

Strategie řízení skluzu kolejových trakčních vozidel

Ve své práci se ing. Petr Pichlík zabývá problematikou skluzové regulace u vozidel elektrické trakce a návrhem nového řešení skluzového regulátoru, jenž nepotřebuje znát skutečnou rychlost vlaku, ale pouze rychlost jedné nápravy.

1. Aktuálnost tématu

Skluzová regulace představuje u trakčních kolejových vozidel zcela zásadní blok, zejména s ohledem na optimální přenos tažné síly. Adheze mezi pohánějícím kolem a koleji je závislá na přítláčné síle a součinitelem tření mezi kolem a kolejí, jenž je nelineární i proměnný v čase. Snaha využít plný výkon trakčního pohonu tak, aby při tom nedocházelo k prokluzu mezi koly a koleji představuje jeden z nejzásadnějších regulačních problémů v elektrické trakci, takže práci, která se touto problematikou zabývá a navíc přináší i nová, původní řešení je zcela určitě možno označit za velice přínosnou a vysoce aktuální.

2. Cíle disertace a jejich splnění

Cílem dizertace je shrnout znalosti o známých používaných metodách skluzové regulace a porovnat jejich náročnost a efektivitu, porovnat použitelné metody stavového odhadu a vybrat tu nejvhodnější pro elektrickou trakci, navrhnout optimální skluzový regulátor pro elektrickou lokomotivu, vypracovat matematický model celého systému skluzové regulace včetně nově navrženého regulátoru, porovnat chování tohoto modelu měření na konkrétní elektrické lokomotivě, ověřit nový skluzový regulátor na modelu elektrické lokomotivy a následně porovnat výsledky dosažené po implementaci regulátoru s využitím DSP s výsledky simulace celého systému včetně regulátoru v prostředí MATLAB. Mohu konstatovat, že dle mého názoru byly cíle dizertace v plném rozsahu splněny.

3. Zvolené metody zpracování

Po úvodní kapitole, v jejímž závěru jsou definovány i cíle práce, uvádí disertant ve druhé kapitole přehled existujících metod regulace skluzu včetně jejich teoretických základů a předností i nevýhod. Na začátku této kapitoly definuje základní pojmy jako adheze, skluzová rychlost, charakteristiky adheze – skluz (dále v posudku jen skluzové charakteristiky). Postupně se dále možnostmi regulace skluzu metodou vycházející ze ztráty adheze, skluzovými regulátory založenými na měření skluzové rychlosti nebo zrychlení, skluzovými regulátory vycházejícími s porovnáním proudové difference dvou paralelních motorů, skluzovými regulátory, které využívají detekci sklonu skluzové charakteristiky (na základě stanovení změny adhezní síly, resp. na vyhodnocení změny fázového posunu mezi vektory momentu a úhlové rychlosti, skluzové regulátory založené na detekci torzních kmitů, které nastávají v oblasti maxima skluzové charakteristiky. Rovněž se v rámci této kapitoly věnuje možné struktuře regulátorů skluzu a jejich zařazení do celkového regulačního schématu vozidel elektrické trakce.

Ve třetí kapitole ze všech možností uvedených v předchozí kapitole volí pro další rozpracování metodu detekce sklonu skluzové charakteristiky. S ohledem na to, že celý systém elektrické lokomotivy je nelineární, v čase proměnný, a některé veličiny jsou obtížně měřitelné, případně zatížené značným šumem uvádí možnost využití stavových modelů (estimátorů) pro určení takových veličin. Porovnává známé modely založené na použití Luenbergerova observeru, disturbance observeru a Kalmanova filtru (v základním -KF, rozšířeném EKF a unscented UKF provedení). Pro další použití volí UKF, který má sice o něco vyšší nároky na výpočetní kapacitu, ale je jako jediný použitelný i pro nelineární systémy. V závěru kapitoly uvádí kompletní blokové schéma navrhovaného regulátoru a jeho zařazení do celkové regulační struktury elektrické lokomotivy.

Čtvrtá kapitola se věnuje návrhu vlastního řešení regulátoru. Navrhuje pěti hmotový model elektromechanické části lokomotivy (motor, pastorek, převodové kolo, přímo hnané kolo, nepřímo hnané kolo), dále ho zjednodušuje na tří hmotový model, tj. zanedbává momenty setrvačnosti v převodovce (pastorek, převodové kolo). Výsledky takto navržených modelů porovnává s měřením na lokomotivě Škoda 93E, jejíž základní parametry jsou uvedeny v tabulce 4.1. Hodnoty dané simulací i skutečné naměřené hodnoty jsou v celkem dobrém souladu.

V páté kapitole jsou vedeny výsledky simulací naměřených na regulátoru realizovaném v DSP TMS 320F28335 pracujícím s MATLAB modelem zbývající části lokomotivy. Jsou porovnány výsledky pro KF, EKF i UKF. Je zřejmé, že podle očekávání dává UKF nejlepší výsledky. Ovšem časová rezerva s ohledem na tabulku nároků na výpočetní čas je při zvolené výpočetní periodě 100us velmi malá (necelých 5%). Lze konstatovat, že výsledky dosažené na modelu v MATLABu i výsledky s regulátorem skluzu realizovaném v DSP jsou ve velmi dobrém souladu. Lze jen litovat, že navržený regulátor nebylo možno (i když z pochopitelných provozních důvodů) ověřit přímo na lokomotivě.

4. Výsledky disertace a jejich přínos

Hlavním přínosem disertace je návrh vlastního skluzového regulátoru vycházející z detekce sklonu skluzové charakteristiky s využitím UKF a dále rozpracování pěti hmotového a tří hmotového modelu přenosu trakční síly a jeho použití pro stanovení chování podvozku při různých provozních podmínkách. Jasným přínosem je rovněž modularita celkového řešení, umožňující snadnou úpravu regulátoru při použití s jiným typem observeru nebo při využití s jiným typem lokomotivy. Všechny tyto skutečnosti mají značný význam i pro technickou praxi zejména při návrhu skluzové regulace u lokomotiv další generace.

5. Význam disertace pro praxi a další rozvoj vědy

Práce přináší řadu nových poznatků a to zejména podrobné porovnání různých stavových modelů, zlepšení kvality skluzové regulace, což má značný teoretický i praktický význam pro výrobce kolejových vozidel. Z tohoto pohledu představuje práce pana ing. Pichlíka velmi významný příspěvek k řešení problému skluzové regulace a optimálního přenosu tažné síly u vozidel elektrické trakce.

6. Závěrečné doporučení

V práci jsem nenalezl žádné nedostatky. Pouze jsem zcela nepochopil způsob, jakým byly stanoveny parametry pěti hmotového modelu lokomotivy Škoda

93E uvedené v tabulce 4.2 na stránce 62 a během obhajoby bych prosil o vysvětlení.

Práce splňuje podmínky samostatné tvůrčí vědecké práce a přináší nové vědecké poznatky v souladu s §47, odst. 4 zákona č 111/98 Sb a článkem 32 odst 1 Studijního a zkušebního řádu pro studenty ČVUT v Praze. Vzhledem k uvedeným skutečnostem **práci doporučuji k obhajobě.**

V Praze 30.4.2018

ing. Josef Cibulka CSc