

Oponentní posudek na disertační práci Ing. Tomáše Fridrichovského na téma Dynamické vlastnosti pohonů moderních kolejových vozidel

1. Dosažení v disertaci stanoveného cíle

Cíle disertace jsou v úvodu jasně formulovány: vytvoření simulačního modelu vhodného pro studium dynamických jevů v elektrickém pohonu kolejového vozidla s respektováním vazeb mezi elektrickou a mechanickou částí, studium vzniku a parametrů torzních oscilací dvojkolí při pohybu vozidla v kolejové dráze a navržení metody pro detekci a eliminaci torzních kmitů dvojkolí s ohledem na vyloučení nutnosti zásahů do konstrukce pohonu. Disertační práce je přehledně strukturována ve vazbě na formulované cíle, nad rámec zásadních cílů práce jsou prezentovány i výsledky aktivit zaměřených na konstrukci experimentálního kladkového stavu, který umožní studium předemné problematiky i na experimentální úrovni. Kromě popisů aktivit a jejich výsledků včetně grafických částí je v práci doplněna řada příloh, které podrobněji dokumentují výsledky prováděných analýz. 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 14 do strany 48. V této kapitole jsou shrnuty hlavní poznatky a informace o konstrukci a vlastnostech klíčových uzlů elektrických pohonů kolejových vozidel počínaje problematikou adheze až po problematiku elektrické hnací jednotky. Zvláštní pozornost je věnována dynamickým vlastnostem a torznímu kmitání nápravy. Uvedené dynamické jevy se dostávají do popředí zájmu relativně nedlouhou dobu (několik let) a to 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 jízdy kolejového vozidla.

V disertační práci je uvedeno 53 titulů použité literatury, české i cizojazyčné, nejen v anglickém, ale i v německém jazyce. V kapitole 2 i v dalších kapitolách se doktorand na řadě míst odkazuje na poznatky z konkrétních titulů literatury. Z provedení rozboru stavu problematiky je zřejmé, že doktorand se odpovídajícím způsobem orientuje v literárních zdrojích a téma své disertace zaměřil na propojení podrobné analýzy mechanické a elektrické části pohonu. Z literárních zdrojů je zřejmé, že prováděné analýzy se zaměřují ve větší míře na mechanickou část, pro výzkum problematiky s úzkou vazbou na elektrickou část je příspěvkem právě předložená disertační práce.

3. Teoretický přínos disertační práce

Teoretické přínosy disertační práce lze vysledovat v několika úrovních. Pro studium problematiky doktorand provedl rozbor dvou variant konstrukčního řešení pohonu kolejového vozidla – částečně odpružený pohon a plně odpružený pohon. Rozbor vychází z reálných konstrukčních řešení pohonů moderních vysokovýkonných lokomotiv. Na základě provedeného rozboru konstrukčních řešení, existujících silových vazeb a reálných konstrukčních parametrů sestavil matematický popis ve formě soustavy diferenciálních rovnic, určil vlastní frekvence soustavy a implementoval dvě varianty modelů mechanické soustavy pohonu – zjednodušený model se soustředěnými parametry a podrobný model v prostředí SIMPACK. Oba modely zahrnují i bloky elektrické hnací jednotky a model adhezní vazby mezi kolem a kolejnicí. Po teoretické stránce lze tedy za hlavní přínosy práce považovat matematický popis dvou variant individuálního pohonu dvojkolí, vytvoření metodiky implementace modelů těchto soustav do simulačních modelů a analýza dynamických vlastností pohonu se zaměřením na procesy vzniku, průběhu a eliminace torzního kmitání nápravy. V práci je doložena řada grafických výstupů simulačních výpočtů včetně rozboru výsledků.

4. Praktický přínos disertační práce

Z praktického hlediska je práce příspěvkem pro objasnění elektromechanických interakcí v individuálním trakčním pohonu nápravy kolejového vozidla s cílem eliminace těchto nežádoucích jevů cestou regulace momentu hnací jednotky, tedy bez nutnosti zásahů do konstrukce pohonu. Eliminace uvedených nežádoucích jevů má dopady především na zvýšení bezpečnosti jízdy vysokovýkonných hnacích kolejových vozidel (eliminace rizika vykolejení), ale také se jedná o pozitivní dopady z hlediska zvýšení spolehlivosti vozidla a snížení nároků na jeho údržbu.

Dalším praktickým přínosem práce je zpracování návrhu konstrukčního řešení kladkového stavu pro experimentální výzkum studované problematiky.

5. Vhodnost použitých metod řešení

Doktorand ve své práci provedl teoretický rozbor problematiky a další výzkum prováděl na úrovni dvou typů simulačních modelů, které navrhl, implementoval, naparametroval a oživil. Vzhledem k charakteru řešené problematiky se jedná o naprosto adekvátní přístup. Simulační modely umožňují studovat problém v řadě variant koncepcí a parametrů, čehož doktorand v práci využil. Provedení srovnatelné analýzy v provozních podmínkách by nebylo reálné z důvodu časové, finanční i technické náročnosti. Práce však zahrnuje i etapu, která je součástí přípravy realizace zkušebního kladkového stavu pro provádění experimentálního výzkumu v dané oblasti.

6. Způsob, jak byly použité metody aplikovány

Doktorand provedl s oběma typy modelů i oběma variantami konstrukčního řešení pohonu řadu simulačních výpočtů. Pomocí simulačních modelů byly jednak ověřeny hodnoty vlastních frekvencí soustavy pohonu, zjištěné z matematického popisu, dále byly prováděny simulace s cílem určení příčin vzniku a průběhu torzních kmitů v nápravě, byly rozpracovány vazby těchto dynamických jevů na adhezní poměry na jednotlivých kolech, v simulacích byly dále zkoumány vazby mezi mechanickou a elektrickou částí pohonu včetně indikace torzních kmitů z elektrických veličin pohonu. Další simulace ověřují možnosti eliminace torzních kmitů nápravy pomocí zásahů do momentového řízení elektrického pohonu. Použité metody byly aplikovány odpovídajícím způsobem v řadě variant, výsledky jsou obsaženy nejen ve vlastním textu práce, ale i v poměrně rozsáhlých přílohách.

7. Prokázání odpovídajících znalostí doktoranda

Předložená disertační práce je poměrně rozsáhlá, vlastní práce má téměř 160 stran, dále je přiloženo 60 stran příloh. Vzhledem k technickým možnostem doktoranda i školicího pracoviště využil Ing. Fridrichovský všech dostupných nástrojů k analýze předmětné problematiky – prověření stávajícího stavu problematiky, studium literatury, matematický popis, návrh a implementace simulačních modelů, simulační analýza. Všechny etapy práce jsou logicky provázány, odpovídajícím způsobem jsou definovány cíle práce, názorně je popsán postup analýz a jsou formulovány závěry. Osvojení problematiky dokumentuje doktorand i pracemi vázanými na přípravu experimentálního pracoviště. Práce rozvíjí dosavadní poznatky a přináší původní výsledky s významem pro vědu i praxi. K nejvýznamnějším 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, s přesahem i na přípravu souvisejících experimentů.

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. V práci se vyskytují překlepy jen ojediněle, po stránce gramatické je zpracování odpovídající. Grafická část práce má převážně velmi dobrou kvalitu, až na některé drobné výjimky (nečitelnost popisek os u grafů 2.11 až 2.14).

K práci mám následující připomínky resp. dotazy:

1. Str. 25, odstavec nahoře – uvádí se, že minimální bezpečnost lisovaného spoje je 1,5 vůči nominálnímu momentu. O jaký nominální moment se jedná? Je zohledněna krátkodobá momentová přetížitelnost pohonu? Je zohledněno možné navýšení momentových rázů při zkratech v trakčním obvodu?
2. Na konci kapitoly 2.3.2.5.1.1 se uvádí, že přepočtení souřadnic motoru zachovává energetickou bilanci stroje. Je tomu tak skutečně v kontextu se vztahem (2.20)?
3. Odstavec na str. 41 nahoře – uvádí se, že u PMSM je složitější regulace, než u asynchronních motorů. Na základě čeho tak usuzujete? Dále se v tomto odstavci hovoří o točícím se kotvě PMSM. U PMSM je kotva stator.

4. V popisce pod obr. 2-45 se uvádí, že je zpětná vazba zajištěna měřením napětí na svorkách a otáček. Jedná se zde ale nikoli o měření napětí na svorkách motoru, ale proudu.
5. Str. 72, obr. 4-20, str. 75, obr. 4-27 – z jakého důvodu při rozjezdu klesá složka i_d a roste složka i_q , to i v kontextu se vztahem (4.58)?
6. Str. 105 v dolní části – vyhodnocování oscilací náprav z oscilací proudu – jaké vlivy se mohou z hlediska oscilací proudu uplatnit navíc u reálného pohonu v kontextu s Vaším modelem? Ověřoval jste dynamické vlastnosti předmětné elektromechanické soustavy při různých hodnotách nastavení parametrů regulátorů složek proudů motoru?
7. Na str. 112 a 113 se uvádí, že pro indikaci prokluzu jsou jako referenční otáčky uvažovány otáčky střední. V praktických aplikacích se často v režimu jízda jako referenční otáčky uvažují nejnižší, v režimu brzda nejvyšší. Je z nějakého důvodu výhodné volit jako referenční hodnotu střední hodnotu?

Na základě výše uvedených skutečností a na základě odpovídající publikační činnosti autora **doporučuji disertační práci Ing. Tomáše Fridrichovského k obhajobě a doporučuji udělení titulu Ph.D.**

V Praze dne 26.1. 2022

prof. Ing. Jaroslav Novák, CSc.