

OPONENTNÍ POSUDEK DISERTAČNÍ PRÁCE

Autor práce: **Ing. Pavel Novák**
Vedoucí práce: **prof. Ing. Jan Skalla, CSc.**
Název práce: **Adaptivní regulace napěťových měničů**
Studijní program: **Strojní inženýrství, výrobní systémy a procesy**

Oponentní posudek je zpracován na základě písemné žádosti prof. Ing. Petra Lenfelda, děkana Fakulty strojní, Technické univerzity v Liberci. Disertační práce byla předložena v listinné, knižní podobě s obvyklými náležitostmi. Práce má 143 stran a 13 stran příloh.

Cílem oponentního posudku je vyslovení stanoviska k aktuálnosti tématu, splnění cílů a dále posoudit metody zpracování a výsledky disertační práce. Dále je cílem oponentního posudku zhodnotit zda student doktorského studia prokázal hluboké teoretické znalosti a zda práce přináší nové poznatky v oboru.

Aktuálnost a novost tématu

Převodníky výkonu, napětí a proudu jsou používány v současné době ve značném rozsahu a to v širokém spektru výkonů, napětí a proudů. V současné době je nepředstavitelné, aby byly používány dřívější konstrukce převodníků síťového střídavého napětí na stejnosměrné (např. 5V), kde základem byl transformátor pracující na 50 Hz s následnou lineární ztrátovou stabilizací výstupního napětí. Předložená práce pojednává o robustním řízení, ze kterého lze vycházet při reálných konstrukcích napěťových měničů. Předložena práce aktuální.

Splnění cílů práce, prokázání teoretických znalostí, metody zpracování, výsledky disertační práce

K popisu cílů práce věnoval autor samostatnou kapitolu hned po obsahově ne zcela zdařeném úvodu práce, který lze však považovat za kapitolu popisující motivace autora k řešení zvoleného tématu. Dále jsou již zvolené metody řešení, jejich zdůvodnění a struktura práce přehledně uvedeny v kapitole třetí. Předloženou práci lze tak dělit obvyklým způsobem na teoretickou část zabývající se přehledem metod řešení lineárních a nelineárních dynamických systémů a metod řízení v klouzavém režimu. Praktická část je věnována aplikaci progresivních metod řízení aplikovaných na základních uspořádáních napěťových měničů DC/DC. Výsledky svých návrhů autor ověřil simulacemi v prostředí Matlab a pomocí vlastních programů zapsaných v jazyce C. Autor využil pro praktickou část své disertační práce poznatky ze zahraniční stáže na University of Sheffield. Autor prokázal vysoké teoretické znalosti v oblasti matematiky a metod řízení.

... pokračování na straně 2



Formální úroveň předložené disertační práce

Přes výše uvedené nedostatky v úvodních kapitolách má práce celkově logické uspořádání kapitol. Text práce je zcela bez překlepů. Kolísá však styl vyjadřování autora. Nesourodá je též grafická prezentace schémat. Některá schémata používají anglosaský způsob značení elektronických součástek, některá schémata evropský způsob značení součástek, některá schémata způsob značení kombinují. Autor je nedůsledný ve vyznačování uzlů v elektrických obvodech a popisu os v grafech. Tato nedůslednost je patrná nejen s v citovaném grafickém vyjádření, ale v obrázcích, které jsou vytvořené autorem (např. obrázek 8.1).

Autor velmi pečlivě popsal použitý nebo uvažovaný matematický aparát. Při použití matematického aparátu, převyšující obvyklou úroveň disertačních prací, by bylo vhodné sestavit i podrobnější přehled použitých symbolů.

Předložená práce zjevně vznikla za delší časové období. Vzhledem k působení autora na University of Sheffield se lze domnívat, že část práce byla připravena v angličtině, ale autor nakonec práci předložil v češtině a už nepřeložil anglické výrazy v grafických vyjádřeních a nesjednotil značení.

Návrh otázek k obhajobě

1. Jak by vypadalo zohlednění reálných vlastností polovodičových spínacích prvků?,
Přepočítejte např. schéma zvyšujícího měniče (obrázek 8.1), tak aby model více korespondoval s reálným uspořádáním polovodičových prvků realizující DC/DC STEP UP měnič.
2. Jaké by mohly být použity techniky redukce EMI (potlačení elektromagnetického rušení)?
3. Jak lze zmírnit problém kmitání klasického klouzavého režimu při řízení spínaných zdrojů?
4. Podle čeho byste vybíral vhodné komponenty pro efektivní výkon systému?

Závěr oponentního posudku disertační práce

Předloženou disertační práci doporučuji k obhajobě a po jejím úspěšném obhájení doporučuji udělení akademického titulu Ph.D.

V Liberci dne 15.03.2018

Podpisem současně potvrzuji, že nejsem v žádném osobním vztahu k autorovi práce.

Ing. Jiří Jelínek, Ph.D.

Ústav mechatroniky a technické informatiky,
Technická univerzita v Liberci



Prof. Ing. Milan Hofreiter, CSc.
ČVUT v Praze, Fakulta strojní
Ústav přístrojové a řídicí techniky
Technická 4, 166 07 Praha 6

OPONENTSKÝ POSUDEK DISERTAČNÍ PRÁCE

Název disertační práce: Adaptivní regulace napěťových měničů

Autor disertační práce: Ing. Pavel NOVÁK

Studijní obor: Výrobní systémy a procesy

Školící pracoviště: Technická univerzita v Liberci, Fakulta strojní

Oponentský posudek byl zpracován na základě žádosti prof. Dr. Ing. Petra Lenfelda, děkana Fakulty strojní, Technické univerzity v Liberci. Předložená česky psaná disertační práce obsahuje 143 stran textu. Přílohy A a B se zdrojovými kódy k simulacím jsou v rozsahu 13 stran.

Aktuálnost zvoleného tématu

Předložená disertační práce se zabývá klouzavým režimem řízení pro zesilovací a invertující měnič. Jednoduchý návrh i realizace reléového regulátoru, stabilizace systému i při změnách parametrů systému (robustní řízení) a dosažení požadovaného chování volbou přepínacího rozhraní se odrazilo v posledních letech na zvýšeném zájmu o tento typ řízení na zahraničních univerzitách a publikovaných výsledcích v odborných časopisech i na mezinárodních konferencích.

Splnění cílů disertační práce a zvolené metody zpracování

Cílem práce bylo odvodit matematické modely zvyšujícího a invertujícího měniče, navrhnout nepřímé řízení výstupního napětí měniče a adaptivní regulaci napěťových měničů, kde se mění parametry systému např. vlivem teploty, tj. s nelineární charakteristikou. Pro tento účel měl být využit klouzavý režim řízení, který pak měl být simulačně ověřen. Pro daný cíl se autor seznámil s aktuálním stavem problematiky, tj. s modelováním a řízením výkonových měničů, s řízením měničů v klouzavém režimu a odvodil řešení úlohy při změnách parametrů systému za použití adaptivních řídicích systémů. Dosažené výsledky pak simulačně ověřil v programovém prostředí Matlab a pomocí programu vytvořeného v jazyce C. Pro plnění daného úkolu disertant využil poznatků získaných z řady převážně anglicky psaných publikací, a jelikož k této problematice existuje pouze omezený počet českých publikací, musel věnovat určité úsilí při volbě překladu některých odborných termínů. Při řešení disertační práce využil svých výsledků ze zahraniční stáže na matematické fakultě The University of Sheffield. Použité metody k řešení dané problematiky vypovídají o matematických znalostech autora.

Výsledky disertační práce

Disertační práce v rešeršní části shrnuje poznatky související s klouzavým řízením DC/DC výkonových měničů, stabilitou, pozorovatelem stavu a řešením nelineárních rovnic popisujících uvažované měniče. Uvedené poznatky, které jsou čerpány především z anglicky psaných publikací a vybraných českých publikací z této problematiky, jsou využity při odvození matematického modelu měniče a návrhu nelineárního řízení výstupního napětí měniče s uvažováním nejistoty v hodnotách parametrů s využitím pozorovatele stavu. V závěru práce jsou uvedeny simulační výsledky navrženého klouzavého řízení měniče pro dosažení výstupního napětí shodného s žádaným periodickým průběhem. Pro simulační ověření autor vytvořil programy v Matlabu a v jazyce C, jež jsou uvedeny v příloze disertační práce.

Publikační aktivita disertanta

Publikace autora uvedené na str. 142 a 143 disertační práce tvoří pouze 4 články z r. 2004 a 2006 (konference ŘÍP) a 4 články se spoluautorem Z. Motlem pro konferenci Process Control pořádanou r. 2007, tj. vše více než před 10 lety a bez prestižní publikace.

Připomínky a poznámky k disertační práci

- V některých částech práce lze obtížně rozeznat, co je původní autorův výsledek a co je převzato od jiných autorů. Např. na str. 96 podkapitola 8.2.4 Adaptivní schéma chybí odkaz na disertační práci uvedenou pod položkou [37] OLM, J.M. *Asymptotic tracking with DC-to-DC bilinear power converters*. 2004, str. 139.
- Způsob značení a symboliky by měl být v celé práci jednotný, viz např. obr. 5.9 a obr. 8.1, λ na str. 37 a γ na str. 80 se stejným významem.
- Není vhodné při popisu zákona řízení na str. 77 se odvolávat na model měniče uvedený až na str. 92.
- V podkapitole 8.2.6 je nejasný rozměr času v grafech a textu.
- V textu na str. 119 a programu na str. 148 je uvedeno na stejném řádku $h=0.0001;h=0.001$

Návrh otázek k obhajobě

- Proč byl zvolen pro simulační ověření dosažených výsledků stejný příklad jako v [37]?
- Uvažuje se o praktické realizaci dosažených výsledků?
- Na str. 132 uvádíte, že pro uvedený příklad vychází optimální zesílení dynamiky pozorovatele $\beta=0.0125$. Jak byla tato hodnota získána?

Závěrečné zhodnocení

Předloženou disertační práci považuji za přínosnou pro oblast řízení nelineárních měničů. Ing. Pavel Novák ve své disertační práci prokázal odbornou zdatnost a způsobilost k samostatné tvůrčí vědecké práci, a proto ji doporučuji k obhajobě.

V Praze dne 16.3.2018


.....
prof. Ing. M. Hofreiter, CSc.

Recenzní posudek na disertační práci Ing. Pavla Nováka na téma „Adaptivní regulace napětíových měničů“

Aktuálnost tématu

Použití měničové techniky založené na využití polovodičových spínacích součástek dosáhlo značného rozsahu v širokém spektru výkonů, napětí a proudů a parametry spínacích součástek i řídicích systémů pro polovodičové měniče se neustále zvyšují. To dává předpoklady pro rychlý rozvoj inovací v oblasti HW i řídicích metod měničů a zvyšování kvality a parametrů výstupních veličin ve statických i dynamických stavech. Předložená disertační práce je orientována na problematiku řízení měničů napětí se spínacími součástkami a aplikuje moderní metody automatického řízení na proces regulace výstupního napětí především v dynamických stavech. Disertační práce tak představuje aktuální příspěvek v předmětné oblasti. Téma práce je aktuální.

Splnění cílů práce

V úvodu práce je uveden výčet cílů, které se vztahují k seznámení se s principem a matematickým popisem spínaných zdrojů, seznámení se s prostředky pro počítačové simulace, seznámení se s metodami řízení v klouzavém režimu a s aproximačními metodami, provedení analýzy možností řízení spínaných zdrojů s ohledem na nelinearity systému, návrhu metody řízení a provedení a vyhodnocení simulačních výpočtů vybraných zapojení měničů s robustním adaptivním řízením s cílem ověření funkčnosti a zhodnocení kvality sledování požadovaného průběhu. Cíle práce byly splněny.

Zvolené metody zpracování

Celá práce je rozčleněna do dvou hlavních částí. První část je teoretická a zabývá se především přehledem současného stavu zkoumané problematiky, rozbořem činnosti elementárních zapojení spínaných zdrojů, přehledem metod řešení lineárních a nelineárních dynamických systémů, popisem metody pozorovatele dynamického systému a popisem metody řízení v klouzavém režimu. Druhá část, tvořící přibližně polovinu rozsahu práce, se věnuje aplikaci progresivních metod řízení na elementární typy spínaných zdrojů, návrhu metody adaptivního robustního klouzavého řízení, popisu implementace simulačních modelů a jsou zde prezentovány výsledky simulačních výpočtů navržené metody uplatněné na dvou strukturách spínaných zdrojů s jedním spínačem – elementární zapojení zvyšujícího pulsního měniče a zapojení jednoduchého invertujícího měniče. Ověření funkčnosti metody je tedy provedeno pouze na úrovni počítačové simulace.

Výsledky disertační práce a její význam pro vědní obor

Za hlavní disertabilní přínosy práce považuji teoretickou analýzu problematiky elementárního spínaného zdroje pomocí analytické aproximace, návrh robustní metody adaptivního řízení s klouzavým režimem pro elementární strukturu spínaného zdroje a simulační ověření metody na dvou výše jmenovaných elementárních strukturách spínaných zdrojů. Na simulační úrovni byla metoda ověřována při požadavku na regulaci výstupního napětí spínaného zdroje, kde jeho žádaná hodnota je dána součtem stejnosměrné složky a složky harmonické s konstantní frekvencí a amplitudou. Při simulačních výpočtech s uvedeným průběhem žádané hodnoty napětí byl výstup spínaného zdroje podrobován skokovým změnám zatěžovacího odporu, tedy i zatěžovacího proudu a byly sledovány a vyhodnocovány odezvy výstupního napětí, ale i například dopady nefunkčnosti adaptivity na změny v obvodu nebo chyby sledování výstupního napětí. Velmi zajímavé by bylo ověření vlastností řídicí metody při širším spektru pracovních režimů spínaného zdroje a při zatěžování tohoto zdroje nelineární zátěží, což je v praxi standardně se vyskytující případ. Rovněž by bylo přínosné podrobnější posouzení

výsledků využití popsaných postupů řízení s ve srovnání s některými z konvenčních metod řízení.

Formální úroveň práce

Po formální stránce má práce logickou stavbu, v textu se prakticky nevyskytují překlepy. Poněkud nešťastně je v úvodu práce uveden jen stručný výtah z použitých symbolů s poznámkou, že v seznamu nejsou uvedeny symboly všeobecně známé nebo v textu se zřídka vyskytující. Přitom autor ne vždy používá standardních symbolů pro některé fyzikální veličiny (například v pro frekvenci). Vzhledem k poměrně rozsáhlému matematickému aparátu v práci by komplexnější přehled použitých symbolů přispěl ke zvýšení přehlednosti. V grafické části je kvalita práce různorodá, nevhodné je například nejednotné značení rezistoru ve schématech (někdy vlnovkou, někdy obdélníkem). V některých schématech chybí vyznačení uzlů. V kapitole 8 nejsou uvedeny popisy os v řadě grafů (například na obr. 8.4 až 8.15), v těchto grafech nejsou uvedeny jednotky času na vodorovné ose a časová osa má nejednoznačné cejchování – je-li frekvence střídavé složky výstupního napětí v simulacích 50Hz, jak je uvedeno na str. 102, nejedná se ani o časové jednotky navázané na soustavu SI. Jasněji by měla být vymezena terminologie při označování měničů – často se vyskytuje pojem invertor, tímto termínem se běžně označuje střídač, což však nekoresponduje s typem měniče, kterým se autor zabývá.

K práci mám následující dotaz:

Pojednejte o otázkách případné implementace Vámi navržené metody do reálného spínaného zdroje a jeho řídicího systému – zohlednění reálných vlastností spínacích součástek, nelinearity parametrů L a C , dopady frekvence spínání na účinnost měniče, otázky elektromagnetické kompatibility například ve srovnání s měničem s vyjádřeným šířkově – pulsním modulátorem. V kapitole 10.5 „Budoucí práce“ postrádám právě problematiku ověření prezentovaných postupů na reálném měniči.

Závěry

Ing. Pavel Novák prokázal ve své disertaci schopnost vědecké práce na úrovni teoretické a simulační. Prokázal teoretické znalosti moderních metod automatického řízení včetně souvisejícího matematického aparátu. Jeho práce přináší nové poznatky v oblasti rozpracování metod řízení spínaných zdrojů.

Prezentovaná publikační činnost autora zahrnuje 8 publikací, z nichž čtyři se váží k tématu disertační práce. Rozsah publikační činnosti autora je spíše podprůměrný, avšak akceptovatelný.

Předloženou disertační práci doporučuji k obhajobě a po jejím úspěšném obhájení doporučuji udělení titulu Ph.D.



prof. Ing. Jaroslav Novák, CSc.

V Praze dne 7.3. 2018