

Andrzej BIAŁOŃ, Łukasz ZAWADKA

# PROBLEMATYKA OPRACOWANIA SYSTEMU OCHRONY SIECI TRAKCYJNEJ PRZED PRZEPIĘCIAMI W OPARCIU O WARYSTOROWE OGRANICZNIKI PRZEPIĘĆ

*W artykule opisano zagadnienia związane z ochroną sieci trakcyjnej 3 kV DC przed przepięciami pochodzącymi od wyładowań atmosferycznych i procesów komutacyjnych. Zwięźle uwidoczono problemy wynikające z istnienia tych przepięć, ich źródeł i przedstawiono aktualny stan ochrony przed tymi przepięciami. Omówiono koncepcję ochrony przed przepięciami z wykorzystaniem warystorowych ograniczników przepięć. Zaprezentowano wyniki badań nowego systemu ochrony przed przepięciami.*

## WSTĘP

Rozpatrując aspekt podatności elementów elektrycznych, działających w środowisku kolejowym na oddziaływanie przepięć można stwierdzić, że sieć trakcyjna jest najbardziej na nie narażona. Problematyka obecności przepięć w sieci trakcyjnej i jej ochrony od niepożądanych skutków zjawisk przepięciowych jest złożona. Główne przyczyny powstawania przepięć to procesy komutacyjne (tworzące się w wyniku przełączeń dokonywanych w obwodach podstacji trakcyjnej i w obwodach pojazdów trakcyjnych) oraz wyładowania atmosferyczne. Generowane przepięcia są bardzo często źródłem napięciowych oraz prądowych sygnałów zakłócających, które mogą spowodować uszkodzenie urządzeń połączonych z torem. Urządzeniem, które chroni sieć trakcyjną przed przepięciami, na liniach zarządzanych przez PKP PLK S.A. jest odgromnik rożkowy, instalowany na konstrukcjach wsporczych sieci trakcyjnej w odstępach wynoszących około 1200m lub w obszarach zwiększonej aktywności burzowej - około 600m. Ze względu na wysoki próg zadziałania odgromnika rożkowego, który w warunkach eksploatacyjnych mieści się w granicach 20-30kV, wyraźnie uwidoczniła się potrzeba ograniczania przepięć na znacznie niższym poziomie niż dotychczas. Ma to głównie związek z zapewnieniem odpowiedniego poziomu ochrony dla rozbudowanych urządzeń elektronicznych, które coraz częściej instalowane są na liniach kolejowych.

Obszar i poziom oddziaływania tego typu zakłóceń nie jest w pełni rozpoznany i w związku z tym w Instytucie Kolejnictwa przeprowadzono badania o charakterze nowatorskim, mające na celu: określenie warunków propagacji przepięć w tokach szynowych toru kolejowego, określenie tłumienności przepięć w sieci trakcyjnej w funkcji drogi oraz opracowanie nowego systemu ochrony sieci trakcyjnej przed przepięciami.

## 1. POMIARY PROPAGACJI PRZEPIĘĆ

Badania propagacji impulsów w torze dotyczyły oceny stopnia tłumienia amplitud impulsów udarowych w funkcji odległości od generatora dla toru otwartego (jednorodnego), oraz gdy do toru przyłączane były kolejno elementy takie jak:

- zwarcie międzytokowe,
- dławik torowy,

- separator liniowego bezzłączowego obwodu torowego,
- odbiorniki i nadajniki bezzłączowych obwodów torowych SOT-1 i SOT-2.

Zbadano również stopień tłumienia impulsów udarowych wprowadzanych z liny uszynienia grupowego poprzez ogranicznik niskonapięciowy TZD 1N/1T-15 do toru.

Przeprowadzone pomiary pozwoliły na sformułowanie następujących wniosków:

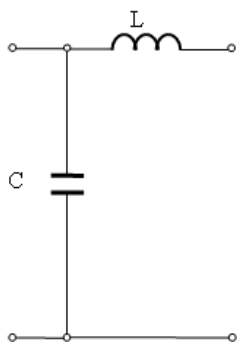
- dla elektrycznych przebiegów udarowych tor należy traktować jako symetryczną linię długą posiadającą rozłożone parametry L, R, C i G;
- tor wykazuje charakter indukcyjny, ponieważ fala napięciowa wyprzedza prąd płynący w toku szynowym;
- o wartości tłumienia amplitudy impulsu udarowego w toku szynowym decyduje indukcyjność i rezystancja szyn wraz z uwzględnieniem efektu naskórkowości oraz konduktancja toków szynowych względem ziemi;
- tłumienie amplitudy przepięć w torze otwartym jest niewielkie;
- dołączane do toru elementy o stałych skupionych (np. zwarcie rezystancyjne, separator liniowego bezzłączowego obwodu torowego, nadajnik bezzłączowego obwodu torowego, dławik torowy) powodują w tym miejscu zaburzenie jednorodności toku szynowego, jako linii długiej, co skutkuje wzrostem tłumienia impulsów udarowych w tych miejscach;
- zwarcie rezystancyjne toków szynowych toru dobrze tłumia amplitudę udaru a prąd udaru prawie całkowicie zamyka się przez zwarcie;
- separator liniowego bezzłączowego obwodu torowego przyłączony do toru w znacznie mniejszym stopniu tłumia amplitudę udaru niż zwarcie rezystancyjne;
- przyłączony do toru nadajnik bezzłączowego obwodu torowego, którego wyjście chronione jest układem przeciwprzepięciowym typu MER-221701 tłumia amplitudę udaru podobnie jak zwarcie rezystancyjne; możliwość pochłaniania energii impulsu udarowego przez ten układ ochronny jest znacznie mniejsza niż zwarcia rezystancyjnego;
- dławik torowy przyłączony do toru tłumia impulsy udarowe w torze w niewielkim stopniu;
- miejsce przyłączenia uszynienia grupowego stanowi źródło zaburzeń przepięciowych w torze.

W następnej kolejności wykonano pomiary tłumienności prądów w sieci trakcyjnej dla trzech konfiguracji: odcinek sieci bez obciążenia (sieć otwarta), odcinek sieci obciążony rezystancją 240Ω i 120Ω, odcinek sieci obciążony warystorem niskonapięciowym. Badania polegały na wprowadzaniu impulsów udarowych z generatora udarów do sieci trakcyjnej i rejestracji amplitud impulsów napięcia oraz prądu w charakterystycznych miejscach (w km 1,7, 2,7, 3,7, 4,7, 5,7, 6,7 i 7,7), między generatorem a końcem odcinka pomiarowego, zlokalizowanego na Okręgu Doświadczalnym Instytutu Kolejnictwa w Żmigrodzie.

Na podstawie zarejestrowanych oscylogramów napięciowych impulsów udarowych, opracowano charakterystyki tłumienności amplitud tych impulsów przez badany odcinek sieci trakcyjnej w funkcji drogi, z których wynioskowano, iż badany odcinek sieci trakcyjnej zachowuje się jak typowa linia długa dla propagowanych sygnałów oraz, że sieć trakcyjna jednorodna (tzn. bez skrzyżowań, rozjazdów, odgałęzień itp.) w niewielkim stopniu tłumia napięciowe impulsy udarowe.

## 2. METODA OKREŚLENIA OPTIMALNEJ ODLEGŁOŚCI ROZMIESZCZANIA WARYSTOROWYCH OGRANICZNIKÓW PRZEPIĘĆ

W celu ustalenia optymalnej odległości pomiędzy kolejnymi warystorami instalowanymi na sieci trakcyjnej, należało przeprowadzić badania w różnych konfiguracjach pomiarowych, w których zmieniana będzie zarówno odległość pomiędzy warystorami, jak i miejsca doprowadzeń udarów. W związku z tym opracowano fizyczny model 8 km odcinka sieci trakcyjnej, zbudowanego z elementów o stałych skupionych, który w pełni odzwierciedla zjawiska w dziedzinie propagacji przepięć analogicznie, jak na rzeczywistej sieci trakcyjnej. Model ten składał się z 8 elementów indukcyjnych i 8 pojemności doziemnych. Na rysunku 1 przedstawiono układ elektryczny 1 kilometra sieci trakcyjnej w przyjętym modelu.



Rys. 1 Układ elektryczny modelu 1 km odcinka sieci trakcyjnej



Rys. 2 Sposób wykonania elementu indukcyjnego ( $L \approx 460 \mu\text{H}$ )

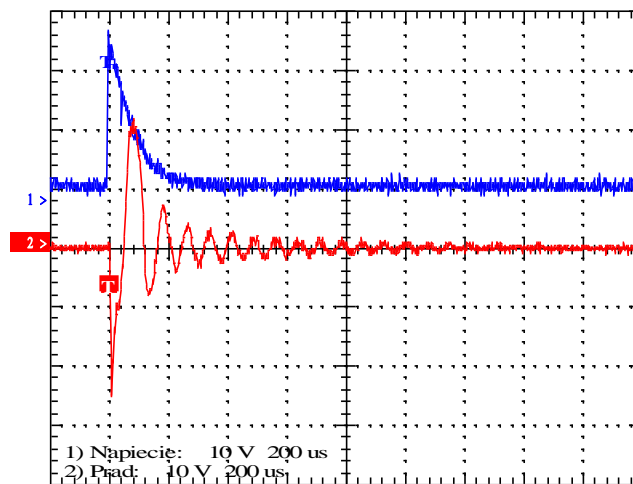
Indukcyjność jednokilometrowego odcinka sieci trakcyjnej stanowił dławik nawinięty na dobranym rdzeniu ferrytowym (rysunek 2). Pojemność doziemną jednokilometrowego odcinka sieci trakcyjnej została wykonana, jako kondensator płaski (rysunek 3). Wartość

rezystancji całego obwodu modelu była zbliżona do wartości rezystancji badanego odcinka sieci trakcyjnej w Żmigrodzie.



Rys. 3 Sposób wykonania elementu pojemnościowego ( $C \approx 10,5 \text{ nF}$ )

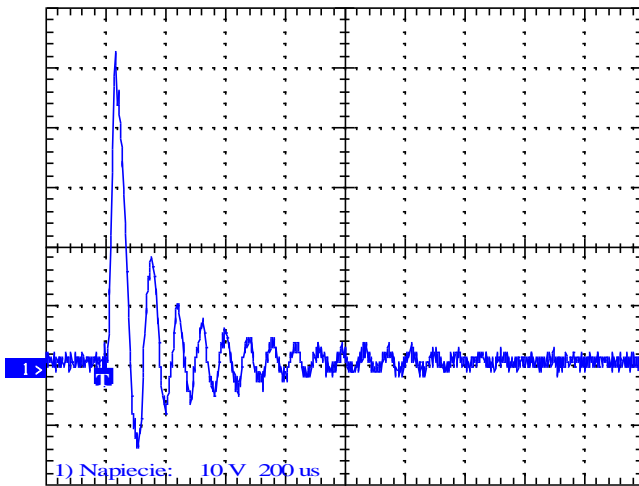
Badania modelu potwierdziły, że charakteryzuje się on właściwościami tożsamymi z odcinkiem sieci trakcyjnej, traktowanej pod względem parametrów elektrycznych, jako linia długa. Fakt ten potwierdzają oscylogramy przedstawione na rysunkach 4 i 5. Analizując te oscylogramy można zaobserwować dwukrotny wzrost amplitudy impulsu na wyjściu, w stosunku do amplitudy impulsu na wejściu modelu laboratoryjnego. Z powodu braku elementu stanowiącego obciążenie linii długiej na jej wyjściu wystąpiły oscylacje. Analogiczne oscylacje zaobserwowano podczas badań terenowych na nieobciążonej sieci trakcyjnej w Żmigrodzie. Świadczy to o porównywalnych właściwościach elektrycznych zarówno modelu laboratoryjnego, jak i rzeczywistego odcinka sieci trakcyjnej.



Rys. 4 Przebiegi prądu i napięcia impulsu udarowego zarejestrowane na wyjściu modelu odcinka sieci trakcyjnej

Jak wcześniej wspomniano dokładne zbadanie obszaru wzajemnego oddziaływania na siebie warystorowych ograniczników przepięć wymagało przeprowadzania pomiarów dla różnych konfiguracji, w których zmieniana będzie odległość pomiędzy warystorami a także miejsce doprowadzeń impulsów udarowych. W związku z tym przyjęto dwa warianty występowania udaru, w stosunku do usytuowania warystorów w opracowanym modelu:

1. udar w środku pomiędzy warystorami przy zmiennej odległości rozstawienia warystorów tj. 2, 4 i 6 km,
2. udar podany na wejście modelu, gdzie jeden z warystorów zainstalowany był na końcu modelu linii przy odległości pomiędzy warystorami 4 km.

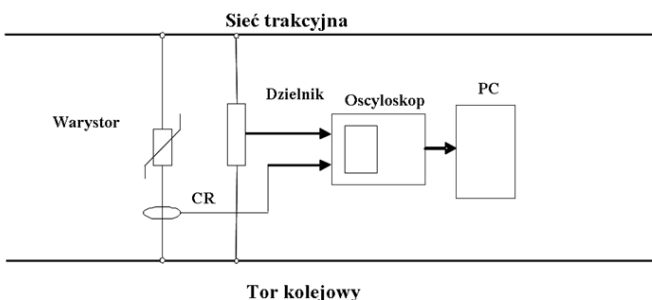


**Rys. 5** Przebieg napięcia impulsu udarowego zarejestrowany na końcu modelu odcinka sieci trakcyjnej

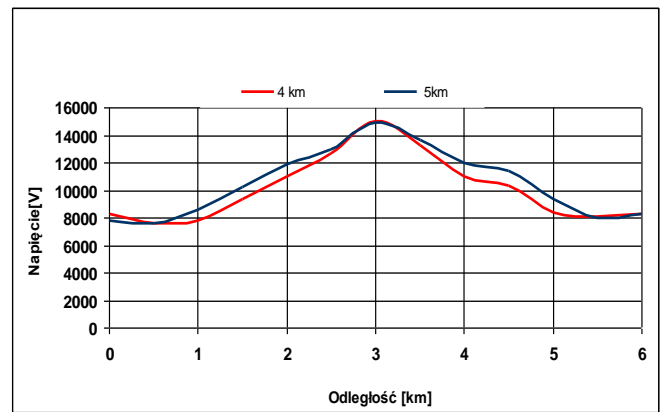
Uzyskane wyniki pozwoliły na wstępne oszacowanie wzajemnej odległości pomiędzy instalowanymi warystorami. Jednak z uwagi na zastosowanie warystorów niskonapięciowych i generatora o maksymalnej amplitudzie impulsu udarowego wynoszącej 6,9 kV otrzymane wyniki należało zweryfikować na rzeczywistej sieci trakcyjnej przy zastosowaniu generatora udarowego o amplitudzie około 15kV i warystorów, których parametry są dostosowane do pracy na sieci trakcyjnej. W związku z tym dla przyjętych wcześniej przypadków występowania udaru przeprowadzono badania na sieci trakcyjnej Okręgu Doświadczalnego IK w Żmigrodzie.

Generator udarów został zmontowany na platformie drezyny spalinowej, która w czasie wykonywania pomiarów nie zmieniała swojej lokalizacji. Na stanowisku tym za pomocą bezindukcyjnego dzielnika wysokonapięciowego 30 kV i oscyloskopu rejestrowano impulsy napięcia.

W miejscach zainstalowania warystorowych ograniczników przepięć, rejestrowano synchronicznie poziom ograniczanej amplitudy napięcia i prąd impulsu udarowego płynący przez ogranicznik, za pomocą bezindukcyjnego dzielnika wysokonapięciowego 30 kV i cewki Rogowskiego o przekładni napięciowo-prądowej 1 V/2500 A. (rysunek 6). Celem uzyskania dodatkowych informacji o rozkładzie amplitudy impulsu udarowego wzdłuż drogi w obu przypadkach postanowiono także rejestrować poziom amplitudy napięcia, co 500 m pomiędzy generatorem a warystorowymi ogranicznikami przepięć. Na podstawie zarejestrowanych oscylogramów opracowano charakterystyki tłumienia impulsu udarowego. Na rysunku 7 przedstawiono charakterystyki tłumienia impulsów udarowych w sieci trakcyjnej przy rozstawieniu warystorów 4 i 5 km (udar w środku pomiędzy warystorami - pierwszy wariant występowania udaru).

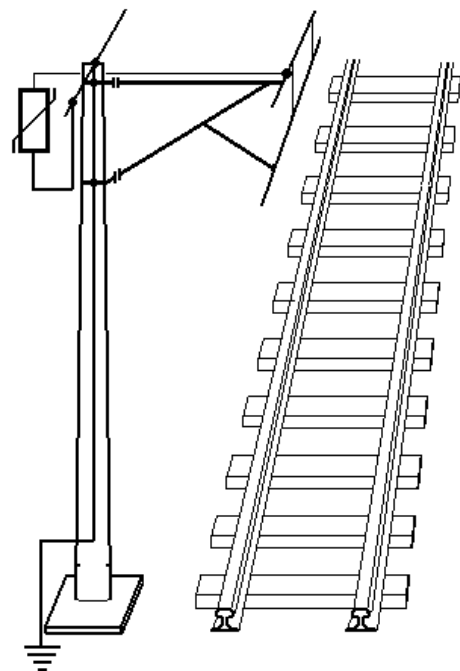


**Rys. 6** Schemat układu do rejestracji napięcia i prądu impulsów udarowych



**Rys. 7** Charakterystyki tłumienia impulsów udarowych w sieci trakcyjnej przy rozstawieniu warystorów 4 i 5

Charakterystyki tłumienia impulsów udarowych w sieci trakcyjnej przy rozstawieniach warystorów w odległości 4 lub 5 km między sobą mają podobny przebieg, jak charakterystyki otrzymane w badaniach laboratoryjnych. Przy takim rozstawieniu warystorów obserwuje się szybki wzrost tłumienia amplitudy przepięć w funkcji odległości. Tłumienie impulsu udarowego od miejsca udaru do miejsca przyłączenia warystorów do sieci ma przebieg liniowy. W prawej części charakterystyki (km 4,5) widać nieznaczny nieliniowość spowodowaną niejednorodnością sieci trakcyjnej, jako linii długiej (obecność dwóch wiaduktów). Na podstawie tych charakterystyk stwierdzono również, iż pomiędzy warystorami chroniącymi sieć trakcyjną od przepięć można by zwiększyć odległość do 6 km. Jednak ze względu na wymaganą pewność działania ochrony przeciwprzepięciowej w pierwszym etapie eksploatacji tego systemu zabezpieczeń, należy zachować maksymalną odległość między warystorami wynoszącą 4 km. Po uzyskaniu wstępnych doświadczeń eksploatacyjnych, można by próbować zwiększyć tę odległość do 6 km. Na rysunku 8 przedstawiono zaproponowany do przeprowadzenia prób eksploatacyjnych, sposób montażu warystorowego ogranicznika przepięć na konstrukcji wsporczej.



**Rys. 8** Sposób połączenia do sieci trakcyjnej warystorowego ogranicznika przepięć – uszynienie grupowe konstrukcji wsporczych (słup betonowy)

## PODSUMOWANIE

W toku działań inwestycyjnych na sieci PKP PLK S.A., ukierunkowanych głównie na modernizację odcinków linii kolejowych, gdzie istniejące urządzenia zasilania trakcji i sterowania ruchem kolejowym, zastępowane są nowoczesnymi urządzeniami o szczególnych rozwiązaniach technicznych, niezbędne jest zastosowanie odpowiedniego systemu ochrony przeciwprzebiegowej. System taki, oparty na warystorowych ogranicznikach przepięć, opracowano w Instytucie Kolejnictwa. Podstawowymi zaletami tego systemu są skuteczny i stabilny poziom ochrony sieci trakcyjnej oraz poprawa efektywności działania systemu zasilania. Korzyści ochrony przeciwprzebiegowej sieci trakcyjnej za pomocą warystorowych ograniczników przepięć zostały potwierdzone już w toku realizowanych badań na torze doświadczalnym w Żmigrodzie. Podczas tych badań zwrócono również uwagę na potrzebę instalowania w warystorowych ogranicznikach przepięć, stosowanych do ochrony sieci trakcyjnej, elementu zabezpieczającego przed trwałym zwarcie sieci trakcyjnej do obwodu powrotnego, który jednocześnie umożliwi łatwą identyfikację uszkodzenia warystora.

Przedstawiona laboratoryjna metoda określająca optymalne odległości rozmieszczania warystorowych ograniczników przepięć na sieci trakcyjnej, w oparciu o rzeczywisty model odcinka sieci trakcyjnej, zbudowany z elementów o stałych skupionych jest unikalnym rozwiązaniem. Rozwiązanie to znacznie uprościło całą procedurę badawczą i zostało opublikowane, jako własne osiągnięcie Zakładu Sterowania Ruchem i Teleinformatyki IK

## BIBLIOGRAFIA

1. Adamski D., Białoń A., Furman J., Kazimierczak A., Laskowski M., Zawadka Ł. – Badania tłumienności przepięć w sieci trakcyjnej 3kV DC „Logistyka” 3/2012
2. Adamski D., Białoń A., Furman J., Kazimierczak A., Laskowski M., Zawadka Ł. – Laboratoryjna metoda określania optymalnej odległości rozmieszczania warystorowych ograniczników przepięć na sieci trakcyjnej 3kV DC „Autobusy” 3/2013
3. Białoń A., Furman J., Ortel K., Zawadka Ł. – Zastosowanie warystorowych ograniczników przepięć do ochrony sieci trakcyjnej 3kV DC „Logistyka” 6/2014
4. Białoń A., Furman J., Laskowski M., Zawadka Ł. – Metodyka wyznaczania optymalnych odległości rozmieszczania warystorowych ograniczników przepięć chroniących sieć trakcyjną „XI Międzynarodowa Konferencja Modern Electric Traction” październik 2013
5. Budowa i poligonowe badania prototypowego systemu ochrony przed przepięciami z ogranicznikami warystorowymi. Etap1 Zbadanie i określenie na drodze pomiarowej tłumienności przepięć przez sieć trakcyjną w funkcji drogi. Część 1 Badania terenowe „praca IK” listopad 2011
6. Budowa i poligonowe badania prototypowego systemu ochrony przed przepięciami z ogranicznikami warystorowymi. Etap1 Zbadanie i określenie na drodze pomiarowej tłumienności przepięć przez sieć trakcyjną w funkcji drogi. Część 2 Badania laboratoryjne „praca IK” grudzień 2011
7. Budowa i poligonowe badania prototypowego systemu ochrony przed przepięciami z ogranicznikami warystorowymi. Etap2 Badania terenowe określające optymalne odległości rozmieszczenia warystorowych ograniczników przepięć „praca IK” czerwiec 2012

### Development issues of catenary surge protection system based on a varistor surge arresters

*The article presents an issue of determining an optimal distance between varistors located on 3 kV DC catenary. Line attenuation as a function of distance has been determined during preliminary tests for the following measurement configurations: catenary network unloaded (open), catenary network charged by a value of resistance close to the value of wave impedance of the catenary network test section, catenary network charged by a low voltage varistor. The results allowed to estimate the optimal distance between the varistors and they were verified on the catenary network on Żmigrod Test Ring using a surge generator with an amplitude of about 15 kV and varistors designed to work in railway environment. The methodology and results of these studies were presented and analyzed in this paper.*

Autorzy:

dr inż. **Andrzej Białoń** – Instytut Kolejnictwa, Zakład Sterowania Ruchem i Teleinformatyki

mgr inż. **Łukasz Zawadka** – Instytut Kolejnictwa, Zakład Sterowania Ruchem i Teleinformatyki

JEL: L94 DOI: 10.24136/atest.2018.034

Data zgłoszenia: 2018.05.17 Data akceptacji: 2018.06.15