

Konrad Krzysztozek, Dariusz Podsiadły

Symulacja ruchu elektrycznych pojazdów trakcyjnych, jako środek pomocniczy w projektowaniu lub diagnostyce istniejących linii kolejowych

JEL: L92 DOI: 10.24136/atest.2018.439

Data zgłoszenia: 19.11.2018 Data akceptacji: 15.12.2018

Podstawową wielkością fizyczną łączącą elektryczny pojazd trakcyjny z układem zasilania linii kolejowej jest napięcie na jego pantografie. Od jego wielkości zależy moc pojazdu, pobierany prąd, a co za tym idzie siła napędowa na kołach pojazdu. Napięcie to stanowi również podstawowy parametr (w sieci 3 kV DC) wpływający na przepustowość linii kolejowej.

W artykule przedstawiony jest model obliczeniowy ruchu elektrycznych pojazdów trakcyjnych w zadanym obszarze zasilania.

Słowa kluczowe: transport kolejowy, trakcja elektryczna, modelowanie

Wstęp

Zwiększenie prędkości jazdy pociągów związane jest nierozdzielnie ze zwiększeniem mocy lokomotyw elektrycznych. W przypadku przekazywania znacznych mocy do pojazdów trakcyjnych szczególnego znaczenia nabiera poziom napięcia na odbieraku i zmiany jego wartości w czasie pod wpływem zmieniających się obciążeń trakcyjnych na linii.

Wartość ta zależy od wielu czynników. Głównymi z nich m. in. są: odległość między podstacjami, stosowanie kabin sekcyjnych, przekrój sieci trakcyjnej – mające istotny wpływ na spadek napięcia liczony od podstacji do punktu odbioru prądu oraz charakterystyka zewnętrzna podstacji zasilającej. Pojemność energetyczna źródła zasilania zależy od parametrów wyposażenia podstacji takich jak: liczba zespołów prostownikowych, moce transformatorów podstacyjnych oraz przeciążalność prostowników, ale także w dużym stopniu zależy od dyspozycyjności w dostawie mocy z układów zasilania energetycznego. Takie parametry jak: wartość napięcia zasilania energetycznego oraz moce zwarciove układów decydują o stromości pochylenia charakterystyki zewnętrznej podstacji trakcyjnych tj. wielkości obniżenia napięcia wyjściowego źródła (podstacji) w warunkach obciążeń prądowych.

Zmiana wielkości napięcia na pantografie pojazdu ma istotny wpływ na wielkość przekazywanej mocy, ponieważ wielkość mocy pobieranej przez lokomotywę jest proporcjonalna do kwadratu napięcia na odbieraku prądu, przy tej samej impedancji obwodu zasilania.

Oznacza to, że w przypadku obniżenia się napięcia w punkcie odbioru prądu, znacznie zmaleje wartość dostarczonej mocy, a co za tym idzie, lokomotywa nie będzie w stanie wykorzystać swoich znamionowych warunków pracy. Skutkiem tego będzie obniżenie prędkości jazdy, opóźnienia i nie dotrzymanie zadanego rozkładu jazdy.

Obecnie żąda się: ażeby dla lokomotyw o dużych mocach (ponad 6 MW) ze względu na ich charakterystyki trakcyjne, minimalne napięcie dopuszczalne na pantografie nie przekraczało $U_{min} = 2800$ [V] oraz prąd na odbieraku nie większy niż $I_{max} = 2$ [kA] (praca ciągnąca).

W przypadku zastosowania nowoczesnych lokomotyw wielosystemowych z silnikami asynchronicznymi (Taurus, Vectron Siemens), ze względu na ich charakterystykę trakcyjną największy prąd pobierany jest podczas jazdy z pełną mocą, czyli przy jeździe z dużą prędkością, a nie przy rozruchu (oporowym), jak w lokomotywach eksploatowanych dotychczas przez PKP.

W związku z powyższym sieć jezdna na szlaku oraz podstacje szlakowe będą bardziej obciążone niż sieć i podstacje stacyjne, a to nieuchronnie wiąże się z powstawaniem stosunkowo dużych spadków napięcia w sieci.

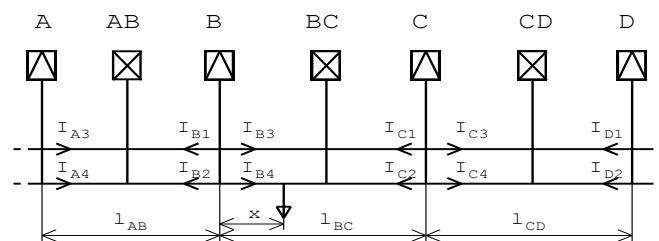
1 Cyfrowy system analizy pracy układu: pojazdy trakcyjne – układ zasilania.

Zwiększenie prędkości jazdy pociągów na liniach PKP powyżej $V = 160 - 200$ [km/h] lub prowadzenie ciężkich pociągów towarowych wymaga stosowania lokomotyw elektrycznych o dużych mocach (powyżej 6 MW).

A zatem, czy istniejące układy zasilania (energetyka kolejowa) są w stanie sprostać zapotrzebowaniu na dostawę mocy oraz czy pobory prądu przez przemieszczające się pojazdy nie wywołają zbyt dużych spadków napięcia w sieci trakcyjnej.

W tym celu, żeby oszacować wielkość spadków napięcia na danej linii i określić ich (najbardziej prawdopodobne) położenie w stosunku do zadanej podstacji, zbudowany został „cyfrowy system analizy pracy układu: pojazdy trakcyjne – układ zasilania”.

System posiada strukturę blokową i w chwili obecnej (pierwotnej) ograniczony został do obszaru zasilania między dwiema podstacjami.



Rys. 1. Układ zasilania pojazdów (rozpatrujemy odcinek między podstacjami B i C)

Blok 1 zawiera:

- dane znamionowe pojazdów (I_n, U_n, V_n, F_n);
- dane związane z oporami ruchu (masa pojazdu, ilość wagonów, ilość osi wagonów i lokomotywy, wartość współczynnika mas wirujących itd.);
- dane o trasie (profil poziomy i pionowy);
- dane układu zasilania pojazdów (napięcia źródłowe podstacji E_b, E_c ; ich rezystancje R_b, R_c ; odległość między podstacjami, położenie kabiny sekcyjnej, jednostkowa rezystancja sieci jezdnej i torowej);

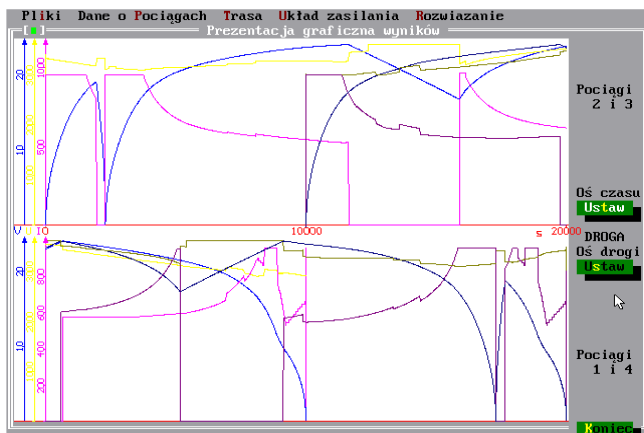
Blok 2 to pierwsze obliczenia, czyli:

- wyznaczenie charakterystyk trakcyjnych $F(v)$ i prądowych pojazdów $I(v)$, opory ruchu $W(v)$;
- wykonywanie przejazdów teoretycznych pojazdów dla warunków znamionowych napięcia zasilania;
- wykonywanie przejazdów teoretycznych pojazdów trakcyjnych z uwzględnieniem spadków napięcia w sieci trakcyjnej.

Blok 3 zawiera:

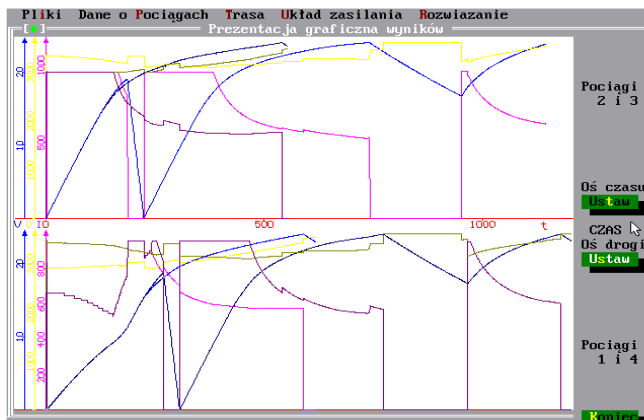
- wyznaczenie wartości prądów, napięć i prędkości pojazdów w funkcji czasu i przebytej drogi;
- wyprowadzanie wyników tabelarycznie i w postaci przebiegów.

Na podstawie otrzymanych wykresów (przebiegów) można analizować jazdę elektrycznych pojazdów trakcyjnych w obszarze dwóch podstacji trakcyjnych i szybką analizę parametrów sieci trakcyjnej i układu zasilania. Przykłady symulacji pokazane są na rysunkach 2, 3, 4, 5.

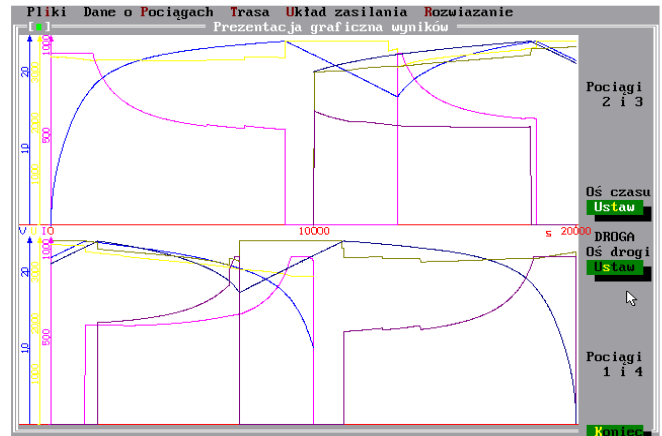


Rys. 2. Zmiany prądów, napięć i prędkości pojazdów w funkcji drogi. Pojazdy 1 i 3 ruszają przy kabinie sekcyjnej BC (w środku), a pociągi 2 i 4 przy podstacjach odpowiednio B i C.

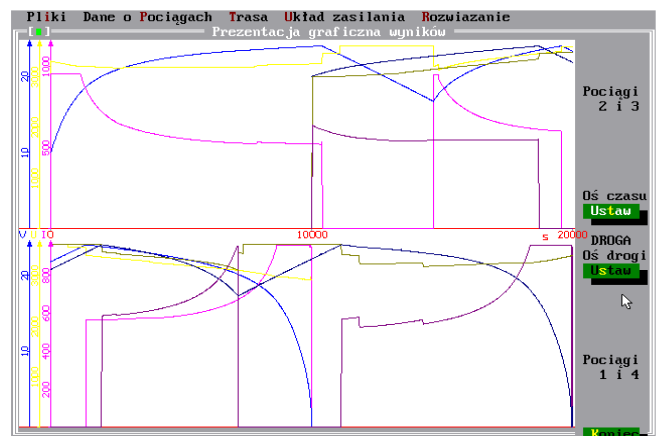
- pociągi 2 i 3 poruszają się od podstacji B w kierunku podstacji C
- pociągi 1 i 4 poruszają się w kierunku przeciwnym



Rys. 3. Zmiany prądów, napięć i prędkości pojazdów w funkcji czasu.



Rys. 4. Zmiany prądów, napięć i prędkości pojazdów w funkcji drogi. Pociągi 2 i 4 ruszają przy podstacjach, pociąg 3 mija kabinę sekcyjną z $V=20$ m/s pod prądem, pociąg 1 mija kabinę sekcyjną z $V=10$ m/s w przeciwnym kierunku również pod prądem



Rys. 5. Zmiany prądów, napięć i prędkości pojazdów w funkcji drogi. Pociąg 4 rusza przy podstacji, pociąg 1 rusza przy kabinie, pociąg 2 mija podstację z $V=10$ m/s w przeciwnym kierunku pod prądem, pociąg 3 mija kabinę sekcyjną z $V=20$ m/s w przeciwnym kierunku również pod prądem.

Przedstawiony system symulacji pozwala wyznaczyć w każdej sytuacji ruchowej i w każdej chwili czasowej aktualne parametry prądowo-napięciowe oraz możliwość dowolnego rozstawienia podstacji i kabin sekcyjnych na linii o dowolnych parametrach (układu zasilania), możliwość przyjęcia dowolnego profilu poziomego i pionowego trasy (opory ruchu), symulację jazdy dowolnych pojazdów trakcyjnych przystosowanych do pracy w systemie trakcji 3 kV DC przy znajomości charakterystyk trakcyjnych. Mogą to być pociągi wielosystemowe np. zespolone, czy elektryczne zespoły trakcyjne.

Symulacja cyfrowa może być wykonana:

- na szlaku o dowolnej długości między podstacjami (z kabiną sekcyjną lub bez);
- dla dowolnych (max 4) pojazdów, po uprzednim zadeklarowaniu danych znamionowych.

Możliwe jest również:

- przyjęcie dowolnych warunków początkowych ruchu pojazdów trakcyjnych:
 - czy ruszają przy podstacji (jednocześnie, czy nie),
 - czy ruszają wewnątrz szlaku między dwiema podstacjami,
 - czy wjeżdżają na zadany szlak już z pewną prędkością $V(t)$
 - czy wjeżdżają na zadany szlak z wybiegu, czy pod prądem

- symulacja jazdy dowolnej (max 4) liczby pojazdów zgodnie z wymaganiami ruchowymi na danej trasie i dla danej prędkości V_{max} , z uwzględnieniem spadków napięcia w sieci trakcyjnej.

Podsumowanie

Przedstawiony „Cyfrowy system analizy pracy układu: pojazdy trakcyjne – układ zasilania” pozwala na symulację, wizualizację i analizę w czasie rzeczywistym różnych sytuacji ruchowych prądowo – napięciowych na dowolnym szlaku, co gwarantuje zwiększenie płynności ruchu pociągów tj. zharmonizowanie prędkości jazdy pociągów na określonych liniach.

Przedstawione wyniki potwierdzają możliwość wykorzystania techniki symulacji komputerowej jako metody pomocniczej przy projektowaniu lub modernizacji istniejących zelektryfikowanych linii kolejowych lub do symulacji ruchu pociągów w warunkach awaryjnych (np. przy wyłączeniu jednej z podstacji).

Bibliografia:

1. Szelaǳ A., Zagadnienia analizy i projektowania systemu trakcji elektrycznej prądu stałego z zastosowaniem technik modelowania i symulacji. Prace naukowe PW, Warszawa 2002.
2. Siergiejczyk M., i inni, Koleje dużych prędkości w Polsce. Monografia pod redakcją naukową M. Siergiejczyka. Instytut Kolejnictwa, Warszawa 2015.
3. Rojek A., System zasilania linii dużych prędkości w Polsce – wybrane problemy. Instytut Kolejnictwa, Warszawa 2011.
4. Kruczek W., Zastosowanie programu MATHCAD do symulacji napięcia na pantografie, przepływu prądów obciążeniowych i zwarciovych w sieci trakcyjnej. Instytut Kolejnictwa, Warszawa 2016.
5. Kacprzak J., Teoria trakcji elektrycznej. WPW Warszawa 1991.
6. Podoski J., Kacprzak J., Mysiek J., Zasady trakcji elektrycznej. WKiŁ Warszawa 1981.
7. Mierzejewski L., Szelaǳ A., Gałuszewski M., System zasilania trakcji elektrycznej prądu stałego. WPW Warszawa 1989.
8. Szelaǳ A., Analiza wpływu napięcia w sieci trakcyjnej na charakterystyki trakcyjne pojazdu z napędem asynchronicznym zasilanego w systemie trakcji prądu stałego. MET'99, Warsaw September 23-25 1999.

Simulation of the traffic of electrical traction vehicles as an auxiliary equipment for designing or diagnostics of existing railway lines

The driving force of an electric traction vehicle depends on the vehicle's power and the amount of electricity consumed. However, a particularly important parameter in the 3 kV DC traction is the voltage on its pantograph, which closely connects the traction vehicle and the power system. In turn, the voltage level depends on the power supply parameters of the railway line and the quantity as well as quality and location of other electric traction vehicles in the considered area.

The article presents a digital model of movement for electric traction vehicles in the given power supply area.

Keywords: railway transport, electric traction, modeling

Autorzy:

dr inż. **Konrad Krzysztozek** - Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny im. K. Pułaskiego w Radomiu Wydział Transportu i Elektrotechniki, Instytut Automatyki i Telematyki Transportu, k.krzysztozek@uthrad.pl

mgr inż. **Dariusz Podsiadły** - Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny im. K. Pułaskiego w Radomiu Wydział Transportu i Elektrotechniki, Instytut Automatyki i Telematyki Transportu, d.podsiadly@uthrad.pl