

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

Posudek dizertační práce
„Optimalizace řízení spalovacího motoru v hybridním pohonu vozidla“
pana ing. Zdeňka Maška

Celkový rozsah předložené práce je 160 stran plus přílohy o rozsahu 40 stran.

Práce je rozdělena do osmi kapitol plus běžné přílohy, jako jsou použité zkratky, značení veličin, seznam obrázků, tabulek, literatury a publikací autora. Oddělená příloha obsahuje podrobné vysvětlení tvorby v práci použitého kvazistacionárního modelu typu „Mean-Value“.

Cílem práce, který je uveden hned v první kapitole, je „nalezení metodiky optimalizace provozu primární zdrojové soustavy hybridního pohonu s ohledem na minimalizaci spotřeby paliva“. Jak z práce dále vyplývá, neomezil se autor jen na spotřebu, ale při optimalizaci se též zabýval plynnými a pevnými emisemi spalovacího motoru. Ve druhé kapitole je na základě rešerše literatury proveden rozbor současného stavu řešené problematiky, autor se zabývá systémy a koncepty řešení pohonů hybridních vozidel. Dále se autor zaměřil na řešení použitá v autobusech předních světových výrobců, toto zaměření je v souladu s projekty, při jejichž řešení práce vznikla. V části 2.5 se autor zabývá studiem možných modelů používaných pro simulaci chování spalovacího motoru. Na základě studia publikované literatury dochází k závěru vhodnosti použití „Mean Value Modelu“, který je schopen výsledky požadovaných výpočtů poskytnout v reálném čase. V následující podkapitole 2.6 je proveden podobný rozbor pro elektrický generátor s usměrňovačem. Jako generátor je uvažován moderní synchronní stroj s permanentními magnety (PMSM) ve spojení s pulzním usměrňovačem. Pro model generátoru s usměrňovačem autor původně navrhl použít model používaný pro vektorové řízení synchronního motoru, avšak vzhledem k náročnosti simulačního výpočtu byl tento model nakonec nahrazen zjednodušeným modelem, jak je uvedeno dále v kapitole 3.6. Oba modely jsou založeny na vícerozměrných mapách chování obou strojů tak, jak je autor získal od výrobců, případně extrapoloval z dostupných údajů.

V následující třetí kapitole, kterou z teoretického hlediska považuji za zásadní, se autor zabývá způsobem a podmínkami optimalizace provozu spalovacího motoru. Jsou uvedeny jednotlivé funkční bloky modelu s vysvětlením jejich funkce a jejich parametrizace podle dostupných map popisujících mechanické i emisní parametry motoru, pokud byly dostupné. Rovněž je popsána implementace algoritmu výpočtu přechodových ztrát při změně režimu motoru (otáček). Model byl dále doplněn o část zahrnující spotřebu přídavných agregátů, jejíž velikost je diskutována a následně odhadnuta. Odhad je podložen údaji získanými z provozu reálného autobusu. Dále je ve třetí kapitole diskutován model generátoru spolu s řízeným usměrňovačem. Původně použitý model převzatý z algoritmu vektorového řízení PMSM se na základě provedených simulací ukázal jako nepoužitelný, zejména z důvodu nepřijatelně dlouhé doby výpočtu. Z tohoto důvodu byl model nahrazen zjednodušenou statickou strukturou využívající, podobně jako SM, statické mapy popisující chování PMSM. Z hlediska účelu této dizertační práce považuji tyto náhrady za přijatelné, zejména u PMSM. Pokud se týká modelu spalovacího motoru, považuji použitou úpravu statického modelu, která umožňuje zahrnout do modelu chování motoru (spotřebu) v přechodových stavech pro účely simulace, za uspokojivou. Je jen škoda, že nebylo možné chování modelu ověřit porovnáním se skutečným motorem.

V následujících čtvrté a páté kapitole, které tvoří jádro práce, se autor zabývá způsobem provádění simulací a vlastními simulacemi v různých režimech. Pro simulace jsou použity standardní jízdní cykly využívané při testech spotřeby silničních vozidel v EU a USA. Šestá kapitola pak obsahuje výsledky jednotlivých simulací, které jsou shrnuty a zhodnoceny v kapitole sedmé.

V závěrečné osmé kapitole jsou uvedeny poznatky a zkušenosti autora získané při řešení předložené DDP.

Po formální stránce je předložená práce na velmi dobré úrovni. Práce je psaná dobrou češtinou, obsahuje všechny náležitosti, a až na malé výjimky (vteřina! jako jednotka času, neoptimálnější) nemám formální připomínky.

Z faktického hlediska považuji za žádoucí, aby se autor vyjádřil k následujícím skutečnostem:

- V šesté kapitole jsou výsledky simulací uváděny na 5 platných míst. Domnívá se autor, že nejistoty odhadu-extrapolací parametrů modelu opravňují uvádět výsledky s touto přesností?
- V režimu Start and Go (strana 122) autor uvádí podle uvedené metodiky úsporu 7 %. Je použití této metodiky měření vhodné? Osobně výsledek úspory 7 % považuji za nesprávný, vzhledem k nezapočítání spotřeby paliva na počáteční start. Pokud by jízdních cyklů bylo např. 100 a nikoli pouze 3, tak úspora se prakticky neprojeví.
- Součástí hybridního vozidla není pouze SM a generátor, ale také akumulátor energie pracující v daném režimu s určitou účinností. Uvažoval autor o možnosti doplnit cíle práce a vlastní DDP i o simulace kompletního pohonného agregátu? Pokud ano, proč k tomu nedošlo?

Závěr:

Práci jako celek je možné hodnotit pozitivně. Zabývá se vysoce aktuálním tématem - snižováním energetické náročnosti současných motorových vozidel. Zvolená cesta vytvoření modelu pohonné soustavy vozidla, který umožňuje simulovat jednotlivé provozní stavy pohonné soustavy, umožňuje efektivně nalézt vhodné algoritmy řízení SM bez nutnosti provádění drahých jízdních zkoušek, případně zkoušek na brzdě.

Navrženou metodu zpracování vyčteného cíle DDP- vytvoření modelu pohonných agregátů vozidla považuji za optimální, je jen škoda, že nebylo možné? ověřit vzniklý model porovnáním se skutečným motorem.

Vzniklý model umožňuje v souladu s cíli simulovat chování pohonné soustavy silničního vozidla (autobusu) z hlediska spotřeby PHM a částečně i emisí. Práce splnila stanovený cíl.

Výsledky DDP dokumentované simulacemi chování reálného SM spolu s generátorem potvrzují možnost modelování chování pohonné soustavy hybridního vozidla a využití modelu pro nalezení optimalizovaného algoritmu řízení SM. Simulacemi bylo prokázáno, že je vhodné spalovací motor provozovat v několika optimalizovaných otáčkových pásmech, což vede k omezení přechodových stavů a tím i zlepšení účinnosti motoru i snížení emisí. Dále bylo prokázáno, že optimalizace celého soustrojí SM + PMSM nepřináší žádné výrazné úspory oproti optimalizaci samotného SM.

Z hlediska významu pro praxi lze práci hodnotit kladně, neboť umožňuje z části nahradit pomocí simulací náročné vozidlové zkoušky, případně měření pohonu na motorové brzdě, a nalézt optimální parametry řídicí jednotky pro daný SM a režim provozu. Z hlediska teoretického je třeba ocenit vzniklý model soustavy SM + PMSM, který využívá zjednodušené „kvazistacionární“ řešení, které je možné poměrně jednoduše naparametrizovat pomocí map popisujících chování jak SM, tak i PMSM.

Práce splňuje podmínky tvůrčí vědecké práce, autorovi doporučuji udělit titul Ph.D.

V Praze 1. března 2012

doc. Ing. Jan Chyský, CSc.