

OPONENTNÍ POSUDEK
disertační práce k získání akademického titulu Doktor (Ph.D.)

Autor práce: Ing. Lukáš Valda
Název práce: Metody a algoritmy vyvažování sériově řazených lithiových článků
Školitel: doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
Rozsah práce: 134 stran
Oponent: prof. Ing. Jan Leuchter, Ph.D. (Univerzita obrany, FVT, Brno)

Disertační práce „Metody a algoritmy vyvažování sériově řazených lithiových článků“ Ing. Lukáše Valdy je zaměřena na problematiku vyvažování sériově řazených lithiových článků v akumulátorových sestavách. Autor detailně zpracoval popis jednotlivých nevyvážeností, jejich příčiny, projevy a důsledky. Současně autor popsal a diskutoval možnosti potlačení těchto nevyvážeností s ohledem na efektivitu. Dále autor provedl základní návrh aktivního balancéru s ohledem na celkovou účinnost a jeho rozměry, návrh prediktivní algoritmus řízení balancéru.

Disertační práce má 134 stran včetně literatury a seznamu publikační činnosti autora. Autor práci rozdělil na 13 kapitol. V první kapitole uvedl velmi zjednodušeně současný stav řešené problematiky a nastínil důvody, proč této problematice je užitečné se věnovat.

Cíle disertační práce jsou uvedeny na straně 14. Zde je škoda, že autor více detailně nepopsal cíle disertační práce, ale spíše se omezil na velmi obecný popis čeho by rád dosáhl. Z uvedeného může čtenář předložené práce získat pocit, že disertant neudělal základní rešerši, která je nutná pro popis současného stavu a popisu základních trendů. Zde měly být uvedeny současné trendy vývoje balancérů lithiových článků a nové cíle či přístupy, které chce disertant použít. Z uvedených cílů je možné nabýt dojmu, že se jedná jen o lehce upravené cíle diplomové práce bez ambicí, které jsou vyžadovány v rámci doktorských prací.

Na straně 15 je uveden popis napětí akumulátoru a typické průběhy Li-ion článků. Dále se autor správně zabýval náhradním schématem vnitřní impedance článku a popisu vlivu teploty na vnitřní odpor článku. Vlastní popis druhů nevyváženosti článků je uveden v kapitole 4 na straně 20. Velmi správně uvádí vliv nerovnoměrného zahřívání akumulátorové sestavy. Dále jsou uvedeny vlivy nevyvážeností vnitřních impedancí. Kapitola 5 popisuje důsledky napěťové nevyváženosti článků s ohledem na životnost.

V kapitole 6, 7 jsou uvedeny důvody použití balancéru a jeho vlastnosti. Na straně 46 autor uvádí důvody k použití aktivních balancérů. Zde se autor velmi detailně zabýval způsoby

použití balancérů a jejich možnými realizacemi. V této části disertant shrnuje v podstatě známé poznatky z problematiky takovýchto obvodů. Dle mého názoru je tato část zbytečně rozsáhlá, značný rozsah je věnován všeobecně známým faktům až do strany 80. Na druhé straně přehled je sepsán velmi pečlivě a působí jako text odborné knihy.

Vlastní teoretické a praktické výsledky práce disertanta jsou uvedeny od kapitoly 8. Zde disertant popisuje vlastní řešení a návrh balancéru. Tato kapitola 8 a kapitola 9 jsou nosnou částí disertace autora a přináší řadu zajímavých praktických výsledků. Celkově musím pozitivně hodnotit autorův přístup, kde autor v kapitole 9 prezentuje návrh algoritmu prediktivního vyvažování. K metodice zpracování této části práce, matematickému vyjadřování příslušných fyzikálních dějů a interpretaci dosažených výsledků nemám zásadní připomínky.

Kapitola 10 popisuje shrnutí dosažených výsledků a směřování dalšího vývoje.

Závěr

Z uvedeného je zřejmé, že vymezená problematika disertační práce je v současné době velmi aktuální. Dosažené výsledky řešení, jak jsem již uvedl výše, jsou popsány zejména v části 8 a 9. Formální úprava disertační práce je na velmi dobré úrovni. Zvolené metody jsou adekvátní řešené problematice. Disertant prokázal, že se dobře orientuje v řešené problematice. Přínosem disertační práce jsou praktická řešení balancéru.

Výsledky řešení disertační práce byly již publikovány a rád konstatuji, že publikační činnost disertanta je poměrně bohatá a z jejího přehledu je zřejmé, jak širokým okruhem problémů bylo nutné se zabývat.

Dosažené výsledky mohou tvořit základ pro další práci autora a získané výsledky jsou uplatnitelné i mimo prostředí univerzity. Výše uvedené nedostatky nemají podstatný vliv na věcnou hodnotu práce a práci doporučuji k obhajobě.

Předloženou práci beze zbytku doporučuji k obhajobě.

Během rozpravy požaduji zodpovězení otázek:

1. Vysvětlete vliv teploty na vnitřní odpor článku.
2. Porovnejte účinnosti jednotlivých metod vyvažování sériově řazených lithiových článků z kapitoly 7. U vybrané metody definujte nejistotu určení hodnoty účinnosti.

V Brně dne 1.11.2016


prof. Ing. Jan Leuchter, Ph.D.

Univerzita obrany, FVT, K-217

Oponentní posudek disertační práce Ing. Lukáše Valdy

„Metody a algoritmy vyvažování sériově řazených lithiových článků“

Námět práce odpovídá oboru disertace „Elektronika“.

Práce je v souladu se současným stavem poznání v tomto oboru.

Hlavní osnova disertace je přehledná a správná. Cíle práce jsou dobře definované. Úvod práce předkládá rozbor současného stavu poznání.

Práce je napsána v češtině a je rozvržena do 10 hlavních kapitol včetně úvodu a závěru. Členění je přehledné a správné. Kapitoly tvoří jeden na sebe logicky navazující celek. Obrazové přílohy vhodně dokumentují písemný text. Úvod popisuje motivaci k výzkumu souvisejícímu s předloženou prací.

Práce obsahuje minimum překlepů a formálních nepřesností. Přehled symbolů je stručně definován, není dodrženo pravidlo označení skalárních veličin kurzívou. Dalším drobným prohřeškem je formát zápisu jednotek, který se zapisuje za hodnotou vždy s pevnou mezerou. Dále se v práci objevuje nesprávné použití pojmů měřicí/měřící, řídicí/řídící. Typograficky je písmo malé a s velkým počtem řádků na stránku, což zhoršuje čitelnost.

K odborné části mám následující poznámky.

Zvolené téma práce je praxí velmi sledované a je těžké přinést nové poznatky do této oblasti. Oceňuji autorovu odvahu a jeho přístup k tématu.

Práce se zabývá lithiovými elektrochemickými akumulátory. V úvodním textu schází pojednání o vlastnostech a principech moderních článků. Zde je problém s historicky zavádějícím členěním: „*lithiové články se dělí na Li-Ion, Li-pol a LiFePO₄*“, nelze tyto rozdílné principy spojovat dohromady.

V odborné literatuře je použití názvu *Li-pol* zavádějící (je to obchodní název). Správný odborný výraz je anglicky pouch (váček, pytlík - nepřekládá se do ČJ), který pak ukazuje na to, že se nejedná o žádný nový princip nebo složení, ale pouze o jinou technologii výroby.

Připomínka k tvrzení na str. 13. Balancéry brání poškozování nejslabších článků při nabíjení, resp. vybíjení a zároveň opakovanému využití plné kapacity nejslabšího článku.

Napětová nevyváženost, která je uváděna v práci, je důsledek nikoliv příčina problému. Jedná se o elektrochemické články, kde příčinou napětové nevyváženosti je rozdílná kapacita, teplota článků pro nezatížený stav a rozdílná kapacita, teplota a vnitřní odpor pro zatížený stav. Z těchto důvodů není napětí článku, případně baterie, tak důležité, ale je to jediná veličina, kterou můžeme přímo měřit a z ní následně odvodit ostatní důležité veličiny. V praxi nás zajímá především okamžitá zbývající energetická kapacita článku, dostupná v daných podmínkách.

Podstata problému je popsána na str. 21-22. Kapitola začíná popisem napětové nevyváženosti a hlavní princip jejího vzniku je uveden až v samotném závěru kapitoly.

Možnosti *balancérů a balancování* jsou v práci přeceňovány. Autor se příliš úzce zaměřuje na tuto dílčí část celého energetického systému. Je potřeba se na celé řešení dívat jako na celek. Baterie je obvykle spojení několika článků do série. Stejně jako u řetězu jsou i parametry celé baterie dány jejím nejslabším článkem. Pokud je v baterii článek s výrazně

odlišnými parametry vadný, je třeba ho vyměnit. Ani sebelepší balancér špatné parametry baterie nemůže zlepšit.

V práci uváděné hlavní důvody použití aktivních nebo pasivních balancérů jsou dobrým námětem na diskuzi, ale praxe má na tento problém jiný pohled. V konkrétní realizaci se účinnost balancování, resp. ztráty při něm vznikající, neřeší, pokud není problém s množstvím vyzářeného tepla. To znamená, že hlavní důvod pro použití aktivních balancérů je skutečně pouze ten, že negeneruje takové množství tepla. Systém je příliš složitý a drahý, používá se, jen když je to nezbytně nutné. V praxi tak aktivní balancér nachází uplatnění zejména u superkapacitorů a LTO, lithiových článků, kde se pohybují nabíjecí proudy kolem 10C a vysoké balancující proudy jsou nezbytné. Aktivní balancéry se používají u velkých baterií velmi zřídka. V praxi je kladen důraz na výběr článků, případně baterií.

Celkově je nutné konstatovat, že důležitá tvrzení a principy vyjadřující osobní přínos autora jsou potlačeny sice správným, ale obsáhlým popisem obecně známých faktů, které v daném kontextu jsou buď zavádějící, nebo nepodstatné.

Výsledky uvedené v disertaci nabízejí následující otázky k obhajobě:
Elektromobil Tesla model S je všeobecně uznávaný jako elektromobil s nejlepší baterií.

- Jakou kapacitu mají články 90 kWh baterie elektromobilu Tesla?
- Jaké balancéry jsou použity?
- Jak velký bývá balancující proud při nabíjení článku?

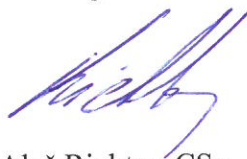
Závěry disertační práce obsahují shrnutí výsledků simulací pSpice a Simulinku. V textu práce je uvedeno, že bylo provedeno i praktické experimentální ověření. V práci však chybí např. uvedení obvodového schématu, fotodokumentace atp.

Praktická realizace je v textu práce uvedena, ale není doložena potřebnou dokumentací. Je nutné předložit u obhajoby základní informace o experimentální části, schéma zapojení, fotodokumentaci přípravku blokové schéma atp.

Jádro 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.

Doporučuji uvedenou práci k obhajobě a bude-li práce úspěšně obhájena, k následnému udělení akademického titulu Ph.D. panu Ing. Lukáši Valdovi.

V Liberci 7. 11. 2016



Prof. Ing. Aleš Richter, CSc.
Fakulta mechatroniky, informatiky mezioborových studií
Technická univerzita v Liberci

Disertační práce Ing. Lukáše Valdy se zabývá dnes velmi aktuálním problémem spojeným se zaváděním výkonových lithno-iontových akumulátorů do silnoproudé energetiky a do elektromobilů. Tento problém pochází ze známého faktu, kterým je citlivost těchto akumulátorů na přebíjení i nadměrné vybíjení. Přitom v baterii složení z většího množství článků není v lidské moci dosáhnout naprosté shody parametrů jednotlivých článků nejen při výrobě, ale ani při rutinním používání a opakovaných pracovních cyklech nabití a vybití. Snadno tak vznikají nebezpečné, až k požáru nebo výbuchu vedoucí stavy. Jedou z cest jak dosáhnout dlouhodobého života baterie je neustálá kontrola stavu všech článků a předávání energie v některých člancích přibývajících do článků slabších.

První část 'teoretický úvod – obsahuje popis hlavní myšlenky z pro vyrovnávání stavu nabití Li iontových akumulátorových článků. V zásadě rozlišuje dva způsoby, a to pasivní a aktivní. Tato část je velmi kvalitně sepsána a nemám proti ní zásadní námítky.

V dalším slouží tento teoretický úvod výběru vhodného uspořádání vlastního návrhu zařízení zvaného balancér a sloužícího k vyrovnávání odchylek při nabíjení jednotlivých článků tvořících baterii, který je navržen jako aktivní s induktivními prvky pro krátkodobé uskladnění a přenos náboje potřebného k vyrovnání nerovnováhy nábojů v baterii. Cenné jsou i předpoklad výskytu hrubé odchylky jednoho článku a jeho vliv na chod zařízení.

Konstrukce zřejmě nebyla realizována fyzicky a všechny výsledky proto plynou ze simulací.

Kvalitu práce potvrzuje celkem 61 citací významných prací z oboru, a to jak dostupných na internetu, tak i klasických v papírové a tudíž permanentní podobě.

Autorovi kladu několik otázek a problémů k zamyšlení:

1. Jedním z principů uvažovaných pro zařízení řídicí nabíjení Li iontových baterií „Battery Charging Manager“ je i třetí, založený na monitorování individuálních článků v baterii a jejich odpojování při překročení přípustného napětí nebo teploty v článku. U těchto způsobů je chybný článek nahrazen zkratem a baterie musí být vybavena napěťovým obousměrným měničem dodržujícím svorkové napětí na požadované úrovni, a to jak při nabíjení tak vybíjení například stálého napětí v palubní síti EV. Prosím doktoranda o jeho názor.
2. Baterie pro EV mohou být v principu dvou koncepcí. Jedna z nich je založena na zařazení malých článků typů 18650, každý mající kapacitu kolem 3 Wh a v celkovém počtu 2500 kusů nebo více v jednom vozidle. Výsledné napětí tohoto souboru baterií pak je 300–400 V s celkovou energií až 85 kWh. Jiné systémy využívají články větší o kapacitě až 500 Ah a tím i menším počtem ochranných obvodů schopných ovládat uvedené výkony. Pro kterou z těchto modifikací je Váš systém vhodnější?
3. Jak je řešeno ovládání tranzistorů s ohledem na rozdíl napětí 20 V v rámci jednoho souboru 6 článků a případně pro sériové řazení souborů až do dosažení potřebného celkového napětí řádu stovek V?
4. Uvažoval jste o možnosti indikace chybových stavů v některém z článků?

5. Výrazný indikátor poruchy je náhlý vzestup teploty neodpovídající odebíranému či dodanému výkonu. Může s tím navrhovaný systém počítat?
6. Jak se měří OCV se zřetelem na hysterezi a rychlost ustavení napětí
7. Kapitola 6 – metoda odpojení vadného článku a doplnění celkového svorkového napětí obousměrným měničem DC/DC výhodná pro velkokapacitní baterie o vysokém napětí řádu stovek V – znáte příklad takového řešení?
8. Jaké vlastnosti má řízená dioda v obr. 7,6,
9. Jak je třeba dimenzovat spínací prvky?
10. Pro ilustraci: jak dlouhé intervaly pro převod náboje mezi články se uvažují? Je známo, že žádný akumulátor nereaguje dobře na změny kratší než jednotky milisekund.

Závěrem konstatuji, že předložená práce je velmi kvalitní a splňuje všechny náležitosti vyžadované současnou legislativou, takže může sloužit jako podklad pro obhajobu o udělení příslušného titulu.

FEKT VUT Brno, dne 24. prosince 2016.

Prof. ing. Jiří Vondrák, DrSc.

