

Posudek doktorské disertační práce

Autor: **Ing. Jan Majorszký**
Téma: **Stabilita moderního trakčního pohonu**
Oponent: **Ing. Martin Kuchař, Ph.D.**
odborný asistent
VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroniky
17. listopadu 15/2172
708 33 Ostrava – Poruba
tel.: +420 597 325 834, e-mail: martin.kuchar@vsb.cz

Doktorská disertační práce Ing. Jana Majorszkého se zabývá stabilitou moderního trakčního pohonu, tedy odolností elektrického pohonu vůči vyšším harmonickým složkám proudu, které se vyskytují v troleji nebo v proudu odebíraném pohonem z LC filtru.

Podle doporučení pro zpracování oponentských posudků doktorských disertačních prací předkládám následující hodnocení.

1. Aktuálnost zvoleného tématu

Zvolené téma disertační práce patří bezesporu do okruhu vědeckého zájmu v oblasti kolejových vozidel a železniční dopravy vůbec. Téma práce pak spadá do problematiky konduktivních proudů, rušení kolejových zabezpečovacích obvodů a vlivu vybuzených kmitů v odebíraném proudu z troleje na samotný trakční pohon.

O aktuálnosti tématu svědčí i rozsáhlý přehled domácí a zahraniční literatury, který je uveden v závěru práce.

2. Přínos doktorské disertační práce pro rozvoj vědního oboru

a) Cíle disertace a jejich splnění

Ing. Jan Majorszký řešil v rámci své práce náročný úkol návrhu a aplikace algoritmů aktivního tlumení kmitů LC filtru trakčního pohonu s ohledem na účinnost tlumení, minimalizaci kmitů momentu a omezení tlumící vlastnosti pohonu na vyšších frekvencích než je rezonanční kmitočet LC filtru. V úvodu disertační práce autor analyzoval současný stav ve zkoumané problematice a dále se zaměřil na návrh metody měření frekvenčních charakteristik. V rámci této části práce došlo k návrhu metody injektáže budících kmitů, k realizaci potřebného pulsního měniče včetně jeho řízení a ke způsobu vyhodnocování naměřených dat. Metodika měření byla následně ověřena simulací a měřením frekvenční charakteristiky samotného LC filtru. V další části práce pak autor prezentuje frekvenční charakteristiky pohonu s asynchronním motorem se skalárním i vektorovým řízením, které byly získány jak simulací, tak měřením na laboratorním modelu elektrického pohonu. Následují již dříve změřené frekvenční charakteristiky pro elektrický pohon se synchronním motorem a přímým řízením momentu, které autor uvádí pro účely porovnání.

Kapitola 8 se zabývá metodami aktivního tlumení kmitů vstupního LC filtru trakčního pohonu a zahrnuje metody aktivního tlumení využívající poměru napětí, algoritmu prediktivního řízení a metodu s fázovým posunem napětí na kondenzátoru LC filtru. V závěru práce autor srovnal dosažené výsledky a uvedl možné další směry výzkumu v řešené problematice.

Naplnění cílů disertační práce vyžadovalo studium odborné literatury a rovněž znalosti z oblasti výkonové elektroniky, elektrických pohonů, mikropočítačových řídicích systémů a informatiky. V neposlední řadě doktorand prokázal i dobré praktické dovednosti při realizaci měřicího stanoviště s puslním měničem a při zprovoznění tří metod aktivního tlumení kmitů LC filtru na laboratorním modelu elektrického pohonu.

Ing. Jan Majorszký stanovené cíle disertační práce splnil.

b) Výsledky disertace a nové poznatky

Mezi nové poznatky je možné zahrnout především praktické realizace a získané experimentální výsledky metod aktivního tlumení kmitů LC filtru modelu trakčního pohonu. Přínosem je rovněž vytvoření mobilního měřicího stanoviště a zhodnocení vlastností navržených metod.

3. Zpracování doktorské disertační práce

a) Zvolené metody zpracování

Postup řešení problému je zvolen naprosto správně. Nejprve je uvedena nutná analýza stavu problému a potřebné teoretické základy, následuje popis metodiky měření frekvenčních charakteristik. Dále jsou prezentovány simulací a měřením získané frekvenční charakteristiky různých druhů pohonů. V kapitole 8 jsou pak prezentovány tři metody aktivního tlumení kmitů vstupního LC filtru včetně změřených charakteristik. V závěru pak autor uvádí srovnání implementovaných metod.

b) Jazyková, terminologická a grafická úroveň práce

Disertační práce je logicky členěna, je přehledná a jazyková úroveň práce je na velmi dobré úrovni. Přípomínku mám ke značení proměnných veličin, které nejsou uváděny kurzívou a malým písmem, např. fázové proudy motoru „ I_{sa} , I_{sb} , I_{sc} “ v Symbolech a zkratkách. Rovněž některé popisy veličin nejsou přesné, např. „vypočítaný rotorový tok motoru“, kdy uvedená veličina není značena ani jako vektor ani jako složka vektoru v příslušném systému souřadnic apod. Drobnou poznámku mám k neuvedení názvu kapitoly do záhlaví práce, což by přispělo k ještě lepší orientaci v disertační práci. Jinak celkové zpracování práce je na velmi dobré úrovni. Uvedené obrázky vhodně doplňují textovou část.

4. Přehled publikovaných prací

Ing. Jan Majorszký prezentoval výsledky své práce na tuzemských i zahraničních konferencích, v časopise, ve výzkumných zprávách i v podobě funkčních vzorků. Seznam autorových publikací zahrnuje 1 článek v časopise, 3 příspěvky na mezinárodních konferencích a 7 příspěvků na českých konferencích, což je dostatečný počet pro seznámení odborné veřejnosti s jádrem této práce. Příspěvek [A2] je navíc umístěn na Web of Science a příspěvky [A2], [A4] v databázi Scopus.

5. Závěr

Ing. Jan Majorszký splnil stanovené cíle doktorské disertační práce. Zvláště hodnotím realizační část práce včetně mobilního měřicího stanoviště a získané experimentální výsledky.

Doktorskou disertační práci Ing. Jana Majorszkého **doporučuji** k obhajobě před komisí pro obhajoby v oboru "Elektronika". Po úspěšné obhajobě této disertační práce doporučuji udělit Ing. Janu Majorszkému akademický titul "doktor", ve zkratce "Ph.D."

V Ostravě dne 25. 2. 2016



Ing. Martin Kuchař, Ph.D.

Dotazy k obhajobě doktorské disertační práce

1. Mohl by autor prezentovat nějaké průběhy skutečného momentu vektorově řízeného asynchronního motoru při aplikaci aktivních tlumících metod ve srovnání s průběhem skutečného momentu bez korekce žádaného momentu?
2. V jakém stavu pracoval pohon s asynchronním motorem a vektorovým řízením při měření frekvenčních charakteristik (byl motor zatěžován; jaká byla spínací frekvence modulátoru)?
3. V jakém prostředí byl realizován software pro zpracování naměřených dat?
4. V jakém programu byly prováděny simulace pohonů pro získání frekvenčních charakteristik?

Oponentní posudek na disertační práci Ing. Jana Majorszkého na téma Stabilita moderního trakčního pohonu

1. Význam disertační práce pro obor

Předložená práce je orientována na součinnost frekvenčně řízeného pohonu se vstupním LC filtrem střídače. Ve finálním směřování je problematika řešena ve vazbě na moderní trakční pohony. Vzhledem k výkonům, které zpracovávají trakční pohony vozidel závislé trakce a vzhledem k parametrům jejich vstupních filtrů, představují kmitavé děje mezi vlastním pohonem, napájecí sítí a filtrem jevy, při kterých se uplatňují vzájemné přeměny nezanedbatelně velkého množství mechanické, magnetické a elektrické energie. Kmitavé rezonanční jevy v těchto systémech nelze prakticky zcela eliminovat. Předložená práce se věnuje jednak analýze kmitů ve vstupním filtru frekvenčně řízeného pohonu, ve druhé části pak několika metodám pro potlačování těchto kmitů. Vzhledem k aktuální rozpracovanosti tohoto problému představuje práce nezanedbatelný příspěvek k řešení předmětné problematiky.

2. Postup řešení problému, použité metody a splnění cílů práce

Přístup disertanta k řešení dané problematiky je komplexní. Cíle práce se dělí do dvou hlavních okruhů: prvním okruhem je nalezení metodiky pro analýzu kmitání vstupního filtru střídače na bázi frekvenčních charakteristik a implementace této metodiky, druhým okruhem je návrh, implementace a testování metod pro aktivní tlumení kmitů filtru prostřednictvím vnučování kmitů momentu pohonu. V první oblasti disertant navrhl a realizoval laboratorní systém pro měření frekvenčních charakteristik pohonu se vstupním LC filtrem. Tento systém rovněž implementoval v simulačním modelu. Provedl simulační výpočty, jejichž výsledkem jsou amplitudové a fázové frekvenční charakteristiky, provedl i odpovídající měření a prezentuje v práci dobrý soulad výsledků simulací a experimentů. Komplexní přístup dokumentuje i zjišťování frekvenčních charakteristik u třech variant pohonů: skalárně řízený pohon s asynchronním motorem, vektorově řízený pohon s asynchronním motorem a pohon se synchronním motorem s přímým řízením momentu. V práci jsou porovnány frekvenční charakteristiky jednotlivých variant pohonů. V druhé části práce jsou představeny tři metody pro aktivní tlumení kmitů ve vstupním filtru pohonu prostřednictvím řízení průběhu okamžité hodnoty momentu, přičemž metoda využívající algoritmu s prediktivním řízením je zcela původní. Představené metody byly disertantem implementovány a byly porovnány výsledky jednotlivých metod při aplikaci na pohonu s asynchronním motorem s vektorovým řízením a na synchronním motoru s přímým řízením. Vytyčené cíle práce byly tímto splněny.

3. Stanovisko k výsledkům disertační práce a k původnosti řešení

Metodika zjišťování frekvenčních vlastností frekvenčně řízeného pohonu se vstupním LC filtrem i zpracování metod pro aktivní tlumení kmitů ve vstupním filtru byly provedeny v práci na velmi dobré úrovni. Za původní, disertabilní jádro práce považují sestavení metodiky pro měření frekvenčních charakteristik pohonu a návrh a testování metody aktivního tlumení pomocí prediktivního řízení. Předložená disertace je dokladem velmi dobrých předpokladů disertanta pro tvůrčí, vývojovou a vědeckou práci.

4. Formální úprava a jazyková úroveň disertační práce

Po formální stránce je práce zpracována přehledně a pečlivě. Práce má logické uspořádání a dává dobrý přehled o zpracovávané problematice. Velmi dobrou úroveň mají obrázky a veškeré grafické části práce.

5. Publikační činnost disertanta

V disertační práci je uveden seznam, kde je 15 publikací, u kterých je Ing. Majorszký autorem nebo spoluautorem. Dále je uveden seznam tří autorových funkčních vzorků. Jedna publikace je v mezinárodním recenzovaném periodiku, tři publikace jsou na mezinárodní konferenci, zbývající publikace byly uveřejněny na tuzemských konferencích nebo se jedná o výzkumné zprávy. Pět publikací publikoval disertant se svým školitelem. Tematicky jsou publikace orientovány především do problematiky, které se věnuje disertační práce. Publikační činnost autora splňuje obvyklé požadavky.

K práci mám následující dotazy resp. připomínky:

1. Vysvětlíte podrobněji funkci pulsního měniče se třemi paralelně řazenými tranzistory – obr. 4.
2. Na str. 35 je krátké vyjádření k rozdílnosti průběhů frekvenčních charakteristik v případě pohonu se skalárním řízením a s vektorovou regulací. Pro objektivnější porovnání by bylo vhodné detailněji specifikovat algoritmus skalárního řízení, zejména pokud se jedná o kompenzaci kolísání vstupního napětí střídače.
3. Na konci str. 37 se konstatuje nestabilní chování systému s odkazem na obr. 13 až 15. Objasněte blíže souvislost průběhů na obr. 13 až 15 s nestabilitou.
4. V kapitole 8.3 pojednávající o algoritmu aktivního prediktivního tlumení je v závěru stručně shrnut vliv nastavení vah na charakter a kvalitu tlumení. Je škoda, že disertant v práci neprezentuje detailnější a kvantitativní hodnocení těchto vlivů.

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



V Pardubicích dne 22.2. 2016

prof. Ing. Jaroslav Novák, CSc.

Oponentský posudek doktorské disertační práce

Ing. Jana Majorszkého

„Stabilita moderního trakčního pohonu“

Aktuálnost tématu a splnění cílů práce

Doktorská disertační práce Ing. Jana Majorszkého je věnována aktuální problematice, která je na jeho školícím pracovišti dlouhodobě sledována a úspěšně rozvíjena. Buzené kmity v obvodech trakčního pohonu představují z praktického hlediska významný problém a jejich omezování je klíčové pro správnou a spolehlivou funkci trakčního pohonu. Kromě tohoto praktického zřetele je problematika jejich identifikace a tlumení výzvou pro rozvoj a uplatnění aktuálních metod teorie řízení, což dokládá i tato práce.

V úvodu práce uvedené cíle jsou v souladu s výsledky dále v práci uváděnými.

Metodika a postup řešení

Disertační práce je psána v českém jazyce a má celkový rozsah 80 stran.

Po úvodu, který reflektuje současný stav problematiky a uvádí cíle práce, je v kapitole druhé stručně nastíněna metodika řešení a obsah jednotlivých kapitol disertační práce. V kapitole třetí je uvedena metodika měření frekvenčních charakteristik, použita autorem na jeho pracovišti. Kapitola čtvrtá představuje zapojení a řízení měniče pro generování budících kmitů a způsob vyhodnocování naměřených dat. Uvádí také měřené kmitočtové charakteristiky LC filtru. V kapitole páté až sedmé jsou postupně uvedena schémata pohonů s různými typy motorů a s různým řízením, a pro ně naměřené kmitočtové charakteristiky. Jedná se o závislosti poměru amplitud vybuzeného a budícího proudu na jejich kmitočtu a na kmitočtu samotného střídavého pohonu. Budící proud je injektován proudovým zdrojem do stejnosměrného obvodu pohonu a proudem vybuzeným je míněn proud, odebíraný z troleje. Charakteristiky byly jak simulovány (v prostředí Matlab/Simulink), tak i měřeny, přičemž vzájemná shoda je velmi dobrá. V klíčové kapitole osmé je představena navržená metoda aktivního tlumení takových buzených kmitů. V kapitole deváté jsou uvedeny fotografie experimentálního pracoviště a v kapitole desáté shrnuty výsledky, přínosy a další perspektivy výzkumu tohoto fenoménu.

Originální nové poznatky

Předkládaná disertační práce představuje významný příspěvek k řešení této problematiky s vyváženým poměrem teoretického i experimentálně založeného výzkumu. Navržené užití měniče pro generování budících kmitů a jeho aplikace pro testování vyvinuté metodiky pro jejich tlumení je významným krokem v procesu řešení této, z praktického hlediska, velmi významné problematiky. Originální je užití prediktivního řízení MPC s delším časovým horizontem řízení i predikce pro stanovení referenčních signálů tlumícího momentu pohonu.

Formální a jazyková úprava práce

Volba posloupnosti jednotlivých kapitol odpovídá postupu při řešení této problematiky, a je i z hlediska čtenáře dobře volena. V práci jsem nezaznamenal gramatické ani syntaktické chyby; naopak oceňuji dobrý literární projev, což nebývá u technicky zaměřených doktor-
ských disertačních prací vždy zcela obvyklé.

Text celé práce je poněkud úsporný, byť z mého hlediska dostatečně výstižný a vesměs plně uvádějící všechny podstatné informace.

Za určitý formální nedostatek pokládám ne vždy zcela promyšlené uspořádání jednotlivých odstavců textu a obrázků (např. str. 49, 50, 60, 61, 69–71), takže práce při zběžném prohlédnutí se zdá být poněkud neurovaná a „řídká“.

Publikační aktivita autora

Celkem autor disertační práce uvádí 18 publikací, výzkumných zpráv a funkčních vzorků. Převážně se jedná o příspěvky na domácích konferencích a výzkumné zprávy. Je spoluautorem 3 příspěvků, přednesených na významných konferencích v zahraničí a pouze jednoho příspěvku v recenzovaném časopise.

Převážná část jeho publikační aktivity spadá do let 2010–2012 a týká se problematiky této disertační práce.

Celkově pokládám autorovu publikační aktivitu za postačující jako doklad jeho víceletého úsilí věnovaného této problematice, které vyústilo v předložení disertační práce.

Náměty do diskuse při obhajobě doktorské disertační práce

- doktorand v seznamu použité literatury uvádí několik starších titulů, věnovaných užití prediktivního řízení u pohonů s LC filtry; mohl by referovat o pracích z poslední

doby, věnovaných této problematice a jaký je v tomto kontextu hlavní přínos jím představené MPC metody?

- volba váhových koeficientů pro uvažovanou MPC metodu u uvedených změřených kmitočtových charakteristik je diskutována v kap. 8.3.1; existuje nějaký algoritmizovatelný postup jejich volby u konkrétního uspořádání reálného pohonu?
- bylo by možno uvažovat u pohonu se synchronním motorem a DTC také o využití FCS – MPC, zahrnujícího i úlohu tlumení kmitů v dc LC obvodu?

Závěr

Předkládaná doktorská disertační práce Ing. Jana Majorszkého je věnována aktuální problematice a přináší řadu nových vědeckých poznatků. Formálně je zpracována na dobré úrovni a problematika práce byla dostatečně jejím autorem již veřejně publikována. Domnívám se, že práce splňuje požadavky kladené na úroveň doktorských disertačních prací podle 111/1998 Sb. §47 a doporučuji ji tudíž k obhajobě.

V Praze 15. 2. 2016


prof. Ing. Viktor Valouch, CSc.