

Wojciech Kozik

## Krajowy układ napędowy z silnikami asynchronicznymi w Tramwajach Warszawskich

**Pierwsze dwa zmodernizowane tramwaje 105N z napędem asynchronicznym produkcji krajowej zostały przekazane do eksploatacji w Warszawie. Układ napędowy i sterowania został opracowany przez Instytut Elektrotechniki i wykonany przy współpracy Zakładu WOLTAN. Duży udział w tym przedsięwzięciu mają Tramwaje Warszawskie, przeznaczając dwa zmodernizowane mechanicznie tramwaje 105N do zainstalowania układu napędowego z silnikami asynchronicznymi (fot. 1).**

Trwające kilka lat prace zakończyły się pełnym sukcesem i opracowany przez Instytut Elektrotechniki falownikowy układ napędowy stanowi kolejny wariant obok produkowanych już seryjnie napędów GTO i IGBT do modernizacji tramwaju typu 105N i 805N, a także dla nowych tramwajów produkowanych przez KONSTAL.



Fot. 1. Tramwaj typu 105N z napędem asynchronicznym

Charakterystyki techniczne i parametry układu napędowego z silnikami asynchronicznymi przedstawiono w *tts* 7-8/2001, natomiast w tym artykule zostaną przedstawione nowe rozwiązania techniczne, wprowadzone przez projektantów IEL, WOLTAN i TW, pozwalające na stwierdzenie, że proponowany układ odpowiada najwyższym standartom w dziedzinie produkcji taboru komunikacji miejskiej. Przedstawimy również niektóre wyniki badań eksploatacyjnych.

### Rozwiązania techniczne

Układ sterowania trakcyjnego został wykonany z wykorzystaniem sterowania rozproszonego opartego o system SELECONTROL MAS Traffic z magistralą CAN Bus. Strukturę układu przedstawiono na rysunku 1.

Sieć sterowania rozproszonego zawiera sterownik główny pojazdu STEP umieszczony w kabinie motorniczego oraz dwa sterowniki lokalne, STEL umieszczony w skrzyni aparaturowej oraz STET w szafie tylnego pulpitu manewrowego. Sterowniki te połączone są magistralą CAN1; magistrala CAN2 służy do sterowania ukrotnionego dwóch i więcej pojazdów.

Sterownik główny STEP obsługuje transmisję równoległą z sterownikiem napędu STEN, służącym do sterowania zespołami falownikowymi obwodu głównego.

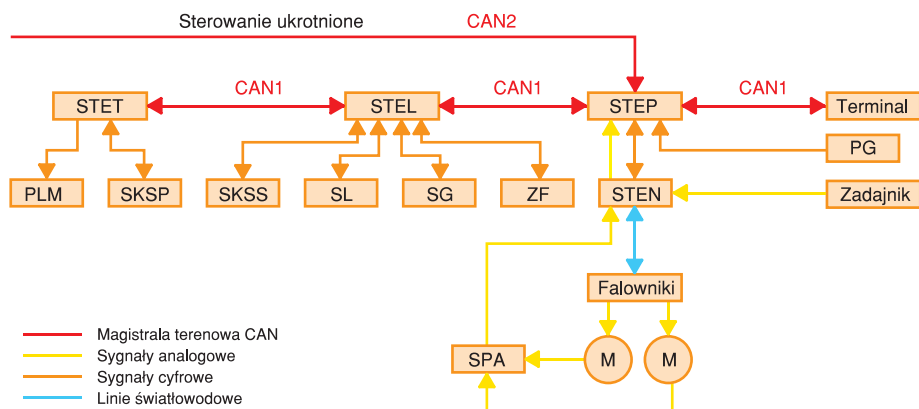
### Blok wizualizacji i diagnostyki pojazdu

W tramwaju zastosowano opracowany przez IEL system WIZIEL skojarzony ze sterowaniem trakcyjnym magistralą CAN1. Na rysunku 2 przedstawiono grafikę monitora systemu.

System pozwala na obserwowanie przez motorniczego funkcji i stanów pracy układu głównego, sterowania i niektórych układów pomocniczych, jak również sygnalizację stanów awaryjnych połączoną z rejestracją zdarzeń.

### Układ wykrywania i likwidacji poślizgu

W układzie zastosowano nowy sposób wykrywania poślizgu (zgłoszenie patentowe IEL), polegający na analizie sygnałów po-



Rys. 1. Schemat blokowy układu sterowania tramwajem asynchronicznym

STEP - sterownik pojazdu, STEL - sterownik lokalny, STEN - sterownik napędu, SL - stycznik liniowy, SG - stycznik grupy silników, ZF - zespół filtra wejściowego, PG - pulpit główny, PLM - pulpit manewrowy, Zadajnik - zadajnik poziomu regulacji, SPA - system pomiarów analogowych, SKSS - system kontrolno-sterujący skrzyni aparaturowej, SKSP - system kontrolno-sterujący pojazdu, Terminal - wyświetlacz systemowy WIZIEL

miaru prędkości czterech osi tramwajów. Układ jest przystosowany do współpracy z piasecznicą.

## Konstrukcja pojazdu

Aparatura układu napędowego, sterowania i pomocniczych została zaprojektowana i wykonana w Zakładzie WOLTAN.

Aparaturę umieszczono w dwóch kontenerach aparaturowych i dwóch szafkach:

- skrzyni aparaturowej z zespołem filtrów wejściowego oraz przeciwzakłóceńowego i tablicami stycznikowymi,
- skrzyni zespołu falowników i rezystorów hamowania (fot. 2),
- szafce aparaturowej głównej umieszczonej w kabinie motorniczego,
- szafce aparaturowej tylnej z pulpitem manewrowym.

Uzupełnieniem urządzeń elektrycznych jest zespół pulpitu motorniczego i szafka boczna z ręcznym zadajnikiem jazdy i hamowania (fot. 3).

Tramwaj wyposażony jest w przetwornicę statyczną wykonaną w IEL.

Nowością konstrukcyjną jest zastosowanie filtra powietrza chłodzącego falownik, rezystory i silniki napędowe, łatwo dostępnego do wymiany przez obsługę techniczną.

## Wyniki badań eksploatacyjnych

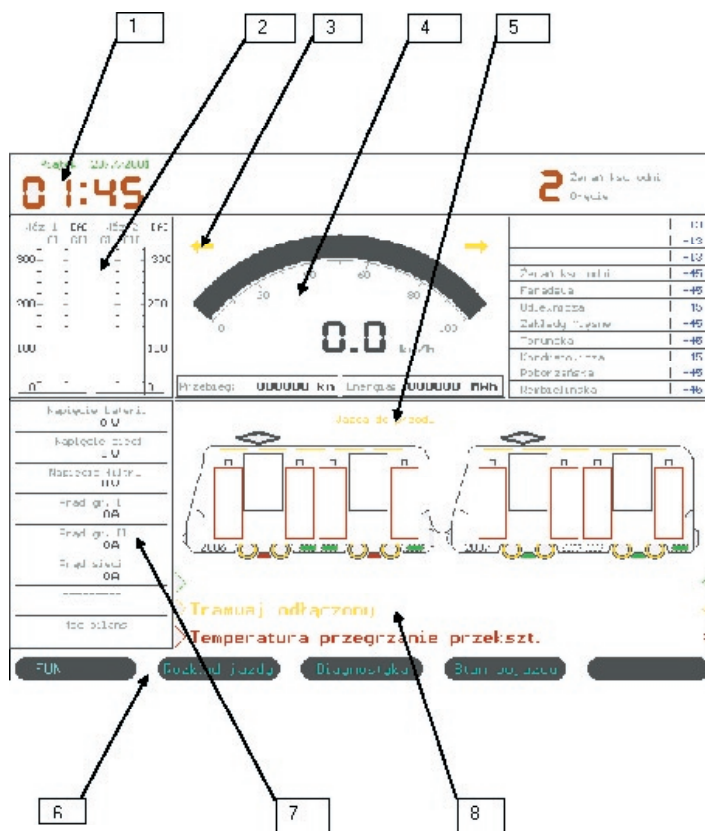
Tramwaje z napędem silnikami asynchronicznymi są poddawane kilkumiesięcznym próbom eksploatacyjnym bez pasażerów, w trakcie których zostaną sprawdzone zastosowane rozwiązania techniczne oraz przeprowadzone badania homologacyjne.

Oferowany układ napędowy przy prądach fazowych o wartości skutecznej ok. 200 A dla procesu rozruchu i hamowania zapewnia tramwajowi typu 105N bardzo dobrą dynamikę, co odzwierciedla oscylogram (rys. 3), przedstawiający przebieg prądu fazowego silników. Z analizy sygnału analogowego prędkości wynika, że osiągnięto dla rozruchu do 40 km/h przyspieszenie ponad 1,5 m/s<sup>2</sup>, natomiast opóźnienie hamowania ponad 1,6 m/s<sup>2</sup>.

O jakości układu napędowego świadczy najlepiej jego zachowanie w sytuacjach specjalnych, z których najbardziej charakterystyczne są przejazd pod izolatorem sekcyjnym (krótkotrwałe zaniki napięcia zasilania) oraz poślizgi kół jezdnych w czasie rozruchu lub hamowania.

Sytuację przejazdu pod izolatorem obrazuje oscylogram przedstawiony na rysunku 4. Po stwierdzeniu zaniku napięcia sieci układ samoczynnie przechodzi na proces wybiegu z minimalnym prądem hamowania, a po pojawieniu się napięcia następuje prawidłowy powrót do procesu rozruchu.

Na oscylogramie (rys. 5) przedstawiono pracę układu podczas występowania poślizgów w czasie rozruchu i hamowania. Po wystąpieniu przez układ sterowania informacji o poślizgu, układ napędowy dostaje polecenie zmniejszenia momentu napędowego do czasu likwidacji poślizgu, po czym prąd rozruchu lub hamowania powraca do wartości zadanej przez motorniczego.



Rys. 2. Monitor graficzny

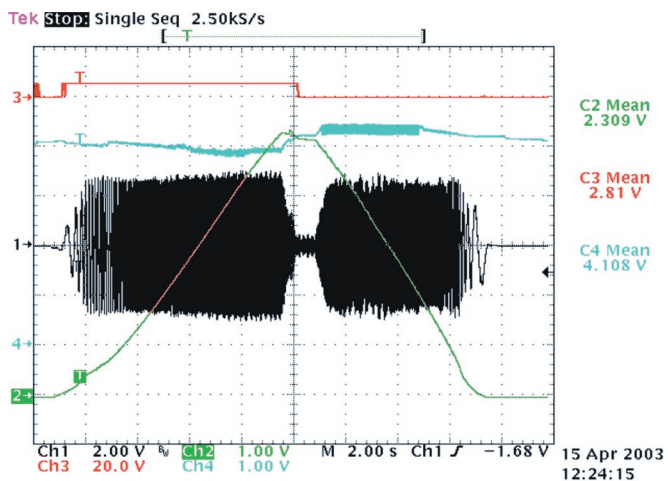
1 - aktualna data i godzina, 2 - wskaźniki prądów grup wozów, 3 - kontrolka kierunkowskazów, 4 - prędkościomierz, 5 - informacja o wybranym kierunku jazdy, 6 - opis przycisków (menu), 7 - okno pomiarów pierwszego wozu, 8 - okno komunikatów stanu wozu: kolor zielony – komunikaty informacyjne, żółty – ostrzeżenia, czerwony – awarie



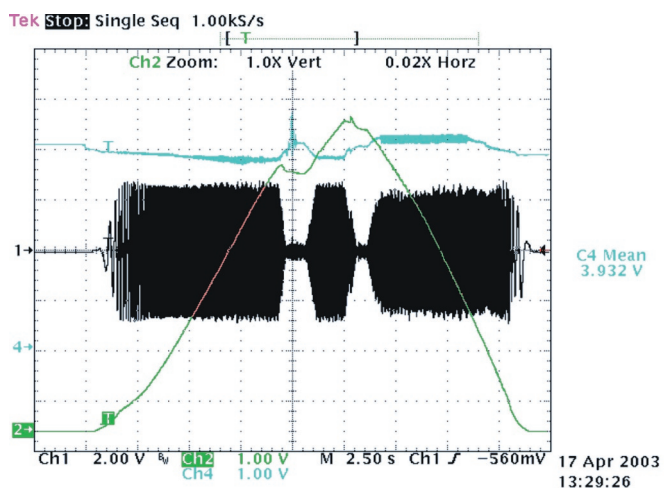
Fot. 2. Falownik układu napędowego



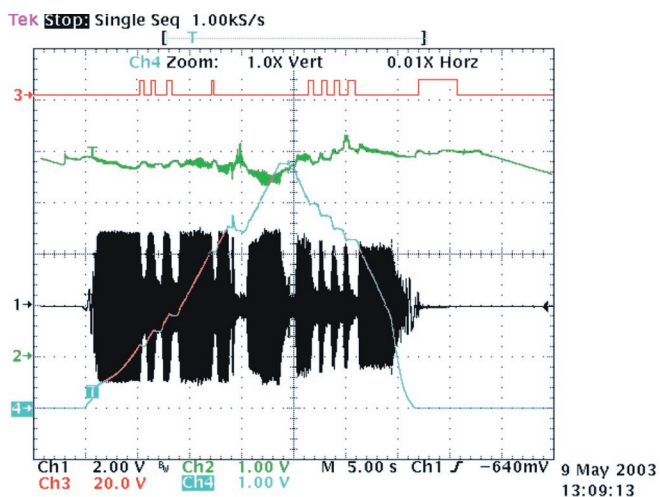
Fot. 3. Pulpit tramwaju typu 105N/MW



Rys. 3. Rozruch, wybieg i hamowanie tramwaju  
1- prąd fazy silnika (200 A/dz.), 2 - napięcie na kondensatorze filtru, 3 - sygnał kierunku momentu (1 – praca silnikowa, 0 – praca generatorowa), 4 - sygnał częstotliwości wyjściowej falownika (1,2 dz. = 20 Hz = 10 km/h)



Rys. 4. Rozruch, wybieg, przejazd pod izolatorem, wybieg i hamowanie  
1- prąd fazy silnika (200 A/dz.), 2 - sygnał częstotliwości wyjściowej falownika (1,2 dz. = 20 Hz = 10 km/h), 4 - napięcie na kondensatorze filtru



Rys. 5. Praca napędu podczas poślizgów (w czasie rozruchu i hamowania)  
1- prąd fazy silnika (200 A/dz.), 2 - napięcie na kondensatorze filtru, 3 - sygnał poślizgu (1 – poślizg, 0 – brak poślizgu), 4 - sygnał częstotliwości wyjściowej falownika (1,2 dz. = 20 Hz = 10 km/h)

## Podsumowanie

Kilkuletnie prace Instytutu Elektrotechniki nad napędem asynchronicznym dla tramwajów zakończyły się przekazaniem do eksploatacji dwóch tramwajów zmodernizowanych przez Tramwaje Warszawskie.

Przewidziana półroczna eksploatacja próbna w normalnych warunkach ruchowych pozwoli eksploatorom ocenić zalety tego układu oraz podjąć decyzję o kierunku modernizacji tramwajów, a projektantom wprowadzenie ewentualnych usprawnień w układzie.

Wdrożona już produkcja silników trakcyjnych w Żychlinie, układu sterowania oraz falowników w IEL i pozostałej aparatury w WOLTANIE umożliwi rozpoczęcie seryjnej produkcji falownikowych układów napędowych już w IV kwartale 2003 r.

Duża moc wykonanego układu napędowego umożliwia jego zastosowanie również w tramwajach z biernym wagonem doczepnym, gdzie można będzie osiągnąć przyspieszenie  $1,0 \div 1,1 \text{ m/s}^2$  do prędkości 40 km/h.

Do tramwajów niskopodłogowych IEL opracował szereg silników AC o budowie zamkniętej z własną wentylacją o mocy 60 KW, 80 KW i 120 KW.



### Autor

mgr inż. Wojciech Kozik – pracownik Instytutu Elektrotechniki, Zakład Trakcji Elektrycznej w Warszawie; specjalizuje się w energoelektronicznych układach napędowych pojazdów komunikacji miejskiej; jest koordynatorem prac wdrożeniowych układów regulacji impulsowej z silnikami prądu stałego oraz silnikami prądu przemiennego w tramwajach typu 105N, 112N, 114N i 116N