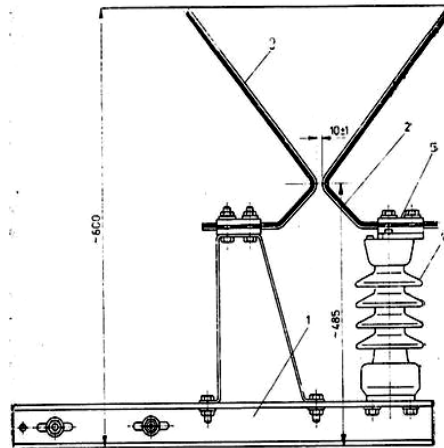
Charakterystyka stanu obecnego

Wspomniane na wstępie odgromniki różkowe (rys.1) instalowane są wzdłuż sieci jezdnej w odstępach wynoszących około 1200 m, natomiast w obszarach zwiększonej aktywności burzowej odległości są mniejsze i wynoszą około 600 m. Otwarte końce sieci jezdnej zabezpieczone są odgromnikami. Natomiast ze względu na zbyt wysoki poziom ograniczania przepięć przez odgromniki różkowe (około 20 kV), w podstacjach trakcyjnych, kabinach sekcyjnych i do ochrony kabli zasilaczy od strony sieci stosuje się przeważnie odgromniki zaworowe.

Odgromniki różkowe są instalowane na wierzchołkach konstrukcji wsporczych.

W przypadku przepięcia w sieci ulega przebicciu przerwa iskrownika odgromnika i pomiędzy różkiem połączonym z przewodem sieci jezdnej a różkiem uszynionym zapala się łuk elektryczny. Łuk ten po odprowadzeniu fali przepięciowej przewodzi prąd następczy pod wpływem napięcia roboczego. Natężenie tego prądu zależy od odległości miejsca

zainstalowania odgromnika od podstacji trakcyjnej. Prąd następczy zostaje przerywany w większości przypadków przez wyłącznik szybki, ponieważ jego wartość jest zwykle wyższa od natężenia prądu ich nastawienia. Powtórne samoczynne załączenie wyłączników nie napotyka na trudności, wskutek szybkiej dejonizacji przerwy iskrowej odgromnika. W szczególnych przypadkach, gdy prąd następczy jest niższy od prądu wyzwalaenia wyłącznika, jego przerwanie następuje samodzielnie przez oddziaływanie podmuchu elektromagnetycznego i termicznego, na łuk palący się na różkach.



Rys. 1. Odgromnik różkowy:
1 – podstawa; 2 – różek napięciowy; 3 – różek uszyniony; 4 – izolator; 5 – zacisk do połączenia z przewodami sieci jezdnej

Statyczne napięcie zapłonu odgromników różkowych wynosi 30 kV. Poziom tego napięcia jest wystarczający do ochrony izolacji głównej sieci trakcyjnej. Natomiast jest zbyt wysokie, aby mogły być chronione urządzenia zainstalowane w podstacjach trakcyjnych, kabinach sekcyjnych, w elektrycznych pojazdach trakcyjnych oraz zasilacze kablowe.

Dlatego też do ochrony tych urządzeń stosuje się odgromniki zaworowe. Zasadniczymi częściami odgromnika zaworowego jest iskiernik oraz połączony z nim szeregowo rezystor. Rezystor odgromnika składa się z kilku płytek, wykonanych z ziaren karbonitu spojonych lepiszczem. Rezystor zmienia swoją rezystancję w zależności od natężenia prądu. Zarówno iskiernik jak i rezystor są

umieszczone w szczelnej obudowie porcelanowej. Z chwilą pojawienia się w sieci przepięcia o wartości ($\geq 4,5$ kV) zagrażającej izolacji chronionych urządzeń, następuje zapłon na iskierniku i przez odgromnik zaczyna płynąć prąd do ziemi. W pierwszej chwili wartość prądu jest znaczna, a zatem rezystancja rezystora jest mała. W ten sposób utworzona zostaje droga, przez którą fala przepięciowa zostaje szybko odprowadzona do ziemi, a tym samym zostaje obniżona napięcie. Po spłynięciu ładunku fali przepięciowej przez odgromnik zaczyna płynąć prąd następczy. Natężenie prądu następczego jest znacznie mniejsze od natężenia prądu pioruna. W tym czasie rezystor odgromnika ma dużą rezystancję i ogranicza prąd następczy do wartości, przy której iskiernik może go przerwać. Dla ułatwienia przerywania prądu następczego, bieguny iskiernika są umieszczone nad biegunami magnesu trwałego. Pole magnetyczne, oddziałujące na łuk palący się pomiędzy biegunami iskiernika, powoduje jego wydmuchiwanie poza bieguny. W ten sposób wydłuża się droga palącego łuku, co ułatwia jego zgaszenie. W dnie podstawy odgromnika znajduje się membrana, której zadaniem jest niedopuszczenie do nadmiernego wzrostu ciśnienia w odgromniku w przypadku przeciążenia (zabezpieczenie przed wybuchem).

Ochrona przeciwprzepięciowa realizowana za pomocą wyżej wspomnianych urządzeń posiada następujące wady:

- wysoki poziom statycznego napięcia zapłonu iskierników, który jest uzależniony od stanu przerwy iskrowej co powoduje brak ograniczania większości zjawisk przepięciowych;
- duży rozrzut charakterystyki udarowej i jej zależność od warunków atmosferycznych;
- podczas zadziałania odgromnika różkowego następuje przepływ prądu następczego;
- pojawienie się prądu następczego wymusza zadziałanie wyłącznika szybkiego, co z kolei wymusza ingerencję personelu w celu ponownego załączenia napięcia zasilania.

W praktyce bardzo często może mieć miejsce także nieprawidłowa regulacja odstepu pomiędzy elektrodami wyładowczymi odgromnika różkowego, co ilustruje rys. 2. Fakt ten powoduje znaczące podwyższenie napięcia ograniczania, ponieważ zależność wielkości szczeliny wyładowczej od napięcia zadziałania nie ma charakteru liniowego.

Przedstawiony stan ochrony przeciwprzepięciowej sieci trakcyjnej i urządzeń z nią związanych nie zapewnia w pełni ochrony rozbudowanych urządzeń elektronicznych, które instalowane są na liniach kolejowych. Wobec tego koniecznością staje się zbudowanie nowoczesnego

systemu ochrony, opartego na elementach półprzewodnikowych. Aby ten system mógłby być zaprojektowany i wdrożony muszą zostać zrealizowane badania typu podstawowego, ponieważ aktualny stan wiedzy zawartej na ten temat w literaturze nie jest wystarczający.



Rys. 2. Nieprawidłowe rozstawienie elektrod wyładowczych w odgromniku różkowym

Ocena stanu istniejącego w świetle obowiązujących norm

Obecnie eksploatowany system ochrony przepięciowej sieci trakcyjnej w świetle obowiązujących norm w zasadzie spełnia ich zalecenia. Izolacja główna sieci trakcyjnej chroniona jest na poziomie 12 - 14 kV odgromnikiem różkowym. Izolacja kabli zasilaczy od strony sieci trakcyjnej chroniona jest odgromnikami zaworowymi ograniczającymi przepięcia do poziomu 4,5 kV. Pojazdy zasilane z sieci chronione są również ogranicznikami przepięć na poziomie 4,5 kV. Energia udarów piorunowych poprzez elementy ochrony odprowadzana jest do ziemi i sieci powrotnej prądu trakcyjnego, której głównym elementem jest tor. Zastosowanych tu elementów ochrony tylko odgromnik różkowy jest zdolny do przyjęcia maksymalnej amplitudy prądu wyładowania głównego, wynoszącej 200 kA (tabl. 1.).

Z torem połączone są często elementy urządzeń sterowania ruchem kolejowym (np. elementy obwodów torowych, czujniki koła, urządzenia do stwierdzania zagranych osi i płaskich miejsc). Urządzenia te chronione są od przepięć na poziomie 5 kV [1]. Skuteczność tych zabezpieczeń jest niewystarczająca, szczególnie w miejscach, gdzie w pobliżu instalacji elementów urządzeń srk do toru przyłączony jest odgromnik różkowy. Brak koordynacji ochrony w tym przypadku jest przyczyną uszkodzeń elementów urządzeń srk od udarów piorunowych do sieci trakcyjnej. Zastosowane zaworowe ograniczniki przepięć chroniące zasilacze podstacji ulegają również częstym awariom. Informacje te pochodzą z eksploatacji.

Wartości podstawowych parametrów charakteryzujących prąd piorunowy

Stopnie zagrożenia	Wartości podstawowych parametrów prądu piorunowego i efektywności ochrony							
	Poziomy ochrony	Efektywność ochrony	Wartość szczytowa [kA]	Stromość narastania [kV/ μ s]	Czas czoła [μ s]	Czas do półszczytu [μ s]	Całkowity ładunek [C]	Energia właściwa [KJ/ Ω]
Wyładowanie główne	I	98%	200	20	10	350	300	10000
	II	95%	150	15	10	350	225	5600
	III	90%	100	10	10	350	150	2500
	IV	80%	100	10	10	350	150	2500

Wymagania dla ochrony sieci trakcyjnej przed przebiegami

Kolejowa sieć trakcyjna jest siecią napowietrzną i jest narażona na bezpośrednie udary piorunowe. Elementy ochrony przepięciowej powinny spełniać wymagania pierwszego poziomu ochrony (tabl. 1). Ten poziom ochrony zapewniają eksploatowane dotychczas odgromniki rożkowe. Zastąpienie ich innymi ogranicznikami przepięć zapewniającymi efektywną ochronę wynoszącą również 98% (I poziom ochrony) wymagałoby zastąpienie ich równoważnymi ogranicznikami typu zaworowego. Wiąże się to z dużymi kosztami. Z danych zawartych w dostępnej literaturze wynika, że żaden z wymienionych ograniczników nie może być zastosowany bezpośrednio do ochrony sieci trakcyjnej dla zapewnienia pierwszego poziomu ochrony. Biorąc pod uwagę intensywność burzową a Polskę określaną mapami burzowymi z podanymi nich poziomami keraunicznymi (tzn. przeciętną liczbą dni burzowych w roku) proponuje się przyjąć III poziom ochrony. Zapewnia on efektywność ochrony wynoszącą minimum 90%. Dla tego poziomu efektywności ochrony przyjmuje się wartość szczytową prądu wyładowania doziemnego 100 kA. Ochrona ta powinna być skoordynowana z ochroną urządzeń zasilanych z sieci trakcyjnej jak i z ochroną urządzeń przyłączonych do sieci powrotnej.

Charakterystyka prądów piorunowych wyładowań doziemnych

Ocena zagrożenia piorunowego sieci trakcyjnej wymaga określenia następujących wartości charakteryzujących prąd piorunowy:

- wartości szczytowej prądu piorunowego,
- maksymalnej stromości narastania czoła impulsu prądu piorunowego,
- ładunku przeniesionego przez prąd piorunowy,
- energię prądu piorunowego wydzieloną na rezystancji 1 Ω .

Dodatkowo wykorzystywane są następujące parametry uzupełniające:

- czas trwania czoła prądu piorunowego,
- czas do półszczytu na grzbiecie prądu piorunowego,
- liczba udarów prądowych w wyładowaniu wielokrotnym.

Wartości wymienionych parametrów rozłożone są w sposób losowy. W tabl. 1 przedstawiono wartości dla pierwszej składowej wyładowania doziemnego.

Wymagania koordynacji ochrony sieci trakcyjnej przed przebiegami

Ochrona sieci trakcyjnej przed przebiegami powinna być skoordynowana z ochroną urządzeń zasilanych z sieci trakcyjnej i urządzeń przyłączonych do sieci powrotnej:

- parametry wielkości narażeń pochodzących od sieci trakcyjnej nie powinny przekraczać wytrzymałości na przebiegi urządzeń zasilanych z sieci trakcyjnej i przyłączonych do sieci powrotnej.
- lokalizacja elementów ochrony odgromowej nie powinna ujemnie oddziaływać na urządzenia srk.
- lokalizacja elementów ochrony przepięciowej od urządzeń srk powinna być udokumentowana wynikami badań w rzeczywistych warunkach terenowych.

Wymagania na elementy ochrony sieci trakcyjnej przed przebiegami

Do ochrony sieci trakcyjnej przed przebiegami zastępujące odgromniki rożkowe, należy stosować ograniczniki przepięć charakteryzujące się następującymi cechami:

- elementy ochrony powinny być przystosowane do montażu na konstrukcjach wsporczych sieci trakcyjnej.
- uszkodzenie elementu ochrony (układu elementów) nie powinno powodować trwałego zwarcia sieci 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 10/350 μ s,

- element ochrony powinien zredukować przepięcie do wartości ≥ 6000 V.

Propozycje ochrony sieci trakcyjnej przed przepięciami

System ochrony sieci trakcyjnej przed przepięciami ma wpływ na ochronę urządzeń zasilanych z sieci i przyłączonych do sieci powrotnej. Dlatego rozwiązanie tego zagadnienia musi być wielowariantowe, tak, aby można było dokonać wyboru rozwiązania zapewniającego optymalne warunki pracy dla urządzeń zasilanych z sieci trakcyjnej i dołączanych do obwodu powrotnego. Warianty proponowanych rozwiązań są scharakteryzowane poniżej kolejno.

Wariant pierwszy

W pierwszym rozwiązaniu proponuje się zachowanie stanu obecnego. W tym rozwiązaniu odgromnik rożkowy ograniczając amplitudę przepięć na poziomie 14 kV zapewnia ochronę izolacji sieci. Ochrona przeciwprzepięciowa urządzeń współpracujących z siecią trakcyjną i siecią powrotną musi być zainstalowana na wejściach i wyjściach tych urządzeń. Biorąc pod uwagę, że w ogranicznikach rożkowych poziom ograniczania zależy od stromości narastania impulsu przepięcia a także parametrów mechanicznych odgromnika (wielość szczeliny wynikająca z naprężeń i zanieczyszczeń), nie jest wiadomo jaki jest rzeczywisty poziom ograniczania przepięć przez odgromnik rożkowy. W tej sytuacji mogą być przeciążane ograniczniki w urządzeniach współpracujących z siecią trakcyjną i obwodem powrotnym. W obwodach torowych ograniczanie przepięć zaproponowane w pracy [1] wynosiło 5kV (przyjęto analogiczny poziom ochrony jak dla rozwiązań stosowanych w telekomunikacyjnych sieciach napowietrznych). Obecnie proponowana wartość podana w normie wynosi ok. 2kV (patrz PN-EN 50121-4). Biorąc pod uwagę doświadczenia z eksploatacji tych urządzeń, należy ocenić, że zabezpieczenia te nie są wystarczające. A zatem cały ciężar ochrony przed przepięciami będzie polegał na poprawieniu parametrów ochrony obwodów wejściowych i wyjściowych tych urządzeń. W przypadku rozległej infrastruktury urządzeń powiązanych z torem, koszty ochrony przeciwprzepięciowej byłyby bardzo wysokie. Dlatego ten sposób

rozwiązania problemu ochrony należy uznać za ekonomicznie nieuzasadniony. Z tego powodu należy zrezygnować z tego rozwiązania.

Wariant drugi

W drugim rozwiązaniu proponuje się zachowanie odgromników rożkowych oraz jednoczesne odsunięcie miejsc instalacji elementów ochrony przeciwprzepięciowej sieci trakcyjnej od elementów urządzeń obwodów torowych.

W literaturze nie napotkano na informacje jaka jest rzeczywista wartość tłumienia amplitud przepięć w funkcji odległości w przypadku sieci trakcyjnej i toków szynowych. W pracy [1] podano w formie informacji, że impedancja przejścia toki szynowe ziemia wzrasta wraz ze wzrostem stromości czoła narastania impulsu w sposób nieliniowy. Są to dane niewystarczające do oszacowania tłumienności toru dla przepięć odprowadzanych przez odgromnik rożkowy z sieci trakcyjnej do ziemi. Wiadomo, że tor dla propagacji przepięć należy traktować jako klasyczną niesymetryczną linię długą o parametrach rozłożonych. Propagacja amplitudy udaru będzie zależna od wielu różnych elementów powiązanych z torem (rozjazdy, obecność dławików torowych, połączeń międzytorowych i międzytokowych, oporność podtorza). Wariant ten jest stosunkowo tani pod warunkiem, że będą przeprowadzone pełne badania propagacji przepięć w sieci trakcyjnej i tokach szynowych dla różnych rozwiązań konstrukcyjnych sieci trakcyjnej i urządzeń torowych. Należy przy tym również uwzględnić wpływ warunków środowiskowych. Przeprowadzenie badań umożliwi określenie przybliżonych odległości instalacji elementów ochrony odgromowej (odgromnik rożkowy) sieci trakcyjnej od elementów obwodów torowych i innych urządzeń. Jednak w wielu przypadkach może być zabiegiem niewystarczającym ponieważ przy zmianie lokalizacji można go zbliżyć do innych urządzeń wymagających ochrony przeciwprzepięciowej.

Wariant trzeci

Wariant trzeci polega na częściowej zamianie odgromników rożkowych na ograniczniki typu zaworowego lub warystorowego zainstalowane w pobliżu miejsc podłączenia elementów obwodów torowych i innych urządzeń z jednoczesną zmianą lokalizacji względem położenia pierwotnego. Zastosowanie ogranicznika typu zaworowego lub warystorowego w miejscu jego instalacji spowoduje zmniejszenie amplitudy przepięć i ich czasu trwania. Jednak odległość zainstalowania ogranicznika od elementów obwodów torowych i

innych urządzeń musi być analogicznie jak w poprzednim wariantcie poprzedzona badaniami propagacji przepięć. Wariant ten wydaje się być najbardziej korzystny do sprawdzenia w pierwszej kolejności w próbnej eksploatacji.

Wariant czwarty

Wariant czwarty polega na wymianie wszystkich odgromników rozkowych na ograniczniki typu zaworowego lub w ostateczności warystorowego. Zastosowanie ogranicznika typu zaworowego lub warystorowego w miejscu jego instalacji spowoduje zmniejszenie amplitudy przepięć i ich czasu trwania. Jednak odległość zainstalowania ogranicznika od elementów obwodów torowych i innych urządzeń musi być analogicznie jak w poprzednim wariantcie poprzedzona badaniami propagacji przepięć. Wariant ten może być docelowym dopiero po sprawdzeniu w próbnej eksploatacji wariantu trzeciego.

Wybór elementów ochrony przepięciowej do ochrony sieci trakcyjnej od przepięć

Ogólne kryteria wyboru nowych elementów ochrony

Wybór ogranicznika przepięć powinien uwzględniać nie tylko parametry elektryczne ale również miejsce jego instalacji i warunki pracy, ponieważ decyduje to o skuteczności ochrony i jego trwałości. Warunki pracy przewidziane dla ogranicznika przepięć powinny uwzględniać:

- temperaturę otoczenia;
- wysokość miejsca instalowania nad poziomem morza;
- stan zanieczyszczenia środowiska;
- przewidywana pozycja pracy, miejsce i sposób instalowania;
- przewidywane obciążenia mechaniczne.

Przy ochronie sieci trakcyjnej należy brać pod uwagę również informacje o:

- rodzaju urządzeń zasilanych z sieci trakcyjnej;
- sposobie włączenia urządzeń do sieci;
- długości odcinków kablowych;
- znajomości napięć probierczych izolacji chronionych urządzeń.

Biorąc pod uwagę powyższe kryteria doboru ogranicznika przepięć i wymagania na ochronę sieci trakcyjnej zastosowanie tylko samego iskiernikowego ogranicznika przepięć (np. odgromnik rozkowy) powoduje wystąpienie prądu następczego, który będzie miał w tym przypadku charakter prądu zwarciovego aż do chwili jego zgaszenia w wyniku zadziałania wyłącznika szybkiego. Aby wyeliminować możliwość występowania prądu następczego, należy zastosować szeregowe połączenie iskiernikowego

ogranicznika przepięć i beziskiernikowego ogranicznika przepięć z tlenków metali (ogranicznik warystorowy) lub tylko beziskiernikowy ogranicznik przepięć z tlenków metali, który będzie aktywny tylko w okresie występowania przepięcia (patrz PN-EN 50123-5). Zalecany do eksploatacji ogranicznikiem przepięć powinien być w zasadzie ogranicznik składający się z szeregowo połączonych iskiernikowego ogranicznika przepięć i warystora.

Warystor wchodzący w skład ogranicznika przepięć jest bardziej wrażliwym elementem niż odgromnik iskiernikowy i może skutecznie spełniać stawiane mu zadania tylko wtedy, gdy zostaną właściwie dobrane jego parametry. Parametry warystora muszą spełniać szereg warunków. Najwyższe dopuszczalne udary prądowe, największa dopuszczalna energia i największa dopuszczalna średnia moc warystora muszą być wyższe od tych, na które może on być narażony. Napięcie trwałej pracy U_c powinno być wyższe od dopuszczalnych wahań napięcia zasilania sieci.

Zgodnie z danymi zawartymi w tablicy 1 należy się liczyć z najwyższą wartością prądu udaru piorunowego wynoszącą nawet 200kA (skrajnym przypadku). Wystąpienie takiego udaru do sieci trakcyjnej np. pomiędzy ogranicznikami, spowoduje rozływ prądu w dwóch kierunkach wzdłuż sieci trakcyjnej i do ograniczników dotrze po około 100 kA prądu udarowego. Jest to jednak prąd graniczny w wyniku którego może nastąpić zmiana wartości napięcia znamionowego i starzenie się struktury. Wartość tego napięcia może się zmieniać w górę lub w dół w stosunku do wartości katalogowej. W pierwszym przypadku ograniczanie amplitudy przepięć będzie następowało na wyższym poziomie w stosunku do wartości katalogowej. W drugim przypadku wartość napięcia może się zbliżać do wartości napięcia trwałej pracy co grozi zniszczeniem warystora. Z tego względu nie należy stosować warystora o mniejszym prądzie granicznym niż 100 kA. Jest to najczęściej podawana wartość granicznego prądu wyładowczego (4/10 μ s). Tego typu warystory są przystosowane do wielokrotnego przyjmowania prądów wyładowczych w zakresie od 2,5 do 20 kA.

Wybór napięcia trwałej pracy ogranicznika

Najważniejszym parametrem ogranicznika zaworowego jest napięcie jego trwałej pracy U_c . Przy wyborze wartości napięcia U_c należy spełnić następujące warunki:

1. Powinna być większa od wartości napięcia, która może długotrwale wystąpić na zaciskach ogranicznika.
2. Wartość napięcia U_c ogranicznika powinna być wyższa od spodziewanych amplitud przepięć wolnozmiennych w sieci trakcyjnej.

3. Ogranicznik powinien posiadać określoną zdolność pochłaniania energii wyrażonej w kJ. Jest to zdolność do zaabsorbowania określonej energii przy przepływie przez niego jednorazowego impulsu prądowego.

Wybór ogranicznika o zbyt niskim napięciu U_c związany jest z ryzykiem uszkodzenia z powodu naturalnego procesu degradacji (obniżanie lub wzrost wartości napięcia znamionowego). Degradacja objawiać się będzie stopniowo po kilku latach eksploatacji.

Jednocześnie zysk z tytułu uzyskania niższej ceny przy wyborze takiego ogranicznika jest i tak niewielki w stosunku do ponoszonego ryzyka.

Omówione wyżej uwagi dotyczące wyboru napięcia U_c ogranicznika przepięć ma jeszcze jeden ważny aspekt. W obwodach sieci trakcyjnej 3 kV należy się liczyć ze wzrostem napięcia do wartości 3900V DC i przepięcia wolnozmiennego o amplitudzie 5075V i czasie trwania 20ms (patrz Karta UIC 550). Z tego względu przy wyborze ogranicznika do ochrony przed przepięciami pochodzącymi od wyładowań atmosferycznych i procesów łączeniowych, należy wybierać ograniczniki przepięć wytrzymujące energię pochodzącą od uderów piorunowych. Uwzględniając powyższe zależności i uwarunkowania, proponujemy przy wyborze ogranicznika zwiększyć wartość napięcia U_c o 15 % powyżej amplitudy napięcia wolnozmiennego.

W związku z tym należy wybrać ogranicznik, którego trwałe napięcie trwałe U_c powinno wynosić 5850V. Jednak najbliższa zalecana wartość w normie wynosi 6000 V (patrz PN-EN 50123-5). Dlatego obniżenie poziomu ochrony poniżej tej wartości nie jest zalecane w obecnych warunkach. Chcąc ograniczyć amplitudę przepięć na poziomie 4.5 kV należałoby zastosować ogranicznik przepięć, który powinien pochłoniąć energię około 253 kJ co jest praktycznie trudne do osiągnięcia ($5075 \text{ kV} \times 2,5 \text{ kA} \times 20 \text{ ms} = 253750 \text{ J}$).

Przepięcia spowodowane procesami łączeniowymi w obwodzie sieci trakcyjnej, której impedancja ma charakter indukcyjny mogą osiągać wartości rzędu 10 – 20 kV. Prąd przepływający przez warystor podczas ograniczania przepięcia nie przekroczy wartości prądu płynącego w sieci trakcyjnej przed wystąpieniem tych zjawisk dla tak wybranego ogranicznika (nie przekroczy prądu płynącego przezeń w czasie wyładowania piorunowego).

Wybór ogranicznika

W katalogach firm produkujących ograniczniki przepięć dla zakresu średnich napięć wyszczególnione są elementy mające zastosowanie do ochrony sieci

Internal reviewer *Sichenko V. G.*

prądu przemiennego. Jak przedstawiono wcześniej podstawowym parametrem jest napięcie trwałej pracy ogranicznika U_c , które dotyczy wartości skutecznej napięcia przemiennego. Wartość napięcia pracy takiego ogranicznika zainstalowanego w sieci prądu stałego nie jest równoważna wartości skutecznej ani wartości szczytowej dla prądu przemiennego, która podawana jest w katalogu dla danego typu ogranicznika. Od wartości napięcia trwałej pracy ogranicznika warystorowego zależy wartość napięcia znamionowego, która decyduje o początku aktywnej pracy.

W warunkach kolejowych ogranicznik, w którego skład wchodzi warystor musi pracować przy dużych zmianach napięcia sieci trakcyjnej (graniczne wartości od 2000 – 3900 V oraz w obecności wolnozmiennych przepięć 5075V/20 ms). Wymaga to przeprowadzenia badań laboratoryjnych dla wybranego z katalogu ogranicznika warystorowego w celu sprawdzenia jego przydatności do pracy w sieci trakcyjnej.

Z przeprowadzonych analiz wynika, że najkorzystniejszym rozwiązaniem jest wyszukanie wśród producentów krajowych (BEZPOL, ABB Przasnysz, PELELECTRIC, APATOR Bydgoszcz) firmy która podjęła by się zmodyfikowania parametrów jednego ze swoich wyrobów, aby można było go zastosować do ograniczania przepięć w sieci trakcyjnej prądu stałego 3000 V.

REFERENCES

1. Ochrona przeciwprzepięciowa i przeciwporażeniowa w urządzeniach srk z elementami elektronicznymi, Praca CNTK nr 1002/24, 1994r.
2. Budowa i poligonowe badania prototypowego systemu ochrony przed przepięciami z ogranicznikami warystorowymi. IK 2011.
3. Budowa i poligonowe badania prototypowego systemu ochrony przed przepięciami z ogranicznikami warystorowymi. Część 2. Badania laboratoryjne. IK 2011.
4. Warystory tlenkowe, Wojciech Pytel, PEELECTRIC, publikacja na prawach rękopisu.
5. Źródła i charakterystyka zagrożeń przepięciowych, Zdobysław Flisowski, Materiały szkoleniowe f-my INEXIM, 1996.
6. Zakłócenia w urządzeniach elektronicznych, Alain Charoy, Zasady i porady instalacyjne, WNT, Warszawa, 2000.
7. Анохов І. В. Про електромагнітну сумісність електрифікованих залізничних ліній постійного струму / І. В. Анохов, М. П. Бадьор, В. І. Гаврилюк, В. Г. Сиченко // Залізничний транспорт України. – 2000. – № 2. – С. 10-12.
8. Сиченко В. Г. Підтвердження відповідності контактної мережі: проблеми та досвід // Залізничний транспорт України. – 2004. – №4. – С. 36-38.

Received 10.07.2014.

External reviewer *Lezhnuk P. D.*

Kolejowa sieć trakcyjna narażona jest na działanie przepięć pochodzenia zewnętrznego (wyładowania atmosferyczne) i wewnętrznego (przebiecia komutacyjne). Na dzień dzisiejszy urządzeniem, które chroni sieć trakcyjna przed przepięciami jest odgromnik różkowy, instalowany na konstrukcjach wsporczych sieci trakcyjnej. Ze względu na wysoki próg zadziałania odgromnik różkowy nie jest w stanie ograniczyć amplitud wszystkich przepięć, jakie mogą występować w sieci trakcyjnej, dotyczy to przede wszystkim przepięć komutacyjnych. Przedstawiony stan ochrony przeciwprzebieciowej sieci trakcyjnej i urządzeń z nią związanych nie zapewnia w pełni ochrony rozbudowanych urządzeń elektronicznych, które instalowane są na liniach kolejowych. Wobec tego koniecznością staje się zbudowanie nowoczesnego systemu ochrony, opartego na elementach półprzewodnikowych. Aby ten system mógłby być zaprojektowany i wdrożony muszą zostać zrealizowane badania typu podstawowego, ponieważ aktualny stan wiedzy zawartej na ten temat w literaturze nie jest wystarczający. Autorzy referatu oferują kilka rozwiązań technicznych w zakresie ochrony sieci trakcyjnej przed przepięciami. Pokazano, że najkorzystniejszym rozwiązaniem jest wyszukanie wśród producentów krajowych firmy która podjęła by się zmodyfikowania parametrów jednego ze swoich wyrobów.

Słowa kluczowe: Układ napędowy, prądu stałego, uderzenie pioruna, przełączania zabezpieczenie, przeciwprzebieciowe.

УДК 621.331.3

A. БЯЛОНЬ, Ю. ФУРМАН, А. КАЗИМЕРЧАК, М. ЛАСКОВСКИЙ (ИНСТИТУТ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ, ПОЛЬЩА)

Институт залізничного транспорту, 04-275 Варшава, Польша, вул. Хлопичького 50, тел.: +48 22 4731453, факс: +48 22 4731036, ел. пошта: abialon@ikolej.pl

ПРОБЛЕМАТИКА ЗАХИСТУ ТЯГОВОЇ МЕРЕЖІ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ 3 КВ ВІД ПЕРЕНАПРУГИ

Тягова мережа піддається впливам зовнішнього (блискавки) і внутрішнього походжень (комутаційних перенапруг). В даний час тим пристроєм, який захищає мережу від перенапруг є роговий розрядник, який встановлюється на несучі конструкції контактних мереж. Через високі значення напруги спрацьовування розрядник не в змозі зменшити амплітуду всіх перенапруг, які можуть існувати в контактній мережі, це стосується в основному комутаційних перенапруг. Представлено стан захисту контактної мережі від перенапруги. Показано, що розрядники не забезпечують повний захист складних електронних пристроїв, встановлених на залізничних лініях. Таким чином, назріла необхідність створення сучасної системи захисту, заснованої на напівпровідникових пристроях. Для того, щоб ця система була розроблена і впроваджена, необхідні додаткові дослідження, тому що сучасний рівень знань, наявний в літературних джерелах є недостатнім. Автори статті пропонують кілька технічних рішень для захисту контактної мережі від перенапруг. Показано, що кращим рішенням є пошук серед вітчизняних виробників такої компанії, яка могла б модифікувати параметри одного зі своїх продуктів.

Ключові слова: тягова мережа, постійний струм, блискавка, комутаційні перенапруги, захист.

Внутрішній рецензент *Сиченко В. Г.*

Зовнішній рецензент *Лежнюк П. Д.*

УДК 621.331.3

A. БЯЛОНЬ, Ю. ФУРМАН, А. КАЗИМЕРЧАК, М. ЛАСКОВСКИЙ (ИНСТИТУТ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА, ПОЛЬЩА)

Институт железнодорожного транспорта, 04-275 Варшава, Польша, ул. Хлопичького 50, тел.: +48 22 4731453, факс: +48 22 4731036, эл. почта: abialon@ikolej.pl

ПРОБЛЕМАТИКА ЗАЩИТЫ ТЯГОВОЙ СЕТИ ПОСТОЯННОГО ТОКА 3 КВ ОТ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ

Тяговая сеть подвергается воздействиям внешнего (молнии) и внутреннего происхождений (коммутационных перенапряжений). В настоящее время тем устройством, которое защищает сеть от перенапряжений, является роговой разрядник, который устанавливается на несущие конструкции контактных сетей. Из-за высокого значения напряжения срабатывания разрядник не в состоянии уменьшить амплитуду всех перенапряжений, которые могут существовать в контактной сети, это касается в основном коммутационных перенапряжений. Представлено состояние защиты контактной сети от перенапряжения. Показано, что разрядники не обеспечивают полную защиту сложных электронных устройств, установленных на железнодорожных линиях. Таким образом, назрела необходимость создания современной системы защиты, основанной на полупроводниковых устройствах. Для того, чтобы эта система была разработана и внедрена, необходимы дополнительные исследования, потому что современный уровень знаний, имеющийся в литературных источниках является недостаточным. Авторы статьи предлагает несколько технических решений для защиты контактной сети от перенапряжений. Показано, что лучшим решением является поиск среди отечественных производителей такой компании, которая могла бы модифицировать параметры одного из своих продуктов.

Ключевые слова: тяговая сеть, постоянный ток, молния, коммутационные перенапряжения, защита.

Внутренний рецензент *Сыченко В. Г.*

Внешний рецензент *Лежнюк П. Д.*