

Doc. Ing. Jan Chyský, CSc.

Ústav přístrojové a řídicí techniky

Fakulta strojní

České vysoké učení technické v Praze

Oddělení pro vědeckovýzkumnou činnost

Dopravní fakulta Jana Pernera

Studentská 95

**532 10 Pardubice**

Doc. Ing. Jan Chyský, CSc.  
Ústav přístrojové a řídicí techniky  
Fakulta strojní  
České vysoké učení technické v Praze

Posudek doktorské dizertační práce  
pana Ing. Václava Lenocho  
**" ELEKTRONICKÁ OPTIMALIZACE JÍZDY VOZIDLA S NEZÁVISLE  
OTÁČIVÝMI KOLY "**

Předložená doktorská dizertační práce byla vyvolána velkým rozvojem výkonové elektroniky ve spojení s kolejovými vozidly. Současná tendence u městských kolejových vozidel směřuje k nízkopodlažnímu řešení s přímým pohonem kol synchronními motory s permanentními magnety. Nové konstrukční řešení sebou přináší na jedné straně výhody, na straně druhé, se objevují nové problémy. Předložená dizertační práce se zabývá řízením jednotlivých pohonů tak, aby nevýhody eliminovala a naopak z nezávislého řízení vytěžila maximum.

Práce vznikla při řešení projektu TAČR TA01030391: „Výzkum jízdních vlastností a řízení pohonů trakčních kolejových vozidel s nezávisle otáčivými koly“. Z celého rozsáhlého projektu se zaměřuje na experimentální ověření teoretických předpokladů a zejména ověření simulací, prováděných v rámci první etapy řešení projektu ve VÚKV a.s. Ing. Čapkem, Ph.D. Vlastním obsahem pak spadá do třetí a čtvrté etapy řešení projektu, které se zabývají experimentálním výzkumem na experimentálním kolejovém vozidle a dále měřeními na tramvaji 15T ve skutečném městském provozu.

Práce, která je rozdělena celkem do 9 kapitol, obsahuje dále osm příloh dokreslující výsledky, prostředí a podmínky, ve kterých vznikala. Součástí je samozřejmě seznam publikací autora čítající 29 položek a seznam použité literatury – 24 položek.

Práce experimentální povahy má standardní strukturu, již je podřízeno i další členění na dílčí cíle a kapitoly. V první kapitole je představen cíl práce, který je rozdělen do 5 dílčích cílů. Hlavním cílem je najít vhodný algoritmus pro snížení vodících sil v kontaktu kolo-kolejnice tj. snížení opotřebení kola a kolejnice, namáhání podvozku a zvýšení bezpečnosti proti vykolejení. Tento cíl vychází z již dříve provedených simulací, má za úkol je potvrdit a implementovat do praxe. Dílčí cíle tedy souvisí s vytvořením vhodných podmínek pro experimenty, vývojem vhodného softwaru pro nadřazený počítač a modifikací simulovaných algoritmů na základě výsledků experimentů.

Ve druhé kapitole je podáno stručné vysvětlení kinematiky pohybu dvounápravového železničního podvozku po trati ve variantách dvoukolí s pevně spojenými koly a dvojicí kol

nezávisle poháněných. Jsou uvedeny výsledky simulací, které prokazují, že při nezávislém pohonu dochází ke změně opotřebenosti kol i kolejnic. Při jízdě v přímém směru je opotřebenost větší u nezávisle poháněných kol, při jízdě v malém oblouku je to naopak. V závěru kapitoly jsou pak uvedeny způsoby, jak pomocí přídatného hnacího momentu toto opotřebenost zmenšit při jízdě po přímé trati a jízdě v oblouku. Je podáno vysvětlení proč a jak se mění algoritmus výpočtu žádaného momentu pro jednotlivé varianty tratě a způsoby řízení. Z literatury jsou uvedeny výsledky simulací, ze kterých autor pak vychází dál.

Ve třetí kapitole se autor zabývá metodami zpracování dané problematiky, vychází z teoretických předpokladů, výsledků simulací, pokračuje experimentálním ověřením na experimentálním úzkorozchodném vozidle a nakonec výsledky ověřuje v reálném provozu na tramvaji T15 For City v reálném pražském nočním provozu.

Nejvýznamnější část práce je soustředěna do kapitoly 4, ve které se autor zabývá popisem výzkumu, vývoje a zejména implementací algoritmů řízení na kolejovém vozidle. Jsou navrženy způsoby regulace (PI respektive I) pro výpočet hnacích momentů jednotlivých kol podvozku pro jízdu po rovné trati a pro jízdu v oblouku.

V páté kapitole je popsáno experimentální vozidlo a jeho vybavení senzory, na jejichž návrhu a použití se autor významně podílel. Velká část kapitoly je věnována nadřazenému řídicímu systému, jeho struktuře a rozdělení jednotlivých funkcí na komponenty řízení (logování hodnot v PC, zpracování pomalých dějů reálným systémem cRIO a rychlých dějů FPGA pole). Jsou popsány důležité části navrženého SW.

Druhou nejvýznamnější kapitolou, ne-li nejdůležitější, je následující šestá kapitola obsahující výsledky experimentálních ověření předpokladů z kapitoly čtvrté a jejich modifikace podle naměřených výsledků. Zejména se jedná o algoritmy zjišťování profilu trati přímý/oblouk a dále naměřené výsledky momentů, polohy kol a dalších veličin v různých režimech jízdy. Součástí je i možná překvapivé vyhodnocení energetické náročnosti jízdy, kdy oproti původním odhadům byla spotřeba vyšší. Autor tyto výsledky měření dle svého názoru správně vysvětluje špatnou účinností motorů (cca 60%) provozovaných při nízkých otáčkách.

V sedmé kapitole jsou uvedeny výsledky získané při měření na tramvaji 15T For City v reálném městském nočním provozu. Výsledky potvrzují většinu zjištění z provozu experimentálního vozidla. Odchyly jsou vysvětleny vlivem odlišného mechanického řešení experimentálního vozidla na rozdíl od skutečného podvozku, stylem jízdy, účinností motorů a kvalitou kolejového svršku.

V závěrečné osmé kapitole jsou shrnuty dosažené výsledky a přínos dizertace. Poslední devátá kapitola se zabývá diskuzí dosažených výsledků a vytyčuje směr dalšího výzkumu.

Celkově lze práci hodnotit jako velmi aktuální, zabývající se doposud nedostatečně prozkoumanou oblastí řízení momentu nezávisle poháněných kol podvozku kolejového vozidla. Zvolené metody zpracování jsou standardní, autor vychází z teoretických předpokladů potvrzených simulací, které ověřuje na experimentálním vozidle a ve skutečném provozu. Na základě získaných výsledků upravuje navržené metody tak, aby odpovídaly realitě, při současném vysvětlení a objasnění rozdílů mezi teorií a výsledky získanými experimentem. Hlavní přínos dizertační práce spočívá v tom, že dizertant prokázal možnost řídit jednotlivé

motory jednotlivých kol podvozku s cílem snížit opotřebení kol a kolejnice na základě jím navrženého algoritmu. Kromě toho ověřil, že k řízení pohonu je dostatečný snímač s 4096 polohami a úspěšně navrhl a odladil algoritmus pro zjištění jízdy v oblouku a v přímém směru z úhlové rychlosti otáčení kol. Význam práce je především v praktickém uplatnění teoretických výsledků, což ve svém důsledku může přinést značné finanční úspory díky menšímu opotřebení kolejnic, kol kolejových vozidel i zmenšení možnosti vykolejení vozidla. Publikační aktivity autora související s publikovanou dizertační prací jsou na dobré úrovni. Je spoluautorem jedné publikace v mezinárodním odborném periodiku, 8 v národních časopisech, účastnil se dvou mezinárodních a celé řady národních konferencí.

Zvláště pozitivně hodnotím velký rozsah získaných experimentálních dat, které nejenom naměřil, ale musel navrhnout a zrealizovat HW i SW pro tato měření. Práce až na pár drobných překlepů a nesprávné interpunkce má překvapivě dobrou jazykovou úroveň. Grafické zpracování je též na dobré úrovni, součástí práce jsou všechny předepsané přílohy. Z hlediska kvality publikovaných grafů bych autorovi vytkl v některých případech špatně čitelný popis, obrázky 6.1, 6.2 a 6.4 nemají popsání osy X, popis osy Y v textu obrázku nepovažuji za příliš šťastný. Odkaz na obrázek 6.9 neodpovídá, správně má být zřejmě 6.6. V teziích dizertační práce na stranách 14 a 15 jsou místo odkazu na obrázky chybová hlášení Wordu.

Z odborného hlediska žádné závažné připomínky nemám, při obhajobě by však autor mohl objasnit volbu PI a I regulátorů pro řízení momentu kol podvozku a způsob nastavení konstant regulátorů  $c_1$  a  $c_3$ .

Závěrem musím konstatovat, že dizertační práce splňuje podmínky tvůrčí vědecké práce pro udělení titulu Ph.D. a jako takovou ji doporučuji k obhajobě.

V Praze 5. března 2015

doc. Ing. Jan Chyský, CSc.