

Oponentský posudek na disertační práci Ing. Vojtěcha Dybaly na téma Metody eliminace nežádoucích elektromechanických interakcí zcela odpruženého pohonu dvojkolí

1. Dosažení v disertaci stanoveného cíle

Cíle disertace jsou v práci jasně formulovány: určení vlivů vzájemného působení elektrické a mechanické části pohonu dvojkolí výkonné elektrické lokomotivy z hlediska buzení torzního kmitání, identifikace projevů elektromechanického působení s ohledem na negativní ovlivňování komponent vozidla, navržení opatření k redukci identifikovaných negativních jevů torzního kmitání a posouzení možnosti měření na experimentálním pracovišti FS ČVUT v Praze. Stavba disertační práce úzce koresponduje s formulovanými cíli, částečně nad rámec hlavních cílů práce jsou prezentovány i výsledky aktivit zaměřených na úpravy experimentálního kladkového stavu a vybraná měření. V závěrečné části práce student přehledně rekapituluje výsledky práce v kontextu se stanovenými cíli. Cíle disertace byly splněny.

2. Úroveň rozboru současného stavu v disertaci řešené problematiky

Rozboru současného stavu problematiky se v disertaci věnuje celá kapitola 2 od strany 4 do strany 43. V této kapitole jsou shrnuty hlavní poznatky a informace o technických řešeních hnacích jednotek výkonných lokomotiv, o principech a funkci měničů a regulačních struktur pro asynchronní trakční motory a o variantách řešení mechanické části pohonů výkonných elektrických lokomotiv včetně popisu přenosu trakčního výkonu od motoru až po styk kolo – kolejnice. V další části kapitoly 2 je uveden přehled současného stavu v oblasti řešení torzního kmitání komponent trakčních pohonů výkonných lokomotiv i s ohledem na elektromechanické interakce a jsou uvedeny odpovídající odkazy na literární zdroje. Ukazuje se, že v té míře komplexnosti, v jaké je problém řešen v předložené disertační práci, obecně problematika studovaná není nebo jsou zde informace nedostupné z důvodu ochrany firemních informací a disertační práce je pro výzkum předmětné problematiky nezanedbatelným příspěvkem. V poslední části kapitoly s rozбором současného stavu problematiky je uveden přehled přístupů při výpočtech jevů v dynamických soustavách pohonů a to především v kontextu se simulačním modelováním, které je těžištěm aktivit doktoranda. V práci zkoumané dynamické jevy se dostávají do popředí zájmu relativně nedlouhou dobu v souvislosti s růstem požadavků na výkony a trakční vlastnosti pohonů moderních kolejových vozidel. Dosah této problematiky je značný, neboť v mezních případech mohou uvedené jevy ovlivnit bezpečnost a spolehlivost jízdy kolejového vozidla, v každém případě je zde i vazba na životnost komponent pohonného řetězce.

V disertační práci je uvedeno 43 titulů použité literatury, české i cizojazyčné, nejen v anglickém, ale i v německém jazyce. Z provedení rozboru stavu problematiky je zřejmé, že doktorand se odpovídajícím způsobem orientuje v literárních zdrojích a téma své disertace vhodně navázal na současný stav poznání předmětné problematiky.

3. Teoretický přínos disertační práce

Teoretické přínosy disertační práce lze vysledovat v několika úrovních. Doktorand provedl podrobný rozbor postupů a matematického popisu soustavy zcela odpruženého pohonu dvojkolí lokomotivy a to jak v elektrické tak i mechanické části. Doktorand vhodně volil kombinaci popisu ve formě soustav se soustředěnými parametry a v případě řešení torze hřídelů uplatnil metody popisu hmotného kontinua. Do teoretických přínosů lze začlenit i postupy, kterými doktorand vyřešil získání hodnot vlastních frekvencí zkoumané dynamické soustavy. Po teoretické stránce doktorand prokázal vazbu mezi principiálním chováním trakčního motoru napájeného z polovodičového měniče s výskytem vybraných vyšších harmonických složek proudu a momentu motoru a možným vznikem nebezpečných torzních kmitů v mechanické části pohonu. Dále doktorand provedl rozbor přístupů v počítačovém simulačním modelování uvedených dynamických soustav z hlediska volby odpovídajících metod numerických výpočtů.

4. Praktický přínos disertační práce

Na základě provedeného teoretického rozboru a rozboru konstrukčních řešení, existujících silových vazeb a reálných konstrukčních parametrů implementoval doktorand simulační model dynamické soustavy zcela odpruženého pohonu dvojkolí lokomotivy, který zahrnuje model trakčního asynchronního motoru, jeho regulační struktury, model polovodičového měniče, model mechanické části pohonu, model přenosu tažné síly v kontaktu kolo – kolejnice a model jízdy vlaku. Jedná se o velmi komplexní model, jehož sestavení, parametrizace, integrace a oživení tvoří velký objem aktivit představujících velkou část etap životního cyklu vyvinutého SW simulačního modelu. Za velmi náročnou část považuji i parametrizaci tohoto modelu a to i vzhledem ke skutečnosti, že řada parametrů a metod používaných v reálných lokomotivách je obtížně dostupná vlivem ochrany firemních informací.

V úvodních dílčích výpočtech určil doktorand vlastní frekvence mechanické soustavy a pro konkrétní strukturu a parametry pohonu provedl analýzu vzájemného průniku vlastních frekvencí mechanické části pohonu a frekvencí vyšších harmonických složek, které se vyskytují v průběhu momentu trakčního motoru. Z této analýzy vyplynuly reálné hodnoty kritických frekvencí, které pro danou konfiguraci mohou vybudit torzní kmitání vybraných komponent mechanické části pohonu. V další části doktorand provedl simulační analýzy konkrétní soustavy pohonu, jejichž výsledkem je potvrzení možnosti vzniku torzních kmitů komponenty mechanické soustavy (v daném případě pastorku) vlivem vyšších harmonických složek momentu motoru. Simulační výpočty dané soustavy dále prokázaly, že vybudění torzních kmitů se nemusí uskutečnit ve všech bodech průniku hodnot frekvencí vyšších harmonických složek momentu trakčního motoru s vlastními frekvencemi komponent mechanické části pohonu, ale nekritičtější jsou komponenty nejbližší k trakčnímu motoru.

Doktorand dále navrhl dvě možnosti opatření pro snížení rezonančních torzních kmitů (změna torzní tuhosti u daného konstrukčního řešení a vložení mechanického torzního tlumiče), přičemž prokázal dalšími simulačními výpočty reálnou použitelnost postupu směřujícího k úpravě parametrů konstrukčního řešení mechanické části pohonu, použití doplněného tlumiče se ukázalo jako neefektivní po stránce funkční i konstrukční. V práci je doložena řada grafických výstupů simulačních výpočtů včetně rozboru výsledků.

Celkově je práce z praktického hlediska příspěvkem pro objasnění elektromechanických interakcí v individuálním trakčním pohonu nápravy kolejového vozidla s cílem eliminace těchto nežádoucích jevů cestou úprav v mechanické části pohonu. Eliminace uvedených nežádoucích jevů má pozitivní dopady především z hlediska zvýšení spolehlivosti vozidla, snížení nároků na jeho údržbu a zvýšení životnosti komponent pohonu.

Dalšími praktickými přínosy práce jsou prezentované aktivity při úpravách kladkového stavu pro experimentální výzkum studované problematiky a provedená měření a jejich výsledky. V kontextu s formulovanými cíli disertace však doktorand prokázal nevhodnost parametrů experimentálního kladkového stavu v laboratořích FS ČVUT v Praze pro experimentální potvrzení výsledků simulací. To je objektivně dáno úzkou vazbou studované problematiky na parametry pohonu reálné lokomotivy. Provádění takovýchto experimentů na reálných vozidlech není v možnostech školicího pracoviště a proto podrobná simulační analýza problému, kterou doktorand provedl, je ve vazbě na téma práce a reálné podmínky zcela přiměřenou metodou.

5. Vhodnost použitých metod řešení

Doktorand ve své práci provedl teoretický rozbor problematiky a další výzkum prováděl na úrovni rozsáhlého a komplexního simulačního modelu, který navrhl, implementoval, integroval, naparametroval a oživil. Vzhledem k charakteru řešené problematiky se jedná o naprosto adekvátní přístup. Provedení srovnatelné analýzy v provozních podmínkách by nebylo reálné z důvodu časové, finanční i technické náročnosti. Experimentální práce, které doktorand prováděl na kladkovém stavu, lze chápat jako aktivity provedené nad rámec zadání práce, nicméně tyto aktivity prezentují schopnost doktoranda provádět výzkum nejen na teoretické a simulační úrovni, ale i na úrovni experimentální.

6. Způsob, jak byly použité metody aplikovány

Doktorand provedl s vyvinutým simulačním modelem řadu simulačních výpočtů. Pomocí simulačních modelů byly jednak ověřeny hodnoty vlastních frekvencí soustavy pohonu, dále byly

prováděny simulace s cílem určení frekvencí vlastních torzních kmitů, kde dojde k výraznému rozkmitání vlivem vybuzení vybranou vyšší harmonickou složkou momentu trakčního motoru. Další simulační výpočty prováděl doktorand s cílem nalezení opatření pro omezení vzniku torzních kmitů na úrovni konstrukčního řešení (změna torzní tuhosti) a na úrovni doplnění torzního tlumiče. Použité metody byly aplikovány odpovídajícím způsobem, výsledky jsou obsaženy v textu práce. Experimentální práce na kladkovém stavu probíhaly ve velké míře nad rámec stanovených cílů práce.

7. Prokázání odpovídajících znalostí doktoranda

Předložená disertační práce 116 stran vlastního textu. Vzhledem k technickým možnostem doktoranda i školicího pracoviště využil Ing. Dybala všech dostupných nástrojů k analýze předmětné problematiky – prověření stávajícího stavu problematiky, studium literatury, matematický popis, návrh a implementace simulačního modelu, simulační analýza, experimentální práce. Všechny etapy práce jsou logicky provázány, odpovídajícím způsobem jsou definovány cíle práce, názorně je popsán postup analýz a jsou formulovány závěry. Práce rozvíjí dosavadní poznatky a přináší původní výsledky s významem pro vědu i praxi. K významným přínosům práce patří studium problematiky na interdisciplinární úrovni, tj. studium vazeb mezi elektrickou a mechanickou částí pohonu. Obsah i forma práce prokazují, že doktorand má odpovídající znalosti a dobře se orientuje v problematice na teoretické, simulační i praktické úrovni.

V závěrečné části práce je uveden přehled publikační činnosti doktoranda. Je uvedeno 9 publikací, kde je doktorand jediným autorem publikace, ve čtyřech publikacích je doktorand spoluautorem. Publikační činnost doktoranda je přiměřená.

8. Formální úroveň práce

Po formální stránce má práce logickou stavbu, jednotlivé kapitoly jsou vyvážené a mají dobrou srozumitelnost, názorně dokumentují obsah vykonaných prací a mají vzájemnou návaznost i jednoznačnou vazbu na stanovené cíle disertace. V práci se vyskytují překlepy jen ojediněle, po stránce gramatické je zpracování odpovídající. Grafická část práce má dobrou kvalitu.

K práci mám následující připomínky, resp. dotazy:

1. Str. 6, obr. 2.2. – v kontextu s pohonem lokomotivy by bylo vhodné v obrázku naznačit jednofázové, nikoli třífázové, napájení trakčních obvodů.
2. Str. 8, vzorec (2.5) – na jakých konkrétních parametrech závisí zvlnění výstupního proudu u pulsně řízeného měniče (v kontextu s motorickou zátěží)?
3. Str. 14, obr. 2.11. – u střídačů se používá symetrická PWM (se symetrickým pilovitým signálem) z důvodu zvětšení četnosti akčních zásahů.
4. Uvažoval jste v modelu zpětnovazební regulace motoru konstantní magnetický tok nebo jste optimalizoval magnetický tok podle momentu? V případě optimalizace magnetického toku lze předpokládat zvýraznění podmínek pro vznik torzních kmitů.
5. Nakolik koresponduje parametrizace Vašeho modelu s parametry nějakého konkrétního vozidla?
6. Str. 105 – nakolik přesné a stabilní předpokládáte nastavování skluzu dvojkolí, jestliže jeden pohon na experimentálním pracovišti bude regulovaný otáčkově a druhý momentově?
7. Str. 114 a 115 – uvádí se, že při uplatnění opatření pro zmenšení torzních kmitů by byla možnost méně konzervativně dimenzovat ozubení. Otázkou je do jaké míry, vzhledem ke skutečnosti, že ozubení je předdimenzováno především kvůli odolnosti při momentových rázech motoru při zkratech v trakčním obvodu.

Na základě výše uvedených skutečností **doporučuji disertační práci Ing. Vojtěcha Dybaly k obhajobě a doporučuji udělení titulu Ph.D. dle zákona č. 111/1998 Sb.**