Jan Pacholík
Gymnázium Na vítězné pláni, 6. C
2002/2003

REFERÁT
Z
FYZIKY

Téma: Napájecí systémy železnic

Provoz elektrických vozidel je závislý na kontaktním přívodu proudu na vozidlo. Rozvod trakčního proudu se provádí vrchním nebo spodním vedením, izolovaným od země, a zpětným vedením obvykle kolejnicemi. Zásobování trakčního vedení zajišťují napájecí stanice a podle druhu proudové soustavy pak trakční transformovny, měnírny, spínací stanice a podobně.
Na hnacích vozidlech elektrické trakce musí být zařízení k odběru proudu z přívodního vedení a zařízení k přeměně elektrické energie na mechanickou trakční práci. Mimo toto elektrické trakční zařízení jsou na vozidlech i pomocná zařízení pro chlazení některých strojů, na výrobu stlačeného vzduchu, na topení vlaku a podobně. Zařízení trakční i pomocná označujeme jako elektrickou výzbroj vozidel.
Zavádění elektrického provozu umožňuje zvyšovat dopravní výkonnost tratí, jízdní i cestovní rychlosti vlaků, dopravní hmotnosti vlaků i hospodárnost jejich provozu na dopravně silně zatížených tratích. Zvyšuje se akční rádius vozidel. Dochází k úsporám provozních pracovníků, odpadá nutnost zbrojení lokomotiv. Je možné přivádět energii na libovolné místo, zlepšuje se čistota provozu i prostředí, odstraňuje se namáhavá práce. K nevýhodám patří velké investiční náklady na pevná trakční zařízení, závislost jízdy i celého provozu na dodávkách elektrického proudu, velká zranitelnost trakčního vedení, vyšší pořizovací cena vozidel a jejich údržby, vyšší kvalifikační požadavky na obsluhující i údržbářský personál, obtížnost elektrifikačních prací za provozu na tratích, možné rušení kolejových obvodů sdělovací a zabezpečovací služby.
Podle účelu použití elektrické trakce, kterému odpovídá i vybraná hodnota napětí v troleji, rozeznáváme elektrické dráhy:
důlní (hlubinové, povrchové), městské (tramvaje, trolejbusy), průmyslové, podzemní (metro, doly), příměstské, místní (doprava na krátké vzdálenosti), hlavní.
Dělicím hlediskem je přívod trakčního proudu na vozidla: horní trolejí, boční trolejí (doly), střední nebo boční kolejnicí (metro), případně i zdvojením uvedených způsobů.

HNACÍ VOZIDLA

Elektrické lokomotivy se skládají z podvozků (2 až 4 nápravových), rámu a skříně. Ta v sobě ukrývá jedno nebo dvě stanoviště strojvedoucího a strojovnu. Na střeše jsou umístěny odporníky, sběrače proudu, vysílačka a často též hlavní vypínač. Stále častěji se používají elektrické vozy a jednotky.

Sběrače proudu slouží ke kontaktnímu odběru proudu z trolejového vedení pomocí lyžin, které jsou zespodu pružícím pantografovým mechanismem přitlačovány stálým tlakem k troleji. Rozměry a pracovní zdvih sběrače jsou přesně limitovány povoleným obrysem pro horní část vozidel. Zvedání a spouštění sběračů se provádí stlačeným vzduchem. Pro kvalitní odběr proudu bývají na lyžinách hliníkové, měděné nebo grafitové lišty.

Elektrickou výzbroj vozidla je možné charakterizovat proudovými okruhy:
trakčními, protékanými proudem trakčních motorů;
pomocných pohonů a zařízení, napájených z trakční sítě;
řídicími, signálními, měřicími a světelnými, napájenými ze zdroje pomocného proudu nízkého napětí.

Elektrická výzbroj je převážně uspořádána ve strojovně, umístěné u vozů a jednotek pod podlahou nebo na střeše. Pro přístroje pod vysokým napětím je ve strojovně vytvořena vysokonapěťová komora. Je uzavřena ze všech stran a jsou v ní hlavní vypínač, hlavní kontrolér, pojistky, bočníky, děliče napětí, měniče směru, tlumivky aj. Ve strojovně jsou ventilátory, které nasávají vzduch pro chlazení trakčních motorů a rozjezdových odporníků. Měniče dodávají stejnosměrný proud o napětí 48 V pro napájení řídicích a osvětlovacích obvodů. Kompresorová soustrojí, zpravidla dvě dvoustupňová, vyrábějí stlačený vzduch pro

brzdu a jiná pomocná zařízení.
Trakční proudové okruhy obsahují: trolejové sběrače proudu, odpojovače sběračů, přepěťovou ochranu, odpojovač a zemnič celého trakčního zařízení, hlavní vypínač s nadproudovou spouští, trakční motory, směrové spínače, bočníky pro ampérmetry, nápravové sběrače proudu, nadproudová, rozdílová, přepěťová, podpěťová, skluzová a jiná relé pro ochrany proudových okruhů. U nových vozidel to bývají ještě zařízení v okruzích pro elektrické brzdění do odporů nebo zpět do energetické sítě (rekuperací).
Mezi pomocné pohony a zařízení počítáme elektrické pohony kompresorů, větráků trakčních motorů, zdroj pomocného proudu a jeho dobíjení, elektrické vytápění lokomotivy a elektrické vytápění vlaku.
Do trakčních a pomocných okruhů jsou zapojeny obvykle tyto ochrany: přepěťová, nadproudová, rozdílová, podpěťová, nadpěťová a skluzová. Působení ochran je signalizováno panelem palubní diagnostiky na stanovišti strojvedoucího a je doplňováno informacemi o měření elektrického napětí trakční sítě, proudu trakčních motorů a proudových skupin, rychlosti jízdy, teploty motorů a vinutí pomocných pólů trakčních motorů, tlaku vzduchu v hlavní jímce, v potrubí, v brzdovém válci a v pomocné jímce.

Rozdělení vozidel elktrické trakce

Jednosystémová

stejnosměrná:

- s napětími v troleji 250, 600, 750, 900, 1200, 1500, 3000 a 6000 V;

střídavá:

jednofázová:
- s normálním (průmyslovým) kmitočtem 50 Hz a napětím v troleji 6, 10, 15, 20 a 25 kV;
- se zvýšeným kmitočtem 60 Hz a napětím v troleji 20, 25 a 30 kV;
- se sníženým kmitočtem 16⅔ (třetinový) nebo 25 Hz (poloviční) s napětím v troleji 10, 11 a 15 kV;

třífázová:
- se sníženým kmitočtem 16⅔ Hz a napětím 3,6 kV.

Vícesystémová

Používání různých proudových systémů, často i na tratích jedné železniční správy, vyžaduje používání vícesystémových vozidel, která umožňují v průběhu jízdy vlaku pouhým přepnutím na stanovišti strojvedoucího změnit zapojení elektrických obvodů na jiný druh přiváděného proudu.
Druhým možným způsobem spojení tratí dvou proudových soustav jsou stykové stanice. Jsou vybaveny pevným trakčním zařízením pro obě spojované proudové soustavy. Hnací vozidla se po zastavení vlaku vyměňují, nejčastěji pomocí motorových lokomotiv. Tento způsob je náročný na kolejiště, na potřebu velkého počtu hnacích vozidel i na prostojové

časy při čekání na další vlakové spoje. U elektrických vozů a jednotek je výměna trakčních vozidel prakticky neproveditelná.
Přímý přechod vlaků na tratě s odlišnou proudovou soustavou je možný dvousystémovými nebo vícesystémovými vozidly, která obvykle mají plný výkon na všech proudových soustavách. Dvousystémová nebo vícesystémová vozidla rozlišujeme na:
1) dvousystémová a vícesystémová vozidla, která mají proudové soustavy různých kmitočtů a napětí, a alespoň jedna soustava je stejnosměrná, např. 3 kVss / 25 kV, 50 Hz / 15 kV, 16⅔ Hz;
2) dvounapěťová a vícenapěťová vozidla pro proudové soustavy různých napětí, ale stejného kmitočtu, např. 6,25 kV / 25 kV, 50 Hz;
3) dvoufrekvenční vozidla při proudových soustavách střídavých s různým kmitočtem i při různých napětích, např. 25 kV, 50 Hz / 15 kV, 16⅔ Hz;

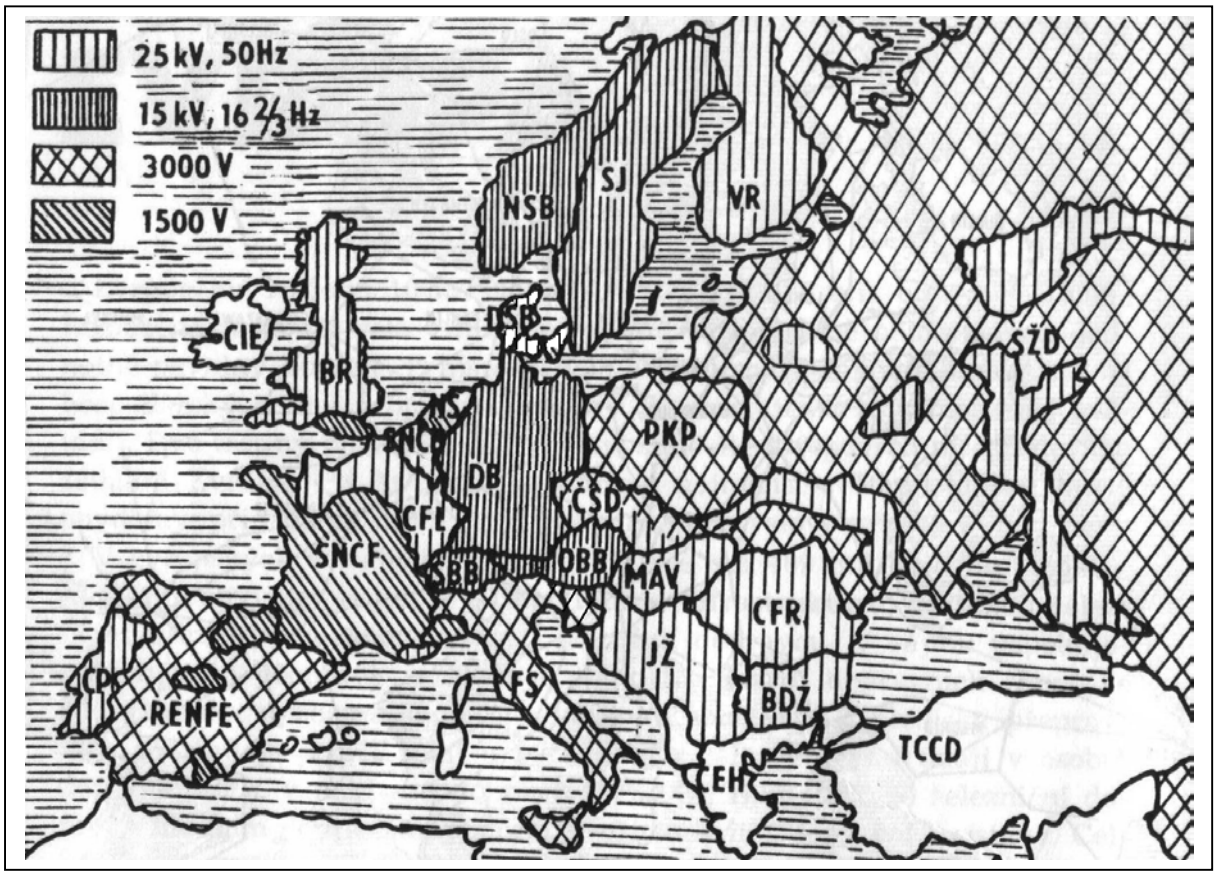
Změna proudové soustavy má přímý vliv na řešení trakčního zařízení, na volbu typu a na spojení trakčních motorů, na jejich napájení a řízení.
Vícesystémová vozidla mívají upravené lyžiny sběračů podle způsobu upevnění trolejového vedení různých proudových soustav. Vozidla určená pro mezistátní provoz mívají větší počet sběračů určených pro provoz na jednotlivých zahraničních tratích.

Akumulátorová

Zvláštní skupinu vozidel elektrické trakce polozávislé tvoří akumulátorová vozidla. Pohonným soustrojím jsou stejnosměrné motory, převážně sériové, a jsou napájeny z vlastního zdroje elektrického proudu - z akumulátorové baterie, kterou je však nutné po určitém traťovém výkonu dobíjet. U tohoto systému odpadá nákladná stavba pevných trakčních zařízení pro přívod proudu a vozidla je možné používat i na tratích s menším provozem při všech výhodách elektrické trakce. Velkou nevýhodou těchto vozidel je nemožnost použití na větší vzdálenosti a hlavně značná hmotnost akumulátorových baterií. Nyní se prosazují dvousilová vozidla, buďto akudieslová nebo akuelektrická. Akudieslová používájí jízdu na baterie převážně při posunu, kdy jsou úspornější, než při používání spalovacího motoru. Akuelektrická vozidla nacházejí využití především tam, kde je převážná většina tratí elektrifikovaných (Švýcarsko...) a potřebují zajíždět tam, kde trolej chybí.

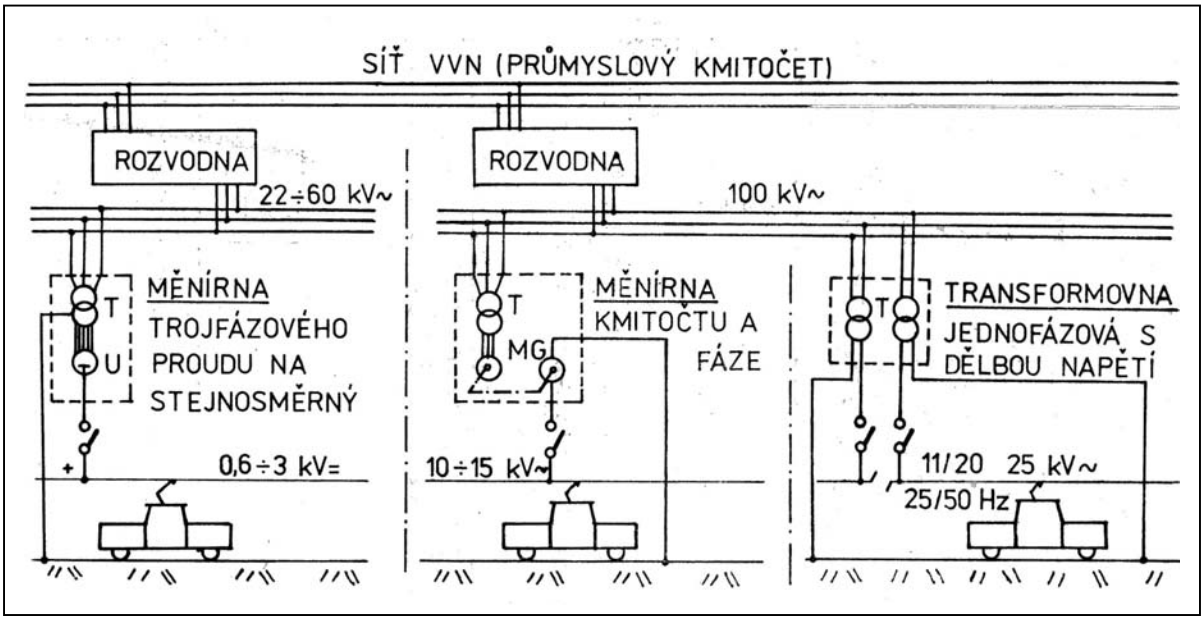
NAPÁJECÍ PROUDOVÉ SOUSTAVY

V Evropě se na železnicích používají čtyři hlavní napájecí soustavy, dvě stejnosměrné (1500 V a 3000 V) a dvě střídavé (15 kV, 16⅔ Hz; 25 kV, 50 Hz). Některé země používají dvě nebo více soustav, například ČR a SR na severu 3 kVss, na jihu 25 kV, 50 Hz, ve Velké Británii se na jihu používá 750 Vss odebíraných z třetí, postranní kolejnice, na sever od Londýna 25 kV, 50 Hz a ve městech se dříve používalo z důvodu bezpečnosti snížené napětí 6,25 kV, 50 Hz. V Nizozemí se používá 1500 Vss a 25 kV, 50 Hz. Stejnosměrná soustava je však nahrazována střídavou.



V závislosti na napájecím systému železnic a energetické síti se používají následující uspořádání:

Výrobní síť	Trakční napájecí stanice	Změna	Trakční síť
jednofázová 16⅔ Hz	transformovny	napětí	jednofázová 16⅔ Hz
	měnírny	napětí a kmitočtu	
trojfázová 50 Hz	transformovny	napětí a počtu fází	jednofázová 50 Hz
	měnírny	napětí a kmitočtu	stejnosměrná



Základním hlediskem pro dělení hnacích vozidel v elektrické trakci je druh proudové soustavy. V kolejové dopravě se používá:

Stejnosměrný systém

Stejnosměrná proudová soustava používá na hlavních tratích v trolejové síti napětí 1,5 kV a 3,0 kV. V SSSR se pokusně zkoušelo napětí 6,0 kV. Toto napětí se do trolejové sítě přivádí z měníren umístěných asi v 20kilometrových vzdálenostech podél trati. V měnírnách se v usměrňovacích jednotkách mění přiváděný střídavý proud na stejnosměrný. Střídavý proud se přivádí z veřejné energetické sítě o napětí 110 kV nebo 220 kV. Přívod elektrického proudu na stejnosměrná hnací vozidla se provádí pomocí pevných trakčních zařízení, které tvoří rozvodny, transformovny, spínací stanice, pevné a pojízdné měnírny a trakční vedení.

Trakční napájecí stanice stejnosměrné proudové soustavy jsou měnírnami, ve kterých se mění trojfázový proud vysokého nebo velmi vysokého napětí s průmyslovým kmitočtem 50 Hz na stejnosměrný proud odpovídajícího trakčního napětí. Dříve se používaly rotační měniče, později rtuťové usměrňovače. V současnosti to jsou usměrňovače křemíkové. Vstupní napětí z veřejné sítě se musí před usměrněním transformovat na hodnotu napětí usměrňovačů.
Tam, kde je potřeba nahradit měnírnu (dlouhodobá oprava, havárie), se používá pojízdná měnírna. Skládá se ze dvou vozů: z vozu transformačního a usměrňovacího a z vozu napáječového se stejnosměrným rozvaděčem.

používaná jmenovitá napětí:

druh dopravy	hlubinné doly	pouliční dráhy	metro	hlavní dráhy
v troleji dráhy (V)	250	600	750	1500; 3000
měnírny (V)	275	660	825	1650; 3300
trojfázové sítě (kV)	6	22	22	22, 35; 22, 110

Rozdíl jmenovitých napětí v troleji a měnírně respektuje úbytky napětí ve vedeních a v usměrňovacích jednotkách.
Vzdálenosti trakčních napájecích stanic závisí na napětí, na vodivém průřezu a dopravním toku. Obvykle se setkáváme s tímto uspořádáním:

napětí (V)	250	600-750	1500	3000
vzdálenost (km)	1-2	2-5	10-15	20-30

Střídavý systém

Střídavá proudová soustava používá jednoduššího rozvodu střídavého proudu v trolejové síti o napětích od 10 kV do 25 kV a s různými kmitočty 16 a 2/3, 25, 50, a 60 Hz.
Japonské železnice používají kmitočet nejvyšší. V USA se ustálila hodnota 25 Hz a v Evropě průmyslový kmitočet 50 Hz nebo třetinový 16⅔ Hz. Snížený kmitočet je volen u střídavých komutátorových trakčních motorů hlavně z důvodů komutačních.
Pro rozvod elektrické energie se nejčastěji používá trojfázový proud s kmitočtem 50 Hz. Pouze některé železnice, napájené proudovou soustavou jednofázovou o kmitočtu 16 2/3 Hz, používají své vlastní jednofázové elektrárny a vlastní rozvod vysokého napětí, např. SRN, Švýcarsko. Výrobní a trakční síť spojují trakční napájecí stanice. Jejich vzdálenost bývá 50 až 80 km podle zatížení tratí u soustavy 15 kV, 16⅔ Hz a 35 až 60 km u soustavy

25 kV, 50 Hz. Trakční napájecí stanice pro soustavu 25 kV, 50 Hz jsou vybaveny jednofázovými transformátory, které mění přiváděný trojfázový proud.
Elektrické lokomotivy střídavé proudové soustavy jsou složeny ze stejných hlavních celků jako elektrické lokomotivy stejnosměrné. Rozdíly jsou v elektrické části, protože přiváděný proud musí být na lokomotivě upravován podle použitých typů trakčních motorů.

TRAKČNÍ VEDENÍ

Trakční vedení je rozděleno na dvě části: přívodní vedení a zpětné vedení. Přívodní trakční vedení se skládá z těchto částí:
1) napájecí vedení, tedy vývody z měnírny k trolejovému vedení. Obvykle je provedeno holými vodiči přes nůžkové odpojovače;
2) trolejové vedení ve trojí úpravě:
- vedení prosté (tramvajové), kde je trolejový drát zavěšen přímo na podpěrách
- vedení pevné, například v tunelech, kde pro jejich profil není možné použít vedení prosté nebo řetězovkové
- vedení řetězovkové s trolejovým drátem, zavěšeným pomocí věšáků různé délky na závěsném laně, které má tvar řetězovky a je zároveň vodičem (na hlavních kolejích). Zesílené vedení (např. dva vodiče stejného průřezu vedle sebe) se používá na tratích s velkým odběrem elektrického proudu, například na velkých stoupáních. Také se zvětšuje průřez trolejového drátu pomocí souběžně vedeného ocelohliníkového lana po jedné nebo obou stranách trati;
3) obcházecí vedení, které spojuje nesouvisející úseky a umožňuje odpojení mezilehlého úseku bez přerušení provozu na přilehlých úsecích.

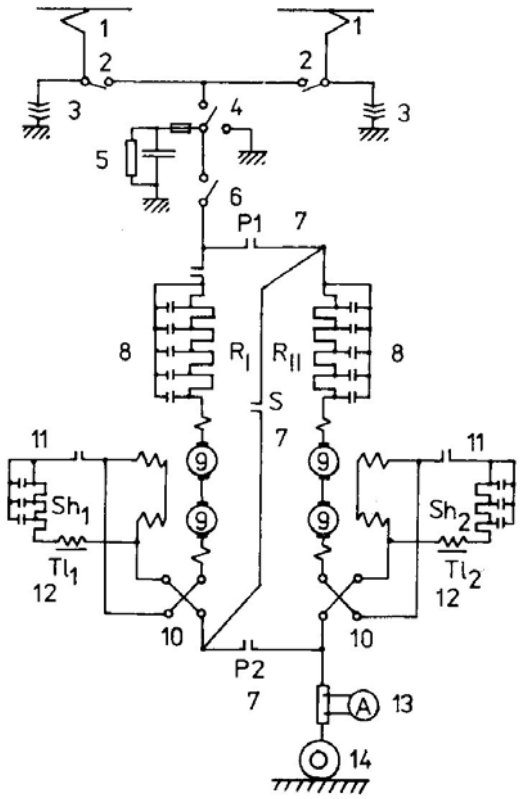
Trolejový drát je nejčastěji měděný, neúspěšně se zkoušel ocelohliníkový drát. Trolejový drát je ve vodorovné rovině vedený klikatě stranovou výchylkou od osy koleje, což umožňuje rovnoměrnější opotřebení sběrače. Trolejový drát je zavěšený šikmými kotvami na nosném laně, které je upevněno na konzolách a jejich prostřednictvím na stožárech.
Zpětné trakční vedení tvoří kolejnicové a zpětné vedení napájecí. Zpětné kolejnicové vedení tvoří kolejnice, kterými se trakční elektrický proud přivádí od kol hnacího vozidla zpět do měnírny. Zpětné napájecí vedení jsou kabelové vodivé spoje mezi kolejnicemi a zápornou přípojnicí, umístěnou v měnírnách.
Jednotlivé tahy trolejového vedení nad hlavními kolejemi jsou od sebe mechanicky i elektricky odděleny, aby při poruše na trolejovém vedení jedné koleje byl možný a nerušený elektrický provoz na koleji druhé. Pro omezení poruchy trolejového vedení na úsek co nejmenší se trakční vedení dělí na úseky, které je možno samostatně odepínat.

REGULACE VÝKONU

1. generace:

Stejnosměrná hnací vozidla

Klasická hnací vozidla se vyznačují kontaktní regulací výkonu změnou napájecího napětí a změnou buzení. Regulace na stejnosměrné trakci využívá rozjezdové odpory, snižování buzení trakčních motorů (šuntování) a změnu řazení trakčních motorů do skupin. Trakční motory jsou pro přiváděné nebo dílčí napětí.



Trakční obvody elektrické stejnosměrné lokomotivy 1. generace:
1. sběrače proudu, 2. odpojovače, 3. přepěťový svodič, 4. hlavní odpojovač a uzemnění, 5. přepěťová ochrana, 6. hlavní vypínač, 7. skupinové spínače, 8. spouštěcí odporníky, 9. trakční motory, 10. přepínač směru jízdy, 11. odporník zeslabování, 12. tlumivka zeslabování, 13. ampérmetr; 14. nápravový sběrač

Střídavá hnací vozidla

jednofázová hnací vozidla:

s jednofázovými trakčními motory:
přívod jednofázového proudu jednoduchým vodičem, motory jednofázové na napětí přiváděné nebo nižší;

s třífázovým elektromotorem:
přívod jednofázového proudu jednoduchým vodičem, transformace a změna na trojfázový proud na lokomotivě. V provedení první generace zajišťoval změnu počtu fází arnoměnič (rotační měnič počtu fází);

s jednofázovým-stejnosměrným motor-generátorem:
přívod jednofázového proudu do motor-generátorru. Vyrobený stejnosměrný proud pohání trakční motory;

s usměrňovačem:
přívod jednofázového proudu jednoduchým vodičem, regulace výkonu přepínáním odboček na trakčním transformátoru a následné usměrnění střídavého napětí. Používají se tyto druhy usměrňovačů:
- rtuťové
- polovodičové: dříve germaniové, později křemíkové diody v můstkovém usměrňovači se vzduchovým chlazením;

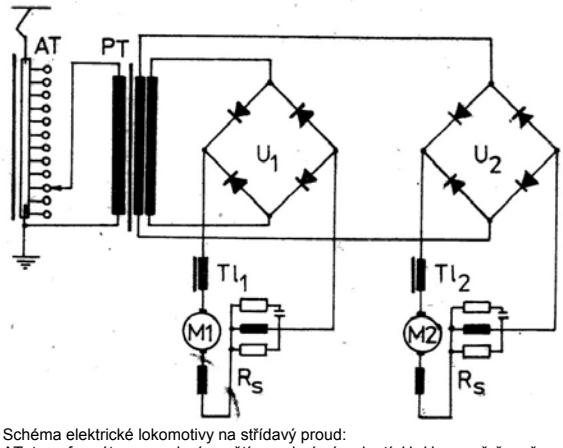


Schéma elektrické lokomotivy na střídavý proud:
AT. transformátor s regulací napětí na primárním vinutí, U_1,U_2. usměrňovače, $Tl_{1,2}$ vyhlazovací tlumivky, M1,2. stejnosměrné trakční motory

třífázová hnací vozidla:

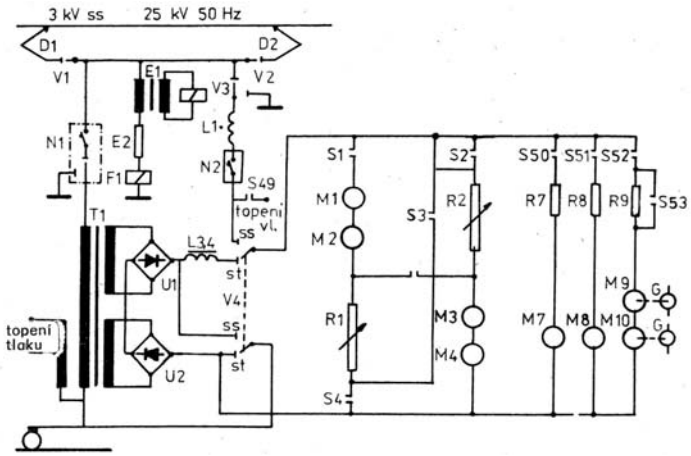
přívod proudu zdvojeným vedením a kolejnicemi, případně transformace na lokomotivě. Motory jsou trojfázové, indukční, kroužkové nebo s kotvou nakrátko;. Na střídavé třífázové soustavě se používaly jen lokomotivy 1. generace. Dříve, než mohly být vyvynuty lokomotivy následujících generací, se tato soustava opustila a nahradila jinou.

Provedení regulace vozidel první generace

Lokomotivy střídavé soustavy v provozu ČD používají rozvodné napětí 25 kV a kmitočet 50 Hz. Na vozidlech musí být proud upravený, protože pro pohon dvojkolí používají stejnosměrné trakční motory. Elektrická výzbroj stejnosměrné části lokomotiv je tedy podobná lokomotivám stejnosměrným. Na vozidle však musí být výzbroj pro část napájenou střídavým proudem.
Trakční proudové okruhy jednofázového vozidla s usměrňovačem obsahují trolejové sběrače proudu, odpojovače sběračů a zemniče, ochrany proti přepětí, hlavní vypínače, transformátor s odbočkami, přepínač odboček, usměrňovač, vyhlazovací tlumivku, trakční motory s trvalým ohmickým šuntem vinutí hlavních pólů, přepínač směru, případně další šunty pro zeslabování buzení.
Přiváděný proud vysokého napětí je nutné na lokomotivě transformovat na napětí nižší. Trakční transformátor, zpravidla umístěný mezi podvozky, mívá nucené olejové chlazení a je vybaven vysokonapěťovým přepínačem odboček, poháněným pneumatickým motorem ovládaným z obou stanovišť strojvedoucího. Primární vinutí je napájeno regulovaným napětím z transformátoru. Sekundární vinutí je rozděleno na dvě samostatné sekce, které napájejí přes usměrňovače oba podvozky, a dalším obvodem přes usměrňovač je napájeno elektrické vlakové topení a pomocné pohony. Transformátory mohou mít různá provedení. Rozlišují se podle napěťových odboček:
- na straně sekundární (nízkonapěťová regulace)
- na straně primární (vysokonapěťová regulace)

Proudová soustava od přívodu na lokomotivu až ke svorkám trakčních motorů se mění. K tomu se pužívají rotační měniče nebo usměrňovače. Praktické použití měničů je omezováno jejich narůstajícími rozměry a hmotností. Usměrňovače jsou proto výhodnější.
Spojování usměrňovačů s trakčními motory je provedeno jednotlivě, skupinově nebo kombinovaně. Pro vyhlazování tepajícího usměrněného proudu, tedy pro zmenšení střídavé složky stejnosměrného proudu motoru, slouží vyhlazovací tlumivka, boční neinduktivní odporníky nebo zvláštní konstrukce trakčního motoru na zvlněné napětí.
Obdobně jako stejnosměrné lokomotivy, je možné i lokomotivy střídavé elektricky brzdit do odporníků nebo do sítě.
U nových střídavých vozidel se proud usměrňuje a regulace výkonu je stejná jako u stejnosměrných.

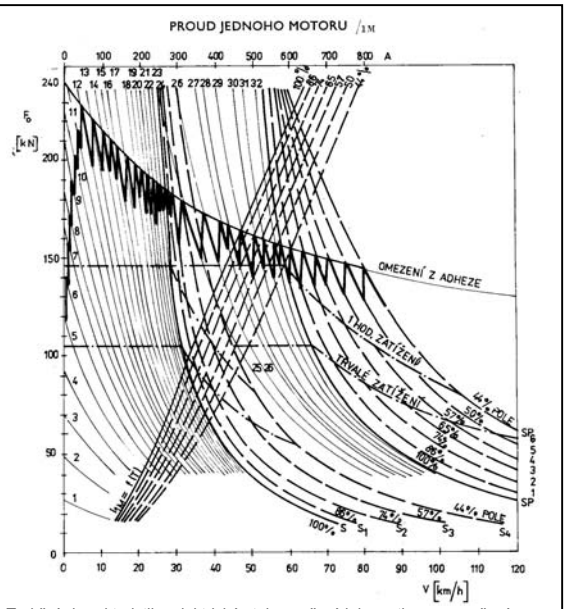
U vícesystémových střídavě-stejnosměrných vozidel koncepce elektrické části vozidla závisela na tom, která proudová soustava byla na vozidle základní. Při stejnosměrné variantě byla regulační i ovládací část stejnosměrná a střídavý proud z troleje se na lokomotivě nejprve usměrňoval. Při variantě střídavé byla regulace lokomotivy prováděna odbočkami z transformátoru. Stejnosměrný proud, přiváděný z troleje, se nejprve upravoval na střídavý a po transformaci se před trakčními motory znovu usměrňoval.



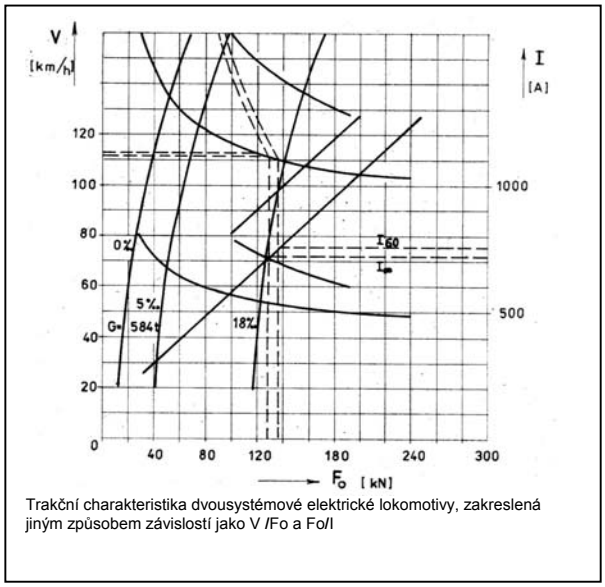
Vysokonapěťové obvody elektrické dvousystémové lokomotivy pro napětí 3 kV a 25 kV, 50 Hz stř.: D1,2. sběrače proudu, V1,2. odpojovače sběračů, V3. odpojovač stejnosměrného systému, E1. měřicí transformátor, N1. hlavní vypínač střídavého proudu, N2. hlavní vypínač stejnosměrného proudu, M1,2,3,4. trakční motory, M7,8. motory kompresorů, M9,10. motory ventilátorů, G. generátor stejnosměrného proudu, R1,2. rozjezdové odporníky, R7,8. před řadné odporníky kompresorových motorů, R9. rozběhový odporník motoru ventilátorů, S1-5. elektropneumatické stykače trakčního obvodu, L3. vyhlazovací tlumivka, U1,2. usměrňovače, T1. trakční transformátor

Trakční charakteristiky nejen elektrických lokomotiv 1. generace mají tvar křivek závislý na druhu použitého trakčního motoru. Jsou-li to motory stejnosměrné sériové, mají většinou strmé křivky, dosahující vysokých hodnot tažné síly, avšak jejich dolní část se odklání od hyperbolického tvaru k nulovým hodnotám. Trakční charakteristiky našich elektrických lokomotiv mají velký počet výkonových křivek (30 až 60), který je závislý na konstrukci elektrické části vozidla.

Trvalá provozní použitelnost výkonových stupňů je odlišná u obou proudových soustav. U stejnosměrných vozidel používáme různých zapojení trakčních motorů, závislých na počtu motorů u čtyřnápravových nebo šestinápravových lokomotiv. V každém zapojení část křivek odpovídá spojení trakčních motorů přes předřadné odpory. Bez odporů jsou stupně hospodárné, určené pro trvalou jízdu vozidla, a stupně šuntovací, u kterých se zeslabením buzení motoru zvyšuje tažná síla vozidel.



Trakční charakteristika elektrické stejnosměrné lokomotivy s vyznačením postupného řazení jízdních stupňů (silná pilovitá čára)



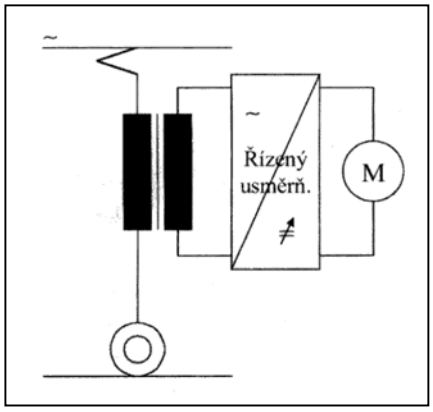
Trakční charakteristika dvousystémové elektrické lokomotivy, zakreslená jiným způsobem závislostí jako V /Fo a Fo/I

U vozidel střídavé soustavy není zapojení motorů přes odpory, ale je vyvedeno z odboček transformátoru. Proto je možné považovat všechny stupně jako hospodárné pro jízdu a je možné rovněž používat šuntování. Pro zjišťování hodnot odebíraného proudu při určitém zařazeném jízdním stupni slouží v trakční charakteristice grafická závislost svazkem přímek mezi stupnicí pro tažnou sílu a stupnicí pro proud. Přímky s označením procent odpovídají zeslabení buzení na zapojeném šuntovacím stupni.

Trakční motory na většině vozidel 1. generace jsou sériové. U stejnosměrné soustavy jsou nejčastěji napájené přímo proudem z trakční sítě. Vzhledem k nutnosti zmenšení napětí na komutátoru se spojují dva, tři nebo i čtyři motory trvale mezi sebou a tvoří elektricky spojené skupiny motorů se stejným protékajícím proudem. Motory se spouští ztrátově předřadnými odporníky a k rozšíření hospodárného regulačního rozsahu se používá spínání skupin motorů a zeslabování buzení. Pro přenos krouticího momentu na pevnou nápravu se používají konstrukce tuhých, pružných a poddajných převodů.

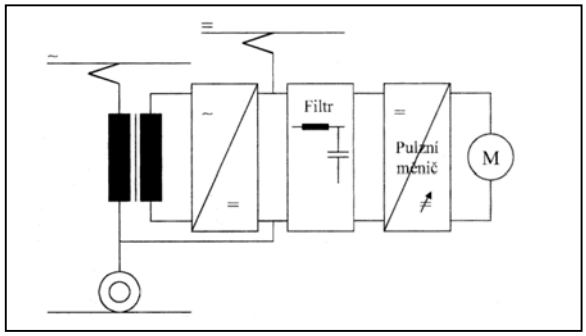
2. generace:

Vývoj v hnacích vozidlech pak směřoval k odstranění kontaktních způsobů regulace. K prvnímu uplatněni došlo u vozidel pro střídavou trakci se stejnosměrnými trakčními motory s regulací napětí řízeným tyristorovým usměrňovacím můstkem. Při tomto způsobu regulace napětí dochází k silnému tvarovému zkreslení odebíraného trakčního proudu v závislosti na úhlu otevření tyristorů v usměrňovacím můstku.

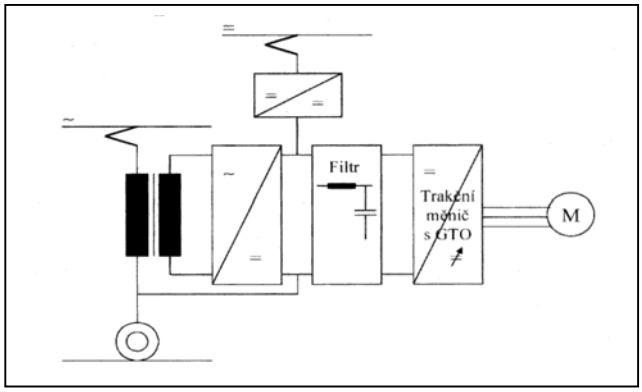


3. generace:

Další vývoj směřoval k trakčním měničům pro nízkoztrátovou regulaci hnacích vozidel se stejnosměrnými trakčními motory, a to jak pro stejnosměrnou, tak střídavou trakčni soustavu (třetí generace vozidel). Tyto měniče využívají impulzy šířkovou modulaci (PWM-Pulse Wide Modulation), tj. pracují s proměnnou šířkou impulzu na jednom nebo více nosných kmitočtech. Mimo oblast ČD byly použity i měniče s tzv. dvouhodnotovým řízením, které generují plynule proměnné nosné kmitočty.

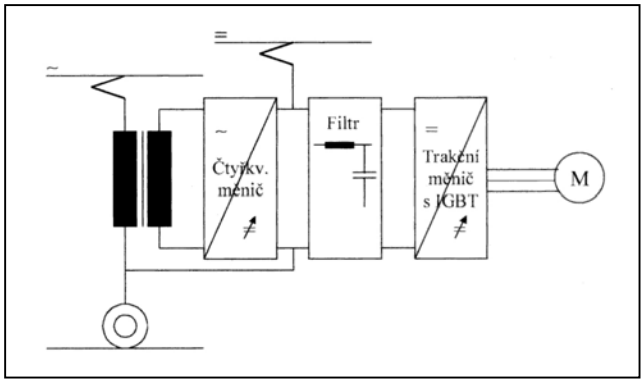


3,5. generace:



Další vývoj byl pak zaměřen na využití třífázových asynchronních trakčních motorů v hnacích vozidlech. Tyto motory byly zpočátku řízeny s pomocí proudových střídačů, v současné době jsou regulovány a napájeny výkonovými měniči s plynule proměnným napětím a frekvencí. Typické je zde použiti výkonových tyristorů GTO (Gate Turn Off – hradlem vypínaltelný) a nosný kmitočet měniče řádově ve stovkách Hz. Před vlastní trakční frekvenční měnič se na stejnosměrné trakci obvykle předřazuje pomocný (snižující) měnič na stejnosměrné mezinapětí, kterým je pak napájen vlastní trakční měnič. Při střídavé trakci zajišťuje stejnosměrné mezinapětí usměrňovací můstek. Pracovní (nosné) kmitočty trakčního měniče jsou řádové stovky Hz, pro regulaci je opět využito modulace PWM.
Modulaci lze uskutečnit dvěma způsoby: bud' se při konstantním nosném kmitočtu mění plnění periody (poměr impuls/mezera) nebo se při konstantní šířce impulsu mění perioda nosného kmitočtu. V reálných trakčních měničích se pak využívá kombinace obou způsobů. Lze tak minimalizovat dynamické (spínací) ztráty na výkonových spínačích a optimalizovat rychlost odezvy při změnách.

4. generace:



Nejnověji jsou v trakčních měničích hnacích vozidel s třífázovými asynchronními trakčními motory používány výkonové spínací tranzistory IGBT (Insulated Gate Bipolar Tranzistor – tranzistor s izolovanou branou). Kaskádním řazením výkonových měničů (pro snížení jejich svorkových napětí) je zpravidla na stejnosměrné trakci vypuštěn snižující pomocný měnič a výkonové trakční měniče jsou připojeny přes LC filtr přímo na trakčni vedeni.
Na střídavé trakci se pro získání stejnosměrného mezinapětí využívá pomocných, takzvaných pulzních usměniovačů (čtyřkvadrantových měničů). Vlastní trakční měniče pracují s nosnými kmitočty řádově v jednotkách kHz a algoritmy jejich řízení umožňuji i rekuperaci při brzdění. Pulzní usměrňovač (čtyřkvadrantový pomocný měnič) umožňuje aktivní filtraci odebíraného trakčního proudu, takže průběh proudu je blízký sinusovému a ve fázi s napětím ($\cos\varphi=1$).

Řízení

Všechny řídicí a kontrolní přístroje jsou umístěny na stanovišti strojvedoucího. Hlavní snaha je sjednocovat a zmenšovat počet přístrojů. Na řídicím pultu je umístěno ovládací kolo nebo páka řídicího kontroléru, číselník pro zadávání rychlosti, směrová páka nebo i šuntovací páka. Ve střední části řídicího pultu bývají signalizační a měřicí zařízení, signalizace palubní diagnostiky, ampérmetr, rychloměr, voltmetr, teploměr. Na řídicím pultu jsou ovládací spínače technických zařízení, osvětlení, vlakového topení, panel vlakového zabezpečovače, houkačka. Na jednom stanovišti musí být umístěn registrační rychloměr, který zapisuje průběh rychlosti vozidla během jízdy vlaku a jiné potřebné údaje. Stanoviště strojvedoucího doplňují umývadlo, elektrický vařič, ventilátor a elektrická chladnička, šatník a skříňka s nářadím a sada hasicích přístrojů.

použitá literatura:
Stanislav Antonický a kolektiv, Železniční provoz, NADAS 1985
časopis Železniční Magazín 3/2003, Modellbahnpresse 2003