UPA205747

Oponentní posudek disertační práce

Autor práce: **Ing. Ondřej Sadílek**
Školitel: doc. Ing. Stanislav Gregora, Ph.D.
Pracoviště: Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Katedra elektrotechniky, elektroniky a zabezpečovací techniky v dopravě

Název disertační práce: *„Návrh a optimalizace bateriového systému pro kolejové vozidlo"*

Námět práce odpovídá oboru disertace *Dopravní prostředky a infrastruktura*. Práce je v souladu se současným stavem poznání v daném oboru.

Práce je napsána v češtině a je rozvržena do pěti hlavních kapitol. Osnova je srozumitelná. Cíle práce jsou jasně definované. Práce působí uceleným dojmem a jednotlivé kapitoly na sebe navazují v patřičném kontextu.

Vlastní zpráva je zpracována kvalitně co se týče grafické i jazykové úrovně, nicméně v práci shledávám několik typografických prohřešků. Např. nebyla eliminována jednopísmenná slova na koncích řádků. Rovněž je třeba autorovi vytknout prohřešek vůči konvenci dle ČSN 01 6910 v podobě absence mezery oddělující číselnou hodnotu a symbol vlastní jednotky. Za nepřehledné považuji umístění velkého množství grafů „Aproximace dynamické odezvy článků v prostředí CF Tool" do přílohy vázané v práci na str. 116-150. Jako vhodnější řešení bych doporučil jejich setřídění do složek na nosič k elektronické verzi práce.

V úvodních dvou kapitolách autor popisuje současný stav zkoumané problematiky s úzkým zaměřením na elektrochemické lithiové akumulátory. Je zde proveden rozbor vlastností současných technologií a dále jsou zhodnoceny fundamentální obvodové modely, vhodné pro simulaci lithiových článků. Druhá kapitola je zakončena návrhem metodiky pro optimalizaci akumulátorového systému.
K uvedeným poznatkům mám několik výhrad. V části 1.4. „Lithiové akumulátory" na str. 18-19 není zřetelně uvedeno že vlastnosti článků na bázi Li-metal jsou silně závislé na použité chemické struktuře se zásadními rozdíly v jejich vlastnostech. Díky tomu se autor občas dopouští až přílišného zobecňování vlastností. Např. na str. 19 autor uvádí „Dále by napětí článku nemělo překročit hodnotu 4,2 V. Při překročení dochází k extrémnímu vývinu tepla, článek se nafukuje, plní se hořlavými plyny, přičemž celý cyklus je završen agresivní exotermní reakcí." Již dlouhodobě je kladen velký důraz na bezpečnost lithiových článků, a tak dnes, zejména články pro spotřební elektroniku, obecně plní náročné bezpečnostní normy. Např. dle UL 1642 při přebíjení (3× V_{CHARGE} po dobu 2 h), vlivem mechanického poškození, vnějším zkratem a při zahřátí na teplotu 130 °C po dobu 10 min smí reagovat pouze zvýšenou teplotou, případně ventilací. Norma garantuje, že nedojde k explozi ani požáru článku.
V oddílu 1.5 „Dostupné technologie lithiových akumulátorů" by bylo vhodné nejprve definovat, že technologií se v tomto případě rozumí aktivní materiál kladné, resp. záporné elektrody, spolu se zmínkou o možnostech jejich vzájemné kombinace. Tedy, že mohou existovat výsledné struktury článku jak NMC-C tak i NMC-LTO, příp. LFP-LTO. V tomto kontextu je pak nešťastné zařazení technologie „SLPB – Li-pol", neboť se nejedná o materiál elektrod, ale technologii výroby vlastního článku. Obecně pak není doporučeno v odborné literatuře používat obchodní název Li-pol, který evokuje, že se jedná o jiný elektrochemický princip lithiového akumulátoru. Ve skutečnosti, jak i sám autor uvádí, se jedná pouze o jiný princip výroby článku ve specifickém formátu. Pro tento formát je používán výraz „pouch" (do češtiny se obvykle nepřekládá).

Třetí kapitola je rozdělena do šesti oddílů a tvoří vlastní jádro zprávy. V prvních dvou oddílech jsou autorem definovány laboratorní testy, vzorky zkoumaných článků a je představen návrh i realizace měřicího zařízení. Autor dále pokračuje validací naměřených dat a sestavením vybraných charakteristik testovaných článků. Ve třetím oddílu popisuje experimentální kolejové vozidlo, zapojení a řízení trakčního akumulátoru, a nakonec i provedená měření na reálném akumulátorovém systému ve voze na testovací trati. Ve čtvrtém oddílu je prezentován autorem vytvořený simulační model článku. V pátém oddílu je pak tento model porovnán s reálnými daty naměřenými na testovací dráze a diskutovány klíčové výstupy z konfrontace. V posledním oddílu autor uvádí zobecnění výsledků pro aplikaci v simulačním modelu vozidla. K této části mám připomínku k volbě třetího vzorku článku Kokam SLPB 60216216 a především ke způsobu jeho porovnání s ostatními vzorky. Tento 25 Ah článek má čtvrtinovou kapacitu oproti dalším dvou vzorkům 100 Ah. Z výsledků měření na str. 92 a následné diskuze se ale dá usuzovat, že byl v modelu zatěžován stejným pracovním proudem jako ostatní dva vzorky, a nikoliv čtvrtinou zatěžovacího proudu, která by odpovídala přepočtu na ekvivalentní kapacitu 100 Ah. Dále bych chtěl poukázat na skutečnost, že všechny tři vzorky lithiových článků, i když jsou stále běžně používány na většině akademických pracovišť v ČR, jsou v současné době již obsoletní, zejména co se týče specifické hustoty uložené energie.

Poslední dvě kapitoly poukazují na význam výsledků pro vědu i praxi a předkládají závěrečné shrnutí práce.

K obhajobě mám tyto otázky:

1. Jaká je aktuálně na trhu dostupná nejvyšší hustota uložené energie na úrovni lithiových článků a na úrovni celé baterie v porovnání s testovanými vzorky?
2. Jaký instalační objem je v experimentálním kolejovém vozidle vyhrazen pro trakční baterii? Jaké množství energie by zde bylo teoreticky možné nainstalovat při použití aktuálně nejlepší technologie lithiových článků?

Celkově hodnotím práci i s uvedenými připomínkami velmi kladně. Autor si pro svoji disertaci vybral klíčovou oblast problematiky energetických úložišť, kterou je především otázka určování okamžitého stavu nabití článku (SoC) na základě znalosti vnitřního modelu při reálných provozních podmínkách. K tomuto použil adekvátní matematicko-fyzikální aparát a sestavil experimentální měřicí pracoviště pro testování vlastností lithiových článků. Největším přínosem práce pro daný obor shledávám autorem navržené a experimentálně ověřené simulační modely konkrétních elektrochemických lithiových článků s možností jejich parametrizace i pro jiné technologie. Výše uvedené poznatky byly autorem aplikovány na experimentálním kolejovém vozidle. Tímto autor prokázal nejen hluboké teoretické znalosti, ale i schopnost přenést zjištěné poznatky do praktické aplikace.

Téma disertační práce a související problematika byly publikovány jak na národní, tak i mezinárodní úrovni. Počet a kvalita publikací, na kterých se disertant podílel, je odpovídající. Autor tak splnil všechny podmínky tvůrčí vědecké práce k získání titulu Ph.D.

Práci doporučuji k obhajobě

V Liberci dne 24. února 2017.

Ing. Pavel Jandura, Ph.D.
Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií
Technická univerzita v Liberci