



EXPERIMENTÁLNÍ KOLEJOVÉ VOZIDLO DOPRAVNÍ FAKULTY JANA PERNERA

EXPERIMENTAL RAIL VEHICLE OF JAN PERNER TRANSPORT FACULTY

Petr SÝKORA¹, Tomáš LELEK², Ondřej SADÍLEK³

Abstrakt

Článek popisuje vznik experimentálního kolejového vozidla, jeho technické parametry a jeho původní i současné využití.

Klíčová slova

Experimentální kolejové vozidlo, mechanická konstrukce, elektrická výzbroj

Abstract

The paper describes the origin of experimental railway vehicle, its technical features and its former and current usage.

Keywords

Experimental railway vehicle, mechanical construction, electrical equipment

1 ÚVOD

Experimentální kolejové vozidlo Dopravní fakulty Jana Pernera je spojeno s řešením projektu TAČR TA01030291 nazvaného „Výzkum jízdních vlastností a řízení pohonů trakčních kolejových vozidel s nezávisle otáčivými koly.“ Na tomto projektu spolupracovala Dopravní fakulta Jana Pernera s Výzkumným ústavem kolejových vozidel, a.s. a se Škodou Electric, a.s., přičemž bylo cílem projektu navrhnout, odladit a provozně otestovat řídicí algoritmy pro nadřazené řízení tramvaje 15T, jež by pomocí individuálního řízení pohonů volných kol umožnilo zlepšit jízdní vlastnosti uvedené tramvaje.

Vzhledem k velkému množství obtížně podchytilných vstupních veličin a zároveň k obtížím, jež by neslo dlouhodobé testování vyvíjených algoritmů na reálné tramvaji, vzniklo v letech 2011 – 2013 v rámci tohoto projektu popisované experimentální kolejové vozidlo. Právě na něm probíhal dlouhodobý vývoj a ladění řídicích algoritmů, jež byly pak přeneseny na reálnou tramvaj a v poměrně krátké době provozně vyzkoušeny.

¹ Ing. Petr Sýkora, Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera. Katedra elektrotechniky, elektroniky a zabezpečovací techniky v dopravě, Studentská 95, 532 10 Pardubice 2. Tel.: +420 466 036 669, e-mail: petr.sykora@upce.cz

² Ing. Tomáš Lelek, Ph.D., Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera. Katedra elektrotechniky, elektroniky a zabezpečovací techniky v dopravě, Studentská 95, 532 10 Pardubice 2. Tel.: +420 466 036 404, e-mail: tomas.lelek@upce.cz

³ Ing. Ondřej Sadílek, Ph.D., Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera. Katedra elektrotechniky, elektroniky a zabezpečovací techniky v dopravě, Studentská 95, 532 10 Pardubice 2. Tel.: +420 466 036 405, e-mail: ondrej.sadilek@upce.cz

2 MECHANICKÉ PROVEDENÍ EXPERIMENTÁLNÍHO KOLEJOVÉHO VOZIDLA

Vozidlo je navrženo jako úzkorozchodné o rozchodu 600mm. Užití tohoto rozchodu umožňuje výrazně snížit pořizovací náklady, zároveň skýtá možnost užívat coby zkušební trať Mladějovskou průmyslovou dráhu, kde není zaveden pravidelný celotýdenní provoz, navíc tato trať vykazuje značně komplikované směrové i výškové vedení, což je pro experimenty žádoucí.

Další konstrukce experimentálního vozidla je již podřízena snaze přiblížit se tramvaji typu 15T, lépe řečeno jednomu jejímu podvozku. Proto byla zvolena třínápravová koncepce, kde je hlavním prvkem otočný podvozek, v němž jsou umístěna čtyři kola spojená pomocí planžetových spojek se čtyřmi trakčními motory, přičemž konstrukce umožňuje volná kola variantně spojit pomocí dalších planžetových spojek a spojovací hřídele. Zmíněný čtyřkolový podvozek je zavázán pod hlavní rám, který je částečně nesen třetí nehnanou nápravou, realizovanou pomocí klasického tuhého dvojkolí.

Na hlavním rámu je umístěn jednak elektrický rozváděč, v němž je zabudována až na zmíněné trakční motory a akumulátorové baterie zavěšené pod hlavním rámem poblíž třetí nápravy veškerá elektrická výzbroj vozidla. Dále hlavní rám nese jednoduché postranice s podélnými lavicemi pro obsluhu, celé vozidlo je pak kryto lehkou plechovou střešou – viz obr. 1.

Vozidlo je vybaveno dvěma nezávislými brzdovými systémy. Provozní brzdou je elektrodynamická rekuperační brzda. Brzdu parkovací a nouzovou tvoří vřetenová ruční brzda, již je jednostranně obrzděna třetí běžná náprava.



Obr. 1 Experimentální kolejové vozidlo

Pro účely měření vlivu řídicích algoritmů nadřazeného systému na chodové vlastnosti vozidla bylo vozidlo vybaveno těmito snímači mechanických veličin:

- Tenzometrické ojníčky – každá soustava kola a trakčního motoru je zavěšena v nápravnici pomocí čtyřech tenzometrických ojníček, jež umožňují přímo snímat síly na tuto soustavu působící
- Snímače úhlu náběhu – před a za podvozkiem byly umístěny válečkové snímače úhlu náběhu dvojkolí na kolejnici
- Lankový snímač úhlu natočení podvozku
- Akcelerometry
- Inklinoměr
- Impulzní snímač otáček tuhé nápravy

3 ELEKTRICKÁ VÝZBROJ EXPERIMENTÁLNÍHO VOZIDLA

Zdrojem elektrické energie pro experimentální vozidlo byla původně trakční akumulátorová baterie sestávající z osmi olovených akumulátorů 12V/150Ah. Výsledné napětí 96V= je vyvedeno na stejnosměrnou sběrnici, na níž je připojen nabíječ nabíjející trakční akumulátor ze sítě 3x400V~/50Hz, dále soustava DC-DC měničů, jež napájí obvody vlastní pomocné spotřeby vozidla a soustava měničů DC-AC 96V=/230V~ určená pro připojení výpočetní techniky a dalších přístrojů nutných pro zajištění zkušebních jízd.

Konečně je na stejnosměrnou sběrnici připojena i čtveřice trakčních pohonů. Tyto sestávají z napěťových střídačů osazených prvky IGBT, na něž jsou připojeny trakční motory typu PMSM s integrovanými čidly polohy, které pohánějí přímo kola podvozku. Řízení na úrovni trakčních pohonů je realizováno pomocí mikroprocesorových regulátorů, které vyhodnocují průběhy napětí a proudů spolu s polohami rotorů trakčních motorů a na základě výpočtů spínají jednotlivé výkonové tranzistory.

Nadřazené řízení je tvořeno modulárním řídicím systémem Compact RIO od fy. National Instruments. Tento systém poskytuje díky své modularitě možnost sestavit jej namíru kladeným požadavkům, zároveň je ale dostatečně robustní pro použití na kolejovém vozidle. Jeho další výhodou je jeho programování v grafickém jazyce LabView, což umožňuje velice efektivní a intuitivní tvorbu řídicích algoritmů včetně jejich snadné modifikace, zároveň slouží tento systém ke sběru dat v průběhu zkušebních jízd.

4 SOUČASNÉ VYUŽITÍ EXPERIMENTÁLNÍHO VOZIDLA

Projekt, v jehož rámci vozidlo vzniklo, byl úspěšně ukončen v roce 2014 ověřením vyvinutých algoritmů na skutečné tramvaji – více informací je možné získat např. v [1]. V následujících letech se výzkum na experimentálním vozidle soustředil do oblasti trakční energetiky, zejména na snížení spotřeby trakční energie v důsledku pokročilých algoritmů implementovaných do systému automatického vedení vlaku, dále na problematiku trakčních akumulátorů a také na energetický přínos pomocného fotovoltaického generátoru umístěného na střeše vozidla a přívěsného vozu.

4.1 Systém automatického vedení vlaku

V rámci energetického výzkumu jsme se zaměřili i na vliv metody řízení rychlosti automaticky vedeného vlaku na jeho energetickou spotřebu. Porovnávány byly tyto varianty:

- PSD regulátor rychlosti
- PSD regulátor rychlosti s dopřednou větví s predikcí podle referenční jízdy
- PSD regulátor rychlosti s dopřednou větví s predikcí podle sklonu trati
- Řízení rychlosti stavovým automatem

Porovnání energetické spotřeby vozidla vedeného podle výše uvedených metod řízení rychlosti ukázalo s velmi dobrou opakovatelností výsledky rozdílné v řádu jednotek procent, což je hodnota při vyšších trakčních výkonech významná. Více informací je uvedeno např. v [2].

4.2 Lithiové trakční baterie

Původní olovená trakční akumulátorová baterie byla nahrazena dvěma trakčními bateriemi s moderními články na bázi lithia, jejichž parametry jsou shrnuty v Tab. 1.

Montáž těchto článků si vynutila osazení speciálního rozváděče pro nabíjení trakční baterie, který obsahuje Battery management systém, nabíječ pro pomalé nabíjení baterie při balancování a příslušné spínací přístroje, které při počáteční fázi nabíjení spínají původní výkonný nabíječ a pro fázi konečnou nabíječ nový.

Více informace z této oblasti obsahuje [3].

Tab. 1 Parametry lithiových trakčních baterií

Typ	[-]	SP-LFP100AHA	SLPB 60216216
Výrobce	[-]	Sinopoly	Kokam
Jmenovité napětí článku U_n	[V]	3,2	3,7
Jmenovitá kapacita článku	[Ah]	100	25
Počet článků	[-]	30	26
Hmotnostní hustota energie	[Wh/kg]	89	153
Objemová hustota energie	[Wh/dm ³]	133	306

4.3 Pomocný fotovoltaický generátor

V současné době je na střeše experimentálního kolejového vozidla osazena čtveřice hybridních fotovoltaických panelů a na přívěsném voze další čtveřice panelů amorfních s parametry dle následující Tab. 2. Elektrická energie vyrobená v tomto fotovoltaickém generátoru proudí přes rozváděč měření vyrobené energie do rozváděče nabíjení a dále do stejnosměrného meziobvodu vozidla. Energetický přínos fotovoltaického generátoru pro provoz vozidla v různých režimech je nyní předmětem výzkum, lze však již nyní říci, že pokrývá alespoň pomocné spotřeby vozidla.

Tab. 2 Parametry fotovoltaických panelů

Typ	[-]	VBHN240SJ25	SF160F
Výrobce	[-]	Panasonic	SolarFrontier
Maximální výkon P_{max}	[W]	240	160
Napětí naprázdno V_{oc}	[V]	52,4	110
Proud nakrátko I_{sc}	[A]	5,85	2,2
Napětí U_{mpp}	[V]	43,6	84
Proud I_{mpp}	[A]	5.51	1,91

5 ZÁVĚR

Jak z výše uvedeného textu plyne, experimentální kolejové vozidlo Dopravní fakulty Jana Pernera je stále využíváno pro výzkum, při němž mohou zvláště vyniknout jeho přednosti, tedy nízké náklady na jeho pořízení, provoz a stále probíhající úpravy. Pevně věříme, že výsledky bude možné uplatnit v reálném železničním provozu, i když to je v mnoha ohledech běh na dlouhou trať.

Výzkum na experimentálním vozidle v současné době probíhá pod hlavičkou projektu TAČR TE01020038 Centrum kompetence drážních vozidel a s podporou interního grantu Studentské grantové soutěže UPa.



Literatura

- [1] LENOCH, V. *Elektronická optimalizace jízdy kolejového vozidla s nezávisle otáčivými koly*. Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera - Disertační práce, 2015.
- [2] LELEK, T. *Návrh a hodnocení kolejových vozidel s hybridními pohony*. Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera - Disertační práce, 2017.
- [3] SADÍLEK, O. *Návrh a optimalizace bateriového systému pro kolejové vozidlo*. Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera - Disertační práce, 2017.