Oponentní posudek disertační práce

Název disertační práce:

Physical Modelling of Combustion Engine Process and Gas Exchange for Real-Time Applications

Autor disertační práce: **Ing. Jan Fořtl**

Oponent: doc. Ing. Karel Páv, Ph.D.

Obsah práce

Úkolem disertační práce bylo zhodnotit možnosti použití výpočtového modelu založeného na řešení soustavy diferenciálních rovnic přímo v elektronické řídící jednotce zážehového spalovacího motoru. Jako kritérium použitelnosti tohoto přístupu byla zvolena odchylka ve výpočtu množství vzduchu ve válci motoru od skutečnosti, která neměla být větší než 5%. Rychlost výpočtů byla omezena hardwarem současných řídících jednotek motoru pracujících s taktovací frekvencí 240MHz.

Splnění cílů práce

Autor vytvořil pět výpočtových přístupů – od nejsložitějšího 1D popisu až po 0D systém. Jednotlivé případy postupně systematicky zjednodušoval s cílem zajistit dostatečnou rychlost výpočtu na dostupném hardwaru řídící jednotky motoru. Na konkrétních výpočtech přeplňovaného zážehového motoru demonstroval nemožnost využití detailních 1D modelů, ale po akceptovatelných zjednodušeních se mu s redukovaným 0D modelem podařilo dosáhnout požadované rychlosti výpočtu, avšak za cenu zvýšení nepřesnosti výpočtu při nižších zatíženích motoru.

Úroveň rozboru současného stavu řešené problematiky

Rešeršní část je poměrně stručná s odkazy na zahraniční literaturu uvádějící možné způsoby výpočtů naplnění válce v řídící jednotce motoru v reálném čase. Spíše se jedná o strohý výčet aplikací, než aby se zabíhalo do detailů. Postupy používané při numerickém řešení soustavy diferenciálních rovnic zachování hmoty, hybnosti a energie jsou opět jen velmi stručně komentovány s uvedením odkazů na literaturu. Osobně to ale neshledávám jako nedostatek.

Teoretický přínos práce

Práce je spíše aplikačního charakteru, z teoretického hlediska lze v práci nalézt např. postupy při numerickém řešení soustavy diferenciálních rovnic nebo při extrapolaci charakteristik radiální turbíny a dmychadla, ale toto nebylo hlavním cílem disertační práce.

Praktický přínos práce

Z praktického hlediska je disertační práce velmi přínosná pro další rozvoj softwaru elektronických řídících jednotek motoru. Zavedení navrhovaného simulačního výpočtu přímo do řídící jednotky sníží časové i finanční náklady na základní odatování řídící jednotky při vývoji nového motoru nebo jen při změně stávajících komponent ovlivňujících naplnění válce. Fyzikální základ výpočtového modelu je jednoznačnou výhodou na rozdíl od v současnosti používaných "vyhledávacích tabulek", které je nutné pracně odatovat pro různé kombinace vstupních parametrů.

Vhodnost použitých metod řešení

V dnešní době často využívaných komerčních výpočtových nástrojů kladně hodnotím "klasický přístup" k řešení problematiky výpočtu naplnění válce spalovacího motoru. Autor prokázal schopnost numerického řešení diferenciálních rovnic, především s ohledem na stabilitu výpočtu. K tomuto účelu zvolil vhodné metody. V práci je řešena extrapolace charakteristiky turbodmychadla i aproximace některých uzlů, jako např. charakteristika škrtící klapky. Ke všem těmto prvkům, které mohou způsobit nestabilitu nebo velkou chybu výpočtu, přistupoval autor s cílem dosažení maximální kvality výpočtového modelu odrážejícího fyzikální podstatu, avšak ne za cenu zvýšení výpočtového času. Na druhou stranu, použitá regrese změřené střední teploty před turbínou je cestou ke ztrátě univerzálnosti fyzikálního modelu. Bohužel, autor nikde explicitně neuvádí v jakém konkrétním programovém nástroji byla soustava diferenciálních rovnic numericky řešena.

Formální úroveň zpracování

Práce je psána v anglickém jazyce srozumitelnou formou. Grafická úprava práce je na dobré úrovni. Práce však obsahuje relativné velký počet překlepů a formálních chyb. Z těch závažnějších uvádím: chyby ve vzorcích (1.6), (3.45), (3.64) a (3.66), špatný popisek k Obr.10, opakující se číselné označení kapitol 4.1, 5.1 a 5.2. Seznam veličin a použitého označení není řazen abecedně a navíc není úplný, chybí v něm celá řada použitých indexů, což komplikuje porozumění některých uváděných vztahů.

Závěr

Autor svou prací prokázal velmi dobré znalosti v oboru, předložená disertační práce toto odráží a dosahuje vysoké úrovně.

Disertační práci Ing. Jan Fořtla **doporučuji k obhajobě**.

Otázky

Byl bych rád, kdyby při obhajobě disertační práce byly zodpovězeny tyto otázky:

1) Modely M3 a M4 vykazují proti detailnějším modelům nižší střední hodnotu i amplitudu pulzací tlaku p_3 před turbínou - viz Obr.44, tlakový spád na turbíně je tedy jednoznačně nižší. Jak je možné, že tím není negativně ovlivněna vypovídací schopnost modelů?
2) Proč na Obr.48 při nízkém zatížení vypočtený tlak před turbínou předbíhá tlak měřený a při vysokém zatížení je tomu naopak?
3) Lze předpokládat, že se výpočtový fyzikální model bude používat v dohledné době v sériově vyráběných řídících jednotkách spalovacích motorů?

V Mladé Boleslavi, 1. 7. 2022

doc. Ing. Karel Páv, Ph.D.
ŠKODA Auto, a.s.
TU v Liberci