

OBLICZANIE NAPIĘCIA NA PANTOGRAFIE ELEKTRYCZNEGO POJAZDU TRAKCYJNEGO, PRĄDÓW OBCIĄŻENIOWYCH I ZWARCIOWYCH W SIECI TRAKCYJNEJ

Włodzimierz Kruczek

Instytut Kolejnictwa, Zakład Elektroenergetyki

Streszczenie. Elektryczne pojazdy trakcyjne do niezawodnej pracy i utrzymania osiągniętych eksploatacyjnych, na które zostały zaprojektowane, wymagają niezawodnego zasilania. Zasilanie to jest gwarantowane poprzez system zasilania trakcyjnego. Cechą charakterystyczną dla obciążenia trakcyjnych jest ich duża zmienność, pobór prądu przez pojazd trakcyjny dużej mocy, przy niedostosowanym układzie zasilania jak i niedostosowanej sieci trakcyjnej powoduje zbyt duży spadek napięcia na pantografie, przez co pojazd traci właściwości trakcyjne, na które został zaprojektowany. Niniejszy artykuł poświęcony jest programowi napisanemu w środowisku MATHCAD do obliczania napięcia na pantografie elektrycznego pojazdu trakcyjnego, który zmienia swoje położenie, oraz obliczania prądów obciążeniowych i zwarciovych w sieci trakcyjnej.

Słowa kluczowe: trakcja elektryczna, zasilanie elektrycznych pojazdów trakcyjnych

THE ELECTRICAL CHARACTERISTICS OF A CATENARY SYSTEM IN ELECTRIC RAIL VEHICLES, THE CALCULATION OF TRACTION LOAD AND SHORT – CIRCUIT CURRENTS

Abstract. Electrical railway vehicles need a reliable power source to comply with their designed specification. The specific working range of the electric traction system includes the big changes in the load during operation. A big power consumption in conjunction with the insufficient network can cause the loss of the vehicle's power. This problem is also addressed by the interoperability specification. The MATHCAD is used mainly for numerical calculations. The program simulates network with two power substations and two track sectioning cabins. It can also calculation single-sided network. The calculation step can be set from 1 m up to 1000 m. This is important for networks containing sections of different resistance. The calculation can be performed in three different variations: with constant current, constant vehicle resistance and with the set vehicle's speed and parameters. It is also capable of calculating the short-circuit current. The program interface enables the user unfamiliar to MATHCAD to perform the calculations. The user needs only to input data to pre-defined fields and tables. The results can be exported into other programs.

Keywords: traction power supplies, electric vehicles

Wstęp

Częściami składowymi systemu zasilania trakcyjnego są: system energetyczny, podstacje trakcyjne, kabiny sekcyjne i sieć trakcyjna. Żeby system zasilania kolejowej trakcji elektrycznej był wydajny i spełniał wymogi interoperacyjności, muszą być spełnione parametry techniczne określone w Technicznej Specyfikacji Interoperacyjności „Energia” [1] oraz w powołanych w niej normach. Najważniejsze z nich to:

- napięcie średnie użyteczne na pantografie ($U_{Sr_uz} \geq 2700$ V) [3];
- napięcie minimalne na pantografie ($U_{min1} \geq 2000$ V) [3];
- prąd zwarcia w warunkach najbardziej niekorzystnych ($I_{zw} \geq 2800$ A) [1, 3].

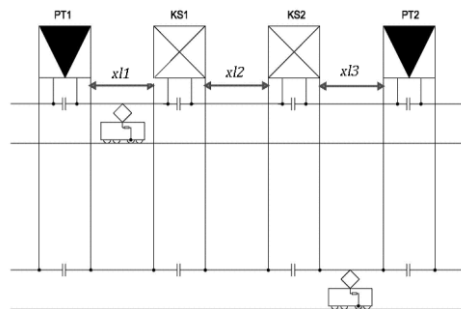
Przy wyliczaniu powyższych parametrów nieocenioną pomocą stanowią programy obliczeniowe. Niniejszy artykuł poświęcony jest programowi obliczeniowemu napisanemu do tego celu w środowisku MATHCAD.

1. Ogólna charakterystyka metody obliczeń

MATCAD należy do grupy programów określanych mianem systemów algebry komputerowej, programy te są wynikiem pracy nad sztuczną inteligencją. (Computer Algebra System, CAS). Służą one do komputerowego wspomagania obliczeń symbolicznych w matematyce i dyscyplinach technicznych, oraz przede wszystkim do przeprowadzenia obliczeń numerycznych tzn. takich których wynikami są liczby lub wartości wielkości fizycznych. MATCAD ma również wbudowany własny język programowania, dzięki temu można w procesie rozwiązywania problemów matematycznych i inżynierskich wykorzystywać własne algorytmy i tworzyć programy użytkowe. Dzięki tej właściwości MATCAD może być wykorzystywany jako zintegrowane środowisko programistyczne, czyli aplikacja służąca do tworzenia, modyfikowania, testowania i konserwacji oprogramowania użytkowego. Cecha ta została wykorzystana w programie obliczającym napięcie i prądy w sieci trakcyjnej.

Obliczenia przeprowadzane są z uwzględnieniem w obliczeniach dwóch podstacji trakcyjnych i dwóch kabin sekcyjnych. Sytuacja taka przedstawiona jest na rysunku 1. Program umożliwia również analizę dla zasilania jednostronnego

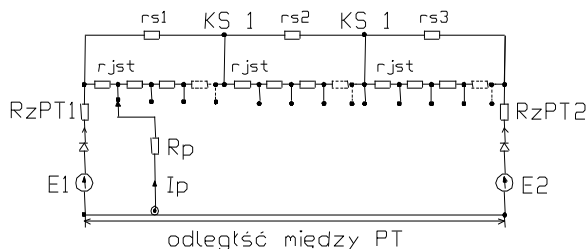
oraz z jedną kabiną sekcyjną, lub bez kabiny sekcyjnej. Możliwe jest również uwzględnienie „dosilenia” ze znakiem + (prądy wpływające), lub ze znakiem - (prądy wypływające) z lub do analizowanego odcinka. „Dosilenie” analizowanego odcinka ze znakiem + lub - może być stałe lub mieć charakter funkcji nieliniowej, której przebieg zależy od sytuacji ruchowej na sąsiednich odcinkach. Rysunek 2 przedstawia schemat zastępczy, w którym wykonywane są obliczenia dla dwóch podstacji trakcyjnych i dwóch kabin sekcyjnych.



Rys. 1. Przykładowy odcinek zasilania z dwoma kabinami sekcyjnymi. PT1 – podstacja trakcyjna 1 analizowanego odcinka zasilania, PT2 – podstacja trakcyjna 2 analizowanego odcinka zasilania, KS1 – kabina sekcyjna 1 analizowanego odcinka zasilania, KS2 – kabina sekcyjna 2 analizowanego odcinka zasilania, x1 – odległość pomiędzy PT1 a KS1, x2 – odległość pomiędzy kabinami sekcyjnymi, x3 – odległość pomiędzy KS2 a PT1

Tematyka obliczeń parametrów obciążenia układów zasilania trakcji prądu stałego nie jest nowa i sięga początków trakcji elektrycznej. Przedstawiony na rysunku obwód elektryczny można rozwiązać analitycznie wykorzystując ogólnie znane prawa elektrotechniki. Metody obliczania układów zasilania trakcyjnego są dostępne w bogatej literaturze np. w [2, 4]. Istnieją również metody wykreślne, opisane np. w [2]. Rozwiązując obwód należy pamiętać że w każdym kroku obliczeń struktura przedstawionego obwodu się zmienia. Przyjmując wykonanie obliczeń dla pojazdu trakcyjnego zmieniającego swoje położenie co 10 metrów, dla odcinka zasilania np. 15 km otrzymamy 1500 obwodów elektrycznych. Biorąc pod uwagę ilość potrzebnych równań dla rozwiązania jednego obwodu, można przyjąć że zadanie staje się nie wykonalne bez wspomaganie komputerowego. Oczywiście

dostępne są zaawansowane specjalistyczne programy użytkowe które pozwalają na sprawdzenie w symulacji funkcjonowania układu zasilania dla zadanych warunków ruchowych. Tego typu programy umożliwiają jednak obliczanie i symulowanie tylko układów zasilania trakcyjnego, nie mają możliwości rozbudowy o nowe funkcje a ich cena jest bardzo wysoka.



Rys. 2. Schemat zastępczy rozwiązywanego w programie obwodu elektrycznego. RzPT1 – rezystancja zastępcza podstacji trakcyjnej PT1, RzPT2 – rezystancja zastępcza podstacji trakcyjnej PT2, I_p – prąd pobierany przez pociąg w danym położeniu na analizowanym odcinku, R_p – rezystancja zastępcza odzwierciedlająca rezystancję obwodu głównego pojazdu trakcyjnego, KS1 – kabina sekcyjna 1, KS2 – kabina sekcyjna 2, r_{jst} – rezystancja jednostkowa sieci trakcyjnej wraz z siecią powrotną, r_{s1} – rezystancja zastępcza odcinka sieci trakcyjnej wraz z siecią powrotną na drugim torze pomiędzy PT1 i KS1, r_{s2} – rezystancja zastępcza odcinka sieci trakcyjnej wraz z siecią powrotną na drugim torze pomiędzy KS1 i KS2, r_{s3} – rezystancja zastępcza odcinka sieci trakcyjnej wraz z siecią powrotną na drugim torze pomiędzy KS2 i PT2

Intencją autora jest opracowanie w pełni użytkowego programu obliczeniowo symulacyjnego, uruchamianego w ogólnie dostępnym i tanim narzędziu inżynierskim jakim jest MATHCAD. Pierwszym blokiem tego programu jest blok obliczeniowy opisany w niniejszym artykule. Matematycznie prezentowany blok programu rozwiązuje przedstawiony obwód elektryczny metodą prądów oczkowych. Obliczenia są wykonywane w funkcji drogi pociągu, krok obliczeń może być ustawiany od 1m do 1000m, ze względu na czas obliczeń domyślnie wynosi on 10m. Program umożliwia obliczenia dla jednorodnej rezystancji sieci trakcyjnej na całej długości oraz dla sieci trakcyjnej składającej się z odcinków różnego typu a więc różnej rezystancji. Ta możliwość jest szczególnie przydatna w obliczeniach dla istniejących odcinków sieci trakcyjnej, gdzie sieć trakcyjna często składa się kilku lub nawet kilkunastu rodzajów o innej rezystancji każda. W programie możliwe są następujące warianty obliczeń:

- 1) Obliczenia dla stałego i zadanego prądu pociągu na całej trasie. Dla tego wariantu obliczeń program wyznacza napięcie na pantografie, prąd zasilacza podstacji trakcyjnej PT1 oraz prąd zasilacza podstacji trakcyjnej PT2.
- 2) Obliczenia dla prądu pociągu wynikającego ze stałej rezystancji R_p (rezystancji zastępczej odzwierciedlającej rezystancję obwodu głównego pojazdu trakcyjnego) na całej trasie. Dla tego wariantu obliczeń program wyznacza napięcie na pantografie, prąd zasilacza podstacji trakcyjnej PT1 oraz prąd zasilacza podstacji trakcyjnej PT2, oraz prąd pobierany przez pociąg.

- 3) Obliczenia dla prądu pociągu wynikającego z zadanej prędkości przejazdu, parametrów pociągu i parametrów trasy. Dla tego wariantu, program oblicza przejazd teoretyczny, wyznacza całkowite opory ruchu, sprawdza czy zadana prędkość dla danego pociągu i trasy jest możliwa do uzyskania. Po wyliczeniu program wyznacza napięcie na pantografie, prąd zasilacza podstacji trakcyjnej PT1, prąd zasilacza podstacji trakcyjnej PT2, oraz prąd pobierany przez pociąg. Oblicza czas przejazdu oraz ogólne zużycie energii elektrycznej. Przy obliczaniu napięcia na pantografie pojazdu trakcyjnego poruszającego się po torze 1 zastosowano założenie obciążenia skupionego na tym torze, natomiast na drugim torze obciążenia rozłożonego [2].

Ponadto program umożliwia wyliczenie prądu zwarcia występującego w dowolnym miejscu sieci trakcyjnej, w każdym z trzech wariantów, oraz inne parametry układu zasilania trakcyjnego np. procentowego spadku napięcia zasilania AC podstacji trakcyjnych do którego wyliczenia konieczne jest podanie mocy zwarciowej podstacji trakcyjnych.

2. Interfejs i dane konieczne do przeprowadzenia obliczeń

Interfejs programu jest w ten sposób zaprojektowany, że obliczenia może wykonywać użytkownik nieznający zaawansowanych reguł obliczeń i programowania w MATHCADzie. Wszystkie konieczne dane wprowadza się w przygotowane tabele i okienka. Część obliczeniowa wykonywana jest w blokach ukrytych programu. Wyniki przedstawiane są po przewinięciu paska przewijania na koniec strony, mogą być też eksportowane do innych programów, na przykład arkusza kalkulacyjnego. Rysunek 3. przedstawia interfejs programu w części wprowadzania danych dotyczących sieci trakcyjnej i układu zasilania.

Program do przeprowadzenia obliczeń wymaga wprowadzenia danych zależnych od wybranego wariantu obliczeń. Dla każdego z trzech wariantów, konieczne jest podanie odległości między podstacjami trakcyjnymi i kabinami sekcyjnymi, rezystancji wewnętrznej podstacji trakcyjnych, wartości napięć nieobciążonych podstacji trakcyjnych, napięć zasilania podstacji trakcyjnych. Możliwe jest również podanie prądu dodatkowego wpływającego lub wypływającego z analizowanego odcinka. W wariantcie pierwszym obliczeń program wymaga wprowadzenia prądu pociągu, który jest stały i pobierany przez pociąg na całej trasie, w wariantcie drugim obliczeń należy podać rezystancję pociągu R_p (odzwierciedlającą rezystancję obwodu głównego pojazdu trakcyjnego), która jest stała na całej trasie. Do przeprowadzenia wariantu trzeciego, konieczna jest znajomość parametrów trasy tj. profilu poziomego i pionowego, znajomość charakterystyki trakcyjnej pojazdu trakcyjnego i odpowiadającej jej charakterystyki prądowej, konieczne są również dane pociągu tj. liczba i rodzaj wagonów, masa pociągu, masa lokomotywy.

Program do obliczania napięć i prądów w sieci trakcyjnej

Tabela nazw oraz długości odcinków pomiędzy podstacjami trakcyjnymi i kabinami sekcyjnymi

"PT1 Nazwa"	"L1 [km]"	"KS1 Nazwa"	"L2 [km]"	"KS2 Nazwa"	"L3 [km]"	"PT2 Nazwa"
"Minsk Maz"	2	"KS Wysoka K"	3	"KS Par'owko"	10	"Mienia"

Parametry sieci trakcyjnej

Sieć trakcyjna jednego rodzaju o stałej rezystancji na całej trasie => Ohm/km:

Sieć trakcyjna składająca się z odcinków o różnej rezystancji => Tabela

0.13	Rezystancja podstacji trakcyjnej PT 1 [Ω]
0.13	Rezystancja podstacji trakcyjnej PT 2 [Ω]
3300	Napięcie nie obciążonej podstacji trakcyjnej PT1 [V]
3300	Napięcie nie obciążonej podstacji trakcyjnej PT2 [V]
15	Napięcie zasilania podstacji trakcyjnej PT1 [kV]
15	Napięcie zasilania podstacji trakcyjnej PT2 [kV]
169	Moc zwarciowa podstacji trakcyjnej PT1 [MW]
160	Moc zwarciowa podstacji trakcyjnej PT2 [MW]
0	Prąd dodatkowy +/- podstacji trakcyjnej PT1 [A]

Tabela rezystancji odcinków sieci trakcyjnej

długość odcinka sieci trakcyjnej w km	rezystancja o 1 km sieci trakcyjnej w Ohmach	
15	0.098	0.0725
"koniec"	0.0725	0.0676
2	0.098	0.1235
4	0.07005	"koniec"
4	0.0725	1
4	0.0878	70
"koniec"	""	"koniec"
0	""	1
0	""	1
0	""	...

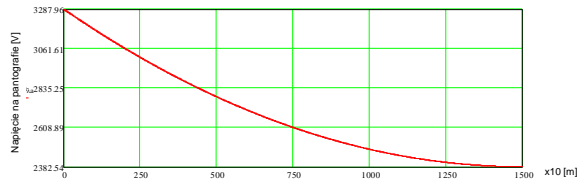
Dodawanie i likwidowanie komórek tabeli poprzez uchwyt i przeciągnięcie

Rys. 3. Interfejs programu w części wprowadzania danych

3. Przykładowe wyniki obliczeń

3.1. Przykłady obliczeń dla jednostronnego układu zasilania bez kabiny sekcyjnej

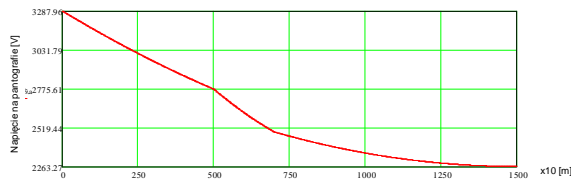
> Upt1 = 3600 V > Rst = 0.0503 Ω/km (15km)
 > Rpt1 = 0.13 Ω > L odc. = 15 km
 > Ipsc. = 2500 A



U_{śr. uz} = 2684 V napięcie średnie użyteczne na pantografie
 U_{min} = 2382 V napięcie minimalne na pantografie

Rys. 4. Napięcie na pantografie dla dwutorowego jednostronnego układu zasilania, dla sieci trakcyjnej jednego rodzaju

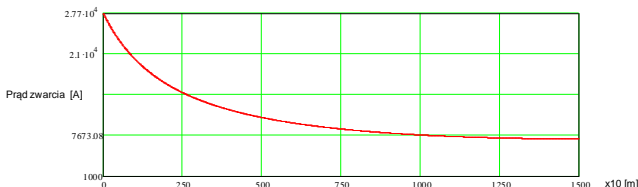
> Upt1 = 3600 V > Rst1 = 0.0503 Ω/km (5km), Rst2 = 0.1 Ω/km (2km), Rst3 = 0.0503 Ω/km (8km),
 > Rpt1 = 0.13 Ω > L odc. = 15 km
 > Ipsc. = 2500 A



U_{śr. uz} = 26037 V napięcie średnie użyteczne na pantografie
 U_{min} = 2263 V napięcie minimalne na pantografie

Rys. 5. Napięcie na pantografie dla dwutorowego jednostronnego układu zasilania, dla sieci trakcyjnej składającej się z odcinków różnego rodzaju

> Upt1 = 3600 V > Rst1 = 0.0503 Ω/km (15km)
 > Rpt1 = 0.13 Ω > L odc. = 15 km

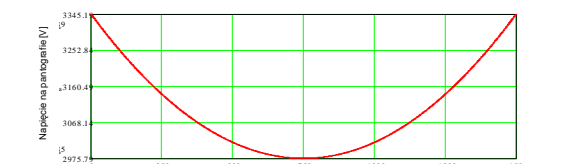


I_{sr} = 10727 A prąd średni
 I_{min} = 7097 A minimalny ustalony prąd zwarcia
 I_{max} = 27692 A prąd maksymalny

Rys. 6. Ustalony prąd zwarcia dla dwutorowego jednostronnego układu zasilania

3.2. Przykłady obliczeń dla dwustronnego układu zasilania bez kabiny sekcyjnej

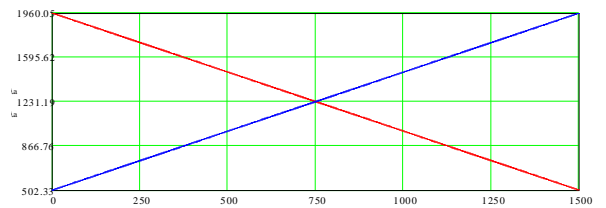
> Upt1 = 3600 V > Rst = 0.0503 Ω/km
 > Upt2 = 3600 V > L odc. = 15 km
 > Rpt1 = 0.13 Ω
 > Rpt2 = 0.13 Ω
 > Ipsc. = 2500 A



U_{śr. uz} = 30992 V napięcie średnie użyteczne na pantografie
 U_{min} = 2975 V napięcie minimalne na pantografie

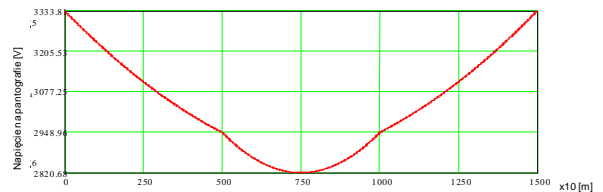
Rys. 7. Napięcie na pantografie dla dwutorowego dwustronnego układu zasilania, bez kabiny sekcyjnej

> Upt1 = 3600 V > Rst = 0.0503 Ω/km (15 km)
 > Upt2 = 3600 V > L odc. = 15 km
 > Rpt1 = 0.13 Ω
 > Rpt2 = 0.13 Ω
 > Ipsc. = 2500 A



Rys. 8. Prąd obciążenia zasilaczy PT dla dwutorowego dwustronnego układu zasilania, bez kabiny sekcyjnej

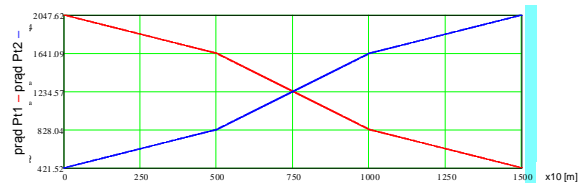
> Upt1 = 3600 V > Rst1 = 0.0503 Ω/km (5km), Rst2 = 0.1 Ω/km (5km), Rst3 = 0.0503 Ω/km (5km),
 > Upt2 = 3600 V > L odc. = 15 km
 > Rpt1 = 0.13 Ω
 > Rpt2 = 0.13 Ω
 > Ipsc. = 2500 A



U_{śr. uz} = 30347 V napięcie średnie użyteczne na pantografie
 U_{min} = 2820 V napięcie minimalne na pantografie

Rys. 9. Napięcie na pantografie dla dwutorowego dwustronnego układu zasilania, bez kabiny sekcyjnej, dla sieci trakcyjnej na odcinku 5km o zwiększonej rezystancji

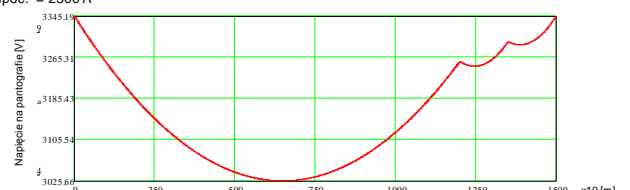
> Upt1 = 3600 V > Rst1 = 0.0503 Ω/km (5km), Rst2 = 0.1 Ω/km (5km), Rst3 = 0.0503 Ω/km (5km)
 > Upt2 = 3600 V > L odc. = 15 km
 > Rpt1 = 0.13 Ω
 > Rpt2 = 0.13 Ω
 > Ipsc. = 2500 A



Rys. 10. Prąd obciążenia zasilaczy PT dla dwutorowego dwustronnego układu zasilania, bez kabiny sekcyjnej dla sieci trakcyjnej na odcinku 5km o zwiększonej rezystancji

3.3. Przykłady obliczeń dla dwustronnego układu zasilania z dwoma kabinami sekcijnymi

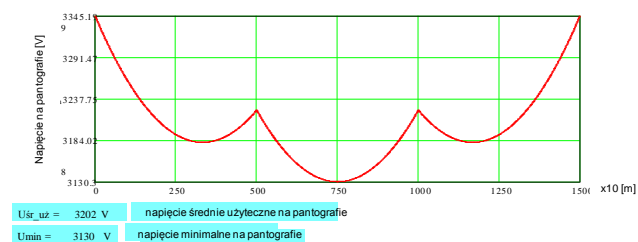
> Upt1 = 3600 V > Rst = 0.0503 Ω/km
 > Upt2 = 3600 V > L odc. = 15 km
 > Rpt1 = 0.13 Ω > L1 = 12 km ; L2 = 1.5 km; L2 = 1.5 km
 > Rpt2 = 0.13 Ω
 > Ipsc. = 2500 A



U_{śr. uz} = 31514 V napięcie średnie użyteczne na pantografie
 U_{min} = 3025 V napięcie minimalne na pantografie

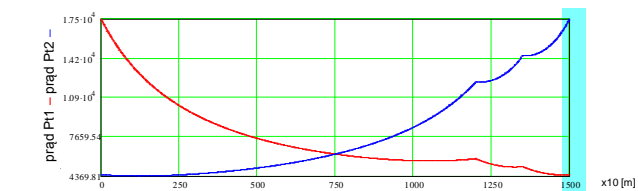
Rys. 11. Napięcie na pantografie dla dwutorowego dwustronnego układu zasilania, z dwiema kabinami sekcijnymi 12 km i 13,5 km od PT1

- > Upt1 = 3600 V
- > Upt2 = 3600 V
- > Rpt1 = 0.13 Ω
- > Rpt2 = 0.13 Ω
- > Ipoc. = 2500 A
- > Rst = 0.0503 Ω/km (15 km)
- > L odc. = 15 km
- > L1 = 5 km ; L2 = 5 km ; L2 = 5 km



Rys. 12. Napięcie na pantografie dla dwutorowego dwustronnego układu zasilania, z dwiema kabinami sekcyjnymi oddalonymi 5km i 10km od PT1

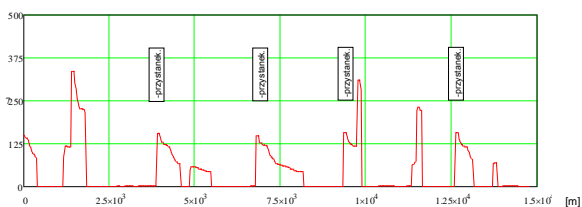
- > Upt1 = 3600 V
- > Upt2 = 3600 V
- > Rpt1 = 0.13 Ω
- > Rpt2 = 0.13 Ω
- > Ipoc. = 2500 A
- > Rst = 0.0503 Ω/km (15 km)
- > L odc. = 15 km
- > L1 = 12 km ; L2 = 1.5 km ; L2 = 1.5 km



Rys. 13. Prąd zwarcia zasilaczy PT dla dwutorowego dwustronnego układu zasilania, z dwiema kabinami sekcyjnymi oddalonymi 12km i 13,5km od PT1

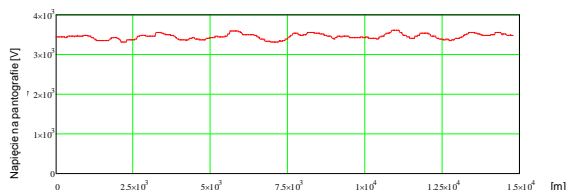
3.4. Przykładowe wyniki symulacji dla wariantu trzeciego obliczeń

- > Upt1 = 3600 V
- > Upt2 = 3600 V
- > Rpt1 = 0.13 Ω
- > Rpt2 = 0.13 Ω
- > Rst = 0.0503 Ω/km (15 km)
- > L odc. = 15 km



Rys. 14. Symulacja prądu pobieranego przez EZT EN 57 dla dwutorowego dwustronnego układu zasilania

- > Upt1 = 3600 V
- > Upt2 = 3600 V
- > Rpt1 = 0.13 Ω
- > Rpt2 = 0.13 Ω
- > Rst = 0.0503 Ω/km (15 km)
- > L odc. = 15 km



Rys. 15. Symulacja napięcia na pantografie dla EZT EN 57 dla dwutorowego dwustronnego układu zasilania

4. Podsumowanie

Wydawać by się mogło że przedstawione obliczenia są trywialne do wykonania. Autor uważa jednak że możliwość przeprowadzenia takich obliczeń w kilka sekund, dla każdego dowolnie zadanego układu zasilania trakcyjnego, dla dowolnie długiego odcinka i dowolnie rozstawionych kabin sekcyjnych, oraz dla różnej jednostkowej rezystancji sieci trakcyjnej, w ogólnie dostępnym i tanim uniwersalnym narzędziu inżynierskim jest zaletą takiego podejścia do problemu obliczeń trakcyjnych. Zaletą oprogramowania *uniwersalnego inżynierskiego* jakim jest MATHCAD jest również możliwość łatwej rozbudowy o kolejne bloki obliczeniowe w zależności od potrzeb użytkownika.

Oprogramowanie MATHCAD może być szeroko wykorzystywane w obliczeniach i symulacji parametrów układów zasilania sieci trakcyjnej. Przedstawiony blok programu obliczeniowego jest częścią składową większego opracowywanego pakietu obliczeniowo symulacyjnego, który umożliwi sprawdzenie parametrów układu zasilania, decydujących o interoperacyjności. Kolejne bloki obliczeniowo symulacyjne umożliwią obliczenia dla wielu pociągów na odcinku zasilania poruszających się według zadanego rozkładu jazdy, pozwolą na wyznaczenie dopuszczalnego maksymalnego następstwa pociągów. Według autora pakiet ten będzie mógł być wykorzystywany również na etapie projektowania oraz weryfikacji projektu. Łatwy interfejs umożliwi użytkownikowi bez znajomości zaawansowanych reguł obsługi MATHCADa. Przedstawione w referacie wyniki obliczeń zweryfikowano z obliczonymi innymi metodami bardziej pracochłonnymi z wynikiem pozytywnym.

Literatura

- [1] Decyzja Komisji 2011/274/UE z dnia 26 kwietnia 2011 r. dotycząca technicznej specyfikacji interoperacyjności podsystemu „Energia” transeuropejskiego systemu kolei konwencjonalnych.
- [2] Mierzejewski L, Szelağ A, Gałuszewski M.: System zasilania trakcji elektrycznej prądu stałego. Wydawnictwa Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1989.
- [3] PN-EN 50388 Zastosowania kolejowe - System zasilania i tabor - Warunki techniczne koordynacji pomiędzy systemem zasilania (podstacja) i taborem w celu osiągnięcia interoperacyjności.
- [4] Szelağ A.: Wpływ napięcia w sieci trakcyjnej 3 kV DC na parametry energetyczno-trakcyjne zasilanych pojazdów.

Mgr inż. Włodzimierz Kruczek
e-mail: wkruczek@ikolej.pl



Od 2007r. pracownik Zakładu Elektroenergetyki Instytutu Kolejnictwa. Specjalista w zakresie miernictwa elektrycznego, pomiarów termowizyjnych, ochrony przeciwporażeniowej w systemach trakcyjnych, pojazdach trakcyjnych i wagonach osobowych. Od 2010 r. kierownik sekcji laboratoryjno pomiarowej w Zakładzie Elektroenergetyki. Zajmuje się również badaniami wyłączników szybkich, przetwornic statycznych, sieci trakcyjnej i odbieraków prądu pojazdów szynowych i ich współpracy z siecią trakcyjną. Autor i współautor ok. 15 prac badawczo-technicznych. Członek Komitetu Technicznego nr 73 PKN ds. Projektowania i Eksploatacji Urządzeń Elektroenergetycznych o Napięciu Powyżej 1 kV Prądu Przemianowego (1,5 kV Prądu Stałego) oraz Ograniczników Przepięć. Doktorant w Instytucie Elektrotechniki.

otrzymano/received: 07.07.2013

przyjęto do druku/accepted: 14.10.2013