



Katedra výkonových elektrotechnických systémov



Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina

tel.: 041/5132151

fax:041/5131518

e-mail: kves@fel.uniza.sk

## Oponentský posudok dizertačnej práce

Ing. Lukáša Radila

### „Eliminace diskontinuity dodávky elektrické energie z obnovitelných zdrojů“

---

Predložená dizertačná práca sa zaoberá problematikou eliminácie diskontinuity dodávky elektrickej energie z obnoviteľných zdrojov energie (OZE) prostredníctvom akumulácie elektrickej energie. V dizertačnej práci je prezentované komplexné posúdenie využiteľnosti rôznych dostupných technológií pre akumuláciu elektrickej energie, pričom u každej z popisovaných technológií je na základe viacerých kritérií, definovaných v práci, zhodnotené jej použitie nie len pre elektrizačnú sústavu, no najmä pre malé autonómne pracujúce systémy. Túto problematiku považujem za veľmi zaujímavú a aktuálnu, nakoľko vyriešenie negatívnych vplyvov obnoviteľných zdrojov energie na prevádzku elektrizačnej sústavy je kľúčovým faktorom k ich väčšiemu využívaniu nie len v rámci súčasných distribučných a prenosových sietí, ale aj v rámci plánovaného budovania tzv. inteligentných autonómne pracujúcich mikrosietí a regiónov (Smart Microgrids a Smart Regions), v ktorých majú OZE plniť úlohu hlavných zdrojov elektrickej energie.

Dizertačná práca, ktorá je rozdelená do 9 kapitol, má tri ťažiskové časti. V prvej časti, ktorú tvoria kapitoly 1 až 3, je prezentovaný súčasný stav problematiky akumulácie elektrickej energie vo svete, vrátane popisu niektorých už realizovaných technických riešení. Na záver tejto časti práce sú uvedené ciele dizertačnej práce.

Druhá časť práce, ktorú tvoria kapitoly 4 a 5, predstavuje dizertabilné jadro práce. Sú v nej najskôr podrobne popísané rôzne postupy a z nich vychádzajúce technológie pre akumuláciu elektrickej energie. Na základe porovnania ich technických a prevádzkových parametrov bola ako najvhodnejšie riešene, vzhľadom na cieľ dizertačnej práce, vytypovaná vanadiová redukčne-oxidačná batéria (VRB), ktorá patrí ku prietokovým akumulátorom. Pre tento typ batérie bol následne v programovom prostredí Modelica vytvorený matematický model vychádzajúci z elektrických vlastností VRB, ktorý však rešpektuje aj elektrochemické procesy prebiehajúce v batérii počas jej nabíjania a vybíjania. Teória popisujúca elektrochemické procesy je v práci prezentovaná veľmi podrobne a systematicky, čo sa však nedá povedať o popise samotného modelu, ktorý bol vytvorený v programe Modelica. V závere tejto časti sú výsledky získané simuláciami porovnané s hodnotami získanými meraním reálneho článku (batérie) systému VRB.

Tretia časť práce, ktorá je tvorená kapitolami 6 až 8, je venovaná analýze ďalších faktorov ovplyvňujúcich nasadzovanie akumulačných systémov v elektrizačnej sústave. Postupne sú analyzované možné prínosy inštalácie akumulačných systémov na prevádzku distribučnej sústavy (potlačenie strát, znižovanie nákladov na rekonštrukciu a výstavbu vedení, použiteľnosť v inteligentných distribučných sieťach), ekonomika prevádzky

batériových systémov a taktiež sú v tejto časti prezentované výsledky získané použitím komerčných softvérových nástrojov pri návrhu malého akumuláčného systému.

V závere práce sú uvedené zhrnutie dosiahnutých výsledkov, odporúčania pre nasadzovanie zásobníkov elektrickej energie a plnenie cieľov dizertačnej práce.

Za najväčšie prínosy práce považujem podrobné zmapovanie a analýzu v súčasnosti použiteľných technológií pre využitie akumulácie elektrickej energie pri prevádzke elektrizačnej sústavy a následné využitie získaných poznatkov pri vytvorení simulačného modelu vanadiovej redukčne-oxidačnej batérie (VBR) v programovom prostredí Modelica. Výsledky zmapovania použiteľných technológií umožnia, na základe prezentovaných prevádzkových vlastností, jednoduchší výber vhodnej technológie pre realizáciu budúcich konkrétnych technických riešení alebo výskumných zámerov. Vytvorený simulačný model umožní ďalšiu analýzu a optimalizáciu využitia prietokových akumuláčnych systémov v elektroenergetike. Získané poznatky je možné využiť najmä pri modelovaní čiastočne ostrovnej prevádzky vybraných častí elektrizačnej sústavy, v ktorých bude potrebné analyzovať využiteľnosť obnoviteľných zdrojov energie pre zabezpečenie napájania lokálnej spotreby.

### **Pripomienky a otázky k predloženej práci Ing. Lukáša Radila:**

K práci mám niekoľko pripomienok:

- V práci sa vyskytujú drobné gramatické chyby a preklepy, ktoré však neznižujú kvalitu práce.
- Pri popise systému AA-CEAS nasadeného v elektrárni Norton Plant v USA nesedí celkový inštalovaný výkon (2 700 MW) so súčtom výkonov jednotlivých blokov (7 x 300 MW).
- Obrázky 5.7 až 5.12 nie sú dostatočne popísané, resp. z textu na strane 67 nie je dostatočne zrejмый význam modelov prezentovaných na týchto obrázkoch.
- V kapitole 5 miestami chýba logická nadväznosť prezentovanej teórie a výsledkov meraní.
- V tabuľke 6.1 na strane 81 malo byť použité iné označenie pre jednotlivé stupne hodnotenia, pretože to, ktoré je použité v práci, je máta a nezrozumiteľné.
- V dizertačnej práci nie je vhodné, aby boli výsledky dizertačnej práce, navyše tvoriace dizertabilné jadro práce, prezentované len odkazom na inú prácu, ktorú nemá čitateľ k dispozícii (str. 65)!!!
- Ak sú porovnávané dva priebehy, mali by byť porovnávané, pokiaľ je to možné, pomocou osí, ktoré sú v rovnakej mierke, aby bolo možné jednoducho a rýchlo overiť výsledok porovnania (porovnávanie obrázkov na str. 71 – 74 – majú rozdielne škálovanú časovú os)!
- Vo vzťahu (7.1) nesedí rozmer rovnice!
- V dizertačnej práci nie je vhodné pre vyjadrenie vhodnosti a presnosti parametrov a riešení používať vágne definované hodnoty, ako napr. na strane 100: „... návrh je zpravidla správny, maximálne s minimálnymi odchýlkami.“
- V celej práci absentuje dôkladnejšie a podrobnejšie vysvetľovanie prezentovaných obrázkov!
- Niektoré obrázky sú príliš malé, čím sa zhoršuje ich zrozumiteľnosť!

- Pri spracovávaní kapitol 6 až 8 sa doktorand snažil o komplexný pohľad, čo mu však nedovolilo spracovať prezentované aspekty do hĺbky. Bolo by vhodnejšie, keby si z nich vybral len niektoré a tie spracoval podrobnejšie!

Otázky na doktoranda:

- Vysvetlite obrázok 4.1 na strane 31?
- Na str. 36 je uvedené, že „množství energie uložené na jednotku váhy je pro superkondenzátory  $3 - 5 \text{ Wh}\cdot\text{kg}^{-1}$ “, no na predchádzajúcej strane je uvedená hodnota  $10 \text{ Wh}\cdot\text{kg}^{-1}$ . Vysvetlite túto nezrovnalosť!
- Čo je  $r_0$  vo vzťahu (4.6) a  $U_{\text{norm}}$  vo vzťahu (5.2)?
- Rovnice (5.34) a (5.35) boli odvodené z priebehov získaných simuláciou alebo meraním? Viete prezentovať pôvodné priebehy, ktoré boli použité pre získanie týchto rovníc?
- Definujte, na základe textu uvedeného v kap. 5.5, Váš prínos pri tvorbe modelu VRB systému?
- Do akej miery Vami vytvorený model VRB reprezentuje reálne zariadenie?
- Je situácia popísaná v prvom odseku kapitoly 6.1 reálna aj pre českú sústavu? Je možné dosiahnuť popisovaný stav napriek štúdiám prepojitelnosti a plánovaniu rozvoja sietí?
- V kapitole 6.4 je prezentovaný model mikrosiete, ktorý bol vytvorený na základe merania reálneho distribučného transformátora. Na základe výsledkov simulácie ste skonštatovali, že akumulácia nie je možná z dôvodu nedostatku energie, ktorá by bola použiteľná na akumuláciu. Na základe čoho ste určili výkony fotovoltaických a veternej elektrárne, ktoré ste použili v modeli mikrosiete? Ak by mali obnoviteľné zdroje v mikrosieti väčší inštalovaný výkon, bola by možná aplikácia akumulácie?
- Prečo priebeh napätia pri vybíjaní, zobrazeného na obr. 5.15, začína klesať z hodnoty 49,5 V, keď proces nabíjania zobrazený na obr. 5.14 začína na hodnote napätia 56,5 V?
- Vysvetlite tvrdenie zo str. 100, že „záťaž je konštantná po celý rok“, keď tabuľka 7.2, na ktorú sa pritom odvolávate, vykazuje zmenu príkonu už v rámci 1 dňa?
- Je napätie akumulátora uvedené v tab. 7.3 na str. 104 naozaj 4 V?
- Ak terciárna regulácia hýbe pracovnými bodmi strojov, ktoré sa účastina sekundárnej regulácie (str. 107), čo sa potom deje s danými strojmi pri požiadavke na aktiváciu sekundárnej regulácie?
- Na obr. 8.3 je zobrazené, že už po 7 rokoch sa začína investícia vyplácať. Pre aký systém bol urobený výpočet?
- Vstupné údaje pre LRMC metódu, uvedenú na str. 116, ste definovali Vy alebo boli prevzaté z literatúry [70]?

## Záver

Predkladaná dizertačná práca je orientovaná na veľmi aktuálnu problematiku využitia akumulácie elektrickej energie pre potlačenie nepriaznivých vplyvov prevádzky obnoviteľných zdrojov energie v rámci elektrizačnej sústavy. Práca je napísaná v súlade s definovanými cieľmi a svojím zameraním patrí do odboru silnoprúdovej elektrotechniky a elektroenergetiky.

Doktorand pri písaní práce preštudoval a použil značné množstvo odbornej literatúry, čo sa pozitívne odrazilo na odbornom obsahu dizertabilného jadra predloženej práce. Taktiež u doktoranda oceňujem, že poznatky a zistenia prezentované v práci publikoval, vo viac než dostatočnom množstve, na medzinárodných domácich a zahraničných konferenciách a v časopisoch.

Vzhľadom na uvedené skutočnosti je možné skonštatovať, že Ing. Lukáš Radil je pracovník s dostatočnou vedeckou erudíciou, a preto jeho doktorskú dizertačnú prácu odporúčam na obhajobu a po úspešnej obhajobe odporúčam udelenie akademického titulu

**Philosophiae doctor (PhD.).**

Žilina, 29. 11. 2013

doc. Ing. Peter Bracíník, PhD., v.r.