

Przykłady elektrycznych napędów trakcyjnych.

Cz. 2. Kolejowy napęd elektryczny

Andrzej Dębowski

Elektryczny napęd w szynowym transporcie kolejowym rozpowszechnił się znacznie później niż w szynowym transporcie miejskim (tramwajach). Dawniej więc komunikacja miejska wyprzedzała w rozwoju kolej. Podobnie jest i teraz. Być może przyczyną takiego stanu rzeczy jest większa potrzeba działań modernizacyjnych przejawiana przez mniejsze przedsiębiorstwa komunikacji miejskiej, ograniczone w swojej aktywności raczej do jednego miasta, niż chęć wprowadzania innowacji przez duże przedsiębiorstwo zarządzające koleją krajową. W kolejnictwie pierwsze lokomotywy elektryczne pojawiły się znacznie później niż tramwaj – dopiero w końcu XIX wieku. W USA lokomotywę elektryczną zbudowano dopiero w 1892 roku. Pierwsze lokomotywy kolei USA zasilane były prądem stałym 650 V (gdyż wzorowano się tu początkowo na doświadczeniach zdobytych przy budowie tramwajów), miały moc 1080 KM i prędkość maksymalną 28,2 km/h. Wiek XX do czasu drugiej wojny światowej to współistnienie trakcji parowej oraz rozwijającej się i ciągle udoskonalanej – trakcji elektrycznej. Zaczęto już dostrzegać, że trakcja elektryczna przewyższa pod każdym względem trakcję parową [A4].

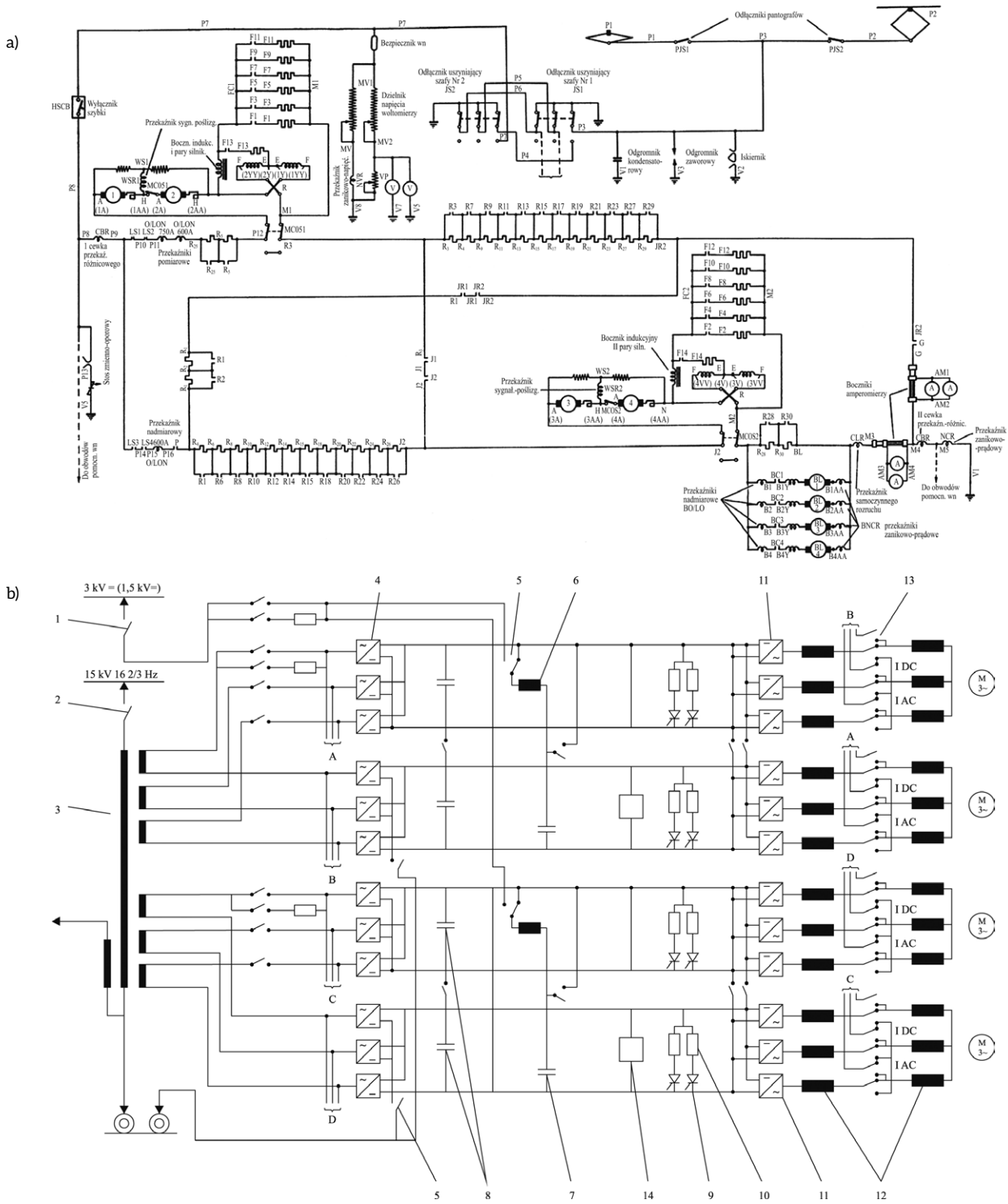
Lokomotywa parowa to maszyna o małej sprawności, która w najbardziej udoskonalonych wersjach nie przekroczyła 8%. Z danych PKP wynika, że sprawność trakcji parowej nie przekraczała 4%. Mimo to przez wiele lat, także po drugiej wojnie światowej, w Polsce na kolejach nadal w przeważającym stopniu funkcjonowała trakcja parowa. Jednym z powodów tego stanu rzeczy była bardzo niejednorodna struktura linii kolejowych odziedziczonych po czasach zaborów, która bardzo utrudniała sprawną elektryfikację linii kolejowych. Innym, także często podawanym, argumentem za utrzymywaniem w eksploatacji parowozów była ich mocno podkreślana niezawodność ruchowa, ważna ze względów strategicznych – parowóz jest urządzeniem łatwym do naprawy, a w razie potrzeby można go uruchomić, spalając w kotle inne paliwo niż węgiel, na przykład drewno.

Po odzyskaniu niepodległości przez Polskę w 1918 roku rozpoczęto proces scalania trzech różnych systemów kolejowych. Sieć kolejowa musiała być zorganizowana praktycznie od nowa, gdyż w wyniku zmiany granic część do tej pory lokalnych linii stała się głównymi, część głównych – lokalnymi, a ponadto niektóre dawniej lokalne linie zaczęły pełnić rolę międzynarodowych. Zdarzały się takie regiony w Polsce, które miały lepsze połączenie kolejowe z sąsiednimi państwami niż z centrum kraju lub które takich połączeń w ogóle nie miały. Pomimo wczesnego planowania pierwszy etap elektryfikacji linii kolejowych rozpoczęto dopiero w 1936 roku z inicjatywy prof. Romana Podoskiego. Zdecydowano się na bardzo nowoczesny wówczas i mało rozpowszechniony system prądu stałego

3000 V, który to wybór zatwierdzono w 1921 roku. W okresie międzywojennym udało się zelektryfikować jedynie ok. 150 km linii kolejowych. Po wojnie prowadzono intensywne prace przy odbudowie bardzo zniszczonych linii kolejowych, a jednocześnie rozpoczęto elektryfikację najważniejszych z nich, co postępowało stosunkowo szybko. W sumie sieć zelektryfikowanych linii kolejowych w 1981 roku liczyła ok. 7 tys. km, a w 1990 roku już prawie 10 tys. km, co stanowiło ok. 30% łącznej długości linii kolejowych w Polsce [C4]. Po 1990 roku proces dalszego elektryfikowania kolei uległ praktycznie zatrzymaniu, ale jednocześnie wiele linii kolejowych wyłączono z eksploatacji, tak że w 2015 roku stan zelektryfikowanych linii wynosił 11,8 tys. km przy łącznej długości wszystkich linii pozostających w użytkowaniu liczącej 18,5 tys. km, co stanowi ok. 64-procentowy udział linii zelektryfikowanych [C5]. Ponieważ w Polsce obserwuje się jednocześnie ogromny wzrost przewozów towarowych z użyciem wielkich samochodów ciężarowych (popularnie zwanych tirami), wymieniony tu duży udział procentowy zelektryfikowanych linii kolejowych (głównie zwiększony znacząco w ostatnich latach w wyniku wycofania z eksploatacji, a czasem wręcz całkowitego rozmontowania niektórych odcinków lokalnych tras kolejowych) dla gospodarczych decydentów w Polsce nie powinien być powodem do zadowolenia, a do zastanowienia. Być może warto by było niektóre drogi, na przykład takie jak autostrada A2 – Autostrada Wolności, odciążyć od tak zmasowanego transportu towarów samochodami ciężarowymi (jadącymi całymi kilometrami jeden za drugim), wykorzystując linie kolejowe biegnące w poprzek Polski do przewozu tirów wraz z ładunkiem specjalnymi pociągami elektrycznymi, składającymi się z odpowiednich wagonów, na które te tiry wjeżdżałyby o własnych siłach (podobnie jak to wprowadzili u siebie Szwajcarzy).

W odróżnieniu od tramwajów w kolejowych lokomotywach elektrycznych napędzające je silniki są zawsze łączone w grupy i wspólnie zasilane (rys. 1). Powodem jest fakt, że fazy rozruchu i hamowania są zdecydowanie dłuższe niż w tramwaju, ponieważ pociąg nie musi mieć takiej dynamiki poruszania się jak tramwaj eksploatowany w ruchu miejskim. Także dla transportu kolejowego jest charakterystyczna relatywnie bardzo długa faza jazdy pociągu ze stałą i dużą prędkością po gładkim torze (bez utrudnień w postaci zwrotnic, rozjazdów i krzyżaków).

Zasilanie lokomotyw (czy też pociągów) elektrycznych w ruchu dalekobieżnym (pomiędzy miastami) odbywa się z wykorzystaniem podwieszonego miedzianego przewodu sieci trakcyjnej, po którym (podobnie jak w tramwaju) ślizga się odbierak prądu znajdujący się na pantografie umieszczonym na dachu pojazdu – a obwód zasilania zamyka się przez stalowe szyny torowiska, po których toczą się metalowe koła jezdne.

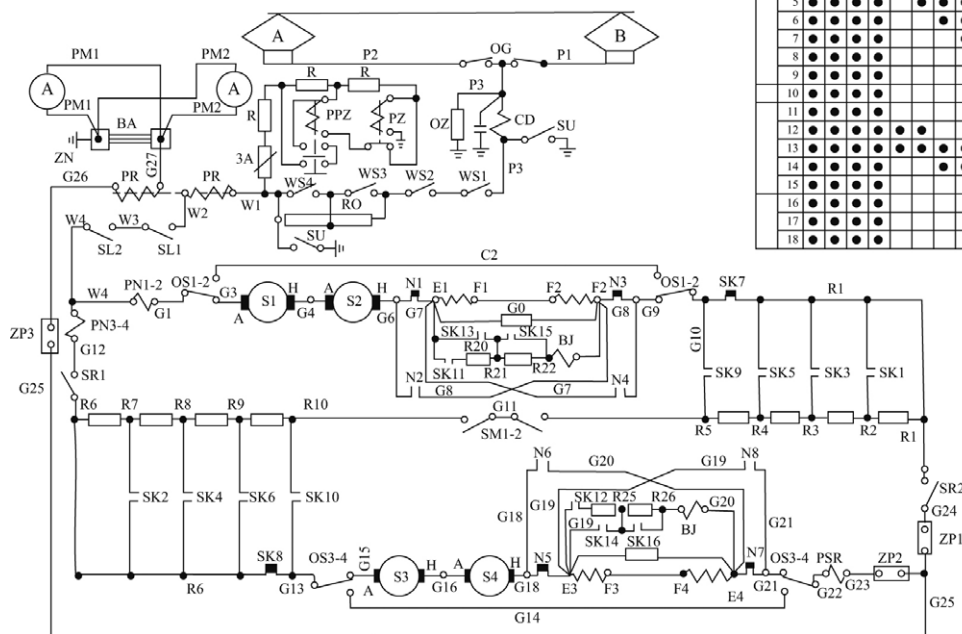


Rys. 1. Schematy ideowe obwodów głównych lokomotyw elektrycznych: a) lokomotywy EU07 - z napędem prądu stałego; b) wielosystemowej lokomotywy EU43 - z napędem asynchronicznym (1, 2 - wyłączniki główne; 3 - transformator; 4 - prostowniki; 5 - przełączniki DC/AC; 6, 7 - dławiki i kondensatory przy zasilaniu z sieci DC; 8 - kondensatory przy zasilaniu z sieci AC; 9, 10 - czopery i rezystory układów hamowania; 11 - falowniki; 12 - przełączalne uzwojenia stojanów silników; 13 - zestawy przełączników umożliwiające bezpośrednie zasilanie silników z transformatora; 14 - układy kontroli napięcia)

Źródło: [A4, C9]

W przypadku pociągów metra (czyli kolei podziemnej) zamiast wiszącego przewodu jest stosowana tzw. trzecia szyna, ułożona na izolatorach wzdłuż torowiska. Dla zapewnienia większej przyczepności kół napędowych do stalowych szyn torowiska opłaca się, aby tych napędzanych kół było możliwie jak najwięcej i aby podział wypadkowej siły napędowej pomiędzy nie był

możliwie jak najbardziej równomierny. Ponieważ przy dużych prędkościach pociągów łuki poziome torowiska mają bardzo duży promień, żadne mechanizmy różnicujące momenty napędowe poszczególnych kół nie są potrzebne, a więc dla napędów kolejowych charakterystyczne jest stosowanie wspólnego zasilania uzwojeń współpracujących ze sobą silników, tworzących



Poc.	Wyt. szybki				Tabela załączeń styczników wału SK																			
	WS1	WS2	WS3	WS4	SK1	SK2	SK3	SK4	SK5	SK6	SK7	SK8	SK9	SK10	SK11	SK12	SK13	SK14	SK15	SK16	SO1-2	SM1-2	SL1-2	
1	•	•	•	•																				
2	•	•	•	•																				
3	•	•	•	•																				
4	•	•	•	•																				
5	•	•	•	•																				
6	•	•	•	•																				
7	•	•	•	•																				
8	•	•	•	•																				
9	•	•	•	•																				
10	•	•	•	•																				
11	•	•	•	•																				
12	•	•	•	•																				
13	•	•	•	•																				
14	•	•	•	•																				
15	•	•	•	•																				
16	•	•	•	•																				
17	•	•	•	•																				
18	•	•	•	•																				

Rys. 2. Schemat ideowy obwodu głównego jednostki trakcyjnej EN57 ze stycznikowo-oporowym sterowaniem silników napędowych Źródło: [C9]

grupy napędowe, których koła obracają się synchronicznie. Schematy ideowe obwodów głównych polskich lokomotyw elektrycznych zasilanych z typowej sieci trakcyjnej o napięciu 3 kV DC (podwieszanej na słupach) przestawiono na rysunku 1. Na rysunku 1 a jest pokazany schemat lokomotywy EU07 z klasycznymi szeregowymi silnikami prądu stałego, a na rysunku 1 b – lokomotywy EU43 z klatkowymi silnikami indukcyjnymi zasilanymi z falowników (wielosystemowej – dla trzech wielkości napięć sieci trakcyjnej: 3 kV DC lub 1,5 kV DC, lub 15 kV 16 Hz AC).

Często w potocznym języku używane określenie „lokomotywa spalinowa” jest w tym przypadku nieprawidłowe, gdyż w świetle podanej na początku tego rozdziału definicji pojazdu elektrycznego oznaczałoby ono, że w takim pojeździe napęd na osie kół jest przeniesiony z wału korbowego silnika spalinowego (jak w samochodzie ciężarowym) za pośrednictwem mechanicznego sprzęgu w postaci indywidualnych wałów napędowych i mechanizmów przekładniowych. W przypadku większych lokomotyw byłoby to jednak z technicznego punktu widzenia wielce kłopotliwe. Dlatego najbardziej sensowne rozwiązanie konstrukcyjne tego problemu polega na tym, że silnik spalinowy, pracując z ustawieniem dawki paliwa i prędkości obrotowej możliwie optymalnymi dla danych warunków obciążenia lokomotywy, napędza – jak w małej elektrowni – podłączoną do niego prądnicę (generator). Dopiero z takiego agregatu prądotwórczego, zapewniającego silnikowi spalinowemu jak najlepsze warunki do spalania paliwa, są zasilane silniki napędzające koła. Lokalnym, mobilnym źródłem energii w takiej lokomotywie jest zbiornik paliwa płynnego (obecnie najczęściej używany jest w tym celu olej napędowy, ale w bardzo dużych silnikach – może to być nawet mazut, tak jak na

statkach). W sensie obecnie obowiązującej terminologii dotyczącej napędów trakcyjnych tego rodzaju rozwiązanie należy nazywać po prostu napędem hybrydowym o strukturze szeregowej. Tego rodzaju lokomotywy najczęściej są stosowane w długich i ciężkich pociągach towarowych.

Bardzo duże znaczenie dla przewozów pasażerskich w Polsce mają pociągi podmiejskie. Najnowsze z nich są produkowane w Bydgoszczy przez przedsiębiorstwo Pojazdy Szynowe PESA (kontynuujące tradycje ZNTK – dawnych, znanych Zakładów Naprawczych Taboru Kolejowego). Dotychczasowy tabor eksploatowany na takich liniach kolejowych składał się głównie z popularnych wieloczlonowych jednostek elektrycznych od wielu lat znanych pod polską nazwą EZT (elektrycznego zespołu trakcyjnego). Najwięcej tych zestawów, bo prawie 1,5 tys., o nazwie EN57, wyprodukował wrocławski PAFAWAG (Państwowa Fabryka Wagonów). Ze względu na bardzo dużą liczbę tych zestawów i ich popularność podlegają one intensywnej modernizacji, dokonywanych w różnych krajowych przedsiębiorstwach zajmujących się remontami taboru kolejowego.

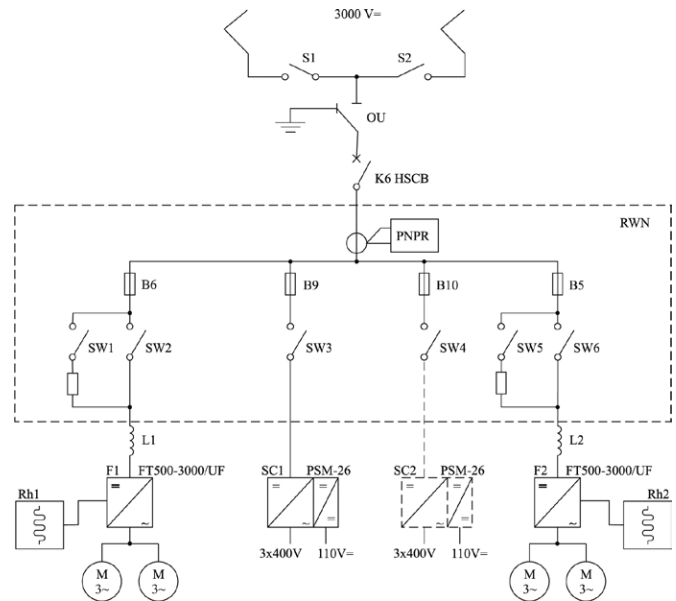
Przy okazji remontów są one w dużym zakresie modernizowane. Modernizowanie polega nie tylko na wymianie i unowocześnianiu karoserii i ogólnego wyposażenia wagonów, ale wiąże się również z wymianą dotychczasowych klasycznych napędów z szeregowymi silnikami prądu stałego i historycznym już sterowaniem stycznikowo-oporowym (rys. 2) na energoelektroniczne napędy przekształtnikowe: „czoperowe” z zachowaniem dotychczasowych silników lub ostatnio nawet na falownikowe napędy asynchroniczne. Odpowiednio zaprojektowany algorytm sterowania wektorowego prądowozorientowanego, pozwala w silnikach asynchronicznych o mocy 250 kW, specjalnie przewidzianych dla takich jednostek i zasilanych

przez autonomiczny falownik z sieci kolejowej o napięciu 3 kV, osiągnąć bardzo korzystne właściwości trakcyjne [A17, A18, A19]. Płynne przechodzenie w tym napędzie od regulacji momentu przy niskich prędkościach z zastosowaniem sprzężenia prądowego do otwartego sterowania wartością skuteczną napięcia stojana w postaci tzw. six-pulsu przy dużych prędkościach pozwala na znaczące obniżenie częstotliwości przełączeń falownika oraz na jazdę jednostki z takim napędem nawet z prędkością do 160 km/h bez utraty korzystnych właściwości regulacyjnych wartości momentu rozruchowego.

Na rysunku 3 przedstawiono schemat obwodu głównego dla dotychczas wdrożonego falownikowego napędu asynchronicznego z tradycyjnym, grupowym sterowaniem napięciowym (skalarnym), specjalnie przeznaczonych właśnie dla takich modernizowanych elektrycznych zespołów trakcyjnych [A6]. Zmodernizowane jednostki z takim napędem, opracowanym i produkowanym przez firmę MEDCOM z Warszawy, są obecnie eksploatowane przez Koleje Mazowieckie i Szybka Kolej Miejską w Trójmieście.

Na zakończenie tego podrozdziału warto wspomnieć o nowatorskich rozwiązaniach proponowanych od dłuższego czasu w kolejnictwie, jakimi są autobusy szynowe i tramwaje dwusystemowe. Tego rodzaju małe pojazdy mogłyby znacząco rozładować narastający ruch podmiejski, związany z dojazdami do pracy ludzi, szczególnie tych mieszkających w pobliżu dużych aglomeracji. Takie przejazdy niewielkich grup ludzi odbywają się obecnie przy użyciu prywatnych samochodów z napędem spalinowym, w których w dodatku najczęściej jedzie sam kierowca (sic!). W ten sposób zmniejszeniu uległyby ogromne „orki” powstające w dni robocze w określonych godzinach na trasach wlotowo-wylotowych wszystkich większych miast. A w przypadku „elektryfikacji” napędów w takich pojazdach znacząco zmniejszyłoby się zanieczyszczenie powietrza spalinami.

Autobusy szynowe (zwane także szynobusami) są lekkimi wagonami silnikowymi lub zespołami trakcyjnymi o napędzie spalinowym, służącymi do obsługi ruchu pasażerskiego na liniach o niewielkich potokach podróży. Mają one konstrukcję zbliżoną do konstrukcji pojazdów drogowych, gdyż dla jej odciążenia unika się stosowania w nich masywnego podwozia i klasycznych, masywnych urządzeń sprzęgowych, natomiast wykorzystuje się szeroko elementy wykonane z tworzyw sztucznych i typowe podzespoły produkowane masowo w przemyśle samochodowym. W porównaniu z tradycyjnym pociągiem (lokomotywa plus 1–2 wagony) o podobnej pojemności charakteryzuje się większymi przyspieszeniami, mniejszym zużyciem paliwa i większymi prędkościami osiąganymi na tych samych – zwykle drugorzędnych – szlakach. Jednak w większości krajów europejskich od lat dziewięćdziesiątych XX wieku, ze względu na dynamicznie wzrastającą popularność kolei regionalnych, przepełnienie pociągów oraz konieczność zachowania wysokich standardów bezpieczeństwa, zaprzestano rozwoju konstrukcji szynobusów na rzecz nowoczesnych, wielkogabarytowych wagonów spalinowych, często wyposażonych w obniżoną podłogę dla ułatwienia obsługi niskich peronów. Nazwy „autobus szynowy” czasem używa się błędnie do określenia ciężkich wagonów o dużych gabarytach z napędem



Rys. 3. Falownikowy napęd asynchroniczny z grupowym, wspólnym napięciowym sterowaniem obu silników w każdym z wózków, przeznaczony do elektrycznych zespołów trakcyjnych EN57 i EN71, opracowany w firmie MEDCOM: S1, S2, OU – odłączniki; HSCB – szybki wyłącznik prądu stałego; PNPR – przekaźnik nadmiaroworóżnicowo-prądowy; RWN – rozdzielnia wysokiego napięcia (B – bezpieczniki, SW – styczniki); F1, F2 – falowniki trakcyjne; Rh1, Rh2 – rezystory hamowania; SC1, SC2 – pomocnicze przetwornice statyczne Źródło: [A6]

spalinowym o dużych mocach, a także niektórych użytkownych samodzielnie elektrycznych wagonów silnikowych [C8].

Tramwajem dwusystemowym (z ang. *tram-train*) jest nazywany pojazd szynowy zasilany z podwieszanej na słupach sieci trakcyjnej i skonstruowany tak, by można go było eksploatować zarówno w infrastrukturze towarzyszącej liniom tramwajowym (czyli przewidzianej dla pojazdów szynowych lekkich), jak i w normalnej infrastrukturze kolejowej (przewidzianej dla ciężkich pojazdów szynowych). Ten pojazd, łączący w sobie właściwości pociągu i tramwaju, może poruszać się zarówno po torach tramwajowych (na obszarze miasta), jak i po torach kolejowych (na odcinkach podmiejskich). Europejskim krajem, w którym spotyka się tego rodzaju rozwiązanie pozwalające na zwiększenie przepustowości komunikacji masowej, są Niemcy. Poważną trudnością techniczną w rozpowszechnieniu tej formy komunikacji masowej są istniejące różnice w szerokościach torów, odmienne systemy zasilania w energię elektryczną (różne rodzaje lub wartości napięcia sieci trakcyjnych), różne wysokości peronów oraz odmienne systemy sygnalizacji i kierowania ruchem. Poważnym problemem jest przenoszenie opóźnień z ruchu w mieście na sieci kolejowe, gdzie są przecież używane także pociągi dalekobieżne, od których wymaga się punktualności w obsłudze pasażerów [C10].

Bibliografia dostępna pod linkiem: nis.com.pl/bibliografia.html

Fragment pochodzi z książki: *Elektryczny napęd trakcyjny*, Andrzej Dębowski, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2019