

Oponentní posudek doktorské disertační práce

Autor: **Ing. Ondřej Sadílek**
Katedra elektrotechniky, elektroniky a zabezpečovací techniky v dopravě
Dopravní fakulta Jana Pernera
Univerzita Pardubice
532 10 Pardubice, Studentská 95

Téma: **Návrh a optimalizace bateriového systému pro kolejové vozidlo**

Oponent: **Prof. Ing. Jiří Lettl, CSc.**
Katedra elektrických pohonů a trakce
Fakulta elektrotechnická
České vysoké učení technické v Praze
166 27 Praha 6, Technická 2
Tel.: +420 224 352 147, e-mail: lettl@fel.cvut.cz

Doktorská disertační práce Ing. Ondřeje Sadílka se z hlediska elektromobility, která spojuje do jednoho celku dopravní prostředky (silniční i kolejové) a elektrickou energii, zabývá významnou, aktuální a perspektivní problematikou akumulátorově napájených kolejových vozidel. Vzhledem k tomu, že vozidlo napájené z akumulátorů, zejména jeho akční rádius, závisí významně na vhodném dobíjení, představuje návrh a dimenzování akumulátorového systému nejvýznamnější část návrhu celého vozidla a určuje jeho využitelnost.

A) Aktuálnost daného tématu

Téma disertační práce je vysoce aktuální a má značný význam pro obor elektromobility, který není možno omezovat pouze na vozidla silniční, ale vzhledem k nižším poměrným ztrátám vlivem valivého tření je nutno zohlednit rovněž příznivé podmínky pro nástup elektromobility u vozidel kolejových. Moderní zdroj energie pro takovéto aplikace představují lithiové akumulátory. Dimenzování akumulátorového systému je však poměrně zdoluhavý proces závislý na řadě vnitřních i vnějších parametrů. Proto může být výhodné předpovědět chování navrhované akumulátorové baterie včetně příčinného battery management systému (BMS) na základě vhodného simulačního modelu. V případě kolejových vozidel provozovaných na definovaných trasách dle daných jízdních řádů pak lze akumulátorový systém koncipovat s ohledem na projížděnou trať.

B) Zvolené metody zpracování

Použité metody zpracování zahrnují rešeršní popis a rozbor současného stavu poznání v oblasti již řešených, případně provozovaných akumulátorově napájených vozidel a v oblasti elektrochemických akumulátorů, zejména jejich nejmodernější koncepce, akumulátorů lithiových. Dalším krokem je výběr, návrh a vytvoření exaktního simulačního modelu akumulátorové baterie, který poslouží k simulaci chování celého vozidla v různých provozních režimech a za různých vnějších podmínek. Konečně dojde k validaci použitého modelu srovnáním získaných výsledků s výsledky experimentálních testů na reálném vozidle.

C) Sledované cíle a jejich splnění

Přehledné shrnutí stanovených cílů je v šesti konkrétních bodech uvedeno na str. 37 disertační práce. Kromě provedení nezbytné rešerše a rozboru současného stavu poznání (kap. 1.1) a to zejména v oblasti trakčních akumulátorů (kap. 1.2 a 1.3), technologií lithiových akumulátorů a jejich porovnání (kap. 1.4, 1.5 a 1.6), obvodových modelů Li-ion akumulátorů (kap. 1.7), možností simulace akumulátorového systému v programovém prostředí MatLab (kap. 1.8) a návrhu metodiky pro optimalizaci akumulátorového systému vozidla (kap. 1.9), shrnuje kap. 2 (str. 37) již zmíněné cíle disertační práce a kap. 3 přehled metod zpracování zahrnující definování struktury a parametrů modelu (kap. 3.1), popis experimentálních laboratorních testů (kap. 3.2) a experimentálních testů na vozidle (kap. 3.3), popis simulačního modelu článku (kap. 3.4) a zejména zhodnocení a zobecnění výsledků simulací a testů v laboratoři i na vozidle (kap. 3.5 a 3.6). Význam výsledků pro vědu a praxi autor sumarizuje v kap. 4 a finální výsledky jsou shrnuty v závěru práce (kap. 5). Jak patrně, je řešení stanovených dílčích cílů obsahem jednotlivých kapitol. Lze konstatovat, že ze 150 stránek textu a obrázků tvoří 20 % důkladně provedená rešerše (kap. 1 a 2) a celých 71 % díla je věnováno vlastní problematice návrhu a optimalizace akumulátorového systému - simulace, laboratorní testy, experimentální testy na vozidle, shrnutí a zhodnocení výsledků (kap. 3, 4, 5 a přílohy). Dosažené výsledky simulací a experimentů i jejich shoda přesvědčivě dokazují, že stanovené cíle byly splněny.

D) Zpracování doktorské disertační práce

Kromě obsahu, seznamu použitých symbolů, úvodu, seznamu použité literatury, seznamu obrázků, seznamu tabulek, přehledu publikační činnosti autora a 43 stránek příloh obsahujících naměřené výsledky i sestavené výpočetní programy, je práce přehledně rozdělena do pěti kapitol, které jsou dále logicky členěny do dvou podúrovní několika podkapitol. Práce je zpracována opravdu pečlivě, má přehlednou skladbu a ucelený charakter. Autor nezabíhá do zbytečných podrobností, vhodně uvádí odkazy na použitou literaturu. Některé chyby formální a stylistické nemají závažný charakter. V práci je minimum překlepů, nenalezl jsem žádné zásadní nesrovnalosti terminologické, doktorand se však někdy potýká s gramatikou při skloňování, např. (a) „Vnější vlivem, ovlivňující pracovní možnosti ...“ (str. 19, 22tý řádek zdola), (b) „... reálný průběh článku ...“ (str. 50, popis obr. 28), (c) „... závislost velikost svorkového napětí ...“ (str. 83, druhý řádek shora), atd. Celková grafická úroveň zpracování práce má vysokou úroveň.

E) Výsledky a původní přínos disertační práce, její význam pro rozvoj vědního oboru a praxi

Původní přínos disertační práce lze spatřovat především v kap. 3, kde je definována vhodná struktura i parametry dále používaného simulačního modelu akumulátorového článku, uveden popis provedených experimentálních testů v laboratoři i na reálném vozidle v reálném prostředí, provedeno zhodnocení a zobecnění výsledků simulací a experimentálních testů. Shrnutí získaných výsledků i hodnocení jejich významu pro rozvoj vědního oboru a praxi je náplní kap. 4 a kap. 5. Vysokou kvalitu doktorské disertační práce potvrzuje velké množství graficky zpracovaných výsledků simulací a experimentálních testů.

Z provedeného rozboru vyplynulo, že simulační model založený na Theveniově obvodovém modelu dosahuje oproti R_i obvodovému modelu vyšší napěťovou přesnost, průběh svorkového napětí věrněji vystihuje dynamické děje, v porovnání s naměřenými reálnými průběhy je napěťová odchylka v ustáleném stavu menší než 1 %. Sestavený simulační model představuje univerzální nástroj, jenž lze naparametrovat pro jiné typy článků, jeho využití vede ke zpřesnění celkového modelu kolejového vozidla. Získané charakteristiky dávají velmi dobrou představu o skutečných parametrech článku, které většina katalogových listů neuvádí. Praktický význam dosažených výsledků spočívá v možnosti využití simulačního modelu při návrhu konkrétních dvouzdrojových jednotek provozovaných na konkrétních tratích, např. konkrétní akumulátorové posunovací lokomotivy.

Disertant by měl blíže uvést, vysvětlit či zhodnotit:

- jak byl vliv pracovní teploty (viz str. 18) ošetřen na realizovaném experimentálním kolejovém vozidle (viz str. 67, obr. 53),
- jak koresponduje "... značení úbytků napětí ... a značení obvodových prvků ..." (str. 27, 10tý řádek zdola) s obr. 3 a obr. 4 (str. 11),
- konkrétní určení a význam parametrů A-exponenciální napětí, B-exponenciální kapacita (str. 33),
- volba doby $T_a = 5$ min (str. 52) a význam $T_a = 300$ s (str. 56),
- respektování vlivu teploty na obr. 37 (str. 58) až obr. 52 (str. 65),
- zcela odlišný charakter průběhů R_s na obr. 50 (str. 64) pro 40 Ah, 20 A (modrý průběh) a pro 40 Ah, 100 A (fialový průběh),
- zajištění bezproblémové spolupráce čtyř nezávislých střídavých trakčních motorů a kol nadřazeným řídicím systémem CompactRIO (str. 68),
- kritéria přechodu mezi uvedenými 5 režimy nabíjení a solárních panelů (str. 74).

F) Rozsah a kvalita s tématem souvisejících publikovaných prací

V seznamu autorových publikací na str. 106 a 107 disertační práce je uvedeno celkem 15 uveřejněných vědeckých a odborných prací a 6 výzkumných zpráv a ostatních výsledků. V případě 15 vědeckých a odborných publikací se jedná o 1 příspěvek v recenzovaném odborném časopise ELEKTRO, 8 příspěvků publikovaných ve sbornících mezinárodních konferencí a 6 příspěvků na konferencích tuzemských. V jednom případě je doktorand jediným autorem, v ostatních případech spoluautorem publikací. Uvedený počet publikovaných prací Ing. Ondřeje Sadílka lze považovat za průměrný počet prací vykazovaných doktorandy v daném oboru. Je zřejmé, že jádro disertační práce bylo publikováno v dostatečné míře a na přiměřené úrovni.

G) Splnění podmínek tvůrčí práce a doporučení k obhajobě

Ing. Ondřej Sadílek splnil stanovené cíle doktorské disertační práce. Disertace obsahuje původní vědecké poznatky a splňuje obecně uznávané požadavky na úroveň doktorských disertačních prací. Doktorand prokázal schopnost samostatné tvůrčí vědecké práce. Z výše uvedených důvodů doktorskou disertační práci

d o p o r u č u j i k o b h a j o b ě .

V Praze dne 2. března 2017



Prof. Ing. Jiří Lettl, CSc.