

Oponentský posudek disertační práce

Téma: **Pokročilé algoritmy řízení pohonných jednotek**

Doktorand: **Ing. Milan Špičák**

Oponent: Ing. Pavel Kučera, Ph.D., ÚADI, FSI, VUT v Brně

Disertační práce obsahuje celkem 96 stran, z toho 87 stran tvoří vlastní textová část včetně přehledů použité literatury a označení. Úvodní část práce obsahuje abstrakt, bibliografickou citaci, čestné prohlášení, poděkování, obsah a úvod do problematiky. Hlavní část je členěna do 6 kapitol. Ty jsou postupně věnovány vymezení řešené problematiky, cílům práce, shrnutí současného stavu řešené problematiky, odhadu točivého momentu, řízení motoru v závislosti na točivém momentu a kapitole o experimentální optimalizaci zrychlení vozidla. Práce je ukončena závěrem, seznamem použitých informačních zdrojů, seznamem použitých zkratk a symbolů.

Cíle předložené doktorské disertační práce „Pokročilé algoritmy řízení pohonných jednotek“ byly rozděleny do čtyř bodů, tj. na sestavení algoritmu pro odhad točivého momentu v reálném čase, definovat koordinátor točivého momentu mezi jednotlivými strategiemi, kalibrace systému a posledním cílem bylo experimentální ověření dílčích parametrů.

Po prostudování disertační práce lze říci, že:

- Téma disertační práce, zaměřené na pokročilé algoritmy řízení pohonných jednotek, lze považovat za aktuální, nejenom v souvislosti s motorsportem, ale také u běžných sériových vozidel s cílem řídit motor a celý hnací trakt s využitím jeho maximálního potenciálu. To samozřejmě má vliv na výkon, spotřebu a emise, které se řídí stále přísnější legislativou. Práce se dá považovat za aktuální i využitím metod pro testování a vývoj řídicích systémů, např. využití HIL testování atd.
- Cílem disertační práce bylo sestavit algoritmus pro odhad točivého momentu s následným řízením jeho hodnoty s ohledem na jednotlivé provozní strategie. Nedílnou součástí byla i kalibrace systému a jeho validace. Po prostudování disertace lze konstatovat, že výše uvedené stanovené cíle byly splněny, přestože některé výsledky jsou popsány jen okrajově a pro čtenáře to může působit dojmem i zmatenosti a občas vytržením z kontextu.
- Z předloženého textu je zřejmé, že doktorand postupoval při řešení poměrně obtížného problému dle stanovených cílů. V úvodu a ve vymezení řešené problematiky uvádí obecné pojednání, ale čtenáři uniká z počátku jasná zmínka proč je to tvořeno. Následně autor popisuje v kap. 3 současný stav a metody obecně z hlediska vývoje mechatronických systémů pro pohonné jednotky v automobilovém průmyslu. Dále navazuje kap. 4, kde popisuje dvě metody pro odhad točivého momentu pomocí statistické a frekvenční metody. Tyto metody následně ověří experimentem na naměřených datech a zároveň vyhodnotí příslušné parametry, a vznik možné chyby vyhodnocení v závislosti na nich. Dalším logickým krokem bylo uzpůsobit odhad pro Real-time testování ať v rámci simulace nebo na motoru v motorové zkušebně a tím i stanovit vhodné koeficienty pro správný odhad v různých pracovních bodech motoru. V páté kapitole se autor věnuje popisu a vytváření algoritmu pro řízení točivého momentu motoru s různými požadavky a s ohledem na vstupní a výstupní veličiny ze snímačů a akčních členů. Vysvětlení je doprovázeno vývojovými diagramy a tím je daná problematika přehlednější.

Následně je provedena kalibrace a ověření na simulátoru vozidla a na reálném vozidle. Z výsledků vyplývá, že požadovaný moment se shoduje s vypočítaným momentem při HIL testování nebo při aplikaci na vozidlo, je tato shoda v grafech také prokázána. Tím lze tuto část považovat jako přínos doktoranda. Poslední šestá kapitola se zabývá experimentální optimalizací zrychlení vozidla. Autor se snažil vylepšit celou funkci řízení točivého momentu pro dosažení nejlepšího přenosu sil mezi vozidlem a vozovkou a ověřit dílčí části, ale tato kapitola je popsána tak okrajově, že není úplně jasné, jak některých kroků bylo dosaženo a občas to působí až zmateně. Přesto dle grafu na obr. 54 se zdá, že omezovač točivého momentu ve vyšších otáčkách udržuje skluz pneumatiky v oblasti nejvyšších přenášených sil. To lze považovat za významný přínos této práce.

- Pokud autor tento systém řízení z fáze vývoje implementuje do vozidle motorsportu pro běžné využití, mohlo by to mít přínos i pro praxi. A to právě tím, že bude lepe využít potenciál přenášeného točivého momentu napříč celým hnacím traktem. S tím právě souvisí velice ožehavé téma snižování emisních hodnot motorů a tím by mohla být řešena i tato problematika.
- V práci se nachází drobné formální nedostatky. Po stránce textové je zpracována na střední úrovni. Například hned první věta v úvodu není úplně dobře formulovaná a její význam může být matoucí, dále se v práci nacházejí překlady např. spojení „V takové situace jsou konstruktéři“, takže psát „situaci“. Obrázky se zdají být přehledné a u necitovaných obrázků se dá předpokládat, dle formátování s dalšími obrázky, že jsou vytvořeny autorem. Autor dost často zbytečně vynechává velké části stran, např. největší mezery jsou na str. 17, 20, 30, 31, 34, 35, 36, 37, 43, 47 atd. To pro čtenáře může působit neuspořádaně a jako umělé natahování rozsahu práce. Určitě by nebyl problém grafy trochu zmenšit, aby stále byly čitelné, ale formátování bylo úhlednější. Na str. 41 by spojení „měřícím šumem“ mělo být „měřícím šumem“. U některých grafů chybí jednotky u popisu os, tak je čtenář odkázán na případný popis v názvu grafu nebo si je musí vydedukovat z rovnic. I u os, které nemají jednotku, by bylo vhodné uvést „[-]“. Na str. 56 úplně dole má text jiný font to je také na str. 23. Z hlediska rovnic: např. u rovnic 1-4 autor v textu nevysvětluje jednotlivé proměnné, které by tam měly být zmíněny, pokud se o nich v textu píše prvně. Z hlediska citací: v jejich seznamu např. u 2, 3 a 4, lze výtkou zvláštní formátování, kde se dá předpokládat, že neodpovídá normě. Přesto je práce přijatelně uspořádána a příslušné kapitoly a výsledky na sebe zpravidla navazují.
- Disertační práce splňuje podmínky uvedené v § 47 odst. 4 Zákona o vysokých školách, původní výsledky disertace byly publikovány.
- Závěrem lze konstatovat, že doktorand prokázal tvůrčí schopnosti v oboru Konstrukční a procesní inženýrství a práce splňuje požadavky standardně kladené na disertační práce v daném oboru. Také tím ukázal rozsáhlé znalosti v problematice vývoje mechatronických systémů. Proto doporučuji udělení akademického titulu Ph.D.

Připomínky a dotazy:

1. Na obr. 2 je schéma ECU rozděleno na dvě části. Mohl by autor popsat z jakého důvodu tomu tak je?
2. Autor uvádí na str. 14, že pro programování se používají jazyky VHDL, C/C++. Zná autor nějaké další vhodné jazyky pro programování? A jaké výhody by přineslo využití inteligentního jazyka ADA pro takovéto mechatronické aplikace.
3. Co je SIL testování?
4. Na str. 33 v tab. 4 autor porovnává chybu vzniklou počtem bodů rozlišení pro stanovení točivého momentu. Mohl by autor vysvětlit čím je způsobeno, že chyba nejdříve stoupá se snižujícím počtem bodů a pak následně klesá? S tím souvisí i porovnání na obr. 19.
5. Na str. 39 je rovnice 16, které předchází věta, že se jedná o frekvenci zapalování. Mohl by autor rozebrat tuto rovnici a vyjasnit její správnost?

6. Na str. 44 a obr. 24 je znázorněn graf s porovnáním dle legendy veličin točivého momentu odhadovaného a vypočítaného. Mohl by autor popsat, jak byly tyto průběhy získány?
7. V jakém programu byl vytvářen řídicí algoritmus, v jakém programu byl kompilován a čím byl zaváděn do ECU pro testování? Jaký typ ECU byl použit pro testování?
8. Na str. 63 pod rovnicí 34 je vysvětlení jejich jednotlivých proměnných. Opravdu pod zkratkou α_{kl} si lze představit plnicí účinnost s jednotkou stupně?
9. Popište a znázorněte výpočtový model vozidla využitý pro validaci algoritmu. A jak byl implementován do hardwaru pro HIL testování?

V Brně 3. října 2019

Ing. Pavel Kučera, Ph.D.

Stručné vyjádření k předloženým tézím disertační práce

Téma: **Pokročilé algoritmy řízení pohonných jednotek**

Doktorand: **Ing. Milan Špičák**

Oponent: Ing. Pavel Kučera, Ph.D., ÚADI, FSI, VUT v Brně

Teze předložené doktorské práce splňují požadavky na ně kladené. Jsou zpracovány dostatečně podrobně a výstižně. Poskytují přehled o rozsahu problematiky řešené v rámci doktorské disertační práce. Po úspěšné obhajobě je doporučuji k vytištění po drobných úpravách.

Připomínky:

1. Doplnit všechny oponenty a datum obhajoby
2. V úvodu chybí, proč doktorand řešil dané téma, je tam uveden jen obecný popis. To koresponduje i s textem disertace.
3. Na str. 7 věta „Následující odstavce podrobně rozebírají...“. Zastavil bych se nad slovem podrobně, jelikož se jedná o zkrácenou verzi, tak ten podrobný popis se dá předpokládat v doktorské práci a ne v tezích.
4. Upravit správný formát citací v jejich seznamu
5. V životopise by bylo vhodné uvést, že autor ještě nedokončil doktorské studium, tedy 2015 - dosud

V Brně 3. října 2019

Ing. Pavel Kučera, Ph.D.