

Józef MARCINIAK

ELEKTRYCZNE POJAZDY TRAKCYJNE NOWYCH GENERACJI - ROZWIĄZANIA OBWODÓW GŁÓWNYCH

Streszczenie. W referacie przedstawiono wymagania eksploatacyjne elektrycznych pojazdów trakcyjnych nowych generacji oraz typowe rozwiązania obwodów głównych elektrycznych pojazdów trakcyjnych jedno- i wielosystemowych.

NEW GENERATION OF ELECTRIC TRACTION VEHICLES - DESIGN OF MAIN CIRCUITS

Summary. In the paper service requirements of new generation of electric traction vehicles, typical designs of main circuits for single and multi voltage units are presented.

I. WSTĘP

Kolejowe pojazdy trakcyjne z przełomu XX i XXI w. są obiektami technicznymi o złożonych układach elektrycznych, elektronicznych mechanicznych i pneumatycznych - mówimy wówczas, że są to pojazdy nowych generacji. Pojazdy te charakteryzuje możliwość rozwijania dużych prędkości w granicach 200 - 300 km/h w ruchu pasażerskim i prędkości do 160 km/h w ruchu towarowym. W pojazdach tych występują zespoły i podzespoły, które dotychczas nie były stosowane, jak np. hamulec szynowy, przetwornice statyczne, urządzenia przeciwpoślizgowe, przetworniki energii, asynchroniczne silniki trakcyjne klatkowe, diagnostyka i komputery pokładowe wspomagające proces sterowania i użytkowania pojazdu. Przedstawione w artykule rozwiązania układowe są aktualnie eksploatowane w lokomotywach przez odpowiednie zarządy kolejowe lub znajdują się w sferze opracowań konstrukcyjnych. Układowe rozwiązania nie wyczerpują całości zagadnienia, są jedynie wprowadzeniem do problematyki konstrukcyjno-układowej pojazdów trakcyjnych.

2. WŁAŚCIWOŚCI I CHARAKTERYSTYKI POJAZDÓW TRAKCYJNYCH NOWYCH GENERACJI

Przewiduje się, że nowe pojazdy trakcyjne nowych generacji stosowane do przewozów pasażerskich i towarowych rozwijać będą prędkości w granicach 140 - 240 km/h i składać się będą z lokomotywy dwusystemowej 3 kV prądu stałego i 25 kV prądu przemiennego lub 3 kV prądu stałego i 15 kV prądu przemiennego o częstotliwości 162 Hz o mocy 5000 - 7000 kW.

Masy lokomotyw wielosystemowych zawierać się będą w granicach 88 - 90 t.

Lokomotywy nowego typu [31] posiadać będą przekształtniki napięcia z zastosowaniem tyrystorów GTO mających napięcie pracy $U = 4500$ V i prąd nominalny $I = 3000$ A, a tym samym ograniczenie liczby elementów półprzewodnikowych w obwodzie do około 80 sztuk.

Silniki trakcyjne bezkomutatorowe (asynchroniczne klatkowe), bez obudowy, wodne chłodzenie tyrystorów zamiast chłodzenia freonowego, a także zastosowanie tranzystorów mocy w przekształtnikowych obwodach pomocniczych oraz komputerów pokładowych 2-bitowych do funkcji sterowania kontroli, diagnostyki i informatyki, modyfikacji impulsów wyjściowych z przekształtników pozwalających na zmniejszenie elementów filtrujących. W konstrukcyjnej części mechanicznej pojazdów powinno się stosować:

- zwiększenie odporności czołowych części pudeł na zderzenie,
- wprowadzenie klimatyzowanych kabin maszynisty, odpornych na zmiany ciśnienia zewnętrznego,
- ulepszenie w zakresie ergonomii stanowiska maszynisty i jego centralne usytuowanie w kabinie,
- wykorzystanie materiałów niepalnych w wyposażeniu wnętrza,
- częściowe zawieszenie silnika trakcyjnego w nadwoziu lokomotywy lub częściowe zawieszenie silnika z poprzecznym ruchem nadwozia,
- radialne nastawienie zestawów kół na lokomotywach użytkowych na trasach z dużą liczbą łuków,
- zastosowanie dodatkowego hamulca magnetycznego lub tarczowego do uzyskania wymaganych dróg hamowania przy biegu luzem lokomotywy.

Trwałość nowoczesnych lokomotyw określana jest na 40 lat [31]. Zakłada się, że uszkodzenie lokomotywy powodujące wyłączenie jej z pracy powinno występować nie częściej niż 1 raz na 250 - 300 tys. km przebiegu. Przebieg między przetoczeniem obręczy lub wieńca kół zestawu powinien wynosić około 500 tys. km

Przebiegi między poszczególnymi rodzajami usług powinny wynosić [35]:

- między przeglądami okresowymi 20 tys. km,
- między naprawami rewizyjnymi 1 - 2 mln km,
- między naprawami głównymi 4 mln km.

Nowoczesne pojazdy trakcyjne powinny wyróżniać się cechami umożliwiającymi ich użytkowanie zarówno w ruchu pasażerskim, jak i towarowym. Lokomotywy powinny wyróżniać się następującymi parametrami:

- posiadać układ osi Bo-Bo,
- masa lokomotywy w stanie służbowym 82 t,
- największa prędkość konstrukcyjna 250 km/h
- największa prędkość eksploatacyjna 200 km/h.

Sterowanie napędem i hamowaniem pojazdu powinno być realizowane przez komputer pokładowy sprawujący funkcje kontroli, zabezpieczeń oraz diagnostyki. Pojazd trakcyjny powinien posiadać hamulec elektrodynamiczny lub zdolność hamowania pociągu z oddawa-

oddawaniem energii do sieci. Część biegowa pojazdu - wózki, powinny posiadać zestawy kołowe bezobrotowe, bezwidłowe prowadzenie maźnic i usprężynowanie drugiego stopnia typu "flexicoil".

Intensywna wymiana handlowa z sąsiadami Polski powodować będzie potrzebę obsługi trakcyjnej pociągów wychodzących poza granice kraju w inne systemy zasilania elektroenergetycznego. Pojazdy trakcyjne nowej generacji powinny więc być budowane jako wielosystemowe na napięcie; kV prądu stałego, 25 kV - 50 Hz oraz 15 kV - $16^{2/3}$ Hz. Charakterystyczne i podstawowe parametry lokomotyw elektrycznych na wysokie prędkości przedstawiono w tablicy 1.

W tablicy przedstawiono parametry lokomotyw eksploatowanych w wybranych zarządach kolejowych oraz lokomotywy oferowane dla PKP przez dostawców: ABB-RFN i Pafawag i GEC-Alsthom Francja oraz AEG-RFN.

Zasadniczymi więc wymaganiami pojazdów trakcyjnych nowych generacji jest [15]:

- zwiększenie prędkości pociągów w ruchu pasażerskim w granicach 200 - 300 km/h,
- zwiększenie masy i prędkości pociągów w ruchu towarowym do 140 km/h,
- możliwie niskie koszty eksploatacji,
- energooszczędność stosowanych pojazdów.

Badania [24] wykazują, że osiągnięcie na terenie płaskim ustalonej prędkości pociągu, np. 160 km/h, jest możliwe przy jednostkowej mocy pojazdu trakcyjnego 10 - 12 kW/t, a osiągnięcie prędkości 200 km/h - przy mocy jednostkowej 15 - 20 kW/t. Występuje zatem potrzeba znacznego zwiększenia mocy przypadającej na jeden zestaw kołowy napędowy.

Zwiększenie mocy zainstalowanej na jednym zestawie kołowym powyżej 1000 kW przy stosowaniu silników komutatorowych prądu stałego napotyka trudności konstrukcyjne. Gabaryt silnika nie mieści się w przestrzeni wyznaczonej skrajnią pojazdu. Stąd potrzeba stosowania elektrycznych silników prądu przemiennego - asynchronicznych klatkowych. Zastosowanie w napędach trakcyjnych silników prądu przemiennego umożliwi zwiększenie mocy na jednym zestawie kołowym napędym do 2000 kW przy średnicy koła 1250 mm.

Zwiększenie mocy przypadającej na oś zestawu kołowego jest związane ze zwiększeniem siły przyczepności, co można osiągnąć w pewnych granicach przez wzrost nacisku na oś, a także przez wprowadzenie coraz doskonalszych układów do samoczynnego wykrywania i likwidacji poślizgu, umożliwiających pracę każdego zestawu na granicy przyczepności. W nowoczesnych lokomotywach (koniec XX wieku) problemem jest oszczędność energii elektrycznej, czyli ekonomicznej pracy lokomotyw elektrycznych. Problem ten rozwiązywany jest wielopłaszczyznowo - przez:

- 1) zmniejszenie strat energii przy rozruchu i regulacji prędkości dzięki wprowadzeniu tyrystorowych układów sterowania silnikami trakcyjnymi oraz systemów automatyki, zwłaszcza układów stabilizacji prądu rozruchu i programowania prędkości jazdy;
- 2) zmniejszenie strat energii przy hamowaniu w wyniku wprowadzenia układów hamowania odzyskowego w możliwie szerokim przedziale prędkości jazdy;
- 3) poprawę współczynnika mocy w systemie prądu przemiennego, przede wszystkim za pomocą odpowiednich układów przekształtnikowych zasilających silniki trakcyjne.

Wymienionym wymaganiom powinny więc także sprostać pojazdy trakcyjne PKP.

Dla ilustracji właściwości użytkowych pojazdów trakcyjnych nowych generacji przedstawiono charakterystyki trakcyjne:

- lokomotywy uniwersalnej EuroSprinter - rys. 1,
- zespołu całopociągowego ICE - rys. 2.

Na rysunku 1 przedstawiono charakterystykę zewnętrzną lokomotywy EuroSpinter, tj. przebieg siły uciągu w kN (na haku), oporów ruchu w kN oraz siły hamowania w funkcji prędkości. Opory ruchu podano dla pociągu pasażerskiego o masie 600 t na prostej i na pochyleniu 5‰ oraz dla pociągu towarowego o masie 1000 t na prostej i na pochyleniu 5‰.

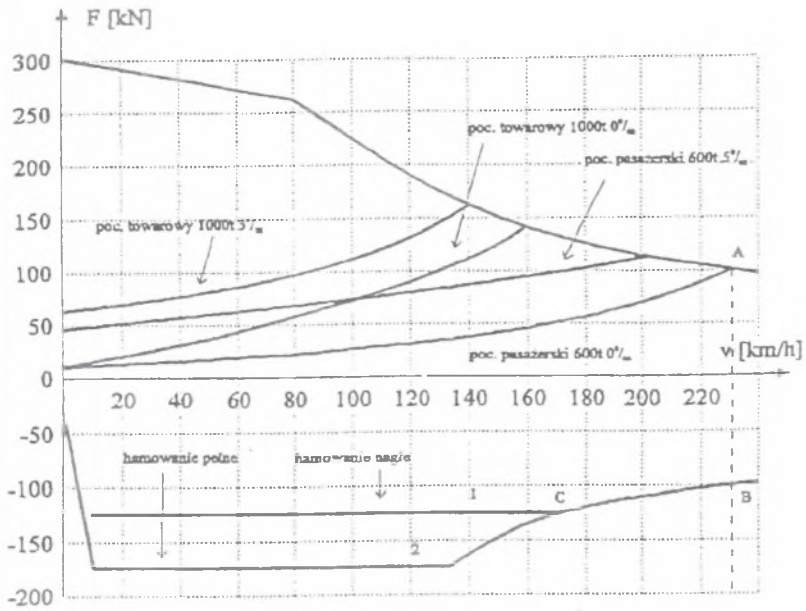
Tablica 1

Podstawowe parametry lokomotyw elektrycznych na wysokie prędkości

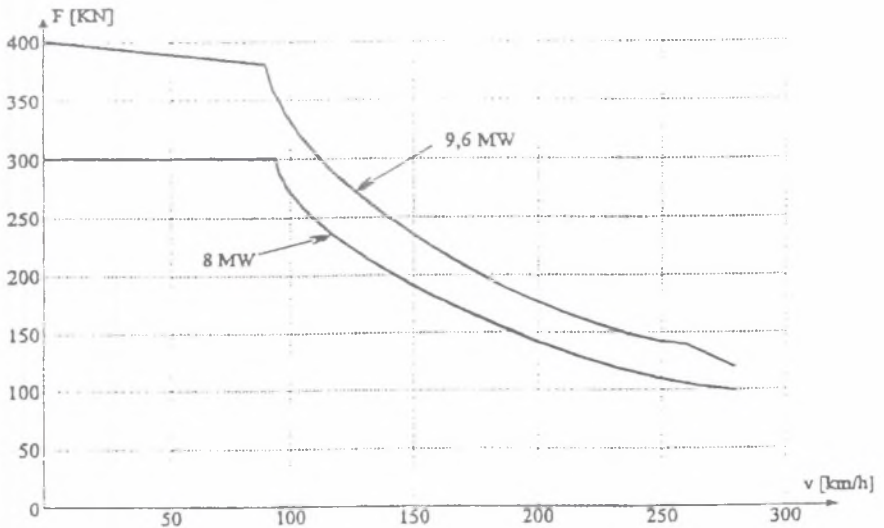
Rodzaj lokomotywy	Lokomotywy eksploatowane							Lokomotywy oferowane PKP		
	BR 120 RFN	Re 4/4 ¹ Szwajcaria	S252 Hiszpania	E 402 Włochy	BB 26000 Francja	ABB-RFN i Pafawag	GEC-Alsiatom	AEG RFN		
Przeznaczenie	uniwersalna	uniwersalna	uniwersalna	uniwersalna	uniwersalna	uniwersalna	uniwersalna	uniwersalna	uniwersalna	
System zasilania	15 kV; 16 $\frac{2}{3}$ Hz	15 kV; 16 $\frac{2}{3}$ Hz	3 kV; 25 kV; 50 Hz	3 kV; 25 kV; 50 Hz	25 kV; 50 Hz	3 kV; 15 kV; 16 $\frac{2}{3}$ Hz	3 kV; 15 kV; 16 $\frac{2}{3}$ Hz	3 kV; 15 kV; 16 $\frac{2}{3}$ Hz	3 kV; 15 kV; 16 $\frac{2}{3}$ Hz	
Układ osi	Bo-Bo	Bo-Bo	Bo-Bo	Bo-Bo	Bo-Bo	Bo-Bo	Bo-Bo	Bo-Bo	Bo-Bo	
Masa służbowa [Mg]	84	81	88	82	90	82 (88)	86,5	82	82	
Prędkość max [km/h]	210	230	220	220	200	220	220	200	200	
Moc ciąгла [kW]	5600	4800	5600	5000	5600	6400 (4500)	5600 (6000)	6000	6000	
Silniki trakcyjne	asynchroniczne	asynchroniczne	asynchroniczne	asynchroniczne	asynchroniczne	asynchroniczne	asynchroniczne	asynchroniczne	asynchroniczne	
Sila rozr (max) [kN]	290	275	300	264	320	280	320	280	280	
Moc hamulca	-4000	-4800	3100/5600	3800/5000	2900/-	4000/6000	2600/3000	brak danych	brak danych	
Obwody pomocnicze	3x440 V; 60 Hz	3x395 V; 50Hz	3x440 V; 60 Hz	3x450 V; 60 Hz	3x380 V; 60 Hz	3x440 V; 60 Hz	3x380 V; 60 Hz	3x440 V; 60 Hz	3x440 V; 60 Hz	
Przełożenie przekładni	4,12	3,667	brak danych	3,59	2,212	3,304	4,14	okolo 4,6	okolo 4,6	
Długość lokomoti [m]	19,2	17,6	20,38	18,44	17,71	19,4	18,31	19,0	19,0	
Baza lokomotywy [m]	10,2	11,0	10,5	10,4	9,684	11,4	9,694	10,7	10,7	
Baza wózka [m]	2,8	2,8	3,0	2,85	2,797	2,65	2,9	2,7	2,7	
Sredni łączna kół [m]	1,25	1,1	1,25	1,25	1,25	1,1	1,15	1,25	1,25	

1) Moc hamulca w układzie: hamulec oporowy/odrzutowy

2) Dane w nawiasach dotyczą drugiej wersji przyspieszyciowej lokomotywy dwusystemowej



Rys. 1. Charakterystyka zewnętrzna lokomotywy EuroSprinter
 Fig. 1. External characteristics of EuroSprinter locomotive



Rys. 2. Charakterystyka zespołu ICE : A - charakterystyka trakcyjna, B - charakterystyka hamowania
 Fig. 2. Characteristics of ICE unit: A - traction characteristic, B - braking characteristic

3. OBWODY GŁÓWNE NOWOCZESNYCH ELEKTRYCZNYCH POJAZDÓW TRAKCYJNYCH DUŻEJ MOCY

Przedstawione obwody główne lokomotyw elektrycznych dużej mocy dotyczą zasilania z napięciem 3 kV prąd stały i 15 kV - $16^{2/3}$ Hz oraz 25 kV - 50 Hz i przy zastosowaniu asynchronicznych silników klatkowych będących jednostkami napędowymi lokomotyw. Asynchroniczne klatkowe silniki trakcyjne zasilane są z falowników, do których budowy wykorzystano tyrystory. W falownikach pracujących na napięcie 3 kV niezbędne było łączenie w szereg do ośmiu tyrystorów i stosowanie dodatkowych obwodów komutacyjnych. Przy opracowaniu tych układów ograniczeniem była minimalizacja strat powstających przy przekształceniach energii oraz minimalizacji zakłóceń elektromagnetycznych, a także wymagania eksploatacyjne dotyczące uzyskania potrzebnej mocy trakcyjnej, wykorzystania w dużym stopniu przyczepności zestawów kołowych i zmniejszenia strat z tytułu uszkodzeń podstawowych zespołów obwodu głównego [26]. W początkowym okresie stosowania falowników zastosowanie znalazły falowniki prądu (lokomotywy 14E; CSD 85E). Współczesne lokomotywy wyposażone są w falowniki napięcia z zastosowaniem tyrystorów GT0.

Przy napędzie lokomotyw silnikami asynchronicznymi istnieją dwie możliwości zasilania silników trakcyjnych:

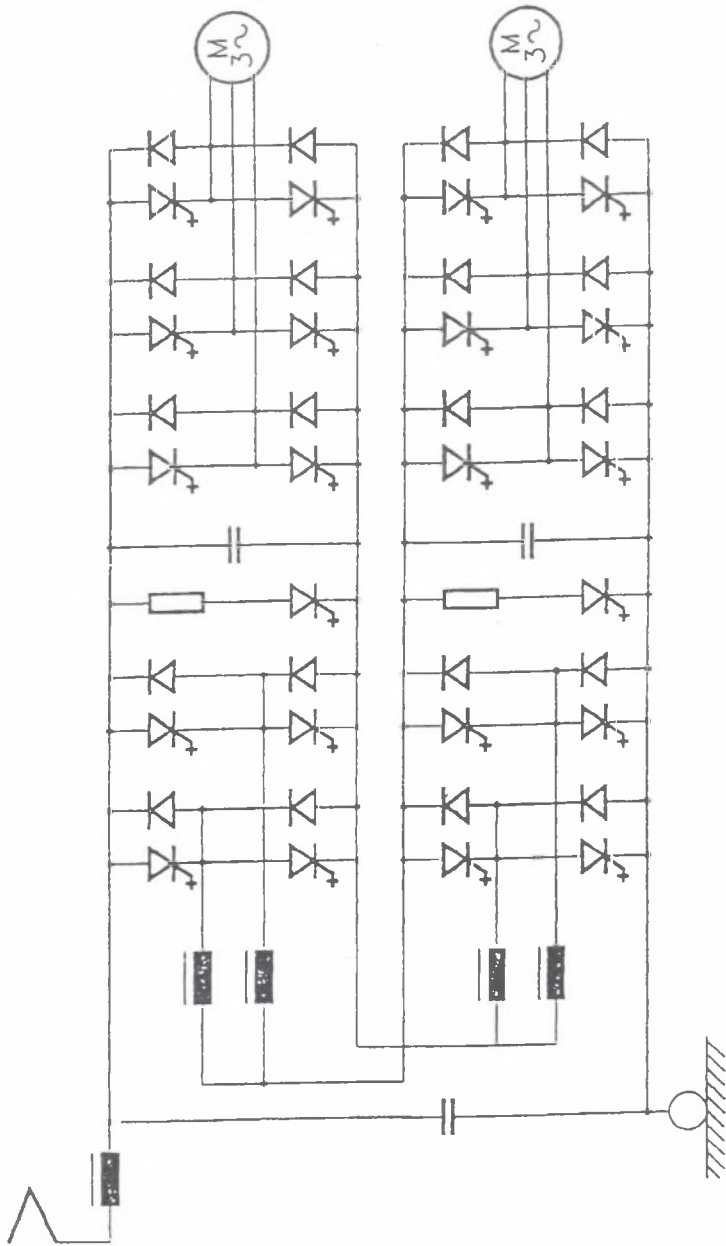
- w sposób indywidualny (z indywidualną regulacją),
- w sposób równoległy (z regulacją grupową, np. wg średnich obrotów) [26].

Zasilanie równoległe silników trakcyjnych z jednego falownika ogranicza liczbę falowników do dwóch, a tym samym zmniejsza liczbę elementów półprzewodnikowych o połowę. Zmniejszenie kosztu lokomotywy wynosi w tym przypadku średnio około 5% [26]. Pomimo uproszczenia układu głównego przy równoległym połączeniu silników zasilanych z jednego falownika, kłopotliwą wadą jest mniejsza zdolność pełnego wykorzystania przyczepności zestawów kołowych. Wiele nowoczesnych konstrukcji pojazdów trakcyjnych ma równoległe zasilanie silników, jak np.: DB BR 120; FS E402; SBB 460, a także człony napędowe pociągów ICE i ETR 500.

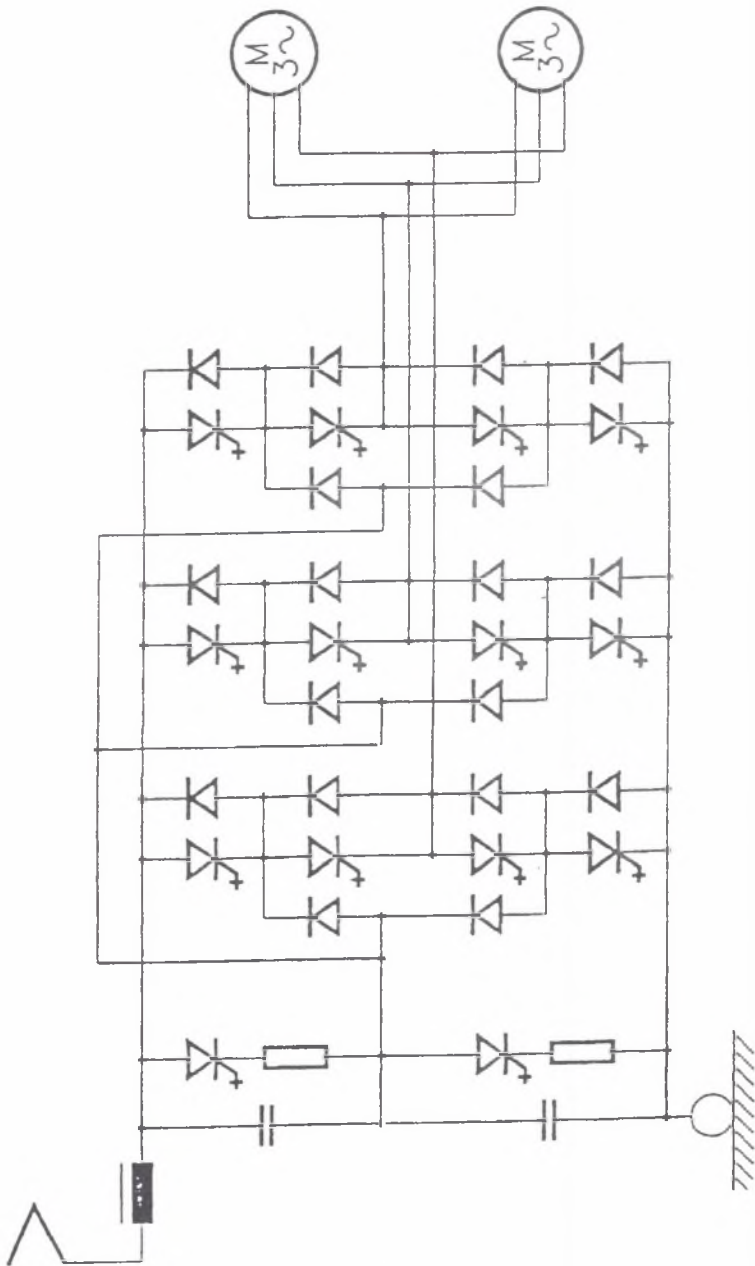
Coraz częściej powstają jednak konstrukcje z indywidualnym zasilaniem silników trakcyjnych, jak np. RENFE S252, Europrinter i człony napędowe "Eurostar". Podstawowymi zaletami zasilania indywidualnego są:

- możliwość utrzymania pracy napędu w zakresie maksymalnego wykorzystania przyczepności,
 - zwiększona tolerancja średnic kół pary zestawów kołowych,
 - w przypadku awarii możliwość utrzymania 70% mocy lokomotywy.
- W lokomotywach prądu stałego zasilanie falowników może być realizowane:
- pośrednio poprzez przekształtnik prąd stały - prąd stały i obwód pośredni o stałym napięciu,
 - bezpośrednio z obwodu połączonego z siecią trakcyjną o zmiennym napięciu wahającym się w znormalizowanych granicach, jak też o pojawiających się przepięciach. Obwód główny lokomotywy przy pośrednim zasilaniu falowników przedstawiono na rys. 3.

Zasadniczą zaletą układu z zasilaniem pośrednim jest stabilizacja napięcia w obwodzie pośredniczącym, tj. zabezpieczenie falownika przed nadmiernym wzrostem napięcia zasilania. Falownik w tym przypadku jest układowo stosunkowo prosty - tworząc tzw. dwa poziomy. Natomiast do wad tego rozwiązania można zaliczyć:

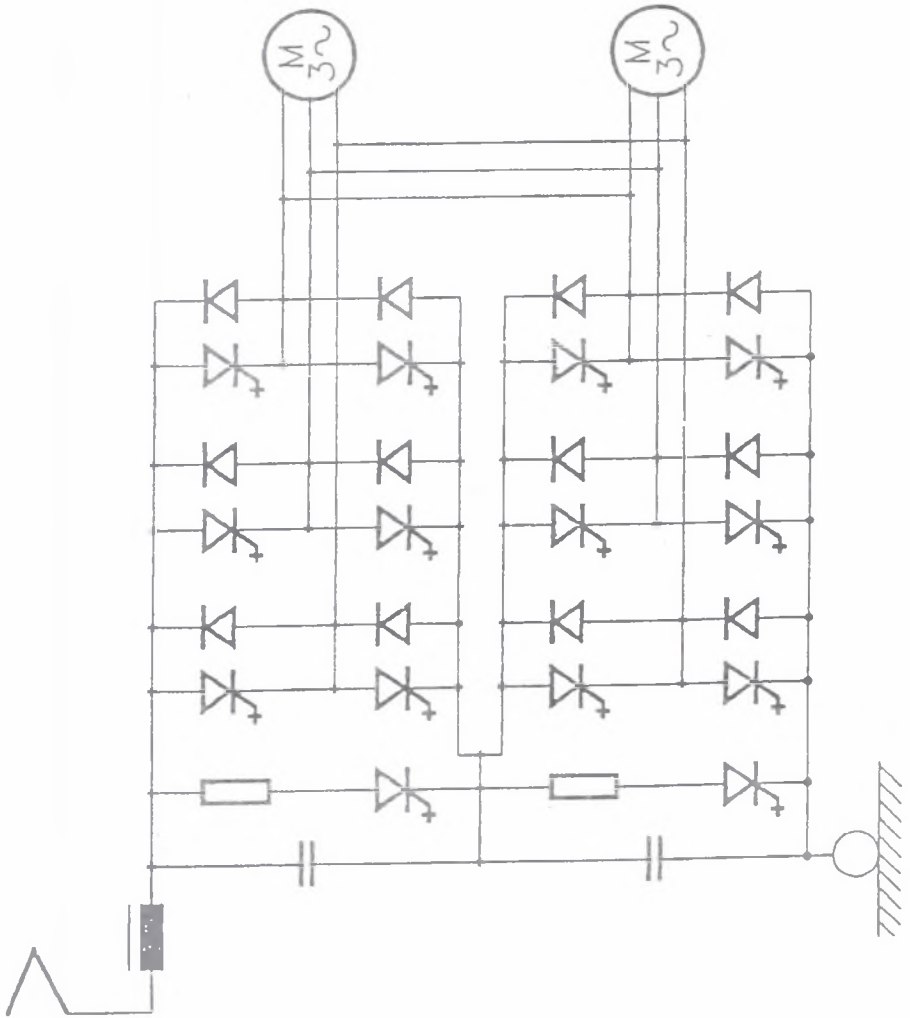


Rys.3. Obwód główny z pośrednim zasilaniem falowników (układ dwupoziomowy) dla jednego wózka
Fig.3. Main circuit with direct feeding of converters (double stage system) for one bogie



Rys.4. Obwód główny z bezpośrednim zasilaniem falowników i równoległym zasilaniem silników trakcyjnych (układ trójpoziomowy) dla jednego wózka

Fig.4. Main circuit with direct feeding of converters and parallel feeding of traction motors (three stage system) for one bogie



Rys.5. Obwód główny z bezpośrednim zasilaniem falowników połączonych szeregowo w układzie 2 x 2 poziomym i równoległym zasilaniem silników trakcyjnych

Fig.5. Main circuit with direct feeding of serially connected converters in 2x2 horizontal system and parallel feeding of traction motors

- zastosowanie dodatkowego zespołu, jakim jest przekształtnik prąd stały - prąd stały,
- większe oddziaływanie impulsów prądu na sieć, co wymaga stosowania większej liczby dławików
- straty energii przekształcenia w dodatkowym zespole oraz w zwiększonej liczbie dławików.

Istnieje opinia (np. ABB), że straty energii przy szeregowo połączonych falownikach bezpośrednio zasilanych są mniejsze niż w układzie z przekształtnikiem wejściowym - jak pokazano na rys. 4. Przy zasilaniu bezpośrednim - falownik narażony jest na występowanie napięć sięgających 9 kV, dlatego też nawet przy zastosowaniu tyrystorów GTO, układ połączeń falownika powinien być trójpoziomowy [26]. Zwiększa to liczbę elementów półprzewodnikowych nawet do 30 sztuk, podczas gdy w falowniku dwupoziomowym może być ich 12 sztuk. W dotychczasowych konstrukcjach ograniczono liczbę falowników do dwóch.

Do zalet zasilania bezpośredniego można zaliczyć:

- całkowite wyeliminowanie zespołu przekształtnika prąd stały - prąd stały,
- korzystniejsze ukształtowanie impulsów prądów oddziałujących na sieć (co znacznie ogranicza liczbę dławików z 12 do 2) [26],
- ograniczenie strat energii dzięki wyeliminowaniu przekształtnika i części dławików.

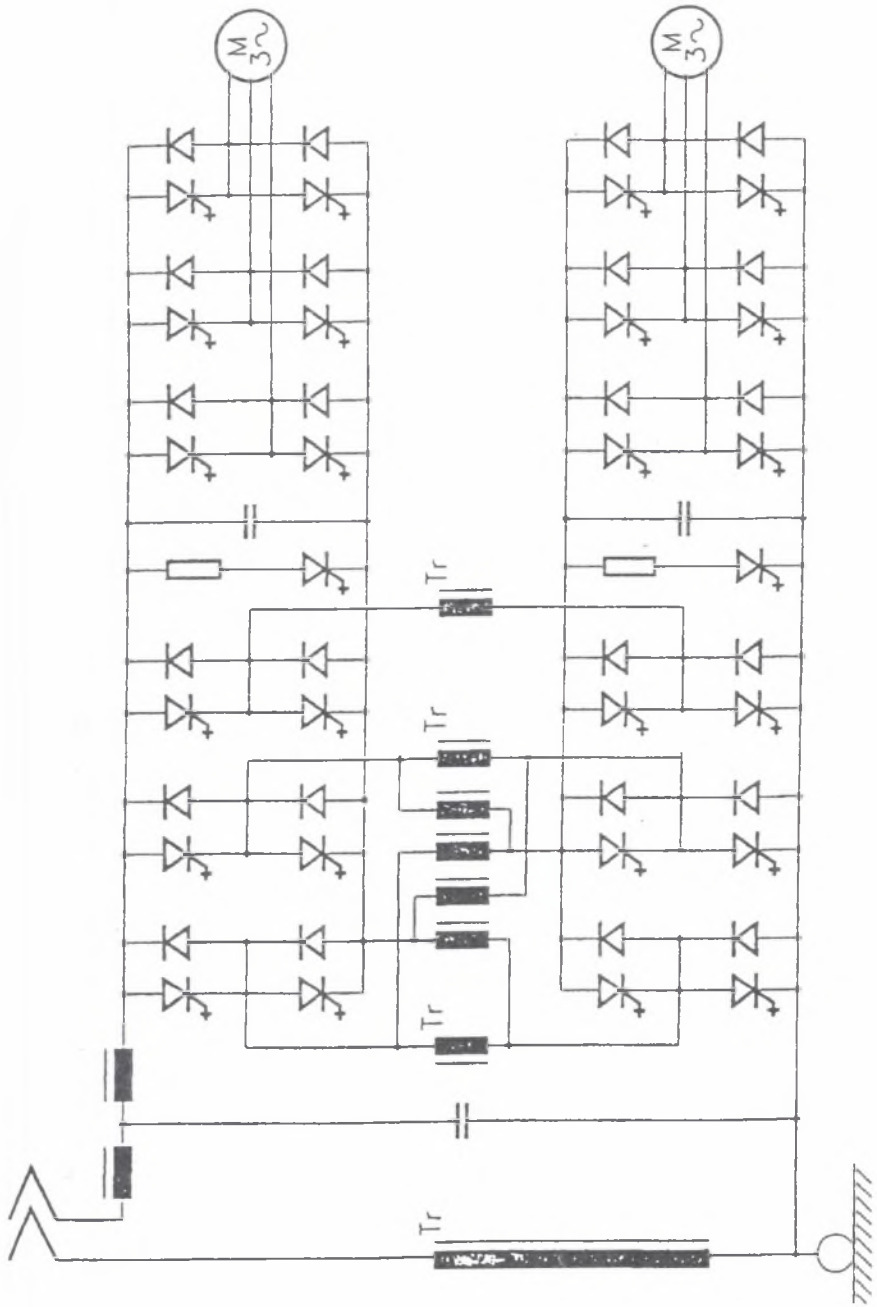
Główną wadą zasilania bezpośredniego z zastosowaniem falowników trójpoziomowych jest zwiększenie liczby elementów w poszczególnych falownikach oraz duża złożoność sterownika falownika. Obwody główne z falownikami bezpośrednio zasilanymi zostały zastosowane w lokomotywach SBB I 822 i SBB 460 (lokomotywa SBB 460 zasilana jest prądem stałym 3 kV)

Falowniki mogą być także zasilane bezpośrednio w układzie, w którym falowniki dwupoziomowe połączone są szeregowo - rys. 5. Układ taki daje możliwość indywidualnego zasilania silników trakcyjnych przy utrzymaniu podanej liczby elementów półprzewodnikowych, jak w przypadku falowników o połączeniach trójpoziomowych i równoległym zasilaniu silników trakcyjnych. Wprowadzenie tyrystorów GTO o ograniczonym napięciu wstępnym 8 kV będzie miało wpływ na ukształtowanie obwodu głównego z falownikami bezpośrednio zasilanymi. Przewiduje się, że wprowadzenie tranzystorów mocy w miejsce tyrystorów GTO spowoduje realizację układów falowników z połączeniami wielopoziomowymi.

4. ROZWIĄZANIA OBWODÓW GŁÓWNYCH LOKOMOTYW WIELOSISTEMOWYCH

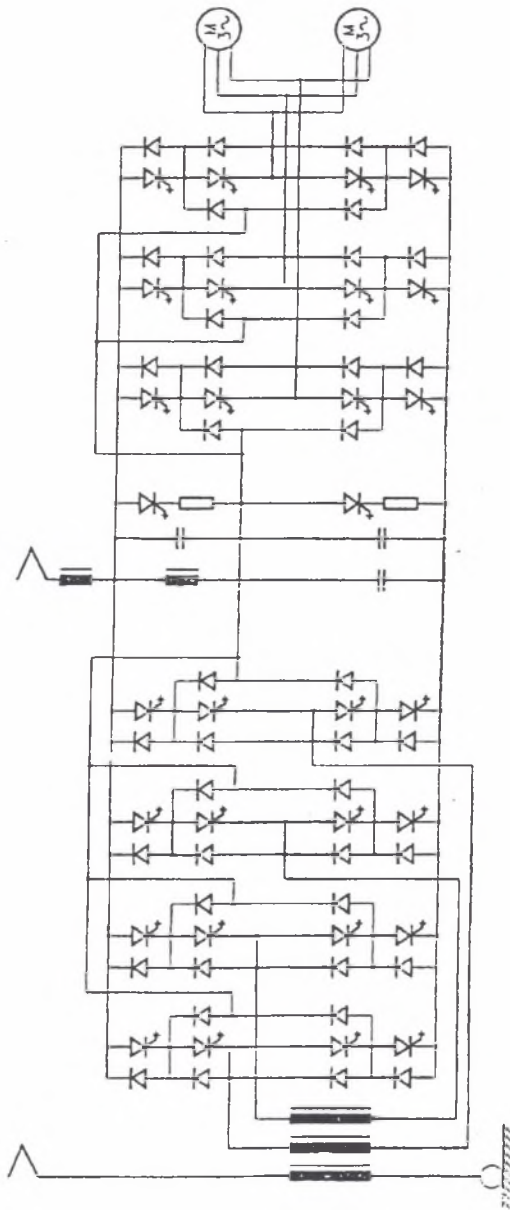
Wykorzystanie pojazdu trakcyjnego na szlakach kolejowych o różnych systemach zasilania elektroenergetycznego spowodowało konieczność opracowania pojazdów wielosystemowych [15]. Projektowane są wersje pojazdów TGV oraz ICE z zasilaniem czterosystemowym, a badane są aktualne człony napędowe pociągu "Eurostar" trójnapięciowe - 5,; i 0,7_ kV [26]. Projektowana jest nowa trójsystemowa lokomotywa dla SNCF dla napięć: 25 prąd zmienny i 1,5 kV prąd stały. Aktualnie produkuje się lokomotywy wielosystemowe:

- S252 na napięcia 25 kV 50 Hz i 3 kV prąd stały dla RENFE;
- 1822 na napięcia 15 kV -16²/3 Hz i 3 kV prąd stały dla ÖBB;
- 1014 na napięcia 25 kV - 50 Hz i 15 kV -16²/3 Hz.



Rys. 6. Układ lokomotywy dwusystemowej: falowniki 2-poziomowe zasilane przez przekształtniki cztero-kwadrantowe (3 moduły) dla systemu AC przez choppery dla systemu DC, zasilanie silników indywidualne

Fig.6. Double system locomotive: two level inverters fed by 4Q converters (three modules) for AC systems ad by choppers for DC system, traction motors fed individually



Rys. 7. Obwód główny lokomotywy dwusystemowej: falowniki 3-poziomowe zasilane bezpośrednio przy prądzie stałym, a poprzez przekształtnik czterokwadrantowy - przy prądzie przemiennym

Fig.7. Main circuit of double system locomotive: three level inverters fed directly from DC net and from 4Q converter under AC line

W lokomotywach zasilanych napięciem 3 kV prąd stały i prądem przemiennym mogą być zastosowane następujące rozwiązania układowe:

- zasilanie pośrednie falownika zarówno w przypadku prądu stałego, jak i przemiennego;
- zasilanie bezpośrednie falowników przy zasilaniu prądem stałym 3 kV.

Zasilanie pośrednie falownika lokomotywy dwusystemowej S252 kolei RENFE przedstawiono na rys. 6.

Zastosowano tu falowniki 2-poziomowe zasilane przez przekształtniki czterokwadrantowe dla systemu AC lub przez choppery dla systemu DC, zasilanie silników indywidualne. Przy zasilaniu prądem stałym dwa moduły sterownika tworzą przekształtnik prąd stały - prąd stały. Sumaryczna liczba elementów półprzewodnikowych w tym układzie wynosi 100.

Przy zasilaniu prądem przemiennym 25 kV obwody pośrednie jednego wózka są połączone równolegle, co umożliwia przy odpowiednim przesunięciu fazowym uzyskanie częstotliwości podstawowej oddziaływania na sieć, równej 3000 Hz przy częstotliwości pracy przekształtnika sieciowego 500 Hz.

Przy zasilaniu lokomotywy prądem stałym 3 kV, obwody pośrednie oddzielone są od siebie, ale moduły przekształtnika są sprzężone przez dławiki. Moduł przekształtnika pracuje z podstawową częstotliwością 300 Hz, lecz dzięki przesunięciom fazowym przekształtników istnieje możliwość uzyskania częstotliwości 2400 Hz - częstotliwość ta oddziałuje na całą sieć lokomotywy. Wpływa to korzystnie na obciążenia kondensatorów obwodu pośredniego, jak tyrystorów GTO. Korzystnie przebiega także proces filtracji częstotliwości. Podobne rozwiązanie przewidziano w projektowanej lokomotywie DB BR 121.

Inne rozwiązanie zastosowano w lokomotywie dwusystemowej ÖBB 1822 pracującej na napięciu 15 kV -16; Hz oraz; kV prąd stały - rys. 7.

Przy prądzie przemiennym falowniki zasilane są poprzez sterowniki czterokwadrantowe, a w przypadku zasilania prądem stałym - bezpośrednio. Połączenie modułów obu systemów lokomotywy tworzy falowniki trójpoziomowe. Zasilanie silników trakcyjnych zrealizowano w sposób równoległy. Zastosowano dwa falowniki o liczbie elementów półprzewodnikowych wynoszącej 144 sztuki. Obwody główne każdego systemu współpracują z systemem komputerowym [31].

W rozwiązaniu przedstawionym zastosowano komputer 32-bitowy, który umożliwia:

- zwiększenie dokładności sterowania i regulacji;
- utrzymanie pracy napędu w zakresie optymalnego poślizgu;
- optymalizację kształtu fali napięcia wyjściowego falownika;
- diagnozowanie większej liczby elementów;
- wprowadzenie funkcji dodatkowych, np. prognozowanie jazd energooszczędnych, wykresy jazdy, współpraca człowiek - pojazd trakcyjny.

5. PROBLEMY CHŁODZENIA TYRYSTORÓW

Zastosowanie w układach przekształtnikowych i falownikowych tyrystorów o coraz większych mocach oraz skupienie ich na małej przestrzeni spowodowało konieczność intensywnego ich chłodzenia i odprowadzania ciepła.

W nowoczesnych lokomotywach dużej mocy stosowane są następujące rodzaje chłodzenia elementów półprzewodnikowych:

- chłodzenie olejowe;
- chłodzenie z wykorzystaniem cieczy parującej;
- chłodzenie wodne.

Proces chłodzenia realizowany jest przez zanurzenie elementów półprzewodnikowych lub przez stosowanie elementów separacyjnych. Straty mocy w jednym rezystorze wynoszą około 12 kW, a zatem jest to znaczna moc, którą trzeba odprowadzić na zewnątrz. O intensywności chłodzenia decyduje współczynnik przenikania ciepła. Współczynnik ten dla odpowiednich mediów wynosi [26]:

- powietrze: 10 - 200 W/m² K,
- olej: 200 - 200 W/m² K,
- freon: 300 - 50000 W/m² K,
- woda: 200 - 50000 W/m² K.

Widać zatem, że najbardziej wydajny jest freon i woda. Freon ze względów ekologicznych wycofywany jest ze stosowania w chłodzeniu tyrystorów. W miejsce freonu wprowadza się środek FC 72 nie wykazujący wad freonu, ale jego wadą jest wysoka cena. Firma ABB wprowadza olejowy system chłodzenia zarówno przez zanurzenie (lokomotywa SBB 460), jak również w układzie pośrednim, lokomotywy DB BR 120 i 121. Olejowy system chłodzenia jest tańszy w eksploatacji aniżeli chłodzenie środkiem FC 72.

Najtańsze jest chłodzenie wodne i należy oczekiwać praktycznych rozwiązań - przodują w tym względzie firmy: Ansaldo, Siemens oraz AEG. Jak wykazują badania [11,13] - nawet w lokomotywach o mocy 6000 kW chłodzenie może być rozwiązane w wymienionych trzech systemach wykorzystujących odpowiednie media.

LITERATURA

1. AEG; ABB Siemens: *Triebk pfe der Baureihe 401 des Hochgeschwindigkeitszuges ICE für die Deutsche Bundesbahn*. Materiały sympozjum. Warszawa 1980.
2. Brun D; Delfosse P: *Une ligne des TGV, Rev gen.chem.de Fer nr 1/2, 1992.*
3. Durzyński Z, Marciniak Z, Piątek S.: *Tendencje rozwoju kolejowych środków transportu. XI Konferencja Naukowa "Pojazdy Szynowe", Kraków - Szczawnica 1995.*
4. Gąsowski W.: *Durzyński Z; Marciniak Z.: Elektryczne pojazdy trakcyjne, Wydawnictwa Politechniki Poznańskiej.*
5. Gąsowski W.; Marciniak Z.: *Konstrukcje oraz modele wózków i układów zawieszonych wagonów i lokomotyw przeznaczonych do jazdy z dużymi prędkościami, Wydawnictwa Politechniki Poznańskiej, Poznań 1993.*
6. Gec Alsthom twórcą Eurostara, *Technika Transportu Szynowego nr 5, 1994.*
7. Gronowicz J.: *Energochłonność transportu kolejowego. Trakcja spalinowa, WKiŁ, Warszawa 1990.*
8. Gronowicz J.: *Ochrona środowiska w transporcie lądowym. Wydawnictwa Politechniki Szczecińskiej, Szczecin 1996.*
9. Gronowicz J.: *Maszyny i urządzenia pomocnicze pojazdów szynowych. Wydawnictwa Politechniki Poznańskiej, Poznań 1985.*
10. Hertel S., Köhler W.: *Konzept zur Messereduzierung beim Mittelwagen des IC-Express, ETR nr 2, 1992.*
11. Heinemeyer P.: *Hochleistungs - Stromrichter mit umweltfreundlicher Kuhltechnik Glaser Annalen nr 8/9, 1992.*
12. Hiroyuki Inone *Das MAGLEV-Supraleiter-System Entwicklungsstand Schienen der Welt nr 4, 1994.*

13. Holl H.; Neumann G.: Watercooled inverter for synchronous and asynchronous electric Vehicle drives, Proc of 5-th European Conference on Power Electronics and Applications, EPE 93, Brighton, vol 55p, 1994.
14. Jansch Eberhard.: Magnetbahntechnik auf dem Weg zur Anwendung, schienen der Welt nr 7/8, 1994.
15. Jung H.: Hochleistungstromrichter für Bahnen EB nr 3, 1993.
16. Kolzam Racibórz: Autobus szynowy 208M, Technika Transportu Szynowego nr 2, 1996.
17. Katalog wagonów towarowych, Kolejowa Oficyna Wydawnicza, Warszawa 1995.
18. Kulikowski H., Magiera J., Tułeczki A.: Wagony towarowe jako środki transportowe we współczesnych rynkach przewozowych, XI Konferencja „Pojazdy szynowe”, Kraków-Szczawnica 1995.
19. Marciniak J.: Kierunki rozwoju przyszłościowych kolejowych pojazdów trakcyjnych końca XX w., Prace CNTK, z. 102, Warszawa 1991.
20. Marciniak J., Moczarski J., Zaorski M.: Wymagania w zakresie utrzymania i napraw wagonów pasażerskich i lokomotyw elektrycznych dla prędkości 200km/h, Prace CNTK z. 104, 1992.
21. Marciniak J.: Eksploatacja kolejowych pojazdów szynowych, WKiŁ, Warszawa 1990.
22. Marciniak J., Pawełczyk M.: Obliczenia elementów systemu eksploatacji kolejowych pojazdów szynowych, Skrypt WSI, Radom 1995.
23. Morawski W.: Prognozy przewozów pasażerów i towarów koleją w Polsce, Przegląd Kolejowy nr 6, 1992.
24. Prace badawcze i tendencje rozwojowe w dziedzinie napędu i trącji elektrycznej, Polska Akademia Nauk, PWN, Warszawa 1981.
25. Rabsztyń M.: TGV nowej generacji czyli wysoka prędkość po niskiej cenie, Technika Transportu Szynowego nr 2, 1996.
26. Raczyński J.: Pociąg Flexlinger na próbach w Polsce, Technika Transportu Szynowego nr 11-12, 1995.
27. Siegman J.: Gestaltung eines sekundären Kombinierten Verkehrs ETR nr 5, 1992.
28. Siemens, KraussMaffei: High-Performance, Universal Locomotive Europrinter Prototype No 127001-6 for the German Federal Railwag, Materiały reklamowe 1983.
29. Szfrański Z.: Lokomotywy spalinowe z przekładnią prądu przemiennego w USA, Technika Transportu Szynowego nr 1, 1996.
30. Teillef B., Renaux J.L.: La technologie bi-modale. Rev Gen chea de Fer nr 3, 1992.
31. Weigel W.D.: SIBAS 32 ein Zukunftsweisen des Konzept für Fahrzeugsteuerungen. GA nr 8/9, 1992.
32. Wolfram T.: Tabor do przyszłych przewozów PKP, Przegląd Komunikacyjny nr 5-6, 1995.
33. Wolfram T.: Tabor kolejowy nowej generacji dla zelektryfikowanych linii szybkiego ruchu. IX Konferencja Naukowa "Pojazdy Szynowe". Kraków 1992.
34. Wolfram T.: Nowoczesne pojazdy spalinowe kolei europejskich. Technika Transportu Szynowego nr 6-7, 1995.
35. Wolfram T.: Nowoczesne lokomotywy elektryczne dużych mocy kolei europejskich. Technika Transportu Szynowego nr 8-9, 1995.

Abstract

Railway traction vehicles in the fall of XX and XXI have complicated electric, electronic, mechanic and pneumatic circuits - so they are called „new generation vehicles”. These vehicles could run with high speed 200 - 300 km/h in passenger and 160 km/h in freight traffic. Some of the assemblies were not used before like rail brake, static converters, antislipping devices, energy converters, squirrel cage traction motors, diagnosis and on-board computers supporting operation and maintenance of the vehicle. This paper presents design of circuits actually used by railway administrations or designed for coming solutions.