

Układy energo-elektroniczne do tramwaju 105N – model 2000

W końcu br. w eksploatacji będzie ponad 130 tramwajów typu 105N z energoelektronicznym układem sterowania. Ponad 100 tramwajów eksploatowanych jest w Warszawie, 16 – w Szczecinie, 8 – w Będzinie i Chorzowie oraz 8 – w Gdańsku (114N), ponadto 2 – w Łodzi (805N).

Bardzo dobre parametry ruchowe, przede wszystkim duża niezawodność (0,2 zjazdów na 10 tys. km) i gotowość ruchowa powyżej 90%, przy jednocześnie małych kosztach konserwacji i przeglądów, a także umiarkowana cena, skłaniają przedsiębiorstwa eksploatacyjne do zamawiania tramwajów 105N2k.

Model 2000 dostarczany w bieżącym roku przez Alstom charakteryzuje się, poza znacznie zmodyfikowanym wyglądem tramwaju, również modyfikacją jego układu sterowania. Tramwaje te połączone w stałe składy dwuwagonowe mają jedną kabinę sterowniczą bogato wyposażoną w urządzenia informacyjne i diagnostyczne.



Fot. 1. Tramwaje typu 105N2k/2000

Fot. M. Stiasny

Układ elektryczny tramwaju 105N2k jest produkowany przez WOLTAN według licencji Instytutu Elektrotechniki.

Seria tramwajów 105N2k, produkowanych przez ALSTOM, wyposażona jest w układy regulacyjne GTO, mogą być w nich również zastosowane przekształtniki IGBT, eksploatowane już od ponad roku w tramwajach 805N i w warszawskich tramwajach.

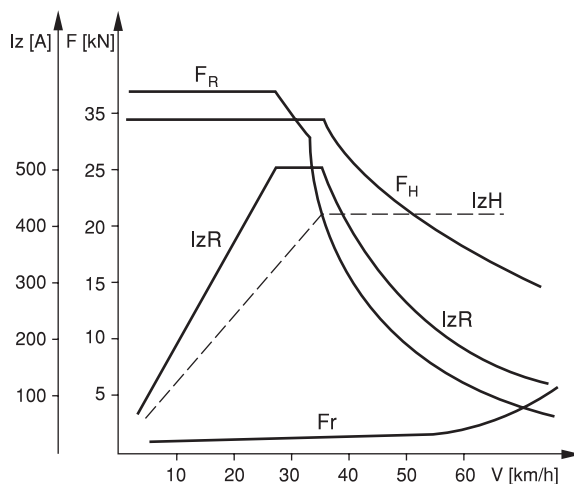
Układ regulacyjny

Schemat ideowy tramwaju członowego 105N napędzanego przez 6 silników pokazano na rysunku 2.

Dwie grupy silników zasilane są przez osobne przekształtniki tyrystorowe PT1÷PT2 z filtru sieciowego LF-CF. Podczas rozruchu włączone są styczniki SR, a przekształtniki tyrystorowe, pracujące z częstotliwością 300 Hz każdy, zmieniają wypełnienie od 0,03 do 1,0. Początkowa wartość prądu silników wynosi około 30 A i łagodnie narasta do wartości zadanej 60÷250 A. Dalsza regulacja przebiega według zadanej wartości prądu rozruchu. Następuje zwiększenie wypełnienia przekształtników wraz z rozpędzaniem tramwaju tak, aby utrzymana była zadana wartość prądu rozruchu. Przekształtniki tyrystorowe włączane są z przesunięciem fazowym 180° tak, że wynikowa częstotliwość dla filtru wynosi 600 Hz.

W celu zapewnienia samolikwidacji poślizgu zastosowano system sterowania według najwyższego sygnału sprzężenia prądowego grup silników (patent Instytutu Elektrotechniki). System ten utrzymuje stałe napięcie na zaciskach silników podczas poślizgu, jeżeli przynajmniej dwa zestawy kołowe napędzane przez silniki jednej grupy nie uległy poślizgowi. Powoduje to zmniejszenie prądu, a więc i siły napędowej silników osi ślizgających się i samoczynną likwidację poślizgu. Przy bardzo złych warunkach przyczepności warunek ten może nie być spełniony i niezbędna jest wymuszona likwidacja poślizgu.

Kontrola poślizgu dokonywana jest przez pośrednie porównanie prędkości obrotowych poszczególnych zestawów kołowych i wykrycie różnic ich wartości 2÷2,5 km/h. Po wykryciu poślizgu wypełnienie przekształtników zmniejszane jest stopniowo – aż do likwidacji poślizgu.



Rys. 1. Charakterystyka trakcyjna tramwaju 105N2k

Proces hamowania realizowany jest po włączeniu styczników SH i przekształtników PT. Następuje wówczas wzbudzenie się silników wspomagane obwodem obcego wzbudzenia. Przekształtniki impulsujące ze zmienną częstotliwością i wypełnieniem utrzymują zadaną wartość prądu wirników w całym zakresie prędkości hamowania.

Po wyłączeniu przekształtników, jeżeli wartość napięcia sieci (CF) zawiera się w granicach $400 \div 720$ V, malejący prąd silników poprzez diody DH i DO płynie do filtra sieciowego i sieci. Wirniki silników poprzez diody DH i DO połączone są bezpośrednio z siecią, co zapewnia stabilizację SEM silników na poziomie napięcia sieci i samoczynną regulację wzbudzenia (patent Instytutu Elektrotechniki).

W przypadku braku odbioru energii z sieci trakcyjnej przez inne tramwaje, napięcie kondensatora filtra wzrasta powyżej 720 V i układ kontrolny powoduje włączenie tyrystora hamowania oporowego THR. Prąd wirników zamyka się więc przez opornik RH o rezystancji około $3,5 \Omega$ i hamowanie elektrodynamiczne jest kontynuowane.

Pomiary zużycia energii wykonane w Warszawie wykazały, że dzięki bezoporowemu rozruchowi i hamowaniu odzyskowemu tramwaje 105N2k pobierają o $30 \div 40\%$ (ok. 60 MWh/tramwaj/rok) mniej energii niż tramwaje z klasycznym oporowym układem regulacji.

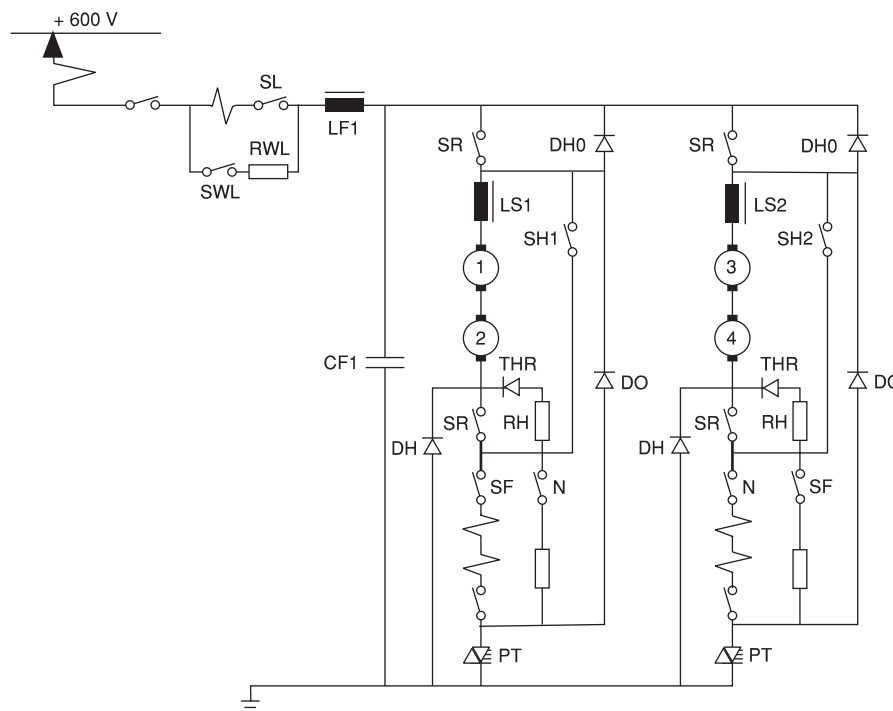
Parametry techniczne tramwaju 105N

Masa własna	[kg]	16 500
Napięcie pracy	[V]	$400 \div 800$
Typ silnika		Lta-220/Ltd-220
Moc silników	[kW]	$4 \times 40/4 \times 46$
Minimalny prąd rozruchu	[A]	60
Maksymalny prąd rozruchu	[A]	250
Minimalny prąd hamowania	[A]	50
Maksymalny prąd hamowania	[A]	220
Hamowanie odzyskowe	[V]	$400 < U_z < 720$
Hamowanie oporowe	[V]	$400 > U_z > 720$
Częstotliwość pracy	[cykli/s]	2×300
Awaryjna jazda grupami silników		I lub II
Układ kontroli poślizgu		mostkowy
Likwidacja poślizgu	[ms]	elektroniczna $t < 100$
Liczba przekształtników		2
Sterowanie		mikroprocesorowe
Zabudowa układu regulacyjnego		skrzynie aparatowe pod wagonem
Wentylacja		wymuszona

Przekształtnik tyrystorowy

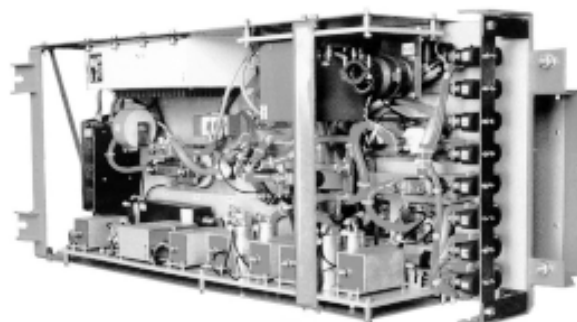
Przekształtnik tyrystorowy zbudowany jest z:

- tyrystora GTO (2500 V/1200 A) z diodą przeciwnoległą i układem D-C-R tłumiącym przepięcia;

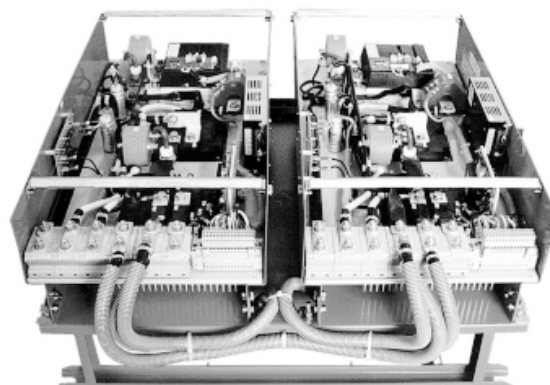


Rys. 2. Schemat ideowy układu regulacji tramwaju 105N2k

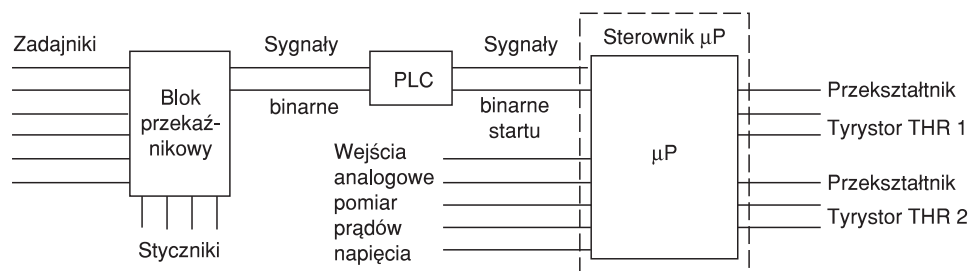
- trzech diod pomocniczych szybkich (3200 V/500 A);
- sterownika tyrystora GTO;
- tyrystora hamowania oporowego (1700 V/400 A) wraz z układem sterowania;
- układów kontroli prądu wirnika i tyrystora GTO (LEM);
- układu kontroli napięcia filtra (LEM).



Fot. 2. Przekształtnik PTK-105



Fot. 3. Przekształtnik PGT



Rys. 3. Schemat blokowy sterownika mikroprocesorowego

Parametry przekształtnika

Maksymalna częstotliwość pracy	600 Hz
Minimalny czas przewodzenia	70 μ s
Prąd ciągły	200 A
Maksymalny prąd roboczy (120 s)	500 A
Maksymalny prąd włączalny	1000 A
Maksymalne napięcie pracy	1200 V
Chłodzenie w tramwaju 105N	powietrze – wymuszone

Przekształtniki mają budowę modułową i są podwieszane w skrzyni rozrusznikowej.

Sterownik

Sterowanie tramwajem realizowane jest za pomocą sterownika PLC (Programmable Logic Controller) zbierającego informacje o stanie zadajników pulpitów sterujących, styczników i przekaźników pośrednich, wartości napięcia sterowniczych i odpowiednio do wybranej funkcji przekazującego sygnały logiczne do mikroprocesorowego sterownika napędu (μ P).

Sterowanie napędem realizowane jest przez mikroprocesorowy sterownik napędu, sterujący za pomocą światłowodów pracą poszczególnych przekształtników tyrystorowych w systemie PWM w funkcji wartości zadanych ze sterownika tramwaju (PLC) oraz mierzonych wartości prądowych i napięciowych w przekształtnikach.

Sterownik mikroprocesorowy realizuje również funkcję kontroli nadmiarowej prądu wirników i tyrystorów oraz napięcia filtru sieciowego do wyboru reżimu hamowania (odzyskowe-oporowe), a także poprzez światłowodowe sprzężenie zwrotne kontroluje prawidłowość pracy sterowników GTO. Schemat blokowy sterownika dla tramwaju 105N2k pokazano na rysunku 3.

Sterownik jest umieszczony na tablicy sterowania. Składa się z bloku przekaźnikowego, sterownika PLC oraz sterownika μ P; jest wykonany w typowej kasecie 6U ($2 \times 3U$)

EUROCARD i ma budowę modułową. Bloki są połączone z układem zewnętrznym za pomocą wtyków typu CANNON, natomiast tablica sterownika połączona jest z instalacją tramwaju poprzez listwy zaciskowe wyposażone w złącza sprężynowe typu WAGO.

Wnioski

Zastosowany w tramwajach 105N2k tyrystorowy (GTO) układ regulacji i mikroprocesorowy system sterowania eksploatowany jest głównie w Warszawie. Uzyskał on bardzo dobrą ocenę eksploatatorów. Bardzo dobre parametry ruchowe i wysoka niezawodność pracy (2–3-krotnie większa niż eksploatowanych w Warszawie tramwajów z napędem asynchronicznym), a także znacząca (około 30÷40%) oszczędność energii (60 MWh/tramwaj/rok) powodują, że liczba zamawianych tramwajów z tym układem regulacyjnym zwiększa się z roku na rok. W 2001 r. Alstom Konstal dostarczył do Warszawy i Szczecina ponad 70 tramwajów 105N2k model 2000.

Dzięki zastosowaniu najlepszych podzespołów, takich jak tyrystory GTO firmy Westcod Semiconductors (1200 A / 2500 V), kondensatory firmy ICAR, zasilacze firmy Melcher, a także sterowniki PLC Selectron, uzyskaliśmy wymaganą dla komunikacji miejskiej dużą niezawodność pracy. W czasie pięcioletniej eksploatacji tramwajów żaden z wymienionych podzespołów nie uległ uszkodzeniu.

Tramwaje 105N2k ze zmodyfikowanym nadwoziem i zweryfikowanym pozytywnie układem regulacyjnym stanowią bardzo atrakcyjną ofertę dla przedsiębiorstw komunikacyjnych.

□ R-7/2001

Autor

prof. dr inż. Zygmunt Giziński

dyrektor Zakładu Trakcji Instytutu Elektrotechniki w Warszawie

