

Krzysztof Tomczuk
Instytut Elektrotechniki

WPLYW ELEKTRYCZNEGO ZESPOŁU TRAKCYJNEGO (EZT) NA PRZEBIEGI NAPIĘĆ I PRĄDÓW W KOLEJOWEJ SIECI TRAKCYJNEJ

Streszczenie: W artykule przedstawione zostały wybrane przebiegi napięć w kolejowej sieci trakcyjnej o napięciu znamionowym 3kV. Przebiegi zarejestrowane zostały podczas jazdy pociągu EN-57 z czoperowym układem napędowym oraz podczas postoju pojazdu. Przedstawiono wpływ pobieranego prądu przez pojazd szynowy na chwilowe wartości napięcia w kolejowej sieci zasilającej. Szczególną uwagę zwrócono na przebiegi prądu i napięcia zasilania pojazdu podczas przejazdu pod izolatorem dzielącym odcinki zasilania. Jest to bardzo niebezpieczny moment podczas jazdy pociągu, gdyż pojawiające się przepięcia i udary prądu negatywnie oddziałują na sieć oraz na przekształtnik pojazdu.

Słowa kluczowe: Kolejowa sieć zasilająca, izolator, przepięcie, udar prądu

1. WSTĘP

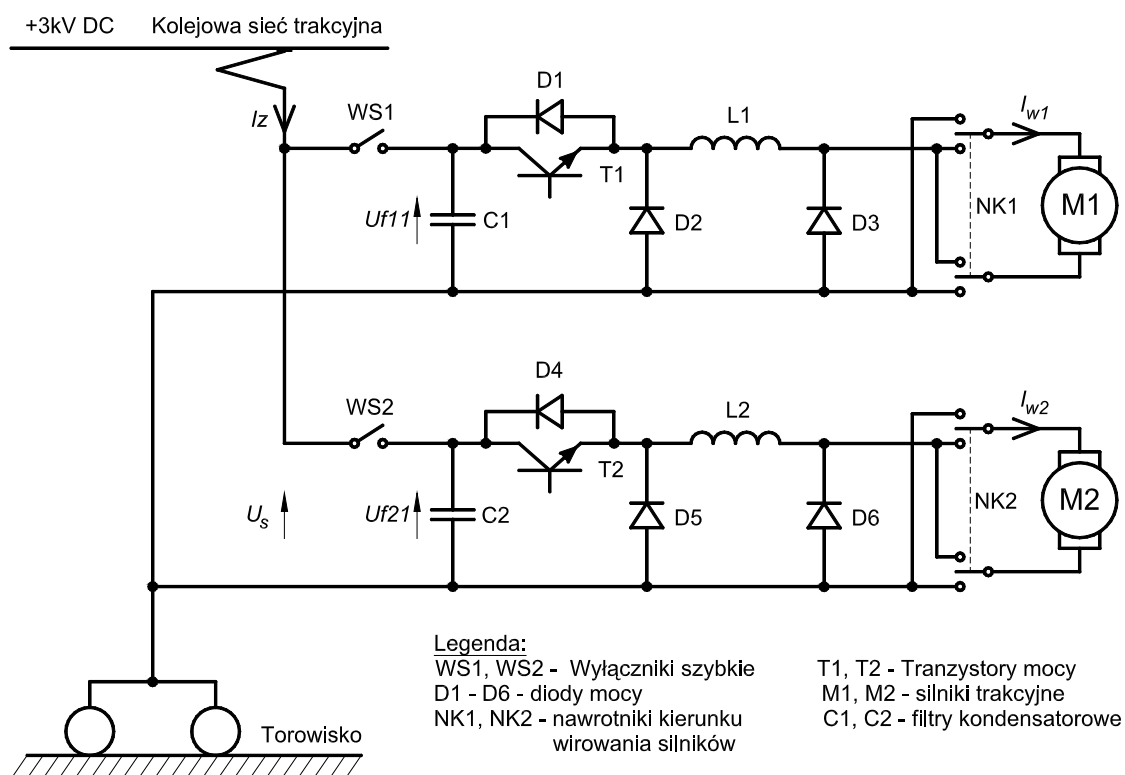
Producenci elektrycznych pojazdów trakcyjnych coraz częściej wyposażają swoje pojazdy w energoelektroniczne układy napędowe. Umożliwiają one płynne dostarczanie energii do silników pojazdu, co charakteryzuje się większym komfortem jazdy, a także mniejszym zużyciem energii, szczególnie w przypadku, gdy pojazd pokonać musi dany odcinek ze zmniejszoną prędkością (np. na terenach górskich). W celu zmniejszenia prędkości pojazdu w klasycznym rozwiązaniu włącza się opornik w obwód prądowy silnika. Energia cieplna wytworzona w oporniku w wyniku przepływu prądu trakcyjnego jest energią straconą.

Najbardziej powszechnymi energoelektronicznymi (przekształtnikowymi) układami napędowymi są rozwiązania umożliwiające zasilanie silnika prądu stałego (tzw. napęd czoperowy) oraz trójfazowego silnika indukcyjnego (tzw. napęd falownikowy) [1, 2]. Spotyka się także układy napędowe sterujące silnikami z magnesami trwałymi.

Zastosowanie energoelektronicznego układu napędowego narzuca wiele wymagań jakie ma spełnić przekształtnik pojazdu trakcyjnego. Ze względu na dużą liczbę przełączeń półprzewodnikowych tranzystorów mocy zastosowanych w budowie przekształtnika oraz dużych prądów komutowanych pojawia się zjawisko zakłóceń elektromagnetycznych

generowanych przez pojazd. W związku z tym przekształtnik przed dopuszczeniem do użytku spełnić musi wymagania kompatybilności elektromagnetycznej.

Przekształtnik energoelektroniczny jest układem impulsowym, zatem prąd pobierany do zasilania ma także charakter impulsowy. Aby zniwelować to zjawisko, bezpośrednio na zaciskach tranzystorów mocy stosuje się kondensator o niskiej indukcyjności i dużej pojemności, oraz dławik wygładzający przebieg pobieranego prądu.



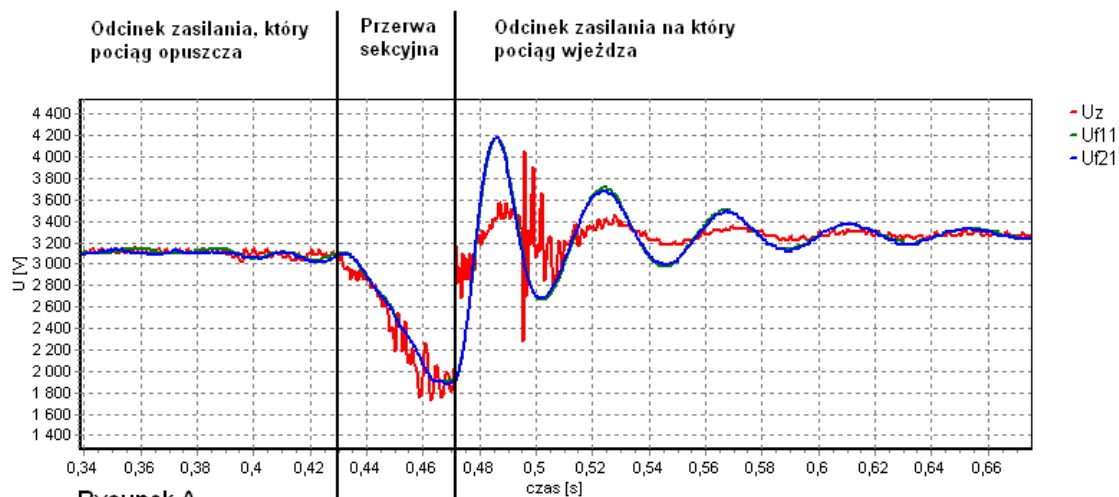
Rys.1. Schemat obwodu głównego przekształtnika

Na rys. 1 przedstawiono schemat obwodu głównego przekształtnika z zaznaczonymi miejscami pomiaru wartości przedstawionych na oscylogramach. Poniżej przedstawione zostały pomiary napięcia zasilania zespołu trakcyjnego podczas postoju oraz napięcia i prądu w czasie pracy napędu.

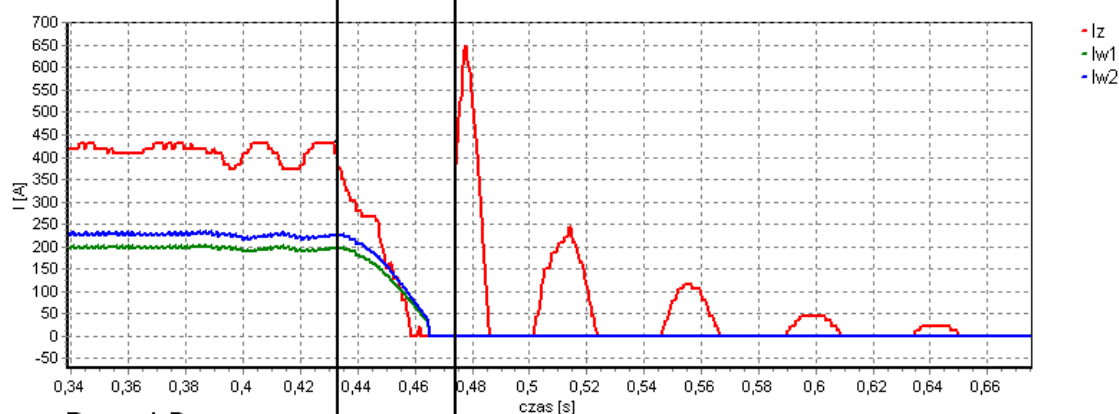
2. ZMIANA ODCINKÓW ZASILANIA

Podczas przemieszczania się pociągu dochodzi do zmiany podstacji trakcyjnych dostarczających energię elektryczną do pojazdu. Rys.2 przedstawia moment odłączenia odbieraka prądu od opuszczanego odcinka zasilania, po czym następuje zanik prądów (I_z , I_{w1} , I_{w2}) oraz spadek napięć (U_{f11} , U_{f21}) w strefie przerwy sekcyjnej. Po dołączeniu do następnego odcinka zasilania następuje przepływ energii elektrycznej wyrównującej

poziom napięć na filtrach kondensatorowych do wartości napięcia sieci trakcyjnej na odcinku której znalazła się jednostka trakcyjna.



Rysunek A



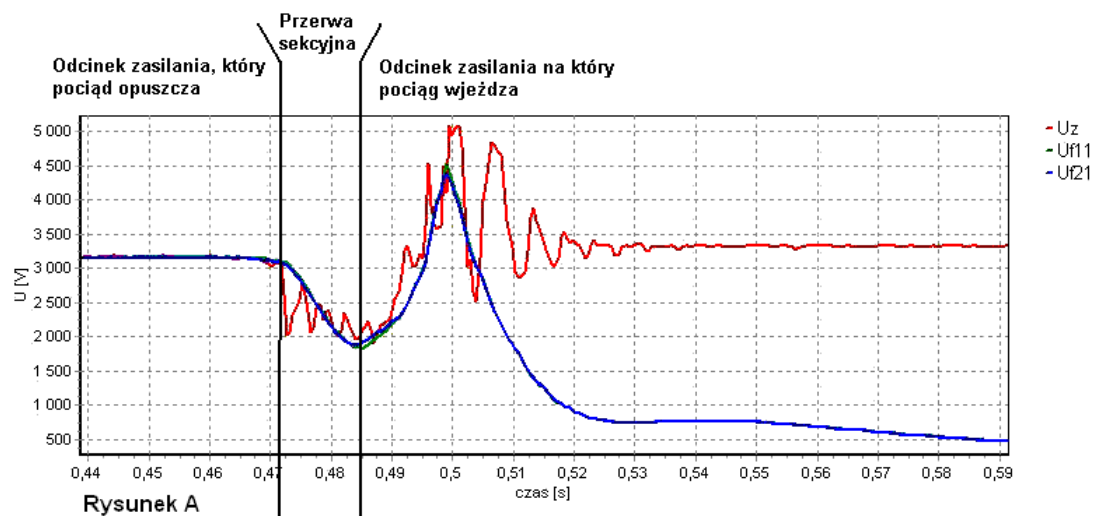
Rysunek B

Rys.2. Zmiana odcinków zasilania (przejazd pociągu pod izolatorem).

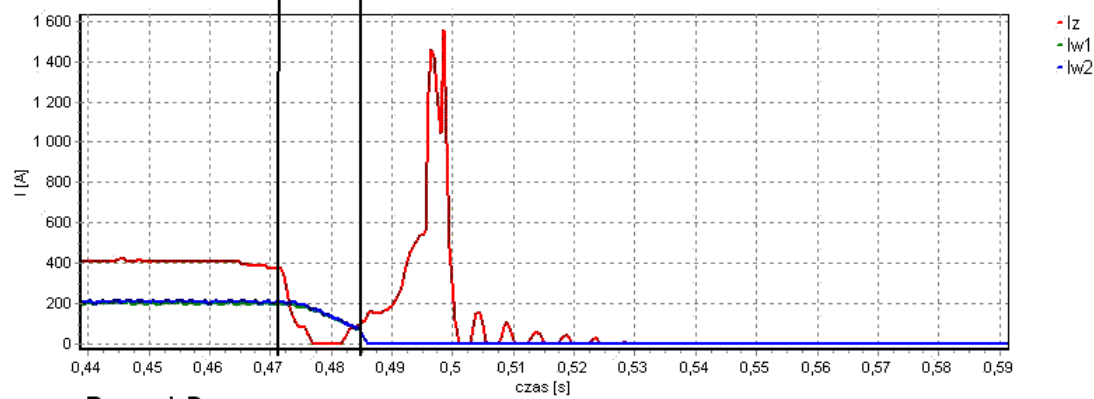
Rys. A – przebiegi zarejestrowanych napięć, Rys. B – przebiegi zarejestrowanych prądów.

Rysunek A:	Rysunek B:
Uz - Napięcie sieci trakcyjnej.	Iz - Prąd pobierany z sieci trakcyjnej.
Uf11 - Napięcie filtra kondensatorowego C 1.	Iw1 - Prąd silnika trakcyjnego nr 1.
Uf22 - Napięcie filtra kondensatorowego C 2.	Iw2 - Prąd silnika trakcyjnego nr 2.

Sytuacja jest niebezpieczna, gdyż napięcia filtrów (Uf11, Uf21) w strefie przerwy sekcyjnej są zbyt niskie i po podłączeniu do następnego odcinka zasilającego następuje gwałtowne ładowanie filtrów kondensatorowych objawiających się udarowym prądem (Iz) pobieranym z sieci zasilającej. Wartość pobieranego prądu udarowego zależy od głębokości rozładowania filtrów. Opisywany przejazd pojazdu ze zmianą zasilającej podstacji trakcyjnej spowodował oscylacyjne ładowanie kondensatorów w przekształtnikach powodując krótkotrwały wzrost napięcia filtrów do 4,2 kV oraz udarowy pobór prądu z sieci trakcyjnej w wysokości 650 A.



Rysunek A



Rysunek B

Rys.3. Zmiana odcinków zasilania (przejazd pociągu pod izolatorem)

Rys. A – przebiegi zarejestrowanych napięć, Rys. B – przebiegi zarejestrowanych prądów.

Rys.3. przedstawia także przebiegi podczas zmiany zasilającej podstacji trakcyjnej. W tym przypadku przepływ prądu pobieranego z sieci (I_z) ładującego kondensatory C1 oraz C2 spowodował podbicie napięć (U_{f11} , U_{f21}) do poziomu uznawanego za niebezpieczny dla zastosowanych elementów energoelektronicznych. Sytuacja ta wymusiła zadziałanie wyłączników szybkich WS1, WS2 na pojeździe powodując odłączenie przekształtników napędowych od sieci trakcyjnej.

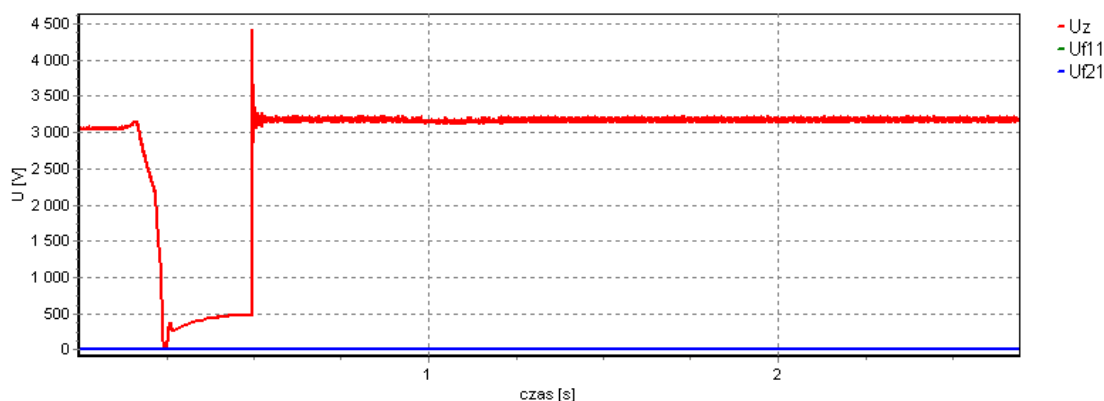
Z zarejestrowanych przebiegów prądów i napięć podczas pracy przekształtnika napędowego można oszacować prędkość zespołu trakcyjnego podczas zmiany odcinka zasilającego. Przy założeniu że średnia długość przerwy sekcyjnej wynosi ok. 30 cm, i czasu przejazdu dla rys.2 wynoszącego ok. 40 ms otrzymujemy prędkość ok. 27 km/h, natomiast dla rys.3 czas przejazdu wynosi ok. 13 ms, zatem prędkość wynosi ok. 83 km/h.

Możliwość oszacowania prędkości zespołu trakcyjnego jest istotną cechą, szczególnie w przypadku, gdy nie ma fizycznej możliwości takiego pomiaru (np. brak wolnych kanałów pomiarowych w rejestratorze lub brak możliwości doprowadzenia sygnału prędkości pojazdu do układu rejestracji).

3. KRÓTKOTRWAŁY ZANIK NAPIĘCIA ZASILANIA SIECI TRAKCYJNEJ

Na rys. 4 przedstawiono przebieg napięcia sieci trakcyjnej, podczas postoju pojazdu na boczniczy kolejowej z podniesionymi odbierakami prądu.

Na przebiegu zaobserwować można krótkotrwałe zaniki napięcia zasilania pojazdu (ok. 250 ms), których występowanie jest tłumaczone niezdatnością sieci jezdnej lub publicznego systemu rozdzielczego w dostarczaniu energii elektrycznej [3] do zespołu trakcyjnego (EZT). Spowodowane jest to głównie zwarciami przemijającymi, procesami łączeniowymi odbiorników wielkiej mocy i innymi stanami powodującymi chwilowe (do 1 sekundy) zaniki napięcia zasilającego.



Rys.4. Krótkotrwałe zaniki napięcia zasilania

Opisywane zaniki napięcia nie zawsze mają identyczne przebiegi. W większości oscylogramów napięcie sieci trakcyjnej spada poniżej połowy jej znamionowej wartości na czas maksymalnie do 0.5 sekundy.

Zdarzenia takie są bardzo niebezpieczne szczególnie dla pojazdów z energoelektronicznym układem napędowym, gdyż podczas powrotu napięcia zasilającego występują przepięcia, które przy braku odpowiedniego zabezpieczenia mogą doprowadzić do uszkodzenia zastosowanych półprzewodnikowych elementów mocy. Dodatkowo przepływający udarowy prąd ładowania filtra kondensatorowego może spowodować wewnętrzne zwarcie, a to w bezpośredni sposób przyczynić się do jego zapalenia lub wybuchu.

4. PODSUMOWANIE

Nowoczesne pojazdy szynowej trakcji elektrycznej łączą w sobie wiele zalet od pionierskiego wyglądu, ergonomicznego wnętrza, do zastosowania zaawansowanych metod sterowania poprawiających m.in. komfort podróży, bezpieczeństwo oraz sprawność energetyczną pojazdu. Jedną z metod poprawy komfortu jazdy jest zastosowanie energoelektronicznego układu zasilającego silniki trakcyjne pojazdu. Pomimo wielu zalet

takiego rozwiązania należy jasno podkreślić negatywny wpływ udarowo pobieranego prądu na sieci zasilające [4], prostownik trakcyjny oraz przewody i końcówki kablowe służące jako infrastruktura przekazująca energię do pojazdu. Stan taki pojawia się głównie przy zmianach odcinków zasilania. W skrajnie zaobserwowanym przypadku prąd udarowy sięgał nawet 7-krotności znamionowego prądu ciągłego (ok. 2600A przez 5ms). Skutkiem przepływu prądów udarowych jest punktowe przegrzewanie się wymienionych podzespołów przekazujących energię. Przy dużym natężeniu ruchu może doprowadzić do szybszej degradacji ich parametrów znamionowych.

Po analizie przeprowadzonych pomiarów, autor doszedł do wniosku, że można opracować system zabezpieczenia, który na podstawie zmierzonych przebiegów U_{f11} , U_{f21} określi możliwość przekroczenia bezpiecznych poziomów napięć i prądów podczas pracy napędu. System jest w fazie opracowywania. Wynikiem działania takiego układu będzie odpowiednio wczesne wyłączenie prądów w silnikach trakcyjnych. Czynność taka spowoduje płytsze rozładowanie C1, C2 co w rezultacie prowadzi do zmniejszenia wartości udarowych prądów pobieranych z sieci zasilającej. Według wstępnych analiz autora zmniejszeniu ulegną także oscylacje napięć (U_{f11} , U_{f21}) podczas wjazdu zespołu trakcyjnego na nowy odcinek zasilania.

Bibliografia

1. Bakran, M M, Eckel H G, Eckert. P, H Gambach, Wenkemann, U : Comparision of Multi-System traction converters for High-Power locomotives. 35th Annual IEEE Power Electronics Specialists Conference. Page 697. Aachen, Germany, 2004.
2. Anuszczyk J, Zając D : Analiza pracy napędu trakcyjnego z silnikiem indukcyjnym. Zeszyty Problemowe Politechniki Łódzkiej – Maszyny Elektryczne, strona 79, Nr 80/2008.
3. Norma PN-EN 50163:2006 : Zastosowania kolejowe. Napięcia zasilania systemów trakcyjnych.
4. Dzienis W : Ocena wpływu pracy trakcyjnego prostownika sześciopulsowego na jakość energii w sieci rozdzielczej 15kV. Wiadomości elektrotechniczne, Nr.7/2008. Strona 29.

INFLUENCE OF RAILWAY VEHICLE TO THE POWER SUPPLY NETWORK VOLTAGE

Abstract: In the article, selected waveforms of the traction network voltage were introduced. The measurements were performed on train type EN-57. The nominal voltage network was 3kV and the waveforms were recorded during train operation and during stop. The influence of train power supply current to the voltage network was described in attached measurements. The tested train was equipped to DC drives with chopper currents regulators. The main aim of the article are descriptions of overvoltages and current surges during train operation at the power supplies section border, when train pantograph runs through the insulator, this is very dangerous moment of train operation. Appear overvoltages and current surges has negative influence to railway network and to train power converters.

Keywords: Railway power supply network, insulator, overvoltage, current surge