

Rastislav Tabaček – Ján Vittek *

ELEKTRICKÁ VÝZBROJ HNACÍCH KOLAJOVÝCH VOZIDIEL SÚČASNÝ STAV A PERSPEKTÍVY

THE ELECTRIC EQUIPMENT OF TRACTION VEHICLES CURRENT DEVELOPMENT AND PERSPECTIVES

Elektrická výzbroj koľajových vozidiel prešla v poslednom období veľmi rýchlym vývinom. Zásadne sa zmenil trakčný pohon, kde sa jednoznačne presadili asynchrónne motory. Riadenie asynchrónnych motorov si vyžaduje komplikované riadiace obvody pre riadenie statických meničov, ktoré vyrábajú trojfázový prúd s premenlivou frekvenciou a premenlivým napätím. Vlastnosti pohonov a vozidiel sú dané riadiacou technikou umožňujúcou úplnú automatizáciu jazdy vlaku tak, ako je to nevyhnutné najmä pre vysoké rýchlosti.

1. Úvod

Viac ako 100-ročný vývin elektrických koľajových vozidiel ukázal, že hľadanie optimálneho pohonného systému súvisí s riešením troch okruhov problémov:

- vlastnosti trakčného motora,
- prívod energie do vozidiel,
- vplyv elektrickej trakcie na energetickú sústavu.

Z vývoja sa zachovali 3 základné prúdové sústavy: 3 kV, js, 25 kV, 50 Hz; 15 kV, 16 2/3 Hz. Z motorov sa uplatňujú najmä motory jednosmerné (motor sériový a motor s cudzím buđením), motor jednofázový komutátorový a motor trojfázový (synchronný alebo asynchrónny).

Kombináciou trakčných sústav a trakčných motorov vzniklo množstvo variantov trakčného pohonu. V jednosmernej prúdovej sústave sa objavujú okrem jednosmerných motorov i motory trojfázové a rovnako v trakčných sústavách striedavých sú bežné motory jednosmerné aj striedavé, trojfázové i jednofázové. Všetko to vyplýva zo snahy optimálne riešiť horeuvedené problémy pri rôznom stupni vývinu technických prostriedkov a dopravných požiadaviek.

Požiadavky na elektrický pohon boli vždy jednoznačné: plynulá regulácia rýchlosti a momentu s požiadavkou, aby maximálny moment bol dosiahnuteľný pri rozbehu z pokoja. Ďalej malá hmotnosť, malé rozmery, preťažiteľnosť, jednoduchá regulácia, hladký priebeh otáčavého momentu, nenáročná údržba, spoľahlivosť, možnosť automatického riadenia, nízka cena.

The electric equipment of traction vehicles has undergone very fast development during the last period. Traction drive was changed dramatically where induction motors took over. Control of induction motors needs sophisticated control circuitry for control of static converters, which produce three-phase current of variable frequency and variable voltage. Performance of the drives and vehicles are then determined by the control techniques, which enable complete automation of the train motion, as it is demanded mainly for high-speed service.

1. Introduction

More than 100 years of old development of the electric traction vehicles has shown that the investigation of an optimal drive system is coupled with the technical solution of three basic problems:

- performances of traction motor,
- energy feeding of vehicles,
- interaction of the electric traction within energetic system.

Three basic supply systems 3kV, DC, 25 kV, 50 Hz and 15 kV, 16 2/3 Hz had survived historical development. The traction motors currently exploited are mainly DC motors (series motor and separately excited), single-phase commutated motor and three-phase motor (synchronous or induction).

By the combination of traction systems and traction motors many variants of traction drive were developed. There are DC motors beside three-phase motors in the DC supply traction systems as well as DC motors, and AC motors three-phase or single-phase are exploited in AC supply traction systems. This is all a result of looking for optimal solutions of the aforementioned problems at various stages of development of technical means and traction demands.

The demands on traction drive were always unambiguous: fluent control of speed and torque with demand to achieve maximum torque from standstill. Further, it is minimal weight, minimal dimensions, possibility of overload, simple control, fluent torque without ripple, non-pretentious maintenance, possibility of automatic control and low price.

* Rastislav Tabaček, Ján Vittek

University of Žilina, Dept. of Electrical Traction and Energetic, Velký diel, SK-01026 Žilina, Slovakia,
E-mail: tabacek@fel.utc-sk, vittek@fel.utc-sk

2. Trakčný pohon a trakčné prúdové sústavy

Väčšinu spomínaných základných požiadaviek plní motor jednosmerný, sériový, ktorého prirodzené mechanické charakteristiky sa takmer stotožnili s požadovanou trakčnou charakteristikou hnacieho vozidla. Pri použití modernej regulačnej techniky a automatizácie riadenia v oblasti pohonu i brzdenia sa k sériovému motoru priradil i motor s cudzím buđením.

Ich nevýhodou sú najmä väčšie rozmery a hmotnosť (pri napätí 3000 V je to cez 3 kg.kW^{-1}). Tieto sa nepriaznivo hodnotia najmä pri vozidlách na vysoké rýchlosti.

Výhodné vlastnosti jednosmerných motorov spôsobili vznik jednosmernej prúdovej sústavy, ktorá sa ukázala tiež ako optimálna z hľadiska pôsobenia na energetickú sieť. Usmerňovače v meniarňach zaťažujú všetky tri fázy energetickej siete symetricky s účinníkom 0,95 a s nepatrným obsahom vyšších harmonických. Problémy nastávajú až pri prenosoch veľmi vysokých výkonov (6 – 10 MW na jeden vlak), lebo vysoké prúdy spôsobujú veľké úbytky napätia v trolejovom vodiči a zvýšené straty prenosom. Je treba znižovať vzdialenosti medzi napájacími stanicami (na 10 – 15 km). Neprijemným dôsledkom je i korózia kovových inžinierskych sietí uložených v zemi vplyvom blúdnych prúdov.

Jednofázové prúdové sústavy s napätím 25 kV a 15 kV odstraňujú ťažkosti spôsobené prenosom prúdu do vozidiel. V minulosti rozšíreniu striedavých sústav bránili problémy s riešením trakčného pohonu. Bolo treba nájsť motor na striedavý prúd, ktorý by plnil horeuvedené základné požiadavky. Indukčné motory v jednofázovom prevedení sa pre veľké výkony nedajú použiť, preto bol použitý jednofázový sériový komutátorový motor. Tento motor má trakčné i regulačné vlastnosti podobné motorom jednosmerným. Bohužiaľ, trakčný motor okrem výhod uvedených pri jednosmernom motore má ešte jednu neprijemnú vlastnosť: Striedavé napájacie napätie vyvoláva neodstraniteľné iskrenie na komutátore a motor má najmä pri rozbehu problémy s komutáciou. Aj keď bola konštrukcia motora podriadená zlepšeniu komutácie – nízke svorkové napätie, delené uhlíky, veľký počet pólov, paralelný odpor k pomocným pólom a najmä zníženie frekvencie v napájacej sieti na 16,2/3 Hz, motor prakticky neumožňuje ťažké rozbiehy vlakov s veľkou záťažou. Motor je vhodný pre ľahšie vlaky a vyššie rýchlosti. Hmotný výkon motora je asi 2,8 až 3 kg.kW^{-1} .

Jednofázový prúd s napätím 15 kV a frekvenciou 16 2/3 Hz sa získava dosť zložitou cestou v meniarňach alebo si dráha vyrába prúd vo vlastných elektrárnach. Táto druhá cesta sa ukázala byť výhodná, lebo sa odstránili problémy s plnením prísnych požiadaviek energetiky ako na účinník, tak na nesymetriu a obsah vyšších harmonických. Pre ťažkosti s jednofázovým motorom sa skúmali možnosti použiť pri jednofázovom striedavom napájaní vhodnejší motor – jednosmerný alebo trojfázový. Vznikli tak vozidlá opatrené meničmi najskôr rotačnými, neskôr statickými. Odpadli problémy so znižovaním frekvencie a napätie sa zdvihlo na 25 kV.

Nevýhodou striedavej sústavy s napätím 25 kV, 50 Hz sú najmä nepriaznivé vplyvy na energetickú sieť:

2. Traction drive and traction supply systems

A series DC motor fits all aforementioned basic demands the best way because its natural mechanical characteristics are nearly identical with the demanded traction characteristic of traction vehicle. When modern control technique and automation during the traction and braking mode is used the DC separately excited motor belongs in the same group. Main disadvantages of the DC motors are primarily higher dimensions and weight (it is approximately 3 kg.kW^{-1} for supply system 3 kV DC). It is a negative feature mainly for high-speed service vehicles.

Suitable performances of DC motors resulted in the development of the DC traction supply system, which is optimal also from the point of interaction between a traction supply system and energetic network. The traction substation rectifiers load all three phase of energetic network symmetrically with power factor 0.95 and with a very low content of higher harmonics. The problems are encountered only when transfer of high power is demanded (6 – 10 MW for one train), because high currents introduce high-voltage drops in overhead network resulting in an increase of power losses. Then it is necessary to decrease the distance between traction substations (up to 10 – 15 km). Negative influence of a DC traction supply system is also corrosion of metal piping and metal equipment placed in the earth due to eddy currents.

Single-phase traction supply systems at voltages 25 kV and 15 kV eliminate problems of vehicles' energy feeding. Their historical development had constraints in the solution of traction drive. It was necessary to find such an AC motor, which suits all the mentioned basic demands. Induction motors constructed as single-phase cannot be used due to high-power demands, and it was the reason for development of single-phase series commutated motor. This traction motor has similar performance as DC series motor. Unfortunately, this traction motor beside the disadvantages mentioned in connection with DC motor has one more negative feature: AC supply voltage resulted in unavoidable commutated sparking and motor has problems with sparking during starting. Even if construction of the motor underwent special design features to improve commutation such as low terminal voltage, multiple poles, divided brushes, parallel shunt to the commutating poles and mainly a decrease of supply traction network frequency to 16 2/3 Hz, the motor does not enable heavy-duty speed-up with heavy traction load. The motor is suitable mainly for light trains and higher speeds. Specific power of the motor is approximately from 2.8 up to 3 kg.kW^{-1} .

Single-phase supply traction system 15 kV at frequency 16 2/3 Hz is gained in a rather complicated way in converter power stations, or a railway produces it itself in its own power stations. This second possibility has shown some advantages due to the fulfillment of strict energy requirements on a power factor as well as an asymmetrical load and higher harmonics content. Due to problems with a single-phase motor, the possibilities of exploitation of a more suitable traction motor were researched – DC or three-phase AC. It was reason for the development of vehicles with converters, which were firstly rotational and later static. In such a way the problems with the frequency changing disappeared, and voltage was increased up to 25 kV.

- jednofázový odber spôsobuje v trojfázovej sieti napäťovú nesy metriu, ktorá obmedzuje veľkosť odoberaného výkonu (zmenšenie vzdialenosti napájacích staníc),
- rušne pracujú so zhoršeným a veľmi premenlivým účinníkom ($\cos\varphi = 0,2$ až $0,8$). Je treba použiť špeciálne zapojenia riadených usmerňovačov s nútenou komutáciou tyristorov, čím sa darí účinník na vozidle zlepšiť na požadované hodnoty. V zahraničí sa s obľubou používajú tzv. štvorkvadrantové impulzové meniče, používané vo funkcii vstupného (aj rekuperačného) impulzového usmerňovača.

3. Bezkomutátorové trakčné motory

Komutátor v motoroch zväčšuje hmotnosť a rozmery stroja, obmedzuje jeho otáčavú rýchlosť a zvyšuje nároky na údržbu. Dnes pri požiadavke minimalizovať hmotnosť podvozkov pri veľmi vysokom výkone motorov a pri vysokom nároku na spoľahlivosť je potrebné použiť motory bez komutátorov [1, 2]. Používajú sa dva druhy motorov:

- a) motory synchronne (ventilové)
- b) motory asynchrónne s kotvou nakrátko.

3.1 Synchronný trakčný pohon

Trakčné pohony so synchronným ventilovým motorom sa napájajú trojfázovým prúdom cez relatívne jednoduchý statický menič. Budenie rotora sa vykonáva jednosmerným prúdom privádzaným cez krúžky. Regulácia momentu a otáčok sa robí zmenou výšky svorkového napätia a zmenou budenia podobne ako pri jednosmernom motore. Reguláciu frekvencie napájacieho prúdu si zabezpečuje motor sám prostredníctvom snímača polohy rotora, ktorý riadi spínanie tyristorov meniča v závislosti od otáčavej rýchlosti rotora. Meniče môžu byť pripojené na napájacie napätie striedavé (jednofázové alebo trojfázové), alebo napätie jednosmerné. Trakčné vlastnosti pohonu sú obdobné ako pri jednosmernom motore. Takýto pohon je použitý napr. na vysokorychlostných jednotkách TGV francúzskych dráh. Hmotný výkon motora je okolo $2,5 \text{ kg.kW}^{-1}$.

3.2 Asynchrónny trakčný pohon

Asynchrónny motor s kotvou nakrátko má zo všetkých uvedených strojov najmenší hmotný výkon $1,2 \text{ kg.kW}^{-1}$. Maximálne otáčky sú obmedzené v súčasnosti pevnosťou ložísk a prevodovou. Motor je veľmi spoľahlivý a nenáročný na údržbu. Stáva sa tak motorom, ktorý má najväčšie perspektívy.

Pre trakčné účely je však treba zmeniť jeho základné vlastnosti, ktoré poznáme z klasických aplikácií a vytvoriť regulačný pohon s vysokým záberovým momentom. To sa dosiahne reguláciou frekvencie a svorkového napätia. Statické frekvenčné meniče

Disadvantages of the AC traction system 25 kV 50 Hz are mainly negative influences on energetic network:

- single-phase traction load causes voltage asymmetry in the three-phase network, which imposes a limit on maximum of fed traction power (decreased of the traction substations distance),
- locomotives work with decreased and variable power factor ($\cos\varphi = 0.2 - 0.8$). The special connection of control rectifiers with forced commutation is necessary with possibility to improve the power factor to the demanded value in return. The four-quadrant impulse converters are widely used abroad in the function of input (also regenerative) impulse converter.

3. Commutator less traction motors

The commutator of the motor increases weight and volume of the machine, limits its angular speed and increases maintenance demands. To meet today's demand on minimal weight of bogie at very high motor power and high-reliability demand it is necessary to employ motors without commutator [1, 2]. Two basic types of motors are used:

- a) brush-less DC motors (electronically commutated synchronous motors)
- b) squirrel cage induction motors.

3.1. Traction drive with synchronous motors

Traction drives with electronically commutated synchronous motors are supplied with three-phase AC current via relatively simple static converter. The excitation is made by DC current through rings. The torque and angular speed control is performed with the change of terminal voltage value and with the change of excitation similar way as it corresponds to the DC motor. The control of supply current frequency is made by the motor itself by means of rotor position sensor, which controls switching states of semiconductor converter switches as a function of angular rotor speed. The converters can be connected to the supply voltage (single-phase or three-phase) or DC supply voltage. Traction performances of the drive are then similar to the DC motor. Such kind of the drive is exploited e.g. for TGV high-speed trains of the French Railways. Power per unit of mass is approximately around $2,5 \text{ kg.kW}^{-1}$.

3.2. Traction drive with induction motors

Squirrel-cage induction motor has the minimal specific mass per unit of power of all listed motors, which is equal $1,2 \text{ kg.kW}^{-1}$. Nowadays, maximum rotational speed is only limited by mechanical stress of bearings and gearbox. The motor is very reliable and non-pretentious in maintenance. It becomes the most perspective traction motor now.

But for traction applications it is necessary to change its basic performance as it is known from classical applications and to create controlled drives with high standstill torque. This is achieved by the control of frequency and terminal voltage. Static frequency

pracujú na princípe zmeny jednosmerného napätia na napätie striedavé.

Samotné riadenie asynchrónneho trakčného motora je veľmi náročným a zložitým problémom a prebieha nepretržitým vývinom. Podobne je to i s konštruovaním samotného motora, ktorý vyžaduje pre trakčné použitie špeciálnu konštrukciu.

Pre úspešnú aplikáciu indukčných strojov napájaných z meničov v elektrickej traktii bol rovnako ako vývoj meničov dôležitý aj vývoj riadiacich metód a obvodov, akými sú mikroprocesory a DSP. Zatiaľ čo prvá generácia 3-fázových lokomotív užívala pomerne jednoduché *'skalárne riadenie'* charakteristik sklz/frekvencia, vznikol v 80. rokoch úspešný princíp *'vektorového riadenia'* orientovaného na rotorové pole („vektorové riadenie“), kombinovaný s impulznou šírkovou moduláciou – PŠM (PWM). Koncom 80. rokov sa objavila *'priama samoregulácia'* (DSC), orientovaná na statorový tok, ktorá má zvláštny význam, lebo najlepšie využíva obmedzenú spíniacu frekvenciu výkonných GTO tyristorov. Pre rýchle tranzistory IGBT (trakčné meniče pre ľahké železnice a metro) je sľubná voľba *'nepriame riadenie statorových veličín'* (ISC – Indirect Stator Quantities Control), ktoré spája dynamické prednosti a robustnosť orientácie na statorový tok s osvedčenými výhodami PWM [1, 3, 4, 5, 6, 7, 10].

4. Pomocné zariadenia vozidiel

Pomocné pohony – najmä pohony kompresorov a ventilátorov na vozidlách ŽSR sú stále jednosmerné. Napätie sa znížilo na 440 V a na ich spúšťanie sa použili statické meniče. Toto riešenie umožnilo použiť motory s menšou hmotnosťou, odstrániť preťaženie pri rozbehu, regulovať výkon ventilátorov a nezávislosť na kolísaní napätia v trakčnej sieti. Vývin vo svete smeruje k asynchrónnym motorom aj pri pomocných pohonoch.

Všetky spomínané druhy elektrických pohonov umožňujú elektrodynamické brzdenie – odporové i rekuperačné. Elektrodynamická brzda sa stáva základným vybavením hnacích vozidiel, ktoré používajú elektrické trakčné motory.

Riadiace systémy sú dnes bezpochyby veľmi dôležitou súčasťou hnacích vozidiel. Pri zvyšovaní rýchlosti riadenia vozidiel postupne preberá počítač. Konštrukciu a výrobu samočinného riadenia prevzali najvyššie firmy, ktoré sa zaoberajú riadením lietadiel a kozmických rakiet. Z hľadiska bezpečnosti a spoľahlivosti sú to najviac kontrolované obvody. Celý rad snímačov umiestnených vo vlaku i na trati sleduje technický stav dôležitých uzlov, údaje sa zaznamenávajú a poruchy hlásia dispečerovi.

5. Perspektívy a podmienky budúceho vývoja

Ak výrobcovia koľajových vozidiel chcú nadviazať na bývalú tradíciu a vstúpiť na svetové trhy, budú musieť podstatne zmeniť technickú úroveň najmä elektrickej výzbroje. Dnes nie je rozho-

verters, which operate on principles of the conversion of DC voltage to AC voltage, are employed.

Control of the induction motor itself is a very pretentious and complicated problem, which is under permanent development. The same can be said about construction of the motor, which needs special construction for traction applications.

For successful implementation of the induction motors supplied from static converters in electric traction the development of control methods and their implementation via microprocessors and DSPs was equivalently important as development of converters. While the first generation of three-phase locomotives was controlled by the relatively simple *'scalar control'* of 'slip-frequency' characteristics, during 1980's the *'vector control'* with orientation on rotor flux in combination with pulse-width modulation (PWM) was established. At the end of the 1980's the very important control technique known as *'direct self control'* (DSC) with orientation on stator flux was developed and took over the other control techniques, because of the best way to utilize power GTO thyristors switching frequency. Finally, for fast transistors IGBT, construction elements of traction converters for light railways and underground systems is a very suitable control technique known as *'Indirect stator quantities control'* (ISC) where the advantages of dynamic performance and robustness of stator flux orientation are combined with known advantages of PWM [1, 3, 4, 5, 6, 7, 10].

4. Auxiliary equipment of traction vehicles

Auxiliary equipment, mainly drives of compressors and fans of traction vehicles of ŽSR, are still DC. Their voltage was decreased to 440 V and static converters are used to increase speed. This solution enabled exploitation of the lower-weight motors, elimination of overload during speed-up, control of fan power and independence of auxiliary equipment on voltage fluctuations. The world development has direction to utilize induction motors also for auxiliary equipment.

All aforementioned traction drive systems enable electro-dynamical braking – resistive or regenerative. Electro-dynamic brakes are standard equipment on traction vehicles, which utilize electric traction motors.

Control systems are nowadays undoubtedly a very important part of traction vehicles. With the increase of vehicle speed the computer gradually takes control. The construction and production of automatic control was taken over by the most sophisticated firms involved in control of airplanes and space missiles. These are the most checked circuitry from the safety and reliability point of view. All complexes of sensors placed in the train and on route sense the technical conditions of the most important parts and while the data are stored, the failures are recorded and announced to the dispatcher.

5. Perspectives and conditions of future development

If railway vehicle producers want to keep former tradition and to enter the world market they will need to substantially change their technical conception of electrical equipment. The price is not

dujúca cena, ale technická úroveň a koncepcia pohonu s jeho vstupnými technickými i užívateľskými charakteristikami.

V osobnej doprave je tendencia používať ucelené vlakové súpravy. Pritom nejde len o systémy, ktoré sú konštruované na rýchlosti rádovo $300 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$, ale i o súpravy pre nižšie rýchlosti. Prevádzka vysokými rýchlosťami znamená najväčší skok v použitej technológii vozidiel, nárokoch na trate i celú infraštruktúru. Vo svete overené technické riešenia umožňujú širokú unifikáciu designu i technických riešení medzi vozidlami súprav určených pre rôzne druhy osobnej dopravy.

Vzhľadom na medzinárodný charakter železničnej dopravy je treba budovať rýchle vlaky použiteľné pre všetky tri prúdové sústavy: 3 kV, js.; 25 kV, 50 Hz; 15 kV, 16 2/3 Hz. Vychádzať z vysokých nárokov na mechanickú i elektrickú časť, nízku hmotnosť a vysokú kvalitu. Výkonovú elektrickú časť je možno charakterizovať asynchrónnymi trakčnými motormi, napájanými napäťovým striedačom, vstupný menič štvorkvadrantový, elektrodynamická brzda [8, 9]. Pomocné pohony asynchrónne. Číslicové riadenie vrátane diagnostiky, začlenené do automatizovaného systému riadenia železničnej dopravy. Použiť informačný systém súpravy vrátane audio a video programu.

Veľmi náročnou úlohou je najmä dodržanie nízkej hmotnosti trojsystémového vozidla.

Z pohľadu na súčasný stav techniky elektrických zariadení hnacích vozidiel bude treba urobiť veľké pokroky v týchto základných skupinách:

- systémy elektronických silových meničov,
- trakčné motory,
- prístrojové vybavenie,
- menič a motory pre pomocné pohony,
- riadiace systémy.

Koncepcia trakčných a pomocných pohonov, vrátane polovodičovej techniky smeruje k značnej unifikácii ich technologického prevedenia. Moderné riešenie meničov typu usmerňovač, impulzový menič, striedač a ďalších, predpokladá použitie špičkových polovodičových prvkov, ako sú vysokovýkonné diódy (4500 A, 8000 V), GTO tyristory (2500 A, 5500 V), IGBT výkonové tranzistory (3000 A, 3300 V), a iné. Výkonové prvky spolu s pomocnými zariadeniami sú konštrukčne usporiadané do blokov pre stavebnicové použitie. Je treba konštruovať kvapalinové alebo odparovacie chladenie výkonových prvkov s použitím ekologicky bezchybného média. Vyžadujú sa 4-kvadrantové impulzové usmerňovače, impulzové meniče a striedače napäťového typu ako aj viacúrovňové zapojenia trakčných meničov [7, 8, 9, 10, 12, 13].

Nie sú pochybnosti o tom, že sa budú naďalej používať asynchrónne motory s kotvou nakrátko. Bude však treba pre perspektívne použitie stanoviť výkonové, hmotnostné i rozmerové požiadavky, ktoré sú realizovateľné za predpokladu zvládnutia technológie teplotnej odolnosti minimálne v triede H. Magnetický obvod strojov bude riešený na báze malostratových plechov. Výkonové rady trakčných motorov budú dosahovať až 900 – 1200 kW

decisive today but technical level and concept of the drive with its technical and user's characteristics.

There is a tendency to use complete train units in passenger service. It is not only a question of the systems, which are constructed for speed of approximately $300 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ but also the train units for lower speed. High-speed service means the highest step in vehicle technology used including routes and infrastructure requirements. The technical solutions verified in the world enable a wide range of design unification and technical solutions among the vehicles designed for various kinds of passenger transportation.

From the point of view of international character of railway transportation it is necessary to build fast trains, which enable service for all three traction supply systems: 3 kV, dc; 25 kV, 50 Hz and 15 kV, 16 2/3 Hz. At the same time, it is desirable to fulfill the high demands on mechanical and electrical parts, low mass and high quality. The characteristic of the electrical power part is determined by inducing traction motors supplied via voltage source inverter, four-quadrants input converter and electro-dynamic brakes [8, 9]. The motors of auxiliary equipment are induced. Digital control including diagnostics is composed in automatic control system of railway transport. The information system used must include audio and video program.

A very challenging task is to keep low mass of a three-systems vehicle.

From the point of view of present development of railway vehicle electric equipment it will be necessary to make substantial progress in the following basic groups:

- systems of electronic power converters,
- traction motors,
- apparatus equipment,
- converters and motors for auxiliary drives,
- control systems

The concept of traction and auxiliary drives including semiconductor converters is directed at the high unification of their technological construction. Modern solution of such converter types as rectifier, chopper, inverter and others suppose utilization of the state-of-art semiconductor elements, such as high power diodes (4500 A, 8000 V), GTO thyristors (2500 A, 5500 V), IGBT transistors (3000 A, 3300 V) and others. Power equipment together with auxiliary equipment is arranged in the construction blocks for modular exploitation. It is necessary to construct liquid or vapor cooling of power elements with ecologically friendly filling. Four quadrant pulse converter, choppers and voltage type inverters are demanded as well as multi-level connection of traction converters [7, 8, 9, 10, 12, 13].

There is no doubt about the utilization of squirrel-cage induction motors. From the perspective view it will be necessary to properly adjust parameters of power, weight and volume for their exploitation, which are producible under the assumption that the technology of heat insulation class 'H' is mastered. The magnetic cores will be constructed from low-loss sheets. Power types of

s realizáciou riadenia rýchlosti bez snímača na hriadelí [8, 12, 13, 14].

Novú koncepciu bude treba voliť i pri riešení transformátorov a tlmiviek. Musia vyhovovať frekvencii 50 i 16 2/3 Hz, s usporiadaním vinutia i magnetického obvodu vhodným pre rôzne typy polovodičových meničov. Najmä z váhových a rozmerových príčin treba použiť kvalitné plechy, špičkovú izoláciu vodičov a nové chladiace systémy. Tlmivky v obvodoch meničov musia zvládnuť frekvencie minimálne 1200 Hz. Bude treba zaviesť nové hlavné vypínače (striedavý s vákuovým zhášaním a rýchly jednosmerný pre ochranu najmä polovodičových meničov). Tiež je nutné zaistiť nové spínacie výkonové i bezvýkonové spínače do trakčných i pomocných obvodov s požiadavkami na minimálne rozmery, hmotnosť, vysokú spoľahlivosť a životnosť.

Systémy riadiacej elektroniky na hnacích vozidlách i vagónoch zaisťujú všetky funkcie spojené s riadením pohonov, ochranami, diagnostikou zariadení i službami obsahujúcemu personálu a cestujúcim. Ide najmä o tieto bloky:

- riadiace obvody trakčných a pomocných pohonov,
- automatické riadenie jazdy,
- ochranné a signalizačné obvody,
- diagnostické obvody,
- palubnú informatiku,
- ovládanie a riadenie pomocných agregátov,
- zariadenie telefónneho a rádiového spojenia,
- audio a video zariadenia pre cestujúcich.

Požadovaný trakčný asynchrónny pohon so statickými meničmi a elektronickým riadením s použitím mikroprocesorov umožňuje celý proces riadenia vozidla projektovať na samých medziach možnosti využitia pohonu vozidla i požiadaviek automatizovanej koľajovej dopravy [10].

Vozidlová diagnostika zaisťuje priebežnú kontrolu dôležitých častí vozidla s operatívnou komunikáciou človek – stroj, aj záznam pre neskoršie opravárenské úkony.

Mikropočítačový systém teraz používaný je v porovnaní s predtým používanou analógovou technikou jednoduchší, spoľahlivejší a odolnejší proti rušeniu.

Dôležitou súčasťou riadiacich systémov bude ich programové vybavenie, ktoré bude dielom projektantov vozidiel, ale aj vývojových zložiek užívateľa. Je známe, že aj úroveň automatizovaných riadiacich systémov na koľajových vozidlách význačne ovplyvňuje úžitkovú hodnotu, t. j. predajnosť a cenu vozidla.

traction motors will reach up to 900 – 1200 kW with speed control without shaft sensor [8, 12, 13, 14].

New conception must be developed for construction of transformers and chokes. They must be suitable for frequency 50 Hz as well as for 16 2/3 Hz with core and winding arrangement suitable for various types of semiconductor converters. From the weight and volume point of view it is necessary to use a high quality sheets, top-class insulation of conductors and new cooling systems. The chokes for converter circuitry must be capable of carrying frequency 1200 Hz. It will be necessary to introduce new main switches (AC with vacuum extinguisher and very fast DC for semiconductor elements protection). Also, it is essential to ensure a new power and non-power switches for traction and auxiliary drives with the demands of minimum volumes and mass and with high reliability as well as long durability.

Electronic control systems of traction vehicles and carriages ensure all activities coupled with main drive control, protection devices, equipment diagnostic and services for railway personal and travelers. It is a case mainly of the next blocks

- control systems of traction and auxiliary drives,
- automatic control of train movement,
- safety and signaling devices,
- diagnostic circuitry,
- on-board informatics,
- control of supplementary aggregates,
- apparatus for radio and telephone connections,
- audio and video equipment for passengers.

Demanded traction drive utilizing induction motor supplied through static converters and microprocessor controlled enables to design all process of vehicle control on the limits, which ensure to utilize the maximum of the drive performance as well as the demands of automatic railway transportation [10].

Vehicle diagnostics ensure the uninterruptible checking of the vehicle's most important parts including human-machine communication and recording of events for later repair services.

Now, the microprocessor system used is much more simple, more reliable and less noise sensitive when compared with older systems based on analogue technique.

The software is a very important part of the control systems, which will be created not only by vehicle constructor but also the user development center. It is known that the level and quality of automatic control systems of railway vehicles play an important role in its utilization value, e.g. marketability and price of the vehicle.

Literatúra – References:

- [1] DEPENDBROCK, M., STEIMEL, A.: 'High Power Traction Drives and Converters'. Proceedings of Electrical drives Symposium '90 Capri, Italy, pp. 11–19.
- [2] BRENNISEN, J., FUTTERLIEB, E., MÜLLER, E., SCHULZ, M.: 'A New Converter Drive System for a Diesel-Electric Locomotive with an Asynchronous Traction Motor'. IEEE Transactions on Industry Application, Vol. IA-9, No.: 4, pp. 482–491.

- [3] STEIMEL, A., WIESSEMAN, J.: *'Further Development of Direct Self Control for Applications in Electric Traction'*. Proceedings of IEEE Int. Symposium on Industrial Electronics ISIE '96, Warsaw, Poland, Vol. 1, pp. 180–185.
- [4] STEIMEL, A.: *'Steuerungsbedingte Unterschiede von Wechselrichtergespeisten Traktionsantrieben'*. Elektrische Bahnen, Vol.92, (1991), No. 1/2, pp. 24–36.
- [5] JÄNECKE, M., HOFMANN, F., KOCH, S.: *'Fast Torque Control of an IGBT-Inverter-Fed-Three-Phase AC Drive in the Whole Speed Range - Experimental Results'*. Proceedings of 6th EPE Conference, Sevilla, Spain, vol. 3, pp. 399–404.
- [6] DEPENDBROCK, M., HOFMANN, F., KOCH, S.: *'Speed Sensorless High Performance Control for Traction Drives'*. Proceedings of 7th EPE Conference, Trondheim, Norway, (1997), pp. 1418–1423.
- [7] HABETLER, T. G.: *'A Space-Vector Based Rectifier Regulator for AC/DC/AC Converters'*. IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 8, No.: 1, (1993) pp. 30–36.
- [8] BAADER, U., DEPENDBROCK, M., GIERSE, G.: *'Direct self control (DSC) of Inverter Fed Induction Machine: A Basics for Speed Control without Measurement'*. IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 28, No.: 3, (1992), pp. 581–588.
- [9] DOBRUCKÝ, B., CHALOUPKA, F., FRISCH, P.: *'Rekupační brzdění měničového pohonu s asynchronním motorem a štyřkvadrantovým impulsním usměrňovačem'*. Proceedings of International conference, Žilina, Slovakia, (1993), pp. 95–104.
- [10] STEIMEL, A.: *'Control of the Induction Machine in Traction'*. Proceedings of EPE PEMC '1998 Conference, Prague, Czech Republic, pp. K4-1–6.
- [11] WU, X. Q., STEIMEL, A.: *'A Direct Self Control of Induction Machines Fed by a Double Three-Level Inverter'*. IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 44, No.: 4, (1997), pp. 519–528.
- [12] BONANO, F., CONSOLI, A., RACITY, A., TESTA, A.: *'An Innovative Direct Self-Control Scheme for Induction motor Drives'*. IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 12, No.: 5, (1997) pp. 368–373.
- [13] STEIMEL, A., JANSEN, M.: *'Direct Self-Control with Minimum Torque Ripple and High Dynamics for a Double Three-Level GTO Inverter'*. Proceedings of EPE PEMC '2000 Conference, Košice, Slovak Republic, Vol. 3, pp.3-1 –5.
- [14] KUBOTA, H., MATSUE, K.: *'Speed Sensorless Field-Oriented Control of Induction Motor with Rotor Resistance Adaptation'*. IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 30, No.: 5, (1994), pp. 1219–1224.