

Józef MARCINIAK¹

LOKOMOTYWY ELEKTRYCZNE DUŻYCH MOCY U PROGU XXI WIEKU

W artykule przedstawiono rozwój konstrukcji lokomotyw elektrycznych nowej generacji u progu XXI wieku.

Przedstawiono zastosowanie lokomotyw elektrycznych dużych mocy i warunki jakie powinny być spełnione ażeby eksploatować te lokomotywy.

Przedstawiono wykaz lokomotyw dużych mocy wyprodukowanych przez poszczególne firmy.

HIGH POWER ELECTRIC Locomotives IN XXI CENTURY

In the paper there has been shown the XXI century state of knowledge of rail vehicles of the new generation.

The structure railway vehicles system which are controlled by computer devices has been analyzed.

The latest constructions of an electric locomotives and unconventional cars with air-cushion.

1. WSTĘP

Współczesnym wymaganiem dotyczącym przewozów kolejowych trakcją elektryczną zarówno w ruchu pasażerskim jak i towarowym jest minimalny czas przewozu i minimalne zużycie energii.

Stosunkowo krótki czas przewozu jest ściśle związany z prędkością pociągu pokonującego niejednokrotnie transkontynentalne trasy. Pociągi przeznaczone do takich tras złożone są z jednej lub kilku standardowych lokomotyw i standardowego zbioru wagonów.

W przewozach pasażerskich obserwuje się proces zwiększania prędkości pociągu do 160 a nawet do 300 km/h. Natomiast w ruchu towarowym występuje tendencja zwiększania prędkości pociągów do 120 km/h ÷ 140 km/h a nawet 160 km/h. W przypadku pociągów przewożących towarowe ładunki masowe – koks, węgiel, płody rolne – prędkość pociągu powinna osiągnąć 100 km/h.

Przewozy z takimi parametrami prędkości i ładowności wymagają odpowiedniej mocy i masy napędowej lokomotywy. Elektryczne silniki napędowe bezkomutatorowe – silniki

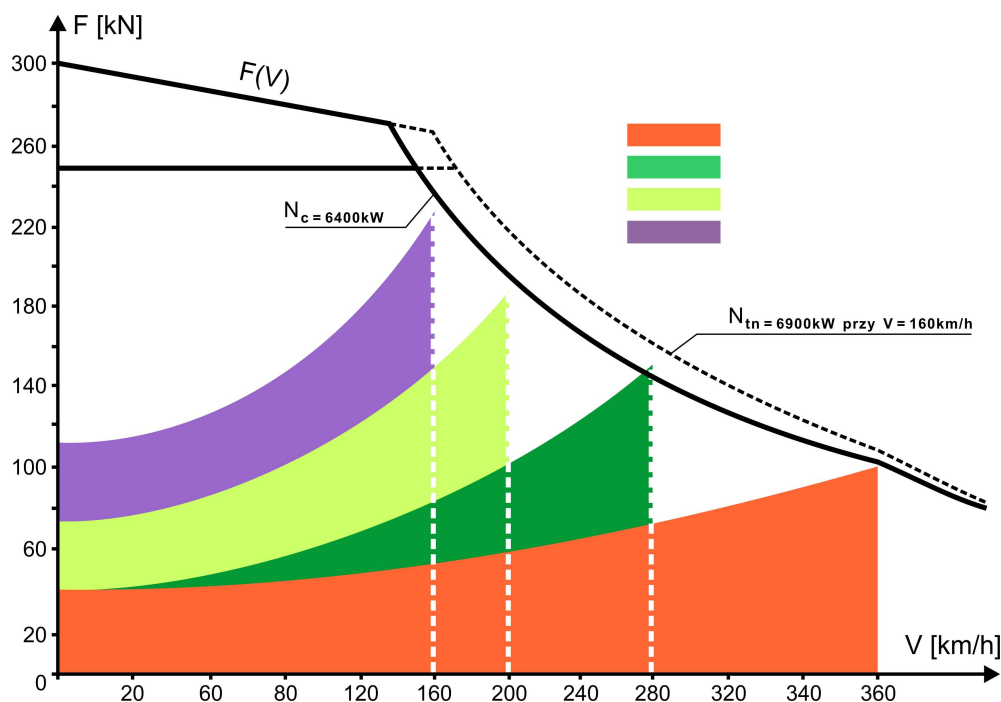
¹ Politechnika Radomska, Wydział Transportu i Elektrotechniki, j.marciniak@pr.radom.pl

asynchroniczne klatkowe, umożliwiły budowę lokomotyw czteroosiowych o mocach 5000÷6000 kW i naciskach kół do 22,5 t/oś.

Największa moc ciągła w odniesieniu do jednego zestawu kołowego wynosi obecnie 1600 kN.

Zastosowanie elektrycznych silników asynchronicznych do napędu, umożliwiło zwiększenie przyczepności kół lokomotywy o około 40%, co spowodowało ograniczenie liczby osi lokomotywy do 4 przy zachowaniu dopuszczalnych nacisków na oś do 22,5 t/oś.

Charakterystyki trakcyjne omawianych lokomotyw przestawiono na rys. 1.



Rys. 1. Zależność siły pociągowej F od prędkości V lokomotywy elektrycznej AEG.12X

Przedstawione zależności można uzyskać mając do dyspozycji następujące pociągi pasażerskie:

500÷600t o prędkości do 220 km/h,
700÷900t o prędkości do 160 km/h lub
pociągi towarowe:

1200÷900t o prędkości 140÷160 km/h,
1700÷800t o prędkości do 120 km/h,
2200÷2700t o prędkości do 100 km/h.

Warto nadmienić, że wprowadzenie nowoczesnych napędów uniwersalnych lokomotyw elektrycznych, umożliwiło:

- zmniejszenie liczby lokomotyw około 15% w wyniku lepszego ich wykorzystania ,

- zmniejszenie około 3% rezerw lokomotyw,
- obniżenie kosztów utrzymania tych pojazdów o około 20%,
- obniżenie nakładów inwestycyjnych na zakup uniwersalnych lokomotyw elektrycznych dużych mocy o około 35%.

Koleje zachodnio-europejskie intensywnie modernizują swoją infrastrukturę co przedstawia tabela 1 oraz tabela 2.

Tab. 1. Zakupy uniwersalnych lokomotyw dużych mocy

Kraj	Kolej	Seria lokomotyw	Liczba [szt.]	Uwagi
Belgia	Re465	Re 465	8	
Portugalia	LE5600	LE 5600	30	Jednosystemowa lokomotywa S 252
Niemcy	DB	BR 120	65	
		Eco 200	145	Produkcja zakończona
Holandia	NSB	EI 18	22	Wersja lokomotywy Re 460
Hiszpania	RENFE	S252	75	Dostawy realizowane
Szwajcaria	Re460	119	119	
		Re465	10	Dostawy realizowane
SNCF	BB 26000		320	
		Bo-Bo 3600	150	
VR	SR2		20	Wersja lokomotywy Re 460

Podane liczby wystarczają na pokrycie najpilniejszych potrzeb.

Tablica 2 przedstawia zestawienie lokomotyw elektrycznych dużej mocy na kolejach europejskich.

1.1. Lokomotywa grupy ABB Henschel-Eco 200

Dane techniczne przykładowej lokomotywy Eco 2000 przedstawiono niżej.

Skrzynia przekładniowa lokomotywy trójkołowa o przełożeniu $i=3,304$.

Wał przegubowy z przegubami systemu BBC.

Hamowanie dynamiczne odzyskowe skorelowane z powietrznym.

Układ komputera pokładowego – MiCASRS.

Firma ABB Henschel, która jest twórcą lokomotywy Eco 2000 aktualnie prowadzi prace nad lokomotywami:

	moc [kW]	masa [t]	prędkość [km/h]
lokomotywa uniwersalna	6400	86	220
człon napędowy ICE	4800	76	220
lokomotywa towarowa I	6000	86	140
lokomotywa towarowa II	4400	84	140

Wózek lokomotywy odznacza się pewną prostotą i wykazuje bardzo dobre własności dynamiczne podczas jazdy z prędkością $V = 240$ km/h.

Tab.2. Dane techniczne uniwersalnych lokomotyw elektrycznych dużych mocy³⁾

Producent	ABB Henschen		ABB, SLM		AEG	Ansaldo			GEC Alstom		Simens KM		GGP ABB		ABB B RUS	Brush ABB	GEC	SGP ABB
	Seria	BR120	Eco200	Re460	Re465	12X	E402	E402A	E402B	BB 2600	Bo-Bo 3600	S252	Euro sprinte	1012	EU11	LC Shuttle	class 92	class 91
Zasilanie [kV] [Hz]	15 16 2/3	15 16 2/3	15 16 2/3	15 16 2/3	15 16 2/3	3	3	25 50 3	25 50 1,5	25 50 3 1,5	25 50 3	15 16 2/3	15 16 2/3	3 (25 50) 15 16 2/3	25 50	25 50 0,75	25 50	15 16 2/3
Układ osi	Bo-Bo	Bo-Bo	Bo-Bo	Bo-Bo	Bo-Bo	Bo-Bo	Bo-Bo	Bo-Bo	B-B	Bo-Bo	Bo-Bo	Bo-Bo	Bo-Bo	Bo-Bo	Bo-Bo -Bo	Co-Co	Bo-Bo	Bo-Bo
Masa własna [t]	84	86	84	84	84	82	84	87	90	88	88	86	84	82	136	126	82	81,4
Moc ciągła [kW]	5600	6400	4800	6400	6400	5000	5900	5600	5600	6000	5600	6400	600	5000-6000	5600	5000 4000	4540	4400
Moc max [kW]		7000	6100	7000	7200	6000	6000	6000				7200	6400			Nie określono		
Max siła rozr. [kN]	300 280	340	275	300	300	248	252	270	320	320	300	300	280	280	400	360	190	280
Siła poc. przy V _{max} [kN]	100/ 85	105	80	80	100	100/80	94/83	100/95	100	100	90	90	85		140		55	113
Prędkość max. [km/h]	200	220	230	230	220/ 250	220	220	220	200	220	220	230	230	220	140	360	190	280
Moc hamowania elektrycznego [kW]	4000 rek	6400 rek	6400 rek	7000 rek	6400 rek	8300 rek	3300 rek	5600 3300 rek. op	280 op	6000 3000 rek. op	5600 3300 rek. op	6400 rek	6000 rek	3600 rek. op	5600 rek	rek. op.	op.	4400 1000 rek. op.
Długość ze zderzakami [m]	19,20	18,95	18,50	18,50	19,50	18,44	18,44	18,90	17,71	19,7	20,38	19,58	19,30	19,00	22,0	21,34	19,4	19,3
Rozstaw osi	2,80	2,65	2,80	2,80	2,60	2,85	2,85	2,85	2,80	3,00	3,00	3,00	2,80		2,8	4,15	3,2	2,7
Średnica kół [mm]	1250	1100	1100	1100	1250	1250	1250	1250	1250	1150	1250	1250	1100	1250	1215	1070	1000	1100
Kolej eksploatująca	DB	DB	SBB NSB VR	SBB BLS	DB	FS	FS	FS	SNCF	SNCF	RENFE CP	DB	OBB	PKP	ESCL	BR	BR	OBB
Uwagi		prototyp w budowie			prototyp	seria próbna 5 szt.		projekt	mono silnik synchr.	prototyp w budowie		prototyp	prototypy w budowie	wytyczne w t			silniki prądu stałego	

³⁾ opracowanie własne

1.2. Lokomotywa uniwersalna DB BR 120

Lokomotywa BR 120 jest pierwszą uniwersalną lokomotywą elektryczną dużej mocy 5600 kW, masie 84 t i prędkości 200 km/h. Do eksploatacji na koniec 2009 r. wprowadzono 60 tego typu pojazdów. Początkowo lokomotywa była przeznaczona do prędkości 160 km/h lecz do produkcji seryjnej prędkość tą zwiększono do 200 km/h, lokomotywa jest dostosowana do zasilania prądem o napięciu 15 kV $16\frac{2}{3}$ Hz.

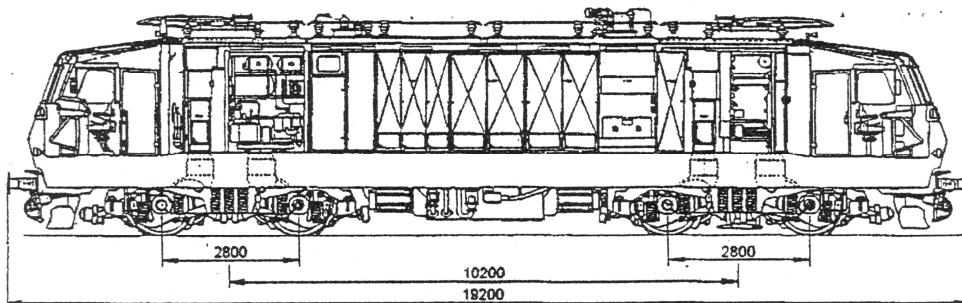
Obwód główny lokomotywy składa się z czterech gałęzi równoległych, w skład każdej gałęzi wchodzi: sterownik czterokwadratowy, pośredni obwód o napięciu 2,8 kV i falownik napięcia.

Dwie gałęzie jednego wózka zasilane są z dwóch sterowników czterokwadratowych.

Silniki trakcyjne każdego wózka połączone są równolegle po dwa lecz zasilane są z dwóch gałęzi. Przetworniki wyposażone są w tyrystory konwencjonalne 2,5 k 2 kV, chłodzone olejem.

Liczba elementów półprzewodnikowych wynosi 480 szt., lokomotywa posiada hamowanie tylko odzyskowe o mocy 4000 kW, skorelowane z chłodzeniem powietrznym. Sterowanie lokomotywy realizowane jest 8 bitowym mikroprocesorem. Silniki trakcyjne posiadają obudowę, małe koło zębate umieszczone na wale silnika a duże koło ułożyskowane jest na wsporniku obudowy silnika.

Lokomotywa posiada dwa niesymetryczne odbieraki prądu lekkiej konstrukcji dostosowane do prędkości 250 km/h. Widok lokomotywy przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2. Lokomotywa DB-BP120

Lokomotywa zasilana jest z dwóch obwodów pomocniczych, przy czym pierwszy obwód pomocniczy zasilany jest z dodatkowych uzwojeń transformatora głównego napięciem przemiennym 885 V 16 Hz.

Napięciem tym zasilane są trzy przekształtniki, które prostują prąd przemienny a następnie przekształcają go w prąd trójfazowy o napięciu 0÷440V i częstotliwości 0÷60 Hz dla silników napędów pomocniczych.

Drugi obwód pomocniczy zasila napięciem 200V $16\frac{2}{3}$ Hz poprzez przekształtniki obwoły prądu stałego 110 i 24 V oraz prądu przemiennego 220 V 50 Hz.

Wózki lokomotywy są wyposażone w maźnice z łożyskami rolkowymi, prowadnice maźnic Alsthoma, zwojowe sprężyny I stopnia (4 szt. na zestaw), natomiast sprężyny zwojowe II stopnia (6 szt. na wózek), które pracują w układzie „flexicoil”.

Nacisk zestawów kołowych na szyny kompensowany jest przez siłowniki powietrzne.

Elektryczne silniki trakcyjne prądu przemiennego wraz z dużym kołem zębatym przekładni oparte są w ramach wózka.

Napęd przenoszony jest przez wał przegubowy w systemie BBC, przełożenie 4,82 do numeru 36 oraz 4,12 dla numerów wyższych .

Hamulec mechaniczny klockowy obustronny z dwoma siłownikami jednego koła. Siły poprzeczne między kołem a szyną nie przekraczają 70% wartości granicznej.

Cykl naprawczy lokomotywy przewiduje realizację przeglądów co 10 i 100 tys. km, a naprawę wózków co 1 mln km, a pozostałej części co lokomotywy co 2 mln km.

Lokomotywy o nowoczesnych układach napędowych ale o cechach uniwersalnych, dotyczą przeważnie zadań o szczególnym charakterze przykładowo:

- le Shuttle – do obsługi wahadłowych pociągów towarowych pod Kanałem LBR a Manche,
- BR claSS 92 – do obsługi pociągów towarowych oraz do prowadzenia nocnych pociągów pasażerskich na liniach współpracujących z Kanałem La Manche,
- BR class 91 – do obsługi pociągów ekspresowych w Wielkiej Brytanii,
- OBB 1822 – do obsługi pociągów kontenerowych między OBB i FS,
- wersja towarowa EuroSprinter do obsługi niektórych pociągów towarowych DB.

2. PRZEGLĄD KONSTRUKCJI LOKOMOTYW UNIWERSALNYCH DUŻYCH MOCY

2.1. Lokomotywa Eco 2000

Prototyp tej lokomotywy aktualnie znajduje się w budowie, obwód główny złożony jest z dwóch gałęzi, wyposażonych w sterownik czterokwadratowy. Zastosowano tu transformator chłodzony estrem co znacznie zmniejsza masę transformatora o około 2 t. Lokomotywa wyposażona jest w 88 tyrystory GTO chłodzone olejem. Silnik trakcyjny jest częściowo zawieszony w ramie wózka a częściowo w nadwoziu.

Koszty lokomotywy w stosunku do lokomotyw konwencjonalnych są mniejsze o około 40% .

Lokomotywy Br mogą z powodzeniem zastępować lokomotywy sześćoosiowe. Konstrukcja lokomotywy pochodzi z lat 1970÷80.

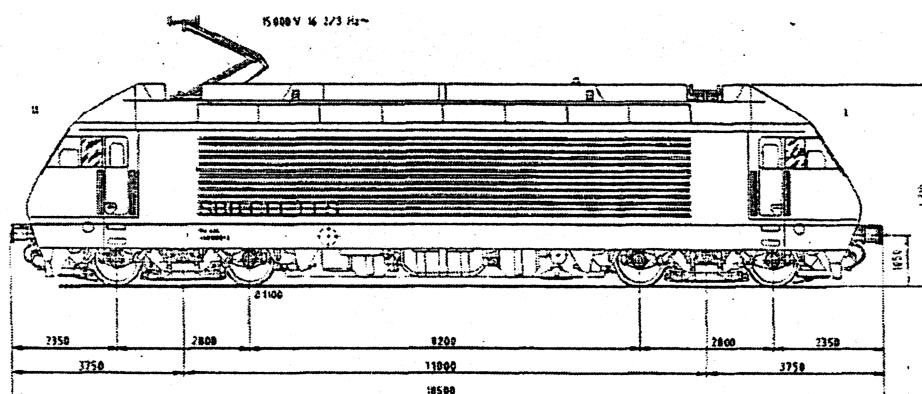
2.2. Lokomotywa Re 460 z grupy ABB typu SBB

Widok lokomotywy przedstawiono na rys. 3 .

Moc ciągła lokomotywy wynosi 4800 kW, moc godzinna 6100 kW, masa własna 84 t a prędkość 230 km/h.

Prace nad lokomotywą rozpoczęto w 1986r. a serię prototypową wprowadzono do ruchu w 1991r. Ogółem zamówiono 119 szt. tych lokomotyw i nie przewiduje się długotrwałych badań eksploatacyjnych.

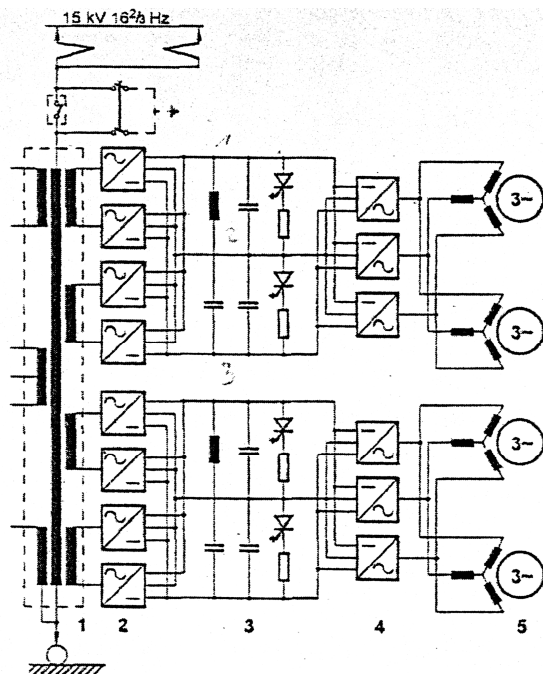
Lokomotywa jest dostosowana do zasilania napięciem 15 kV $16\frac{2}{3}$ Hz oraz zasilania dwusystemowego z uwzględnieniem napięcia:
25 kV 50 Hz
15 kV 50 Hz,
3 kV 50 Hz,
1,5 kV 50 Hz.



Rys. 3. lokomotywa SBB -Re 460

Obwód główny składa się z dwóch indywidualnie zasilanych gałęzi, w skład których wchodzi: sterownik czterokwadratowy o czterech zespołach przekształtnikowych, pośredni obwód o napięciu 3,5 kV, falownik i dwa równoległe zasilane asynchroniczne silniki trakcyjne.

Falowniki połączone są trójpoziomowo. Schemat obwodu głównego przedstawia rys. 4.



Rys. 4. Obwód główny lokomotywy SBB – Re 460: 1 transformator, 2 – sterowniki cztero-kwadratowe, 3 – obwody pośrednie (trójpoziomowe łączenie modułów falownika), 4 – falownik, 5 – asynchroniczne silniki trakcyjne

Obwód główny wyposażony jest w przekształtnik z oporami, które przy zasilaniu prądem przemiennym pochłaniają energię przepięć a w przypadku zasilania prądem stałym (również) pochłaniają energię hamowania. Liczba tyrystorów GTO wynosi 144.

Przy pracy lokomotywy na sieci prądu stałego falowniki działają jako bezpośrednio zasilane. Zastosowano silniki asynchroniczne czterobiegunowe bez obudowy. Zastosowano przekładnię trójkątową o przełożeniu $i = 3,67$. Skrzynia przekładniowa połączona jest z silnikiem. Małe koło zębate umieszczone jest na wale silnika, łożyskowanie jednostronne. Hamowanie odzyskowe o mocy 6100 kW, skorelowane z hamowaniem powietrznym.

Napęd urządzeń pomocniczych z uzwojeń dodatkowych transformatora głównego – napięciem 804V. Prąd ten jest przetworzony i przekształcony w falownikach na prąd przemienny $3 \times 380 \text{ V } 50 \text{ Hz}$ o zmiennym napięciu i częstotliwości oraz w falownikach o stałym napięciu i częstotliwości. Zasilane są także obwody prądu 110 V i 220 V $16 \frac{2}{3} \text{ Hz}$.

Sterowanie i diagnostyka z komputera pokładowego MiCAS S2 (16 bitowego), połączenie modułów światłowodami. Komputer ten może być wykorzystywany do przekazywania informacji z i do pociągu oraz srk. Lokomotywa może pracować w układzie czterokrotnego sterowania. Odbieraki prądu (niesymetryczne), wyposażone są w regulowany układ siły dociskającej do sieci trakcyjnej.

Pudło lokomotywy wykonano ze stali o zwiększonej wytrzymałości i odporności na korozję. Kabinę maszynisty wykonano z tworzywa sztucznego wielowarstwowego o dużej odporności na uderzenia. Wiele drugorzędnych elementów pudła wykonano również z tworzyw sztucznych. Część czoła ostoi pudła wyposażona jest w specjalne elementy przejmujące energię zderzenia (540 kNn). Powietrze do chłodzenia silników trakcyjnych i przekształtników doprowadzone jest przez żaluzje i filtry na dachu. Klimatyzowana kabina maszynisty odporna jest na zmiany ciśnienia. Elementy wykonawcze na pulpicie maszynisty umieszczone są w dwóch konsolach. Prowadzenie maźnic z łożyskami cylindrycznymi umożliwia ich przesuw wzdłużny, niezbędny do radialnego ustawienia zestawów podczas jazdy lokomotywy w łuku.

Usprężynowanie wózka I stopnia stanowi zespół sprężyn zwojowych umieszczonych nad maźnicami. Usprężynowanie II stopnia obejmuje cztery sprężyny umieszczone po dwie z każdej strony wózka w systemie „flexicoil”.

Silnik trakcyjny stanowi jeden zespół z przekładnią zawieszoną w ramie wózka. Przeniesienie napędu między przekładnią a zestawem kołowym wykonane jest wałem przegubowym z przekładkami gumowo-stalowymi. Część biegowa lokomotywy dopuszcza jazdę w łuku z przyspieszeniem odśrodkowym $1,8 \text{ m/s}^2$.

W lokomotywie zastosowano hamulec klockowy – jednostronny z wstawkami z materiału spiekanego. Oprócz hamulca klockowego każdy z wózków wyposażony jest w hamulce magnetyczne o magnesach stałych z obrotowym rdzeniem, prędkość lokomotywy ograniczono do 125 km/h.

Wskaźnik gotowości technicznej lokomotywy 0,94 %:

- przetoczenie powierzchni tocznej kół co 500 000 km,
- naprawa rewizyjna części biegowej co 0,8 mln km,
- naprawa rewizyjna urządzeń pomocniczych i chłodzących co 1,6 mln km,
- naprawa rewizyjna części elektrycznej co 4,8 mln km,
- przebieg jednego cyklu eksploatacji 9,6 mln km.

Należy nadmienić, że koleje fińskie VR zamówiły 20 szt. tych lokomotyw w wersji dostosowanej do zasilania napięciem 25 kV 50 Hz i toru o prześwicie 1524 mm.

Przeprowadzone prace nad wersją lokomotywy Re 465 dla prywatnej Kolei Szwajcarskiej BLS, przewidują następujące rozwiązania: Część elektryczna ulegnie nowym rozwiązaniom przy niezmiennych części mechanicznej.

Prócz tego przewiduje się następujące zmiany i modyfikacje :

- zwiększenie mocy ciągłej do 6400 kW a chwilowej do 7000 kW,
- wprowadzenie układu o dwupoziomym połączeniu falowników i indywidualnym zasilaniu silników trakcyjnych,
- zmianę napięcia obwodu pośredniego do 2,8 kV
- zastosowanie 6-biegunowych silników trakcyjnych.

Prywatne Koleje BSL zamówiły 8 szt. takich lokomotyw a szwajcarskie SBB – 10 szt.

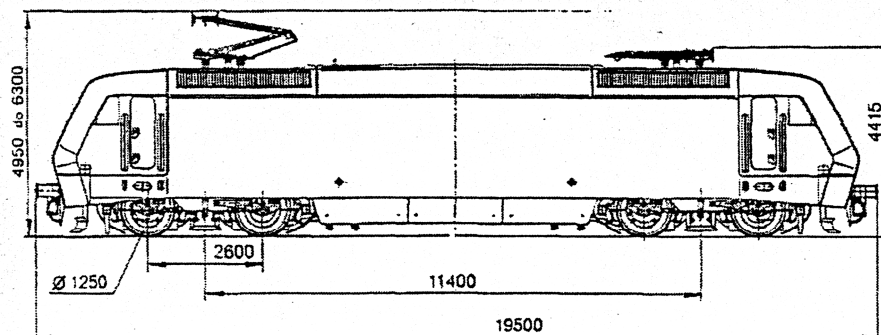
2.3. Lokomotywa „12X” – grupy AEG

Prace badawczo-rozwojowe nad tą lokomotywą rozpoczęto w 1991r. a prototyp wyprodukowano w 1994r. Zespół sterownika, falownika oraz mikrokomputera pokładowego został sprawdzony w eksploatacji na lokomotywie DB BR 120-002

w 1995r. Lokomotywa będzie dostosowana do wszystkich europejskich systemów zasilania elektrotrakcyjnego.

Lokomotywa „12X” zasilana jest napięciem 15 kV, przy mocy 6400 kW i mocy chwilowej 7200 kW, rozwija prędkość 250 km/h, masa lokomotywy 84 t, układ osi BoBo. Falowniki napięcia zasilane są równolegle poprzez transformator, trójzespolowy sterownik czterokwadratowy i napięciowy obwód pośredni.

Asynchroniczne silniki trakcyjne zasilane są indywidualnie z poszczególnych falowników. Moduły sterownika mogą tworzyć przekształtnik: prąd stały – prąd stały w przypadku zasilania lokomotywy prądem stałym. W lokomotywie wykorzystano tyrystory GTO chłodzone wodą. Silniki trakcyjne bez obudowy zawieszono w ramie wózka z możliwością poprzecznych przesuwów. Przekładnia trójkołowa, małe koło silnika łożyskowane jest w skrzyni przekładniowej. Wał przegubowy o przegubach BBC. Hamulec elektryczny – odzyskowy, o mocy 6400 kW skorelowany z hamulcem powietrznym. Widok lokomotywy przedstawiono na rys. 5.

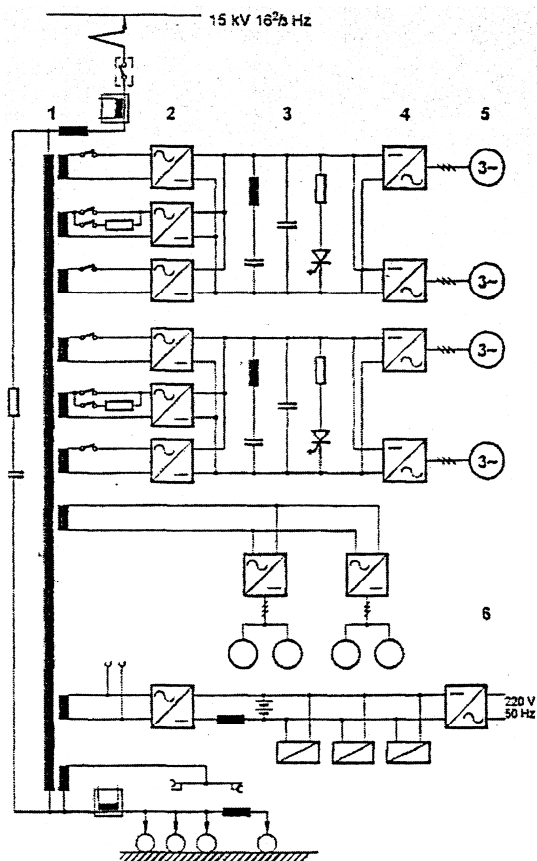


Rys. 5. Lokomotywa AEG-12X

Komputer pokładowy 32 bitowy, spełniający rolę sterownika, kontroli, diagnostyki, oraz włączenia magistrali pociągu oraz systemu srk. W kabinie maszynisty zastosowano dwa monitory ekranowe na pulpicie maszynisty – jeden dla danych ruchomych a drugi dla diagnostyki.

Urządzenie przeciwpoślizgowe umożliwia pracę napędu przy optymalnym poślizgu i funkcjonuje porównując bezwzględną prędkość pojazdu i prędkość obwodową koła zestawu. Układ przekształtników wyposażony w transformator mocy, umożliwia zasilanie napędów urządzeń pomocniczych napięciem przemiennym 3 x 380 V 50 Hz.

Lokomotywa wyposażona jest w dwa niesymetryczne odbieraki prądu. Kabina maszynisty jest klimatyzowana i połączona korytarzem z drugą kabiną. Schemat elektryczny obwodu głównego lokomotywy AEG-12X przedstawiono na rys. 6.

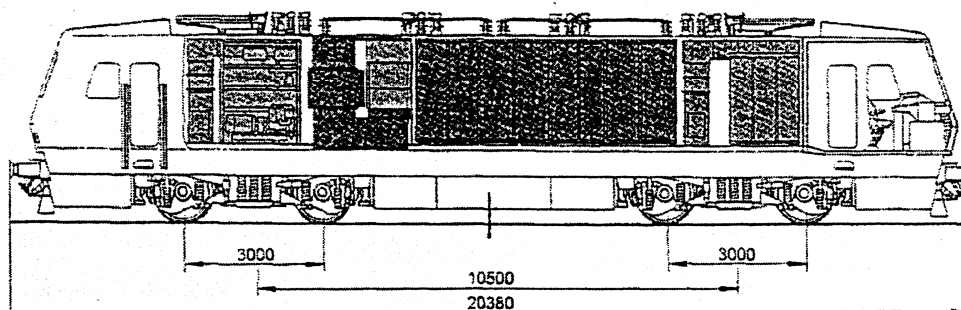


Rys. 6. Schemat elektryczny obwodu głównego lokomotywy AEG-12X: 1- transformator, 2 – sterowniki czterokwadratowe, 3 – obwody pośrednie, 4 – falowniki, 5 – asynchroniczne silniki trakcyjne, 6 – przetwornice statyczne obwodów urządzeń pomocniczych

Hamowanie hamulcem powietrznym odbywa się z użyciem siłowników uruchamiających klocki hamulcowe z tworzywa sztucznego. Koleje DB zamówiły 80 szt. lokomotyw 12X w wersji zmniejszonej mocy do 4200 kW i prędkości 140 km/h.

2.4. Lokomotywa Siemens Krauss-Maffai-RENFE S 250

Moc ciągła lokomotywy wynosi 5600 kW, mocy chwilowej nie określa się, masa lokomotywy 88 t. Lokomotywa jest dostosowana do zasilania napięciem przemiennym 25 kV 50 Hz oraz stałym 3 kV i może być użytkowana na torze 1435 mm oraz na torze 1668 mm. Na rys. 7 przedstawiono widok lokomotywy.

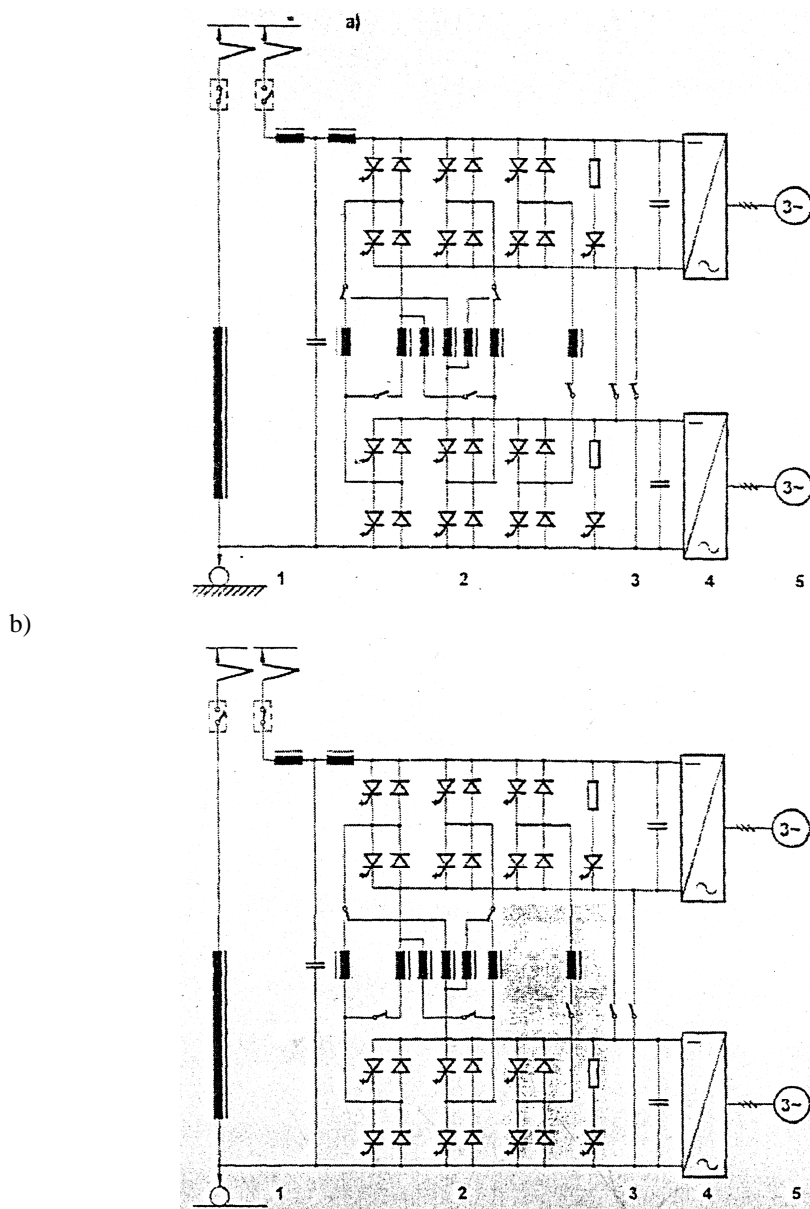


Rys. 7. Lokomotywa RENFE S 252

Obwód główny lokomotywy składa się z dwóch głównych gałęzi oddzielnych dla każdego wózka. Sterownik czterokwadratowy zasila równolegle dwa pośrednie obwody o napięciu 2,5 i 2,8 kV, skąd zasilany jest falownik napięcia i z nim związany elektryczny silnik trakcyjny.

W przypadku poboru prądu stałego dwa zespoły sterownika pracują jako przekształtnik prąd stały – prąd stały. Przy zasilaniu lokomotywy prądem stałym, częstotliwość zasilania wynosi 2400 Hz (przy częstotliwości własnej przekształtnika 300 Hz). Przekształtniki wyposażone są w tyrystory GTO. Schemat obwodu elektrycznego obwodu głównego lokomotywy RENFE S 252 przedstawiono na rys. 8.

a)



Rys. 8. Schemat elektrycznego obwodu głównego lokomotywy RENFE S 252 (dla jednego wózka: a) zasilanie lokomotywy 25 kV, b) zasilanie 3 kV, 1 – transformator, 2 – sterowniki czterokwadratowe, 3 – obwody pośrednie, 4 – falowniki, 5 – asynchroniczne silniki trakcyjne

Liczba tyristorów w obwodzie głównym wynosi 100 szt. Lokomotywa wyposażona jest w hamulec elektryczny odzyskowy o mocy 5600 kW i oporowy 3000 kW. Przełączenie obu systemów hamulca odbywa się samoczynnie. Elektryczne silniki trakcyjne są bez obudowy, pracują jako czterobiegunowe. Przekładnia dwukołowa o przełożeniu $i = 4$, duże koło zębate umieszczone jest w specjalnej konstrukcji wsporczej, z osłoną kół. Silnik trakcyjny zawieszony jest poprzez dwa wahacze na belce skrętowej, które umożliwiają przesuw poprzeczny silnika. Trzeci punkt podparcia układu zawieszenia stanowi element gumowy umieszczony na belce czołowej ramy wózka.

Zasilanie obwodów pomocniczych ma miejsce z obwodu pośredniego każdego wózka za pośrednictwem przekształtnika prąd stały – prąd stały, zasilane przez niego dwa falowniki, jeden o zmiennym napięciu 0÷440V i zmiennej częstotliwości o do 60 Hz, a drugi o stałym napięciu i częstotliwości. Sterowanie i kontrola działania urządzeń i diagnostyka pokładowa realizowana jest w systemie SiBAS 16.

Lokomotywa posiada dwa niesymetryczne odbieraki prądu – jeden dla prądu przemiennego, drugi dla prądu stałego. Powietrze do chłodzenia silników i przekształtników zasysane jest poprzez dach i odprowadzane dołem.

Usprężynowanie I stopnia stanowią cztery sprężyny w układzie „flexicoil”. Przeniesienie sił wzdłużnych między wózkiem a nadwoziem, zrealizowano poprzez czop skrętu.

Część biegowa lokomotywy wykazuje dobre właściwości dynamiczne. Lokomotywa może przejeżdżać łuki z przyspieszeniem odśrodkowym do $1,5 \text{ m/s}^2$. Przeniesienie napędu między dużym kołem zębatym a zestawem kół odbywa się poprzez wał przegubowy z przegubami systemu BBC. Hamulec klockowy dwustronny z siłownikiem jednostronnym.

Wymagania odnośnie niezawodności lokomotywy przewidują przebieg 250 000 km między uszkodzeniami, powodującymi konieczność wyłączenia jej z ruchu.

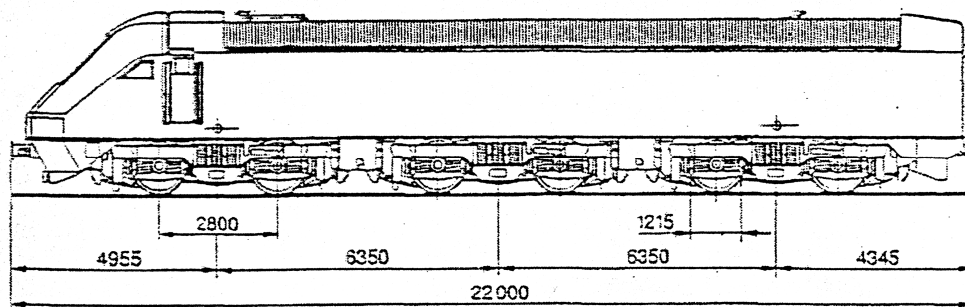
Koleje hiszpańskie zamówiły 75 szt. tych lokomotyw, 15 szt. ma być dostarczonych z Niemiec, a pozostałe będą produkowane przez przemysł hiszpański. Eksploatację tych lokomotyw rozpoczęto w 1991r. Koleje portugalskie PC zamówiły 30 szt lokomotyw LE 5600 zasilanych napięciem 25 kV i masie 87 t.

2.5. Lokomotywy do przewozów specjalnych

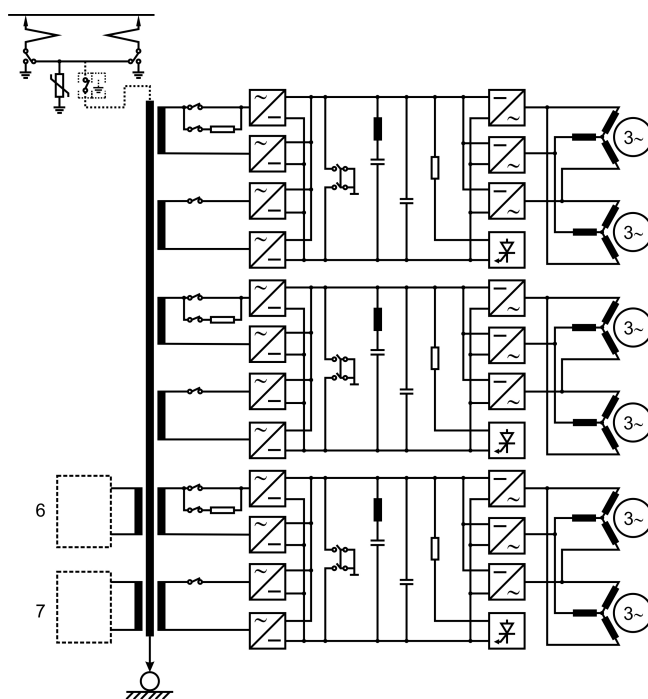
Jedną z takich lokomotyw jest lokomotywa ABB „Le Shuttle” przedsiębiorstwa ESCL. Lokomotywa ta o mocy 5600 kW przewidziana jest do prowadzenia pociągów wahadłowych w tunelu pod Kanałem La Manche z prędkością do 160 km/h. Lokomotywa wyposażona jest w pomocniczą kabinę maszynisty wykorzystywaną podczas manewrów stacyjnych, układ podwozia Bo-Bo-Bo, masa własna 136 t. Dwie lokomotywy mogą prowadzić pociąg o masie 2200 t przy największym wzniesieniu 11%. Względny ruch wywołały warunek, aby w razie awarii pociągu, inny pociąg mógł go usunąć z tunelu.

Obwód główny lokomotywy składa się z trzech niezależnych gałęzi złożonych z dwóch grup modułów sterownika czterokwadratowego, napięciowego obwodu pośredniego i modułu ograniczenia napięcia w obwodzie pośrednim. Dwa silniki trakcyjne asynchroniczne są zasilane z falownika w sposób równoległy. Napięcie obwodu pośredniego $2,4\div 2,8 \text{ kV}$. Moduły przekształtników wyposażone są w tyristory GTO chłodzone olejem w systemie zanurzeniowym. Widok lokomotywy „Le Shuttle”

przedstawiono na rys. 9 a na rys. 10 przedstawiono schemat obwodu głównego lokomotywy „Le Shuttle”.



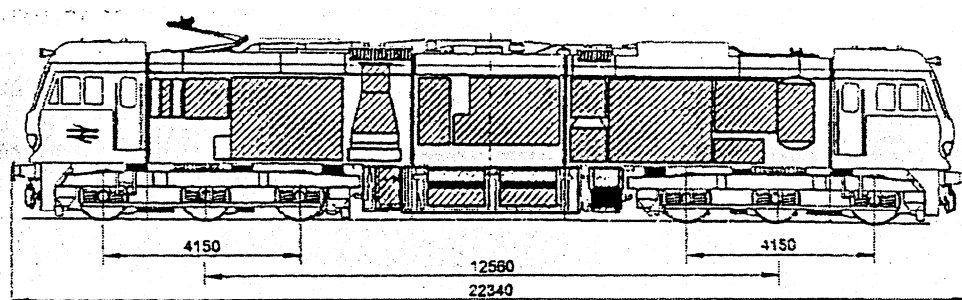
Rys. 9 Lokomotywa Le Shuttle



Rys. 10. Schemat obwodu głównego lokomotywy „Le Shuttle”: 1 – transformator, 2 – sterowniki czterokwadratowe, 3 – obwody pośrednie, 4 – falowniki z modułami ograniczenia napięcia w obwodzie pośrednim, 5 – asynchroniczne silniki trakcyjne, 6 – przetwornica obwodów pomocniczych, 7 – zasilanie pociągu

2.6. Lokomotywa BR class 92

Lokomotywa BR class 92 – rys. 11 - posiada zasilanie dwusystemowe.



Rys. 11. Lokomotywa BR class 92

Lokomotywa zasilana jest dwusystemowo 25 i 0,75 kV i mocy odpowiednio 5000 kW i 4000 kW i prędkości największej 140 km/h, przeznaczona jest do obsługi tunelu pod Kanałem La Manche i linii z nim związanych.

Może prowadzić pociągi towarowe o masie do 1600 t oraz nocne pociągi pasażerskie. Obwód główny składa się z dwóch gałęzi. Trzy silniki trakcyjne asynchroniczne jednego wózka są zasilane równolegle. Przy zasilaniu lokomotywy prądem stałym 0,75 kV, moduły sterownika tworzą przekształtnik prąd stały – prąd stały.

Odbiór prądu w przypadku zasilania prądem 25 kV – dwoma odbierakami niesymetrycznymi z sieci napowietrznej, przy zasilaniu prądem stałym – specjalnymi odbierakami z trzeciej szyny.

Zawieszenia silników trakcyjnych typu tramwajowego. Hamowanie dynamiczne rekuperacyjne i oporowe skorelowane z hamulcem powietrznym.

Wózki wyposażone są w kolumnowe prowadzenie maźnic. Usprężynowanie zarówno I stopnia jak i II stopnia – sprężyny zwojowe.

2.7. Lokomotywa grupy GEC-BR class 91

Na rys. 12 przedstawiono widok lokomotywy BR class 91.

Lokomotywa posiada moc 4540 kW i przeznaczona jest do prowadzenia pociągów pasażerskich IC o masie do 750 t z prędkościami do 225 km/h.

Układ nadwozia jest niesymetryczny. Obok głównej kabiny maszynisty znajduje się kabina pomocnicza, służąca do prowadzenia pociągów różnego przeznaczenia w okresie przerw w swojej pracy głównej.

Podwozie lokomotywy pracuje w układzie BoBo a masa lokomotywy wynosi 82 t.

Napęd lokomotywy stanowią obcowzbudne silniki prądu stałego, zasilane z prostownika zbudowanego z tyrystorów GTO, chłodzonych olejem. Liczba diod i tyrystorów wynosi 28.

Lokomotywa posiada hamulec dynamiczny oporowy. Sterowanie napędem lokomotywy realizowane z mikroprocesora Intel 8086.



Rys. 12. Lokomotywa BR class 91

Silniki trakcyjne zawieszono w nadwoziu, a napęd przenoszony jest do zestawu kół poprzez wał przegubowy i kątową przekładnię zębatą zabudowaną w ramie wózka. Przełożenie lokomotywy $i = 1,641$.

Przeniesienie napędu z przekładni do osi zestawu kołowego zrealizowano wałem przegubowym o przegubach z układem cięgieł.

Wielkość mas nieusprężynowanych na zestaw wynosi około 1800 kg. Odbierak prądu jeden niesymetryczny na lokomotywę.

Prowadzenie maźnic typu kolumnowego wytwórni Brush. Usprężynowanie I stopnia - sprężyny zwojowe (4 na zestaw), II stopnia – sprężyny zwojowe w układzie „flexicoil” (6 na wózek). Przenoszenie sił wzdłużnych między wózkiem a nadwoziem poprzez ciągi poziome i wspornik centralny.

Hamowanie tarczowe, tarcze umieszczone na przedłużeniu wałów silników trakcyjnych. Wózki wyposażone są również w hamulce klockowe. Budowę tych lokomotyw rozpoczęto w 1988r.

2.8. Lokomotywa OBB-1822

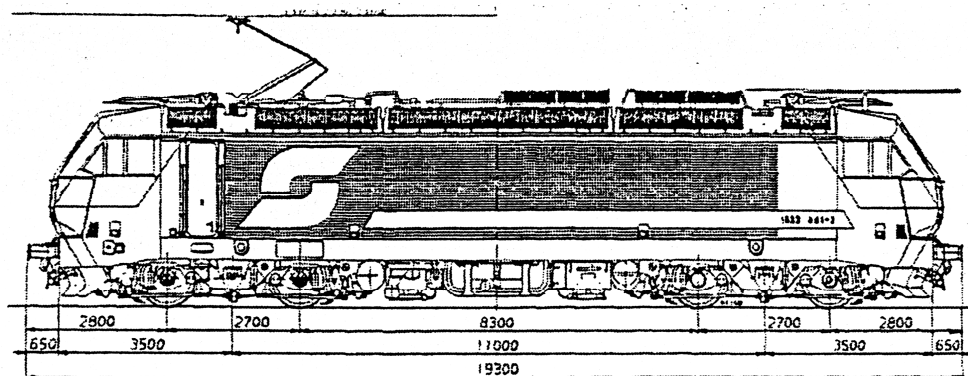
Widok lokomotywy ilustruje rys. 13 a układ elektryczny rys. 14.

Lokomotywa o mocy 4400 kW przeznaczona jest do prowadzenia pociągów towarowych o masie 1100 t z prędkością 70 km/h na wzniesieniu do 26‰ i do 140 km/h na terenach nizinnych.

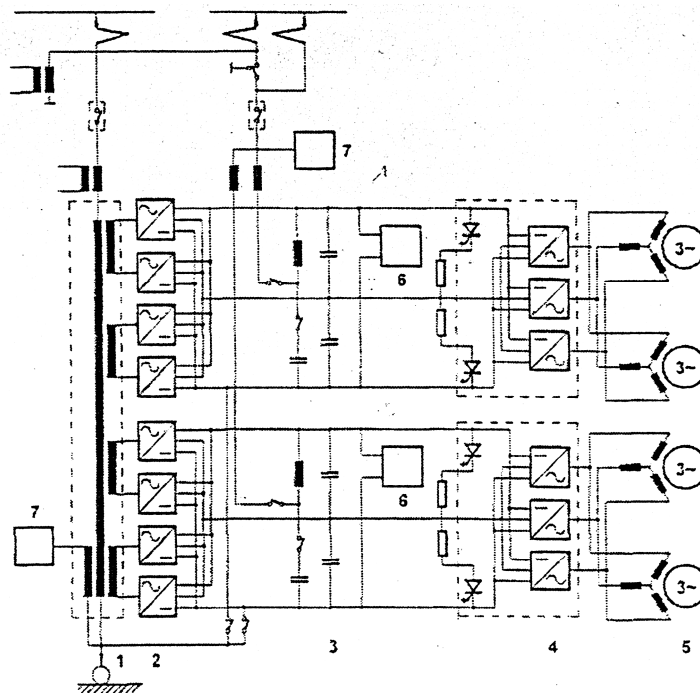
Lokomotywa może być zasilana prądem o napięciu 25 kV 50 Hz i prądem stałym 3 kV, w układzie osi Bo-Bo, masa lokomotywy 82 t. Obwód główny lokomotywy składa się z dwóch gałęzi zasilających wózki a w skład tych głównych gałęzi wchodzi sterownik czterokwadratowy.

Obwód pośredni i falownik napięcia zasilają równolegle dwa asynchroniczne silniki trakcyjne.

Przy pracy na prądzie stałym napięcie zasilania wynosi 2000÷4200 V. Asynchroniczne silniki trakcyjne pracują bez obudowy. Przekładnia napędu zestawu kół – dwukołowa z usprężynowaniem obwodowo wieńcem dużego koła zębatego o przełożeniu 1:4,136.



Rys. 13. Lokomotywa OBB - 1822



Rys. 14. Schemat elektrycznego obwodu głównego lokomotywy OBB - 7822:

- 1 - transformator, 2 - sterowniki czterokwadratowe, 3 - obwody pośrednie,
 4 - falowniki i obwody hamulca oporowego, 5 - asynchroniczne silniki trakcyjne,
 6 - przetwornice obwodów pomocniczych, 7 - ogrzewanie pociągu

Zawieszenie silników typu tramwajowego (z łożyskami tocznymi) z możliwością radialnego ustawienia kół zestawów kołowych. Schemat elektrycznego obwodu głównego lokomotywy OBB-7822.

3. WNIOSKI

1. Zdolności przewozowe kolejną można znacznie zwiększyć stosując lokomotywy elektryczne dużych mocy
2. Zastosowanie lokomotyw elektrycznych dużych mocy wymaga modernizacji sieci trakcyjnej i całego systemu elektrotrakcyjnego.

4. BIBLIOGRAFIA

- [1] Alstom: Falowniki *Onco* w technologii *JGBT*, Technika Transportu Szynowego nr 5/1999
- [2] Dobrowolski M.: *Rozwój produkcji elektrycznych zespołów trakcyjnych w Polsce*, Technika Transportu Szynowego nr 5/1996
- [3] Jakszuk A., Kaczmarek Cz.: *Sposób i układ zasilania trakcji elektrycznej prądu stałego dużych mocy*, Technika Transportu Szynowego nr 3/1999
- [4] Marciniak J.: *Kolejowe pojazdy szynowe nowych generacji*, Wydawnictwo Politechniki Radomskiej, Radom 2001
- [5] Marciniak J.: *Pokładowe urządzenia diagnostyki technicznej i technika komputerowa kolejowych pojazdów szynowych*, Wydawnictwo Politechniki Radomskiej, Radom 2001
- [6] Romaniszyn Z., Wolfram T.: *Nowoczesny tabor szynowy*, Wydawnictwo Specjalne Instytutu Pojazdów Szynowych, Kraków 1997
- [7] Weigel W.: Eine neue Generation von elektronischen Triebfahrzeugsteuerungen mit MicroComputer ZEV-Glas. Ann. 1983, nr 9/9
- [8] Zakłady Dolmel Wrocław, Materiały reklamowe lokomotywy EP09, Dolmel Wrocław 1985.