

Oponentní posudek disertační práce

Název práce: Adaptivní systémy řízení aktivních filtrů pevných částic pro vznětové motory

Autor: Ing. Jindřich Křivka

Školitel: doc. Ing. Jiří Skála, Ph.D., Západočeská univerzita v Plzni

Oponent: Ing. Matouš Bartl, Ph.D., MBtech Bohemia s.r.o.

Zhodnocení významu práce pro obor

Disertační práce Ing. Křivky se zabývá tématem řízení aktivních, elektricky regenerovatelných, filtrů pevných částic (ERDPF) vznětových motorů. Zaměřuje se na hledání metody, která by umožňovala zařízení dodatečně namontovat k motoru v postprodukční fázi, bez datového propojení s jeho řídicími jednotkami a senzory. Myšlenka takového zlepšení ekologie provozu mi přijde zajímavá, unikátní a vzhledem k v současnosti řešeným tématům životního prostředí velmi aktuální.

Vyjádření k postupu řešení, použitým metodám a splnění cílů práce

Autor postupuje při řešení zvoleného úkolu systematicky. Nejprve stručně popisuje svou motivaci a vytyčuje cíle práce. Následuje rešeršní část. Je zde stručný teoretický rozbor fyzikálně-chemických vlastností spalín, přehled platné legislativy a metod měření se zaměřením na emise pevných částic ve výfukových plynech vznětových motorů. Další kapitoly jsou věnovány principům funkce a konstrukci různých druhů v současnosti používaných DPF. Kapitola číslo 6 začíná popis vlastní práce vhodně postupně členěný od shrnutí počátečního stavu projektu, přes návrh mechanické a elektrické části až po kapitolu číslo 9 s návrhem autonomní, na informační síti vozidla nezávislé, metody pro řízení ERDPF systému. Tu považuji za stěžejní.

V závěru je zhodnocení projektu a míry splnění úkolů. Jsou zde také zmiňovány testy v laboratorních podmínkách i v reálném provozu. V práci bych proto uvítal i samostatnou kapitolu s jejich výsledky, porovnání s legislativním rámcem a případně i porovnáním s jinými DPF. Také by bylo vhodné uvést v závěru směry a možnosti dalšího vývoje pro případné pokračovatele.

Stanovisko k výsledkům a přínosu práce

Hlavní přínos jednoznačně spatřuji v metodě pro detekci zaplnění filtru bez využití informací jiných, než získaných přímo z vlastních snímačů systému. To umožňuje dodatečnou instalaci k prakticky jakémukoli vznětovému motoru bez nutnosti zásahu do jeho řízení. Tento výsledek považuji za původní a velmi aktuální a přínosný.

Vyjádření k systematicce, přehlednosti a formální a jazykové úrovni práce

Po formální stránce je práce v pořádku. Za malý nedostatek považuji popisky tabulek umístění pod tabulkami místo nad nimi, jak je doporučeno v normě ČSN ISO 7144 pro formátování podobných prací.

Jazyková úroveň ke konci práce klesá. Za nestandardní považuji použití první osoby činného rodu v závěrečných kapitolách práce. Někdy také do textu prosakují prvky plzeňského dialektu, například položka 11 obsahu: „Seznam autorovo prací“.

Vyjádření k publikacím studenta

Seznam publikací obsahuje velké množství položek, zejména funkčních vzorků a statí ve sbornících konferencí. Zastoupeny jsou jak vnitrostátní, tak i mezinárodní tuzemské i zahraniční konference, kde byly prezentovány výsledky práce. Požadavky na publikační činnost proto považuji za splněné.

Jednoznačné vyjádření oponenta

Po pečlivém zvážení, na základě výše uvedeného hodnocení předloženou disertační práci k obhajobě

doporučuji

Otázky k obhajobě

Velmi by mě potěšilo, kdyby Ing. Křivka u obhajoby zodpověděl následující otázky:

1. Navržený systém pracuje z uvedených důvodů s napětím 24V. Tím je značně omezen rozsah použití. Vidíte možnosti adaptace na palubní síť s napětím 12V nebo naopak vyšším, než 24V (pro použití u jiných, než automobilových vznětových motorů)? Co by obnášely?
2. Mezi požadavky „vyšších čísel“ emisních norem Euro patří i detekce chybné funkce systémů pro redukci emisí a následné reakce. Zároveň, jak je v práci zmíněno, může být následkem špatné průchodnosti filtru poškozen i motor. Které části vašeho ERDPF jsou nejrizikovější z hlediska selhání, bylo myšleno na detekci těchto stavů a existují možnosti předání informace vozidlu, do kterého může být systém zastaven?

V Plzni 27.7.2019

Ing. Matouš Bartl Ph.D.



Oponentský posudek disertační práce

Název: Adaptivní systémy řízení aktivních filtrů pevných částic pro vznětové motory

Autor disertační práce: Ing. Jindřich Křivka

Obor doktorského studia: Elektronika

Vysoká škola: Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická

Při posuzování disertační práce jsem vycházel ze skutečností uvedených v předložené disertační práci, aktuálnosti tématu, způsobu a metod řešení, dosažených výsledků, způsobu zpracování práce a dalších mně známých skutečností.

a) Zhodnocení významu disertační práce pro obor

Předložená disertační práce se zabývá tématem z oblasti ochrany životního prostředí prostřednictvím snižování emisí výfukových plynů. Konkrétně je práce zaměřena na vývoj filtrů pevných částic s aktivní elektrickou regenerací. Z pohledu stále se zvyšujících požadavků norem emisních předpisů lze konstatovat, že se jedná o téma aktuální.

b) Vyjádření k postupu řešení problému, použitým metodám a splnění určeného cíle

Studentem navržený cíl: návrh komplexního kompaktního emisního systému na filtraci pevných částic, který bude nezávislý na provozních datech z řídicích jednotek vozidla, lze považovat za správně nastavený. Kromě návrhu elektronického systému se student věnoval i návrhu konstrukce celého filtru za účelem integrace elektronického systému do samotného těla filtru. Požadavek na nezávislost filtru na informační infrastruktuře vozidla ho předurčuje pro možné dovybavení stávajících zařízení o novou technologii, tzn. retrofitting.

c) Stanovisko k výsledkům disertační práce a k původnímu konkrétnímu přínosu předkladatele disertační práce

Klíčovým výsledkem disertační práce je navržený „kompletní kompaktní emisní systém ERDPF filtru s aktivní regenerací“. Součástí tohoto systému je nově vytvořený elektronický ERDPF systém. Jedná se o modulární řešení skládající se ze dvou typů modulů (hlavní MC modul a sekundární CUx modul). Maximální konfigurace (1 hlavní modul a 8 sekundárních) umožňuje ovládat 24 aktivních elementů v jednom filtru. Pro řízení regenerace student využil metodu založenou na měření odporu aktivních elementů. Navržené řešení jako ekvivalent zaplnění filtru využívá poměr diferencních tlaků. Pro interpretaci tohoto poměru student vytvořil a optimalizoval konfigurovatelný mediánový filtr, který nazval Smart Balancing Moving Median Average Filter. Mezi výsledky disertační práce lze zařadit i konstrukční návrh ERDPF filtru a vytvoření jeho prototypu.

d) Vyjádření k systematice, přehlednosti, formální úpravě a jazykové úrovni disertační práce

Předložená práce má 122 stran včetně příloh. Práce je přehledně rozdělena do 10 hlavních kapitol. V seznamu literatury je uvedeno celkem 29 publikací, z nichž student čerpal. V práci je na většinu zdrojů odkazováno. V první úvodní kapitole je popsána motivace, výchozí stav a

jsou stanoveny cíle. Druhá kapitola je věnována problematice emisí výfukových plynů. Třetí kapitola popisuje pevné částice, jejich druhy, limity a metody měření koncentrace. Čtvrtá kapitola vysvětluje filtry pevných částic. Pátá kapitola popisuje podmínky provozu filtrů pevných částic. Elektricky regenerovaným filtrům pevných částic je pak věnována šestá kapitola. Jádro disertační práce je pak v kapitolách 7 až 9. Závěr práce je v kapitole desáté. Student pro dosažení zvolených cílů aplikoval akceptovatelný postup řešení problémů, což se týká i samotné metodiky vědecké práce. Úroveň zpracování práce je odpovídající.

Připomínky formálního charakteru:

1. V obrázcích je využíváno anglického jazyka (např. Obrázek 2.1, Obrázek 3.1 nebo Obrázek 3.3).
2. Předložená práce je psána v 1. osobě jednotného čísla. Odborný text bývá dobrým zvykem psát v trpném rodě.
3. Práce obsahuje drobné chyby a překlepy (např. str. 4 a str. 5 odkaz na kapitolu 0, popis Tabulek 3 a 4 zaměňuje Euro IV a Euro VI, atd.)

Připomínky a dotazy věcného charakteru:

1. Seznam použitých literárních zdrojů obsahuje pouze 29 položek. Velká část citovaných zdrojů pak pochází z portálu DieselNet, které mají dokonce stejného autora (Majewski, Andy W.). V jiných databázích jste odpovídající zdroje nenalezl? Věnuje se dané problematice ve větším rozsahu i někdo jiný?
2. V kapitole 8.2 popisujete náhradu výkonového relé pomocí MOSFET tranzistory (spínání HMS a spínání MS). Jakým způsobem je toto řešeno v jiných (např. konkurenčních) případech?
3. Použitým materiálem pro desky plošných spojů byl materiál FR4? Nezvažovalo se pro zvýšení teplotní odolnosti využít keramické substráty?
4. Firma General Motors (GM) vyvíjí tzv. EADPF filtry (Electrically Assisted Diesel Particulate Filter). Jaký je rozdíl oproti ERDPF filtrům?
5. Na str. 62 je uveden odkaz na projekt Ministerstva průmyslu a obchodu FR-TII/089, na jehož výsledek práce studenta navazuje. Jak je ošetřeno duševní vlastnictví vzniklých výsledků, které jsou uvedeny v práci?


e) Vyjádření k publikacím studenta

V disertační práci uvedený seznam publikací studenta obsahuje 31 položek souvisejících s tématem disertační práce a 51 položek nesouvisejících s tématem disertační práce. U řady položek se pravděpodobně jedná o nepublikační výsledky VaV. Bylo by vhodné, aby student v rámci obhajoby alespoň přehledově rozdělil své výsledky na publikační a nepublikační.

Přes uvedené připomínky student prokázal v práci schopnosti samostatné vědecké práce a orientace v dané problematice. Posuzovaná práce splňuje podmínky samostatné tvůrčí vědecké práce dle § 47 odst. 4 zákona č. 111/1998 Sb. a prováděcích předpisů pro řízení k obhajobě disertační práce, a proto ji

doporučuji k obhajobě.

V Plzni dne 24. 6. 2019.



doc. Ing. František Steiner, Ph.D.
oponent

Adresa:

Západočeská univerzita v Plzni

Fakulta elektrotechnická

Univerzitní 8

306 14 Plzeň

Tel.: 377634535

e-mail: steiner@ket.zcu.cz

Oponentní posudek disertační práce

Název: **Adaptivní systémy řízení aktivních filtrů pevných částic pro vznětové motory**

Autor: **Ing. Jindřich Křivka**

Školitel: **doc. Ing. Jiří Skála, Ph.D.**

Oponent: **doc. Ing. Vítězslav Stýskala, Ph. D.**
Katedra elektrotechniky
Fakulta elektrotechniky a informatiky
VŠB - Technická univerzita Ostrava
17. listopadu 2172/15, 708 00 Ostrava-Poruba
Tel. +420 596 995 920; e-mail: vitezslav.styskala@vsb.cz

Předložená disertační práce se v rozsahu 98 stran věnuje problematice potlačení emisí pevných částic ve výfukových plynech u vozidel se spalovacím vznětovým motorem a to s využitím filtru pevných částic. Zejména pak návrhu elektronické řídicí jednotky pro systém elektricky regenerovatelného filtru pevných částic. Dosažené výsledky jsou v práci dokumentované jednak pomocí laboratorních transientních testů vyvinutého systému a jednak experimentálním ověřením při testech v reálném provozu vozidla. Obsahově je práce rozdělena do deseti kapitol, seznamu literatury, autorových publikací (souvisejících a nesouvisejících s tématem práce) a příloh. Dle doporučení pro zpracování oponentských posudků hodnotím uvedenou práci z následujících hledisek:

a) Zhodnocení významu disertace pro obor

Zaměření disertační práce je stále velice aktuální i přesto, že přicházejícím problémem je řešení filtrů pevných částic pro zážehové spalovací motory. Práce je zaměřena do oblasti snižování emisí pevných částic ve výfukových plynech vznětových motorů motorových vozidel. Jedná se zejména o možnosti regenerací filtrů pevných částic tak, aby byla zajištěna jejich průchodnost a především co nejvyšší účinnost filtrace pevných částic. Řešení regenerace může být prováděno několika způsoby, avšak práce se věnuje především možnosti elektrického vyhřívání. Tyto filtry musí být umístěny ve výfukovém potrubí vozidla, což samo o sobě klade velmi vysoké nároky na komponenty tohoto systému z pohledu pracovních podmínek. Kvůli přísnějšímu omezení emisí emisními normami jsou kladeny i vyšší požadavky na účinnosti těchto systémů. Vzhledem k tomu, že se elektricky regenerovatelné filtry pevných částic téměř komerčně neuplatňují, tak předložená práce přináší nové poznatky z pohledu možných konstrukcí a aplikovatelnosti těchto filtrů.

b) Vyjádření k postupu řešení problému, použitým metodám a ke splnění stanoveného cíle

Zvolený postup řešení je dle mého názoru plně v souladu s obecnými zvyklostmi i se stanovenými cíli.

Práce je logicky členěna od úvodu do problematiky vzniku a kategorizace pevných částic ve výfukových plynech, spolu s rešerší současných přístupů a metod jejich filtrace. Vlastní řešení je obsahem kapitol 7 až 9 přes návrh vlastní mechanické konstrukce filtru pevných částic, až po detailní návrh elektronického řídicího systému a elektrických výkonových prvků. Navržené a realizované prototypové řešení je pak následně v laboratoři experimentálně testováno a ověřena jeho funkce v reálném provozu vozidla. Tím jsou naplněny i cíle disertační práce.

Součástí praktické realizace je návrh unikátní metody SBMMAF, která umožňuje interpretaci poměru diferenčních tlaků ve spalinové cestě, jako ekvivalentu zaplnění filtru pevných částic při jakémkoliv zatížení motoru.

c) Stanovisko k výsledkům disertační práce a původního konkrétního přínosu disertanta

Disertační práce je zaměřená především na řešení návrhu nového prototypu elektricky regenerovatelného filtru pevných částic včetně vlastního návrhu elektronické řídicí části. Tato koncepce cílí na univerzálnost řešení a mohla by pokrýt široký rozsah aplikací, především těch malosériových, popřípadě může být umístitelná do již provozovaných vozidel za účelem redukce emisí výfukových plynů.

V úvodních částech jsou zde velmi dobře popsány negativní vlivy pevných částic na lidský organismus a životní prostředí. V rešeršní části jsou také uvedeny stávající řešení filtrů pevných částic pro motorová vozidla, včetně možných způsobů jejich měření. Hlavní částí práce se zabývá návrhem nového řídicího systému aplikovatelného na 24 V palubní síť motorového vozidla. Vzhledem k redukci pevných částic systémem mechanického filtru s aktivní regenerací bylo nutné provést návrh vhodného elektrického elementu pro iniciaci regenerace filtrační části. Součástí je tedy i návrh konkrétního HW řešení s ohledem na provozní podmínky v motorovém vozidle dle jeho výkonové kategorie. Nejprve se autor zabývá výběrem a konstrukcí filtrační části filtru, včetně samotného vyhřívání za účelem aktivní regenerace. Následně pak navazuje problematikou návrhu mechanického provedení filtru, včetně vytvoření několika prototypových řešení.

V dalších částech práce pak detailně řeší a popisuje možnosti umístění elektronické části přímo do těla filtru, což je problematické vzhledem k provozním podmínkám – vysoká teplota, aj. Nastavené umístění se zdá být optimální a elektronické komponenty nebudou tepelně namáhány. Navržený elektronický systém osazený v těle 12 AE ARYAN ERDPF filtru byl podroben rozsáhlému testování jak v laboratorních, tak i reálných podmínkách v instalaci na testovacím vozidle. Filtr byl rovněž, jak uvádí autor, testován u potenciálního zákazníka v Íránské islámské republice v laboratořích IDEM. Výsledky některých testů a měření jsou v práci prezentovány ve formě grafů, tabulek nebo slovního komentáře. V globále bohužel není jasně zdokumentován přínos filtru z pohledu emisí pevných částic do ovzduší, popřípadě jeho účinnost v porovnání s komerčními řešeními.

Poznámky k disertační práci a otázky pro doktoranda, které v žádném případě nesnižují úroveň této práce a slouží především k diskusi při obhajobě, jsou uvedeny v příloze.

d) Vyjádření k systematičnosti, přehlednosti, formální úpravě a jazykové úrovni

Zpracování předložené práce je na velmi dobré úrovni. Jednotlivé kapitoly práce vytvářejí logickou návaznost řešených problémů umožňující dobré seznámení se s danou problematikou. Z hlediska jazykové stránky není práce psána v trpném rodě, což snižuje jinak dobrou odbornou úroveň. V práci se v malé míře vyskytují překlepy nebo gramatické chyby. Občas jsou špatně uvedeny odkazy na kapitoly (např. odkaz na kapitolu 0 na str. 5). Některé převzaté obrázky trpí horší čitelností, naopak autorova vhodně volená fotodokumentace reálného řešení příznačně doplňuje textový komentář. Celkové grafické zpracování pak hodnotím pozitivně.

e) Vyjádření k publikacím doktoranda

Seznam publikací doktoranda je uveden na stranách 102 až 106. Obsahuje celkem 82 titulů, z toho několik článků prezentovaných na mezinárodních konferencích. Z celkového počtu publikačních titulů doktoranda s tématem práce souvisí celkem 31 publikací. Publikační aktivitu považuji za nadprůměrnou, neboť překračuje obvyklý počet publikací disertačních prací obvyklých v ČR. Bohužel většina těchto publikací se nezabývá přímo problematikou, na které je postaveno jádro disertační práce.

f) Doporučení

Disertační práce ověřuje a rozšiřuje stávající poznatky v oblasti konstrukce a uplatnění elektricky regenerovatelných filtrů pevných částic u vozidel se vznětovým spalovacím motorem. Dále ověřuje navržený elektronický řídicí systém, který se dle doložených testů zdá být zcela funkční.

Doktorand zvládl vysokou náročnost práce a dovedl navržený systém do funkční prototypové fáze. Vzhledem k odpovídajícímu zpracování disertační práci pana Ing. Jindřicha Křivky s názvem „*Adaptivní systémy řízení aktivních filtrů pevných částic pro vznětové motory*“

doporučuji k obhajobě

a v souladu se zákonem č. 111/1998 Sb. o vysokých školách doporučuji mu po úspěšné obhajobě udělit titul Ph. D.

V Ostravě, dne 10. 6. 2019



doc. Ing. Vítězslav Stýskala, Ph. D.

Příloha

Poznámky a dotazy k doktorské disertační práci.

1. V práci nejsou doloženy výsledky emisních analýz výsledného prototypového řešení. Do jaké emisní normy dle evropského předpisu 2017/1151 navržené řešení spadá?
2. Jakým způsobem je řešeno jištění proti zkratu, nebo přetížení výkonové části ERDPF? (Mechanický ruční odpojovač baterie asi není optimální řešení ... ?)
3. Jakým způsobem je řešeno jištění řídicí části ERDPF? (KL30, KL15 apod.)
4. Řešení pro 12 V palubní síť bylo autorem zavrženo. Je tedy uváděné řešení vhodné pouze pro nákladní a užitková vozidla, nebo i pro pracovní stroje? Existuje možnost zabudování do vozidla s 12 V palubní sítí?