

Zofia WRÓBEL¹

WYBRANE ZAGADNIENIA W MODELOWANIU ZAGROŻENIA PIORUNOWEGO SIECI TRAKCYJNYCH DLA USZYNIEŃ GRUPOWYCH W UKŁADZIE OTWARTYM

W referacie przedstawiono model odcinka sieci trakcyjnej z uszynieniami grupowymi w układzie otwartym przy uwzględnieniu wymuszenia o kształcie $8/20 \mu\text{s}$ dla udaru prądowego i $1,2/50 \mu\text{s}$ dla udaru napięciowego. Do analizy przyjęto 54 sekcje uszynienia grupowego. W tym celu opracowano modele poszczególnych elementów układu: sieć trakcyjna, sieć szynowa, słup, izolator, odgromnik, udar. Zaprezentowano możliwości symulacji przy zastosowaniu programu LTspice i wykazano celowość podejmowania problemu ochrony przepięciowej sieci trakcyjnych i urządzeń sterowania ruchem kolejowym. Przedstawiono wyniki modelowania impulsowych zaburzeń elektromagnetycznych wywołanych wyładowaniami atmosferycznymi, które stanowią poważne zagrożenie dla pracy elektronicznych urządzeń sterowania ruchem kolejowym i telekomunikacyjnych. Rozeznane możliwości programu symulacyjnego z zastosowaniem przedstawionych modeli elementów sieci trakcyjnych mają charakter poznawczy i zostaną wykorzystane do dalszej analizy i oceny zagrożenia układów zasilających urządzenia srk powodowanych zwarciami i przepięciami pochodzenia atmosferycznego. Otrzymane wyniki symulacji komputerowych mogą stanowić narzędzie wspomagające pomiary i projektowanie ochrony przepięciowej.

Słowa kluczowe: sieć trakcyjna, sieć szynowa, słup, izolator, odgromnik, udar.

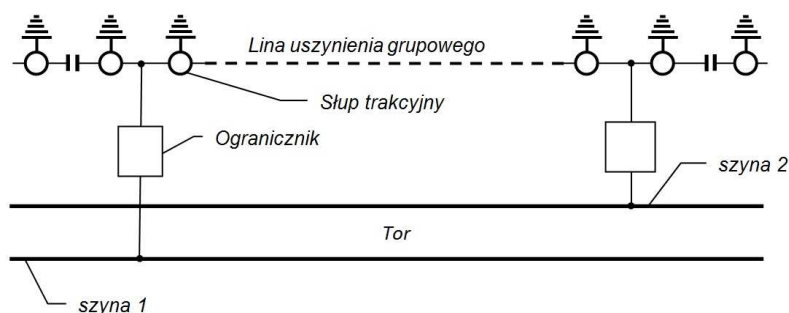
1. Wprowadzenie

System uszynień grupowych w układzie otwartym powinien zapewniać wyłączalność zwarć będących następstwem uszkodzeń izolacji głównej sieci trakcyjnej (zerwaniem przewodów sieci jezdnej i opadnięciem na konstrukcje włączone do uszynienia grupowego). Powinien również powodować zmniejszenie potencjałów międzytorowych i potencjałów szyn względem ziemi do wartości bezpiecznych szczególnie przy powstaniu przerwy w powrotnej sieci trak-

¹ Zofia Wróbel, PKP PLK S.A., Zakład Linii Kolejowych w Rzeszowie, 35-005 Rzeszów, ul. Batorego 26, tel.17 7111343, zwrobel@prz.edu.pl

cyjnej. W wyniku takich oddziaływań, elektroniczne urządzenia sterowania ruchem kolejowym są narażone na częste uszkodzenia oraz mogą one powodować błędy przy przesyłaniu sygnałów. Uszkodzeniu ulegają elementy urządzeń srk, a nawet zniszczone zostają kompletne urządzenia.

System uszynień grupowych w układzie otwartym składa się z sekcji o długości $2,5 \div 3,5$ km. Ogólny schemat przyjętego do obliczeń modelu sieci zasilającej i powrotnej przedstawiono na rysunku 1 [4, 5]. W układzie tym wszystkie konstrukcje wsporcze sieci trakcyjnej są elektrycznie połączone liną, której końce poprzez ograniczniki niskonapięciowe wielokrotnego działania i przewody w izolacji są połączone do szyny. Konstrukcje wsporcze sekcji uszynienia grupowego są uziemione indywidualnie.



Rys.1. Fragment systemu uszynienia grupowego w układzie otwartym [4, 5]

Fig. 1. The schema of the group connection to the rail system in the open lay-out [4, 5]

W stanie pracy normalnej ograniczniki stanowią izolację pomiędzy liną uszynienia grupowego a szynami toru kolejowego. Uszkodzenie izolacji sieci jezdnej powoduje zadziałanie ograniczników, które przechodząc w stan przewodzenia zamykają pętlę zwarciovą.

2. Model układu

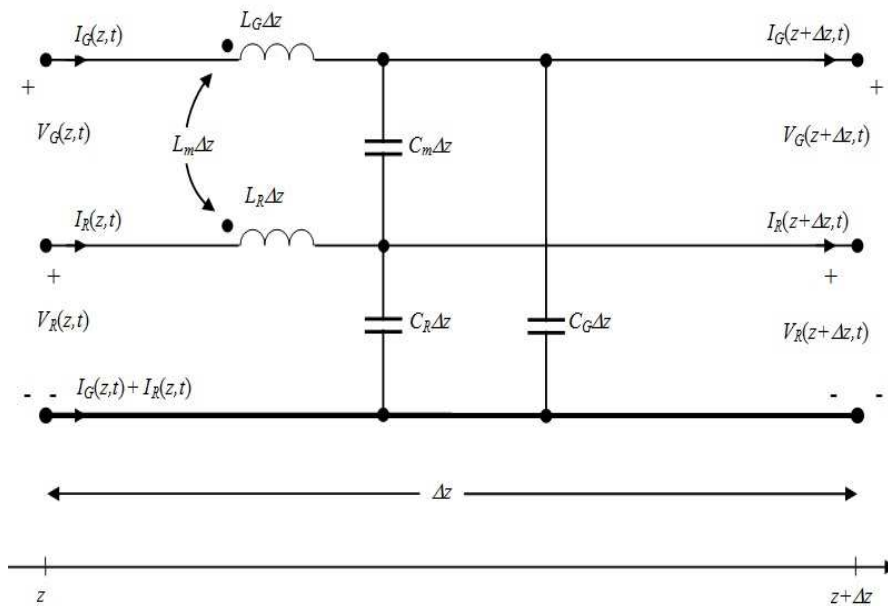
Do modelowania przyjęto jedną sekcję uszynienia grupowego zawierającą 54 odcinki. Długość odcinków odpowiadającą odległości pomiędzy słupami trakcyjnymi przyjęto równą 64 m [7].

W modelowaniu uwzględniono pięć przewodów: linę uszynienia grupowego, linę nośną, sieć trakcyjną oraz dwa przewody jako szyny. Dodatkowo wprowadzono połączenia wyrównawcze pomiędzy szynami co około 300 m [18, 19]. Do analizy przyjęto, że prędkość rozchodzenia się fal jest równa prędkości światła oraz nie uwzględniono odbić fal prądowych od szczytu kanału wyładowania [17].

2.1. Model wieloprzewodowej linii bezstratnej

W analizie linii wieloprzewodowych podstawowym założeniem jest przyjęcie rozchodzenia się linii pola elektromagnetycznego w postaci poprzecznej fali TEM (ang. Transverse Electro-Magnetic) [9]. Oznacza to, że wektory natężenia pól elektrycznego i magnetycznego są do siebie prostopadłe i leżą w płaszczyźnie (xy) oraz są prostopadłe do kierunku rozchodzenia się fali (z). Straty w linii powstają w wyniku dwóch mechanizmów: strat w przewodach (straty podłużne) i strat w otaczającym ośrodku (straty poprzeczne). Dla wyznaczenia parametrów sprzężenia indukcyjnego i pojemnościowego, można pominąć straty w formułowaniu równań wieloprzewodowej linii długiej (MTL - Multiconductor Transmission Lines). Upraszcza to rozwiązanie i daje podstawy do dokładnego wyznaczenia parametrów sprzężenia. Aby uzyskać równania wieloprzewodowej linii długiej wyznacza się jednostkowy, równoważny układ sekcji o długości Δz , jak przedstawiono na rysunku 2. Wzajemnie sprzężone przewody (G) i (R) mają te same parametry jednostkowe: indukcyjności L_G i L_R i wzajemną jednostkową indukcyjność L_m .

Jako założenia upraszczające do analizy przyjęto, że prędkość rozchodzenia się fal jest równa prędkości światła i nie uwzględniono odbić fal prądowych.



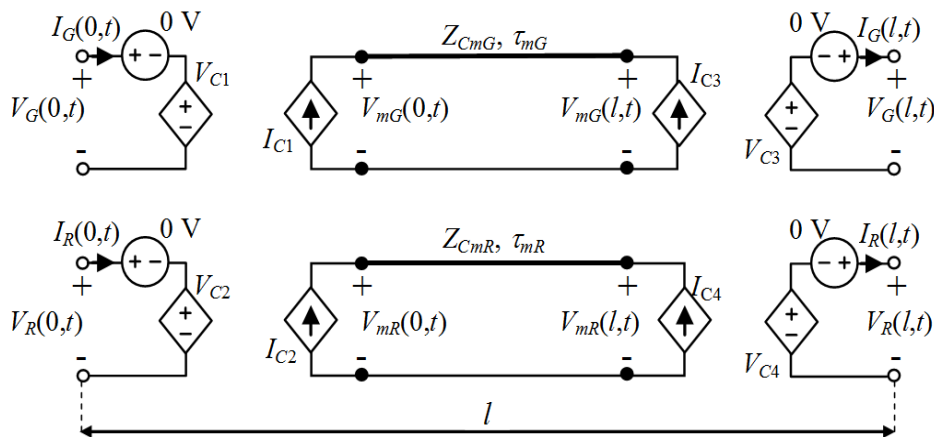
Rys. 2. Jednostkowa sekcja elementarna dwuprzewodowej linii bezstratnej [9]

Fig.2. The individual elementary section of the loss-free two-wire line [9]

Prądy wzdlużne wytwarzają strumień magnetyczny przenikający każdą z pętli utworzoną przez przewód i przewód odniesienia oraz indukcyjność wynikającą z prawa Faraday'a. Napięcia pomiędzy każdym przewodem a przewodem odniesienia wytwarzają ładunki w liniach. Generuje to pole elektryczne pomiędzy każdą z par tych przewodów i jest reprezentowane przez pojemności linii.

Jednostkowe pojemności i konduktancje własne przewodów względem przewodu odniesienia definiowane są odpowiednio przez C_G i C_R a jednostkowa pojemność wzajemna przez C_m . Wyznaczenie parametrów L i C linii długiej przy uwzględnieniu parametrów jednostkowych i zastosowaniu równań analizy obwodów elektrycznych, oraz założeniu, że $\Delta z \rightarrow 0$ omówiono w [9].

Równania MTL w postaci macierzowej mają identyczną postać, jak równania dla dwóch przewodów linii. Rozwiązanie tych równań daje podobne wyniki, ale w postaci macierzowej. Właściwość ta pozwala na modelowanie i rozwiązanie układu linii składających z więcej niż z dwóch przewodów [8, 9]. Model odcinka linii w programie SPICE dla dwóch przewodów przedstawiono na rysunku 3. Równania opisujące ten model odcinka linii można rozwiązać poprzez eliminację sprzężenia pomiędzy przewodami. Pozwala to na zredukowanie pary przewodów do obwodu o dwóch przewodach, bez oddziaływań wzajemnych.

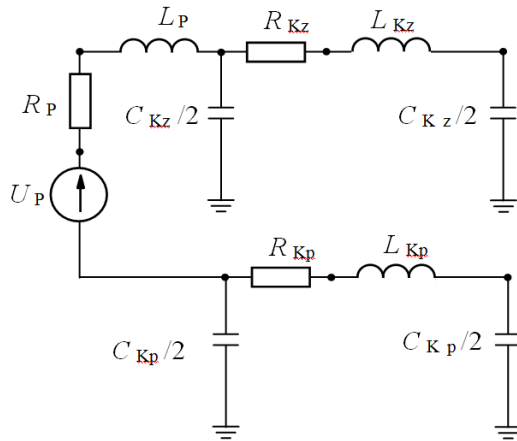


Rys. 3. Model dwuprzewodowej linii długiej z wykorzystaniem źródeł sterowanych w programie SPICE [9]

Fig.3. The SPICE model for a two-conductor line with the utilization of controlled source [9]

2.2. Model podstacji

W analizie modelu podstacji (rys. 4) przyjęto następujące parametry: napięcie podstacji $U_p = 3450$ V, indukcyjność podstacji i systemu zasilania $L_p = 4,774$ mH [2]. Parametry kabla powrotnego i zasilającego wprowadzono zgodnie z wynikami pomiarów zamieszczonymi w pracy [2] dla częstotliwości 10 kHz i długości kabla 200 m jako: $R_{Kz} = R_{Kp} = 3 \Omega$, $L_{Kz} = L_{Kp} = 0,13$ mH, $C_{Kz} = C_{Kp} = 0,4 \mu\text{F}$.



Rys. 4. Uproszczony schemat podstacji trakcyjnej i połączeń kablowych [2]

Fig. 4. The scheme of the substations and connections cable [2]

2.3. Model słupa

Dla analizy przepięć pochodzenia atmosferycznego model słupa może być reprezentowany przez szeregowe połączenie indukcyjności i rezystancji. Przyjmując indukcyjność jednostkową $L_0 = 1,67 \mu\text{H/km}$ wyliczoną ze wzoru:

$$L = 0,2 \mu_r \frac{2h}{r} \quad [\mu\text{H/km}] \quad (1)$$

gdzie: μ_r - przenikalność magnetyczna względna (dla powietrza $\mu_r = 1$)

h - wysokość słupa

r - promień słupa

otrzymano indukcyjność słupa $L = 13,7 \mu\text{H}$. Dla uszynień grupowych rezystancja uziemienia słupa wynosi $R = 50 \Omega$ [7].

2.4. Odgromniki, iskierniki i zwierniki

W analizie jako model izolatora uwzględniono wyłącznik sterowany napięciem 90 kV. Model odgromnika rożkowego wprowadzono natomiast jako wyłącznik sterowany napięciem o wartości napięcia przeskoku 23,8 kV i powietrznej przerwie o rezystancji 100 MΩ.

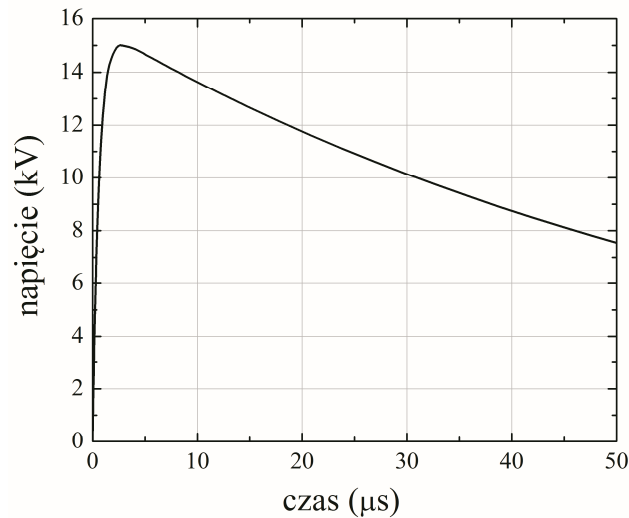
Stosowane do ochrony sieci trakcyjnej odgromniki rożkowe są instalowane co 1200 m lub 600 m (dla terenów o dużej intensywności burzowej, więcej niż 30 dni w roku). W analizie uwzględniono odległości 600 m [3].

Stosowane w uszynieniach grupowych zwierniki można zamodelować jako odpowiednio wyłącznik napięciowy o napięciu 120 V i prądowy o wartości prądu 15 kA [4, 5].

3. Wymuszenia udarowe.

Poziomy odporności na udary urządzeń srk są określone w normie PN-EN50121-4, 2008(U) [10]. Jednym z proponowanych do badań udarów w normie PN-EN 61000-4-5 (2010) [11, 16] jest udar napięciowy 1,2/50 μs. Kształt udaru napięciowego 1,2/50 μs przybliżono przebiegiem dwuwykładniczym wyznaczonym wzorem [6]:

$$u(t) = 1,0354 U_m [\exp(-1,478 \cdot 10^4 t) - \exp(-1,635 \cdot 10^6 t)] \quad (2)$$



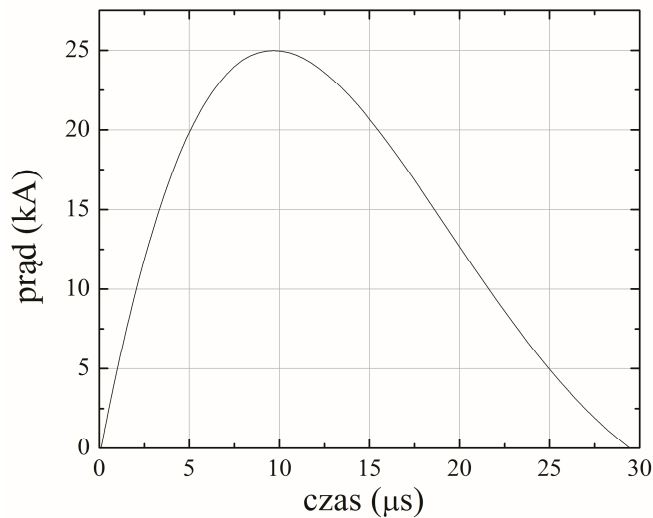
Rys. 5. Udar napięciowy 1,2/50 μs dla $U_m = 15$ kV

Fig. 5. Surge voltage of 1.2/50 μs for $U_m = 15$ kV

W stanie zwarcia z generatora udaru napięciowego 1,2/50 μs otrzymuje się przebieg prądu 8/20 μs .

Parametry udaru prądowego 8/20 μs określono wzorem [1]:

$$i(t) = 2,18 I_m [\exp(-0,065 \cdot 10^6 t) * \sin(0,107 \cdot 10^6 t)] \quad (3)$$



Rys. 6. Udar prądowy 8/20 μs dla $I_m = 25 \text{ kA}$

Fig. 6. Current surge 8/20 μs for $I_m = 25 \text{ kA}$

W programie LTSPICE, model udaru wyznaczony zależnością (3) opisano instrukcją `.subckt UDAR` jako źródło prądowe sterowane napięciem g^2 . Modelowanie udaru w dowolnym czasie umożliwia wprowadzenie czasu opóźnienia $T_d = t_0$ [20, 21]. W analizie przyjęto opóźnienia równe 0,1 μs . Udar (rys. 5) może być doprowadzony deklaracją xudar do dowolnego węzła modelowanego układu.

Przykład 1

```
.subckt UDAR wy Params: to= 0.1us
epior2 1 0 value={2.18*25e3*(exp(-
+0.065meg*time)*sin(0.107meg*time))}
```

2 Oznaczenia węzłów (1, 0, 1f, wy, udar) i elementów: pior2, op, c, piorun - w programie LTSPICE są dowolne (e - źródło napięciowe sterowane napięciem, g - źródło prądowe sterowane napięciem, R - rezystancja, T - czas), a- węzeł do którego doprowadzono udar.

```
Top 1 0 1f 0 z0=100 Td={to}
Rc 1f 0 100
g wy 0 1f 0 1
.ENDS UDAR
xudar a UDAR
```

Do analizy przyjęto wartość impedancji równą 400Ω . Przy takim założeniu napięcie, jakie może wstąpić w danym układzie może osiągnąć wartość $10\ 000\text{kV}$.

4. Wybrane wyniki modelowania

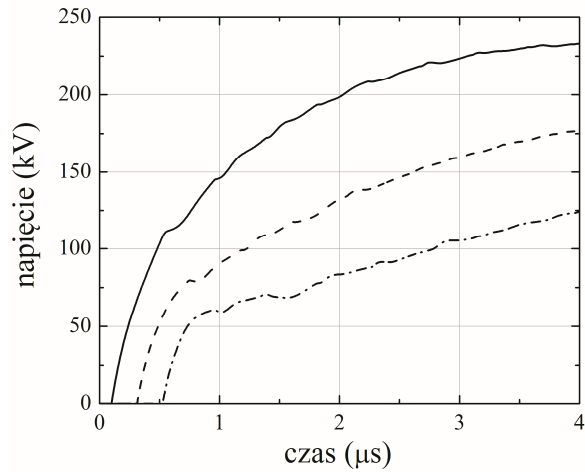
Z opisanych powyżej elementów składowych analizowanego układu utworzono układ w postaci sekcji typu II, tworząc trzy modele sekcji zawierające odcinek sieci trakcyjnej i toru o długości 64 m oraz:

- 1 - słup z izolatorem,
- 2 - słup z odgromnikiem różkowym,
- 3 – słup, do którego został doprowadzony udar [12, 22].

W modelowaniu, dla uproszczenia, przyjęto metaliczne zwarcie na wyłączniku słupa. Analizowany odcinek zawiera 54 sekcje. Zapis podprogramu dla modelu linii pięcioprzewodowej jest bardzo rozbudowany i ze względów objętościowych nie może być tutaj przedstawiony.

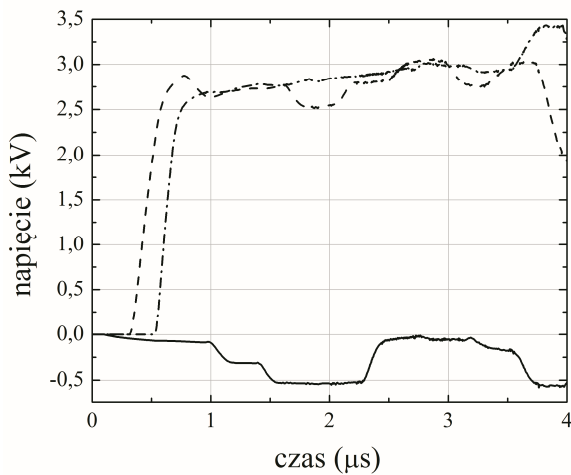
Model udaru doprowadzono do węzła 27 liny nośnej na wybranym słupie analizowanego układu sieci trakcyjnej z uszynieniami grupowymi. Do przykładowej analizy dla modelu udaru prądowego o kształcie $8/20 \mu\text{s}$ (rys. 6) przyjęto wartość szczytową prądu $I_m = 25 \text{ kA}$ [11, 13, 14, 15, 16]. Do obserwacji wyników modelowania na trzech kolejnych słupach (rys. 7) oraz szynach (rys. 8 i 9) przyjęto czas $4 \mu\text{s}$.

W przeprowadzonych pomiarach opisanych w pracach [3, 15] do badań stosowano również udar napięciowy (rys. 5) o kształcie $1,2/50 \mu\text{s}$ i wartości maksymalnej $U_m = 15 \text{ kV}$ [3, 11]. Wyniki modelowania dla tego udaru przedstawiono na trzech kolejnych rysunkach 10, 11 i 12.



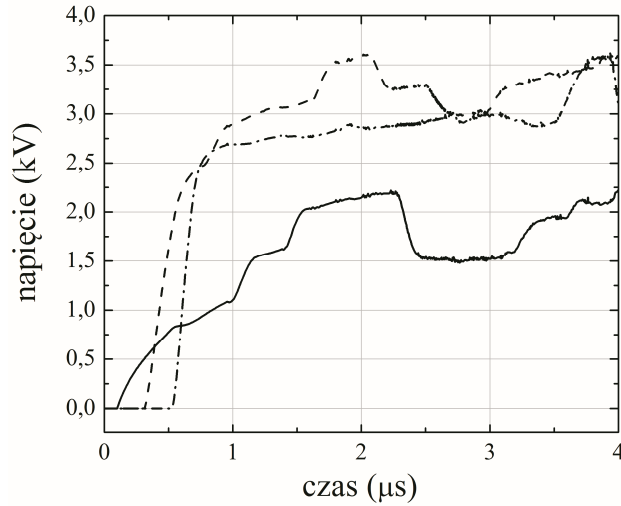
Rys.7. Przebiegi napięć na linii nośnej uszynienia grupowego dla słupa z udarem prądowym o kształcie 8/20 μs ($I_m = 25 \text{ kA}$) doprowadzonym do linii nośnej (linia ciągła) oraz kolejnych w odległości 64 m (linia kreskowana) i 128 m (kropkowana i kreskowana)

Fig. 7. Courses of voltages on a line of the group connection to the rail for a tower with a current stroke of 8/20 μs for $I_m = 25 \text{ kA}$ led to a catenary wire (full line) as well as the following in a distance of 64 m (the dashed line) and 128 m (the dotted - dashed)



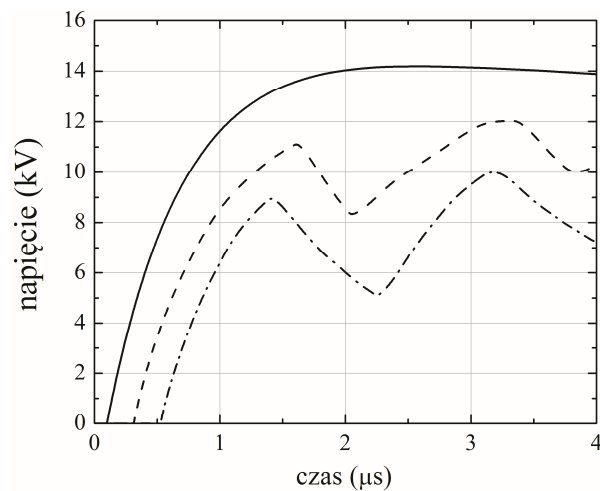
Rys. 8. Przebiegi napięć na szynie 1 uszynienia grupowego dla słupa z udarem prądowym 8/20 μs $I_m = 25 \text{ kA}$ doprowadzonym do linii nośnej (linia ciągła) oraz kolejnych w odległości 64 m (linia kreskowana) i 128 m (kropkowana i kreskowana)

Fig. 8. Courses of voltages on a rail 1 of the group connection to the rail for a tower with a current stroke of 8/20 μs for $I_m = 25 \text{ kA}$ led to a catenary wire (full line) as well as the following in a distance of 64 m (the dashed line) and 128 m (the dotted - dashed)



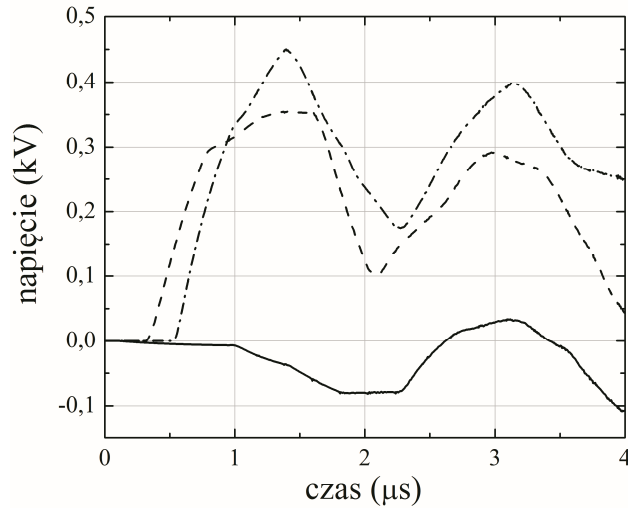
Rys. 9. Przebiegi napięć na szynie 2 uszynienia grupowego dla słupa z udarem prądowym $8/20 \mu\text{s}$ $I_m = 25 \text{ kA}$ doprowadzonym do liny nośnej (linia ciągła) oraz kolejnych w odległości 64 m (linia kreskowana) i 128 m (kropkowana i kreskowana)

Fig. 9. Courses of voltages on a rail 2 of the group connection to the rail for a tower with a current stroke of $8/20 \mu\text{s}$ for $I_m = 25 \text{ kA}$ led to a catenary wire (full line) as well as the following in a distance of 64 m (the dashed line) and 128 m (the dotted - dashed)



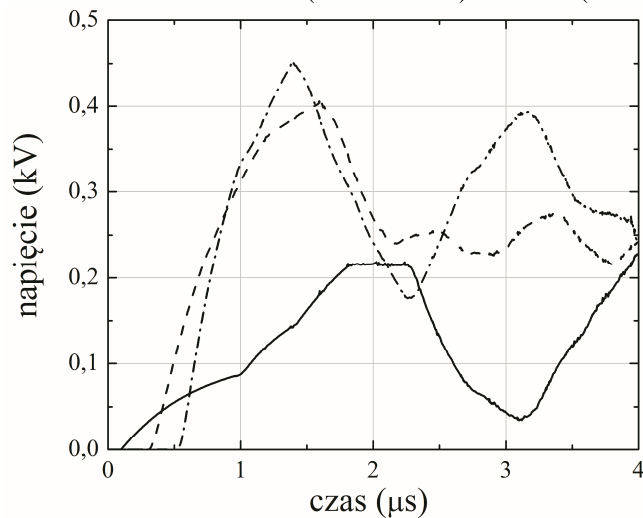
Rys. 10. Przebiegi napięć na linii nośnej uszynienia grupowego dla słupa z udarem napięciowym o kształcie $1,2/50 \mu\text{s}$ ($U_m = 15 \text{ kV}$) doprowadzonym do liny nośnej (linia ciągła) oraz kolejnych w odległości 64 m (linia kreskowana) i 128 m (kropkowana i kreskowana)

Fig. 10. Courses of voltages on a line of the group connection to the rail for a tower with the surge voltage of $1,2/50 \mu\text{s}$ for $U_m = 15 \text{ kV}$ led to the catenary wire (the full line) and the following columns in a distances of 64 m (the dashed line) and 128 m (the dotted - dashed)



Rys. 11. Przebiegi napięć na szynie 1 uszynienia grupowego dla słupa z udarem napięciowym o kształcie $1,2/50 \mu\text{s}$ ($I_m = 15 \text{ kV}$) doprowadzonym do liny nośnej (linia ciągła) oraz kolejnych w odległości 64 m (linia kreskowana) i 128 m (kropkowana i kreskowana)

Fig. 11. Courses of voltages on a rail 1 of the group connection to the rail for a tower with the surge voltage of $1,2/50 \mu\text{s}$ for $U_m = 15 \text{ kV}$ led to the catenary wire (the full line) and the following columns in a distances of 64 m (the dashed line) and 128 m (the dotted - dashed)



Rys. 12. Przebiegi napięć na szynie 2 uszynienia grupowego dla słupa z udarem napięciowym o kształcie $1,2/50 \mu\text{s}$ ($U_m = 15 \text{ kV}$) doprowadzonym do liny nośnej (linia ciągła) oraz kolejnych w odległości 64 m (linia kreskowana) i 128 m (kropkowana i kreskowana)

Fig. 12. Courses of voltages on a rail 2 of the group connection to the rail for a tower with the surge voltage of $1,2/50 \mu\text{s}$ for $U_m = 15 \text{ kV}$ led to the catenary wire (the full line) and the following columns in a distances of 64 m (the dashed line) and 128 m (the dotted - dashed)

Powyżej przedstawiono przykładowe wyniki modelowania impulsowych zaburzeń elektromagnetycznych wywołanych wylądowaniami atmosferycznymi, które stanowią poważne zagrożenie dla pracy elektronicznych urządzeń sterowania ruchem kolejowym i telekomunikacyjnych. W tym celu opracowano model odcinka sieci trakcyjnej z uszynieniami grupowymi w układzie otwartym oraz modele poszczególnych elementów układu: sieć trakcyjna, sieć szynowa, słup, izolator, odgromnik, udar. Zaprezentowane wyniki stanowią część pracy analitycznej mającej na celu porównanie ich z wynikami otrzymanymi dla układu z uszynieniami indywidualnymi. Celem analizy jest ocena obu systemów w kontekście zagrożenia urządzeń sterowania ruchem kolejowym od przepięć pochodzenia atmosferycznego.

5. Wnioski

Wykorzystując w programach symulacyjnych sprawdzone modele elementów układów i urządzeń elektrycznych oraz zjawisk fizycznych można uzupełniać czy zastępować badania laboratoryjne i „terenowe” rzeczywistych układów. Opisane w referacie elementy składowe przyjętego do analizy modelu układu sieci trakcyjnej z uszynieniami grupowymi w układzie otwartym poddano działaniu udaru o kształcie dla wymuszenia prądowego $8/20 \mu\text{s}$ i napięciowego $1,2/50 \mu\text{s}$. Przedstawiono możliwości symulacji przy wykorzystaniu programu LTSPICE oraz uzasadniono konieczność podejmowania problemu skuteczności ochrony odgromowej urządzeń kolejowych.

Analizowane możliwości programu mają charakter poznawczy. Zostaną one wykorzystane do dalszej analizy i oceny zagrożenia układów zasilających urządzenia srk przepięciami pochodzenia atmosferycznego.

Literatura

- [1] Bajorek J., Knott M., Wyderka S.: Efficiency of ZnO arrester models simulation of lightning overvoltages. 21st ICLP, BERLIN, Germany 1992, Pap. No. 5.07.
- [2] Białoń A., Kaźmierczak A., Zajac W.: Opracowanie dopuszczalnych parametrów zakłóceń dla urządzeń srk, łączności i pojazdów trakcyjnych. Sprawozdanie końcowe. Praca 6915/23, CNTK, Warszawa 1999.
- [3] Budowa i poligonowe badania prototypowego systemu ochrony przed przepięciami z ogranicznikami warystorowymi. Etap 1. Zbadanie i określenie na drodze pomiarowej tłumienności przez sieć trakcyjną przepięć w funkcji drogi”. Praca nr 3889/10. Instytut Kolejnictwa Zakład Sterowania Ruchem Kolejowym i Teleinformatyki. Warszawa, listopad 2011r. ©.
- [4] Centrum Naukowo-Techniczne Kolejnictwa Zakład Sterowania Ruchem i Teleinformatyki - Doświadczalne badanie systemu uszynień grupowych ze zmodyfikowaną długością ciągłości elektrycznej (zbliżoną do długości szlaków tj.: 8-12 km), Etap1 Badania symulacyjne wyłączalności zwarć izolacji głównej sieci trakcyjnej z

- układem połączeń uszynień grupowych ze zmodyfikowaną długością sekcji. Zadanie nr 3568/10, Warszawa grudzień 2008©.
- [5] Centrum Naukowo-Techniczne Kolejnictwa Zakład Sterowania Ruchem i Teleinformatyki: - Doświadczalne badanie systemu uszynień grupowych ze zmodyfikowaną długością ciągłości elektrycznej (zbliżoną do długości szlaków tj.: 8-12 km) Etap 2 Sprawozdanie z badań wyłączalności zwarć izolacji głównej sieci trakcyjnej do uszynień grupowego ze zmodyfikowaną długością sekcji. Praca nr 3568/10, Warszawa grudzień 2009 ©.
 - [6] FFTSES User's Manual: Fast Fourier Transforms, Safe Engineering Services & Technologies Ltd, Montreal, Canada, 1997.
 - [7] Głowacki K., Onderka E.: Sieci trakcyjne. EMTRAK s.c. 2002.
 - [8] Mazloom Z., Theethayi N., Thottappillil R.: A method for interfacing lumped-circuit models and transmission-line system models with application to railways. IEEE Transaction on Electromagnetic Compatibility, Vol. 51, No 3. August 2009.
 - [9] Paul C. R.: Introduction to Electromagnetic Compatibility. John Wiley & Sons, Inc. Published by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey. Published simultaneously in Canada, 2006.
 - [10] PN-EN 50121-4: 2008; Zastosowania kolejowe. Kompatybilność elektromagnetyczna. część 4. Emisja i odporność na zakłócenia urządzeń sygnalizacji i telekomunikacji.
 - [11] PN-EN 61000-4-5: 2010; Kompatybilność elektromagnetyczna. (EMC).- Część 4-5: Metody badań i pomiarów-Badanie odporności na udary.
 - [12] PN-EN 62305-1:2006 (U): Ochrona odgromowa – część 1. Wymagania ogólne.
 - [13] PN-EN 62305-2:2006/AC: 2007(U): Ochrona odgromowa – część 2. Zarządzanie ryzykiem.
 - [14] PN-EN 62305-4:2006 (U); Ochrona odgromowa – część 4. Urządzenia elektryczne i elektroniczne w obiektach budowlanych.
 - [15] Poligonowe badania ochrony przeciwprzebiegowej z ogranicznikami warystorowymi. Część I. Sprawozdanie z pomiarów przeprowadzonych w warunkach poligonowych. Politechnika Białostocka, Wydział Elektryczny. Białystok, listopad 2010 ©.
 - [16] Sowa A.: Ochrona odgromowa urządzeń oraz systemów elektronicznych przed narażeniami piorunowymi. Oficyna Wydawnicza Politechniki Białostockiej. Białystok 2011.
 - [17] Szelaż A.: Zagadnienia analizy i projektowania systemu trakcji elektrycznej prądu stałego z zastosowaniem technik modelowania i symulacji. Prace Naukowe, Elektryka z. 123, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2002.
 - [18] Wróbel Z., Ziemia R.: Zastosowanie wybranych programów komputerowych w analizie zagrożeń przepięciowych urządzeń sterownia ruchem kolejowym cz. 1, 2. XII Ogólnopolska Konferencja Naukowa Trakcji Elektrycznej, II Szkoła Kompatybilności Elektromagnetycznej w Transporcie, Zakopane, 2006
 - [19] Wróbel Z.: Computer modelling of lightning discharge threat to railway installation. Modern Electric Traction. Power Supply. Edited by Krzysztof Karwowski, Adam Szelaż, Gdansk University of Technology, Faculty of Electrical and Control Engineering. Gdańsk 2009.
 - [20] Wróbel Z.: Possibility of the modelling of combination waves generators. Przegląd Elektrotechniczny, PL ISSN 0033-2097, R. 86 NR 9/2010.

- [21] Wróbel Z.: Modelowanie wybranych elementów ochrony przepięciowej sieci trakcyjnych w analizie zagrożeń udarowych urządzeń sterowania ruchem kolejowym. Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki, Wydział Inżynierii Elektrycznej i Komputerowej; XV Ogólnopolska Konferencja Naukowa Trakcji Elektrycznej, VII Szkoła Kompatybilności Elektromagnetycznej w Transporcie, Zakopane, październik 2012.
- [22] Wróbel Z.: The railway devices modelling for the purpose of the lightning discharge analysis. Przegląd Elektrotechniczny,(vol 2013, No 3a), PL ISSN 0033-2097, R. 89 NR 3a/2013.

CHOSEN QUESTIONS IN MODELLING OF LIGHTENING RISK OF CATENARY FOR THE GROUP CONNECTION TO THE RAIL IN THE OPEN LAY-OUT

Summary

In the paper I spoke components of the model describing the accepted to the analysis system of the traction wires net with the group connection to the rail in an open system at an extortion current $8/20 \mu\text{s}$ and voltage's $1.2/50 \mu\text{s}$. To the analysis, one section of the group connection to the rail containing 54 fragments was taken into account. For this purpose models of particular elements in the lay-out were worked out: contact line, rail return, tower, insulator, surge. I represented possibilities of the simulation at the utilization of the programme LTspice and I based the necessity of the treat of the problem of the lightning protection efficiency of railways devices. Analysed possibilities of the programme have the cognitive character and will be put-upon to further analysis and estimations of the threat of feeding parley of the rts devices caused by surges of the atmospherical origin. The results of the presented analysis that a credible simulation of the over-voltage protection can be used to choose adequate models of elements and a correct parameters estimation of the measurement and analysis.

Keywords: Lightning protection, catenary, group connection to the rail system, numerical modeling, simulations.

DOI: 10.7862/re.2013.25

Tekst złożono w redakcji: listopad 2013

Przyjęto do druku: grudzień 2013