



Andrzej BIAŁOŃ, Łukasz ZAWADKA, Mieczysław LASKOWSKI, Piotr PAJKA

KONCEPCJA OCHRONY SIECI TRAKCYJNEJ 3KV DC PRZED PRZEPIĘCIAMI POCHODZENIA ATMOSFERYCZNEGO I KOMUTACYJNEGO

Streszczenie

W artykule opisano zagadnienia związane z przepięciami występującymi w sieci trakcyjnej 3 kV DC. Pokazano problemy wynikające z istnienia tych przepięć, ich źródeł i przedstawiono aktualny stan ochrony przed tymi przepięciami. Przedstawiono nową koncepcję ochrony przed przepięciami z wykorzystaniem warystorów. Zaprezentowano wyniki badań nowego systemu ochrony przed przepięciami.

1. WPROWADZENIE

Kolejowa sieć trakcyjna narażona jest na działanie przepięć pochodzenia zewnętrznego (wyładowania atmosferyczne) i wewnętrznego (przepięcia komutacyjne). Na dzień dzisiejszy urządzeniem, które chroni sieć trakcyjną 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 20-30kV. Tak wysoki próg zadziałania odgromnika różkowego nie jest w stanie zapewnić odpowiedniego poziomu ochrony dla nowoczesnych urządzeń elektronicznych.

Wobec powyższego powstała koncepcja zastosowania warystorowych ograniczników przepięć do ochrony sieci trakcyjnej, które zapewniają bardziej stabilny i niższy poziom ochrony.

2. CHARAKTERYSTYKA STANU OBECNEGO

Wspomniane na wstępie odgromniki różkowe 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.

Ochrona przeciwprzebiegiowa 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 przebiegowych,
- duży rozrzut charakterystyki udarowej i jej zależność od warunków atmosferycznych,
- podczas zadziałania odgromnika rożkowego 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 odstępu pomiędzy elektrodami wyładowczymi odgromnika rożkowego, co ilustruje rysunek 1. Fakt ten powoduje znaczące podwyższenie napięcia ograniczania, ponieważ zależność wielkości szczeliny wyładowczej od napięcia zadziałania nie ma charakteru liniowego.



Rys.1.Nieprawidłowe rozstawienie elektrod wyładowczych w odgromniku rożkowym.

Przedstawiony stan ochrony przeciwprzebiegiowej sieci trakcyjnej i urządzeń z nią związanych nie zapewnia w pełni ochrony rozbudowanych urządzeń elektronicznych, które coraz powszechniej 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.

Podstawowe i najważniejsze badanie musi dotyczyć określenia tłumienności przepięć w sieci trakcyjnej. Bez znajomości tego parametru nie jest możliwe określenie optymalnej odległości rozmieszczenia warystorowych ograniczników przepięć.

3. POMIAR TŁUMIENNOŚCI AMPLITUDY PRZEPIĘĆ W SIECI TRAKCYJNEJ

Ze względu na dostępność i brak postronnego ruchu kolejowego badania postanowiono przeprowadzić na okręgu doświadczalnym Instytutu Kolejnictwa w Żmigrodzie. Długość odcinka sieci trakcyjnej, na którym przeprowadzono badania wynosiła 7760m (2 typy sieci: 2C120-2C-1 9 sekcji 7,28 tkm z izolacją 25 kV; YC150-2C150 jedna sekcja 1,09 tkm

z izolacją 25kV). Pomiary tłumienności przepięć w sieci trakcyjnej przeprowadzono dla trzech konfiguracji:

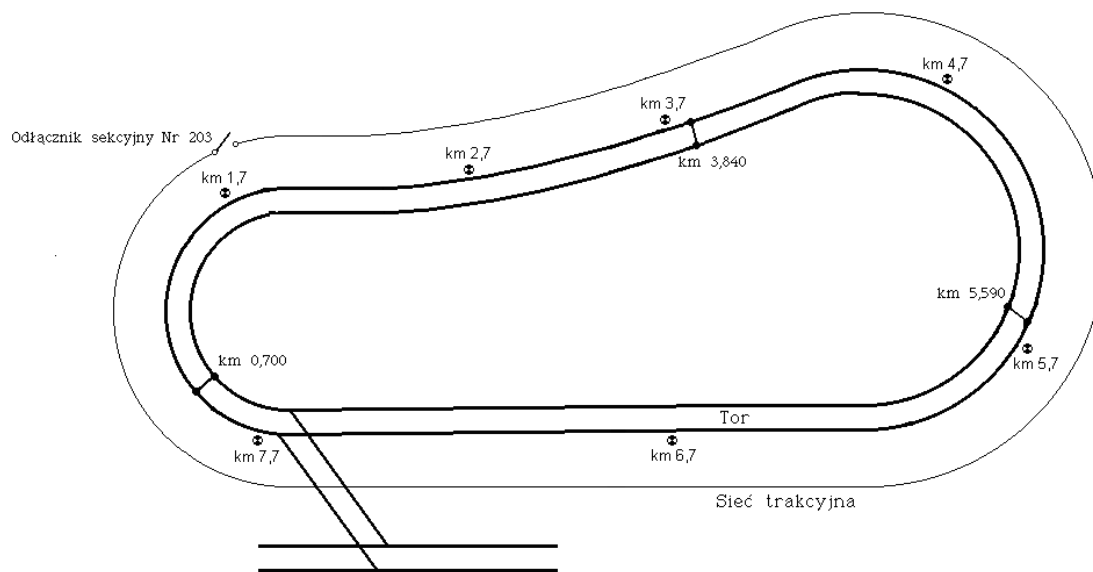
- odcinek sieci bez obciążenia (sieć otwarta),
- odcinek sieci obciążony rezystancją 240Ω i 120Ω,
- odcinek sieci obciążony warystorem niskonapięciowym typu BOP/R0,44/10.

Przed rozpoczęciem badań należało odpowiednio przygotować tor doświadczalny w celu zapewnienia pełnego bezpieczeństwa podczas przeprowadzania pomiarów. Badania tłumienności polegały na wprowadzaniu impulsów udarowych z generatora udarów do sieci trakcyjnej i rejestracji amplitud impulsów napięcia oraz prądu.

Rejestrację napięcia impulsu udarowego, dla wspomnianych konfiguracji odcinka sieci trakcyjnej (bez obciążenia, z obciążeniem rezystancyjnym i warystorowym) wykonano, co kilometr począwszy od generatora do końca odcinka sieci. Pozwoliło to zobrazować kształt impulsu udarowego i jego amplitudy w funkcji odległości od generatora udarowego. Na podstawie tych rejestracji opracowano charakterystyki tłumienności amplitud impulsów udarowych przez badany odcinek sieci trakcyjnej w funkcji drogi.

Ponadto dokonano rejestracji przebiegu amplitudy napięcia na początku odcinka pomiarowego oraz prądu udarowego na końcu badanego odcinka sieci trakcyjnej obciążonego rezystancją 120Ω i 240Ω. Pozwoliło to określić opóźnienie fali prądowej względem fali napięcia udarowego dla całego odcinka pomiarowego.

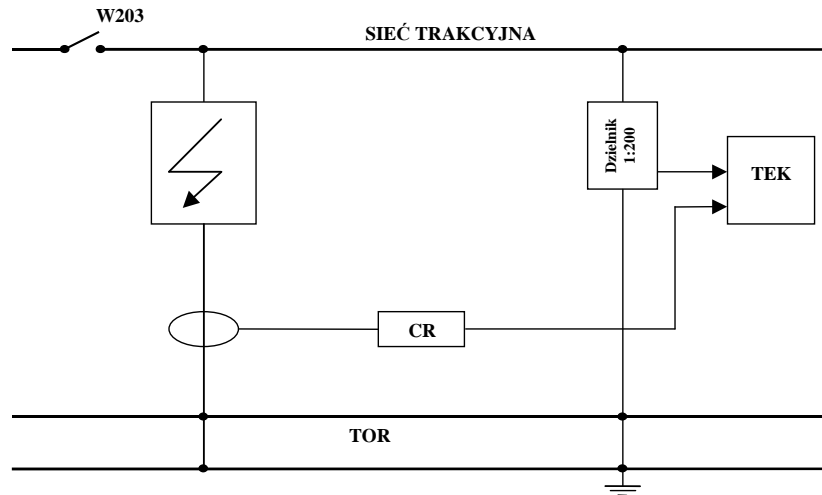
Użyty podczas badań generator udarowy spełniał wymagania norm europejskich. Jego rezystancja wyjściowa wynosiła 2Ω, maksymalny poziom napięcia impulsu udarowego wynosił 6,9kV, a czas trwania impulsów udarowych 1,2/50μs.



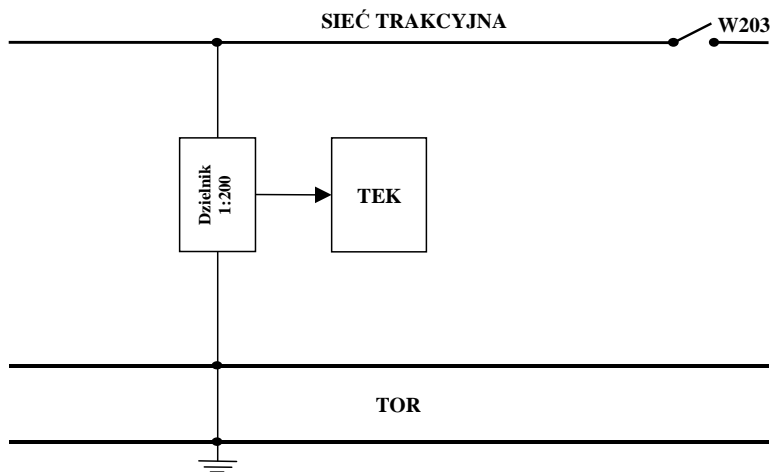
Rys.2. Schemat sieci trakcyjnej okręgu doświadczalnego Instytutu Kolejnictwa

Jak przedstawiono na rysunku 2 podczas przeprowadzania pomiarów sieć trakcyjna okręgu została rozwarta wyłącznikiem sekcyjnym nr 203 w pobliżu, którego zlokalizowano stanowisko stacjonarne z generatorem udarów. Na stanowisku tym za pomocą oscyloskopu rejestrowano impulsy napięcia i prądu na początku badanego odcinka sieci trakcyjnej. Natomiast z drugiej strony odłącznika 203 znajdowało się stanowisko ruchome, na którym rejestrowano impulsy napięcia na końcu odcinka sieci i w poszczególnych punktach pomiarowych. Układy pomiarowe przedstawiono na rysunkach 3 do 5, a poszczególne skróty oznaczają:

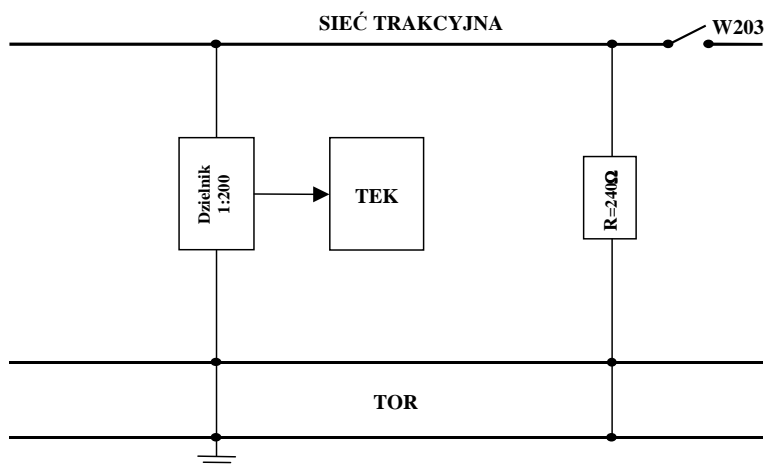
- TEK- dwukanałowy oscyloskop pomiarowy,
- CR- cewka Rogowskiego o przekładni napięciowo prądowej 400mV/A,
- W203- wyłącznik sekcyjny 203.



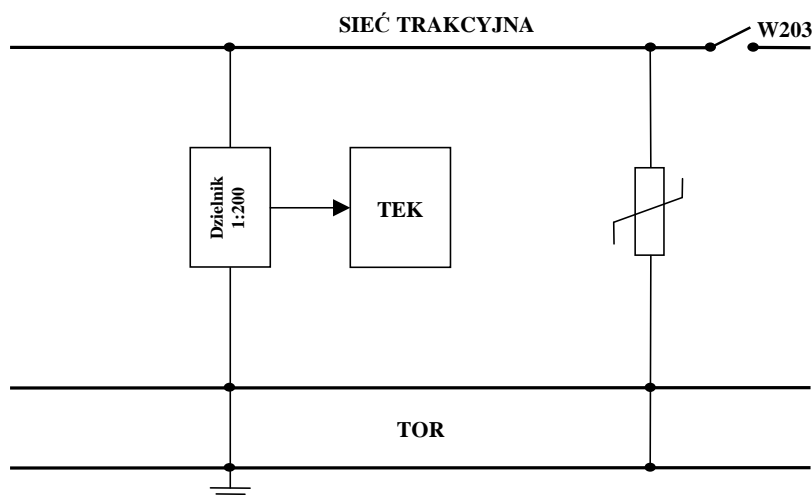
Rys.3. Układ pomiarowy na stanowisku generatora udarów.



Rys.4. Układ pomiarowy na końcu odcinka sieci trakcyjnej bez obciążenia.



Rys.5. Układ pomiarowy na końcu odcinka sieci trakcyjnej obciążonej rezystorem.



Rys.6. Układ pomiarowy na końcu odcinka sieci trakcyjnej obciążonej warystorem.

W celu wyeliminowania możliwości powstania błędów pomiarowych, które mogłyby być spowodowane obecnością niepożądanych sygnałów odłączono napięcie zasilania sieci trakcyjnej i po każdym pomiarze rozładowywano zgromadzoną energię w sieci trakcyjnej poprzez jej uszynianie.

Potencjałem odniesienia dla sygnałów wprowadzanych do sieci jak i dla sygnałów rejestrowanych w poszczególnych punktach były toki szynowe, dla których przyjęto założenie, że nie płyną w nich prądy wyrównawcze. Ewentualne indukowanie się sygnałów w tokach szynowych z powodu skończonej i wymiernej ich impedancji względem ziemi są pomijalne, przy uwzględnieniu stosunku amplitud sygnału użytecznego do ewentualnego sygnału zakłócającego.

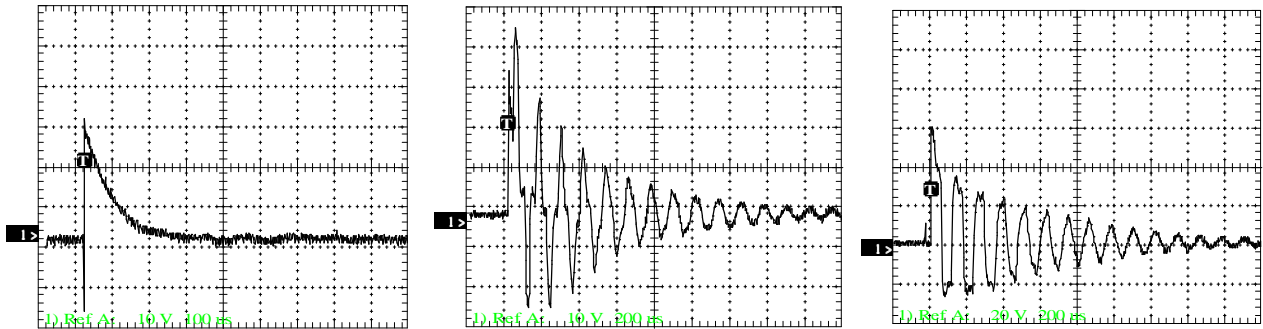
4. WYNIKI POMIARÓW

Na rysunku 7 przedstawiono przebieg zarejestrowanego impulsu napięcia dla pierwszego wariantu pomiarowego na początku odcinka sieci (stanowisko generatora udarów), 3 km za generatorem, oraz na końcu badanego odcinka. Wartość napięcia wprowadzonego udaru wynosiła 5900V.

Początek otwartego odcinka sieci trakcyjnej
(stanowisko generatora)

3 km za generatorem

Koniec otwartego odcinka sieci trakcyjnej



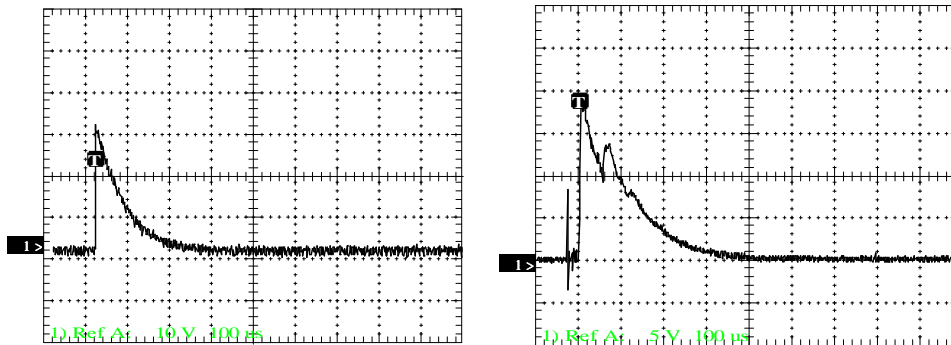
Rys.7. Przebieg napięcia impulsu udarowego dla odcinka sieci bez obciążenia (sieć otwarta)

Porównując amplitudy napięcia impulsów (rys.7) można wywnioskować, iż badany odcinek sieci trakcyjnej zachowuje się jak nieobciążona linia długa. Amplituda impulsu na końcu odcinka pomiarowego wzrosła z wartości 5,6kV do wartości 12,16kV, a wartość prądu udarowego na wyjściu generatora udarowego wyniosła 130A co dowodzi o występowaniu znacznej pojemności sieci trakcyjnej względem szyn. Indukcyjność i pojemność badanego odcinka sieci powoduje powstanie tłumionych oscylacji o częstotliwości około 8,5kHz.

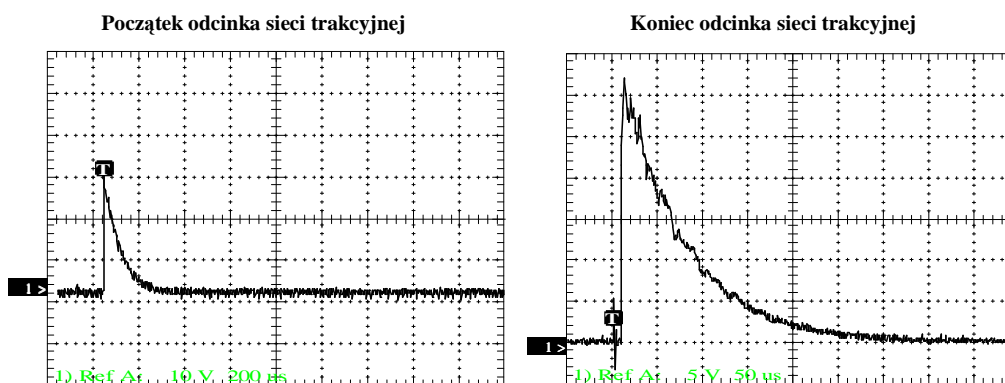
W drugim wariancie pomiarowym sprawdzono wpływ rezystancji załączonej na końcu odcinka pomiarowego, na wartość amplitudy impulsu udarowego mierzonej na tej rezystancji. Na rysunkach 8 i 9 przedstawiono wyniki rejestracji amplitudy napięcia udarowego odpowiednio na początku i końcu odcinka sieci trakcyjnej obciążonej rezystancją 120Ω, natomiast na rysunkach 10 i 11 dla odcinka sieci trakcyjnej obciążonej rezystancją 240Ω.

Początek odcinka sieci trakcyjnej

Koniec odcinka sieci trakcyjnej



Rys.8. Przebieg napięcia impulsu udarowego dla odcinka sieci trakcyjnej obciążonego rezystancją 120Ω

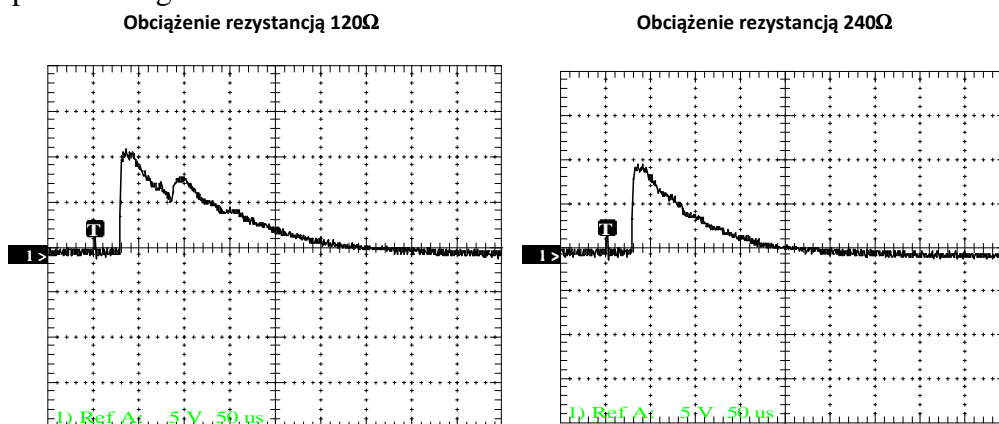


Rys.9. Przebieg napięcia impulsu udarowego dla odcinka sieci trakcyjnej obciążonego rezystancją 240Ω

Analizując oscylogramy przedstawione na rysunkach 8 i 9 można zauważyć, że w przypadku rezystancji obciążenia wynoszącej 120Ω , na końcu odcinka sieci uzyskano amplitudę $3,88\text{kV}$ przy poziomie amplitudy impulsu wejściowego $5,68\text{kV}$ (Rys.7 i Rys.8). Zatem wartość załączonej rezystancji nie jest równa impedancji falowej badanego odcinka sieci trakcyjnej. Natomiast dla rezystancji obciążenia 240Ω zmierzono amplitudę impulsu wynoszącą $6,4\text{kV}$ przy amplitudzie impulsu na wejściu wynoszącą $6,16\text{kV}$ (**Błąd! Nie można odnaleźć źródła odwołania.** i **Błąd! Nie można odnaleźć źródła odwołania.**). Porównując te wartości amplitud impulsów można stwierdzić, że rezystancja obciążenia 240Ω jest zbliżona do wartości impedancji falowej tego odcinka sieci. Niewielki wzrost amplitudy wyjściowej w stosunku do amplitudy wejściowej świadczy o niewielkim odbiciu fali napięciowej od rezystancji obciążenia. Występuje, zatem niedopasowanie oporności obciążenia do impedancji falowej i rzeczywista jej wartość jest mniejsza od 240Ω .

W ramach drugiego wariantu pomiarowego rejestrowano także wartości amplitud prądu wejściowego i prądu płynącego przez rezystancję obciążenia 120Ω i 240Ω . W obu przypadkach wartość amplitudy prądu wejściowego wynosiła 140A . Natomiast wartość amplitudy prądu przy obciążeniu rezystancją 120Ω wynosiła 28A a na obciążeniu 240Ω - 25A (

Rys.7). Tak znaczące różnice między amplitudami prądów wejściowych i wyjściowych spowodowane są upływnością przez pojemności między siecią trakcyjną a szynami wzdłuż odcinka pomiarowego.



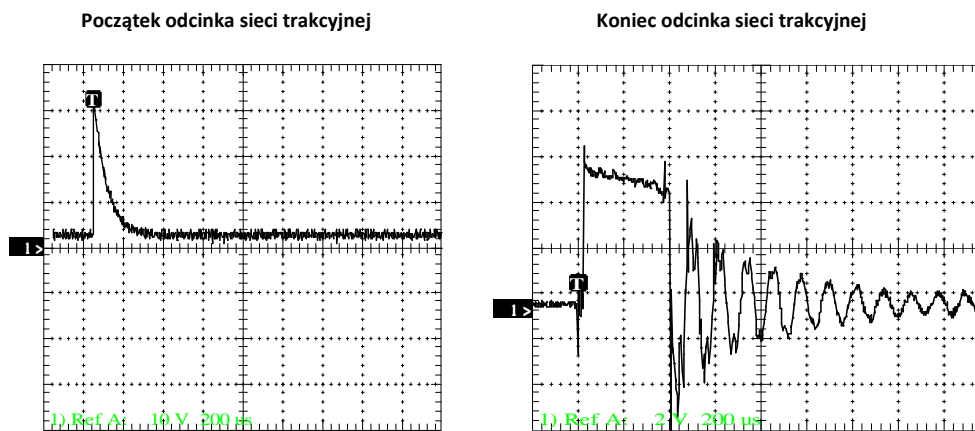
Rys.7. Przebieg amplitudy prądu na końcu odcinka sieci z obciążeniem rezystancyjnym

W ostatniej konfiguracji na końcu odcinka sieci zainstalowano warystorowy ogranicznik przepięć o następujących parametrach:

- znamionowy prąd wyładowczy 8/20 μ s.- 10 kA,
- maksymalny prąd wyładowczy 8/20 μ s.- 40 kA,
- napięcie trwałej pracy 440 V,
- napięciowy poziom ochrony przy 10 kA (8/20 μ s) – 1460 V.

Przy wyborze warystora kierowano się tym, aby można było zapewnić jego pełne przewodzenie przy maksymalnej amplitudzie impulsów, jakie może dostarczyć zastosowany generator.

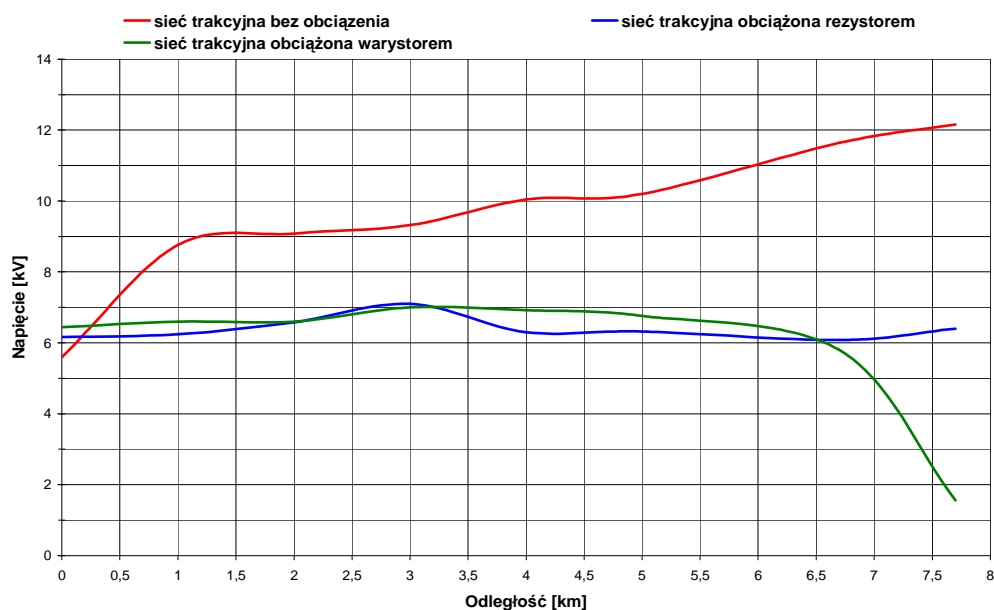
Z oscylogramów zawartych na rysunku 11 wynika, że warystor wszedł w stan przewodzenia. Zmierzona wartość amplitudy napięcia ograniczania wyniosła około 1560 V a amplitudy prądu płynącego przez warystor około 42 A. Po zaniku amplitudy napięcia impulsu udarowego warystor przechodził w stan nieaktywny i sieć trakcyjna zachowywała się jak sieć nieobciążona, świadczą o tym pojawiają się i zanikające oscylacje.



Rys.11. Przebieg napięcia impulsu udarowego dla odcinka sieci trakcyjnej obciążonego warystorem

5. KONCEPCJA OCHRONY SIECI TRAKCYJNEJ PRZED PRZEPIĘCIAMI

Jak wcześniej wspomniano sposób rozmieszczenia elementów ochrony przeciwprzepięciowej sieci trakcyjnej wymaga zrealizowania badań podstawowych, ponieważ dostępna literatura nie określa jednoznacznie rozkładu amplitud impulsów udarowych w funkcji drogi oraz wpływu niejednorodności występujących na sieciach trakcyjnych takich, jak np. kotwienia sieci trakcyjnej, rozjazdy sieciowe i wiadukty na rozkład tych impulsów. W związku z tym na podstawie przedstawionych wyników badań opracowano charakterystyki rozkładu amplitud impulsów udarowych (rysunek 12). Kolorem czerwonym oznaczono charakterystykę dla badanego odcinka sieci trakcyjnej bez obciążenia, kolorem niebieskim dla odcinka obciążonego rezystorem 240 Ω , natomiast kolorem zielonym przy obciążeniu warystorowym.



Rys.12. Rozkład amplitud impulsów udarowych w funkcji drogi dla badanego odcinka sieci trakcyjnej

Z załączonych charakterystyk przebiegu amplitud impulsów udarowych w funkcji drogi wynika, że badany odcinek sieci trakcyjnej zachowuje się jak typowa linia długa dla propagowanych sygnałów.

Ochrona sieci trakcyjnej przed przepięciami powinna być oparta na warystorowych ogranicznikach przepięć instalowanych na konstrukcjach wsporczych sieci trakcyjnej w pewnych odległościach od siebie. Biorąc pod uwagę fakt, że ograniczniki te są kilkukrotnie droższe od stosowanych obecnie odgromników różkowych, należy tą odległość ustalić na drodze doświadczalnej w celu jej optymalizacji.

W przypadku udaru piorunowego w pobliżu warystorowego ogranicznika przepięć zaczyna przez niego płynąć prąd uzależniony od amplitudy napięcia udaru i charakterystyki warystora. Ze względu na fakt, że charakterystyka prądowo-napięciowa warystora odbiega od idealnej charakterystyki ograniczania, na warystorze wystąpi spadek napięcia, którego amplituda będzie wyższa od oczekiwanej amplitudy ograniczania. Zatem ograniczona wartość przepięcia będzie się rozprzestrzeniać po sieci trakcyjnej, ponieważ tłumienność sieci trakcyjnej, zgodnie z rysunkiem 12 jest niewielka. Dlatego też następny warystor powinien tą amplitudę ograniczyć do wartości oczekiwanej.

Aby tą odległość określić niezbędne jest przeprowadzenie badań w różnych konfiguracjach pomiarowych, w których zmieniana będzie odległość pomiędzy warystorami w celu określenia ich optymalnej odległości rozstawienia. Należy również przeprowadzić badania dla różnych konfiguracji doprowadzeń udarów do sieci trakcyjnej. Należy podkreślić, że tego typu badania są bardzo pracochłonne i wymagać będą zastosowania generatora udarowego o amplitudzie impulsu co najmniej 15kV i dołączenia do sieci trakcyjnej warystorów które w przyszłości mogą być instalowane na sieci trakcyjnej.

6. PODSUMOWANIE

Na podstawie przedstawionych wyników badań można stwierdzić, że:

- rozpatrywany odcinek sieci trakcyjnej w wariancje bez obciążenia (linia otwarta) zachowuje się praktycznie jak jednorodna linia długa,
- najwyższa wartość amplitudy impulsu udarowego występuje na końcu otwartego odcinka sieci i osiąga niemal dwa razy większą wartość,

- brak jest istotnego wpływu parametrów sieci na tłumienie amplitud napięciowych impulsów udarowych na wybranym do badań odcinku sieci trakcyjnej.

Ponadto w celu wstępnego oszacowania odległości rozstawienia warystorowych ograniczników przepięć niezbędne wydaje się opracowanie modelu sieci trakcyjnej, przyjmując parametry badanego odcinka i przeprowadzenie badań laboratoryjnych, które w następnej kolejności należy powtórzyć i zweryfikować w warunkach rzeczywistych.

CONCEPT OF PROTECTION 3KV DC CONTACT LINE OF ATMOSPHERIC AND COMMUTATION SURGES

Abstract

The paper describes issues related to the surge occurring in the catenary 3 kV DC. Illustrated the problems arising from the existence of these surges, their sources, and presents the current state of protection against these surges. The paper presents a new concept of surge protection with varistor. The results of tests of the new system of protection against surges.

BIBLIOGRAFIA

1. Praca CNTK 1002/24: Ochrona przeciwprzepięciowa i przeciwporażeniowa w urządzeniach srk z elementami elektronicznymi, Warszawa, 1994.
2. Praca CNTK 4291/10: Opracowanie nowego systemu ochrony sieci trakcyjnej przed przepięciami, badania eksploatacyjne nowego systemu, określenie lokalizacji podłączenia ochrony od urządzeń sterowania trakcją i urządzeń sterowania ruchem. Etap1 Warszawa, 2007.
3. [3] Praca CNTK 3889/10: Budowa i poligonowe badania prototypowego systemu ochrony przed przepięciami z ogranicznikami warystorowymi Warszawa, 2012.

Autorzy:

dr inż. Andrzej BIAŁOŃ – Instytut Kolejnictwa - Zakład Sterowania Ruchem i Teleinformatyki,

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

dr inż. Mieczysław LASKOWSKI - Instytut Kolejnictwa - Zakład Sterowania Ruchem i Teleinformatyki,

mgr inż. Piotr PAJKA – Instytut Kolejnictwa - Zakład Sterowania Ruchem i Teleinformatyki,