



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

ELEKTRONICKÉ ŘÍDICÍ JEDNOTKY SOUČASNÝCH ZÁŽEHOVÝCH SPALOVACÍCH MOTORŮ

ELECTRONIC CONTROL UNITS OF PRESENT SI-ENGINES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

LUKÁŠ MICHNA

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. RADIM DUNDÁLEK, Ph.D.

BRNO 2010

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Lukáš Michna

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Elektronické řídicí jednotky současných zážehových spalovacích motorů

v anglickém jazyce:

Electronic control units of present SI-engines

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Popište princip elektronického řízení současných zážehových motorů. Dále popište jednotlivé komponenty a uveďte přehled výrobců, kteří tyto jednotky vyrábí a jejich případné výhody/nevýhody.

Cíle bakalářské práce:

1. Popište princip elektronického řízení současných zážehových motorů.
2. Popište jednotlivé komponenty a uveďte přehled výrobců, kteří tyto jednotky vyrábí a jejich případné výhody/nevýhody.

Seznam odborné literatury:

- [1] Rauscher, J.: Sylabus - Vozidlové motory
- [2] Vlk, Rauscher: Sylabus - Příslušenství motorových vozidel
- [3] Rauscher, J.: Sylabus - Spalovací motory

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Radim Dundálek, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2009/2010.

V Brně, dne 9.11.2009

L.S.

prof. Ing. Václav Pištěk, DrSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

Bakalářská práce „Elektronické řídicí jednotky současných zážehových spalovacích motorů“ pojednává o v současné době známých a rozšířených elektronických systémech řízení spalovacích motorů, tedy těch, jejichž hlavní funkcí je řízení přípravy zápalné směsi paliva se vzduchem i jejího následného zapálení ve spalovacím prostoru. Tyto dvě funkce jsou stěžejní pro chod motoru, a proto o nich publikace pojednává z hlediska obecného principu fungování i z hlediska popisu jednotlivých druhů těchto systémů, potažmo vývojových stádií. Dalším sledovaným cílem je výčet a popis jednotlivých komponent systému podílejících se na řízení motoru, rozčleněných do logických celků. Závěr práce pak seznamuje čtenáře s jednotlivými rozšířenými typy elektronických řídicích systémů, jejich výrobci a základními odlišnostmi.

Bachelor's thesis named „Electronic control units of present SI-engines” treats of presently known and extended electronic control systems of SI-engines, so those ones, who mainly control both fuel-air mixture preparing and its ignition in combustion chamber. These are two fundamental functions for engine running, so they are described in light of basic principle of operation and also in light of each kind of these systems and its developmental stage description. Next point is enumeration and description of single parts of electronic control system participating in engine controlling, separated to logic sections. The end of publication makes reader acquainted with most extended types of electronic control systems, their producers and elementary differences.

Klíčová slova:

Elektronický, řídicí, systém, jednotka, současný, zážehový, spalovací, motor, vstřikování, centrální, vícebodové, přímé, zapalování, benzin, Bosch, Motronic, Mono-Motronic, EEC, Visteon, Black-Oak, Siemens, SIM20

Keywords:

Electronic, control, system, unit, present, SI-engine, spark, ignition, engine, injection, central, single-point, multi-point, direct, petrol, Bosch, Motronic, Mono-Motronic, EEC, Visteon, Black-Oak, Siemens, SIM20

Prohlášení autora o původnosti práce:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité prameny a literaturu.

Lukáš Michna

.....

Obsah

Úvod	1
1 Rozdělení vstřikování a zapalování	2
1.1 Vstřikování benzínu	2
1.2 Zapalovací systémy	5
2 Popis jednotlivých komponent	7
2.1 Snímače	7
2.1.1 Snímač množství nasávaného vzduchu	7
2.1.2 Snímač tlaku v sacím potrubí	8
2.1.3 Snímač polohy škrticí klapky	8
2.1.4 Snímač otáček a polohy klikového hřídele	9
2.1.5 Snímač polohy vačkového hřídele	9
2.1.6 Lambda sonda	10
2.1.7 Snímače klepání – detonačního spalování	10
2.1.8 Snímače teploty motoru a nasávaného vzduchu	11
2.1.9 Napětí akumulátoru	11
2.2 Akční členy	11
2.2.1 Elektromagnetický vstřikovací ventil	11
2.2.2 Regulace volnoběžných otáček	12
2.2.3 Odvětrání palivové nádrže	12
3 Přehled výrobců elektronických řídicích systémů	13
3.1 Bosch Motronic	13
3.2 Bosch Mono-Motronic	13
3.3 Bosch Motronic MED 7	13
3.4 Ford EEC	14
3.5 Visteon Black-Oak	15
3.6 Siemens SIM20	15
Závěr	16

Úvod

Elektronické řízení spalovacích motorů se v minulosti stalo nedílnou součástí automobilového průmyslu. Jde o oblast tak významnou, že se stala samostatným vývojovým odvětvím. O jejím významu svědčí zejména fakt, že dnes jen těžko najdeme spalovací motor, který by nebyl řízen elektronicky.

V této publikaci se zaměřím na elektronické systémy zážehových spalovacích motorů. Začneme tedy otázkou, co to vlastně elektronické řízení spalovacího motoru je:

Elektronické systémy v motorovém vozidle jsou důležitým pomocným prostředkem k plnění vysokých nároků především na:

- zvýšení hospodárnosti
- zvýšení bezpečnosti
- zvýšení jízdního komfortu
- snížení negativních dopadů na životní prostředí

Mozkem elektronického řízení současných zážehových motorů je řídicí jednotka (dále ŘJ). Její základní funkcí je řízení vstřikování paliva – příprava zápalné směsi – a zapalování. K tomu potřebuje velké množství provozních dat, která snímají jednotlivé snímače. Mezi vstupy patří především: zapalování (zapnuto či vypnuto), poloha vačkových hřídelů, poloha klikového hřídele, rychlost jízdy, otáčky, teplota motoru, teplota a množství nasávaného vzduchu, úhel natočení škrtkové klapky, snímač klepání, lambda sonda atd... ŘJ tyto hodnoty vyhodnocuje a na základě uložených algoritmů vypočítává ovládací signály, které posléze zesíleny koncovými stupni ovládají akční členy, jež řídí provozní stav motoru. Tím je dosaženo synchronizace vstřikování paliva, optimální přípravy směsi a jejího zapálení ve správný okamžik při různém zatížení spalovacího motoru. Výchozími požadavky je přitom nejen optimální výkon motoru při zachování co nejvyšší hospodárnosti provozu, ale především splnění stále vyšších nároků na minimalizaci negativního dopadu na životní prostředí. Tento trend je v současnosti zřejmě hlavním důvodem neustálého vývoje řídicích systémů spalovacích motorů. Zdaleka však nelze opomenout ani stále rostoucí důraz na jízdní komfort, jehož cílem je snížit potřebu koncentrace řidiče na ovládání vozidla a dát mu tak větší prostor k soustředění se na dopravní situaci apod. Zpravidla tak v moderních automobilech najdeme kromě ŘJ pro řízení motoru i další řídicí jednotky zajišťující činnost dalších elektronických systémů – protiblokovací systém brzd (ABS), systém regulace prokluzu hnacích kol (ASR), řízení automatické převodovky, airbagy, klimatizace, imobilizér a mnoho dalších. ŘJ motoru přitom s ostatními ŘJ komunikuje a dokáže přizpůsobit řízení motoru aktuální situaci (např. omezení krouticího momentu při prokluzu kol apod.).

Současně jsou dnešní ŘJ vybaveny tzv. on-board diagnostikou (OBD II, EOBD). Tento systém posuzuje pravděpodobnost korektnosti vstupních údajů ze snímačů. V momentě, kdy se obdržená hodnota vychýlí z daných mezí, systém daný snímač vyhodnotí jako nesprávně fungující a přepne řízení do nouzového režimu. Za chybnou hodnotu buď dosadí nastavenou konstantu, nebo provozní stav motoru dopočítá z ostatních dat. Motor je tak schopen provozu i při poruše některých částí řídicího systému (vyjma např. snímače otáček klikového hřídele). Současně se závada uloží do paměti jednotky a lze tak snadno identifikovat vyčtením závad počítačem s příslušným softwarem připojeným k vozidlu přes diagnostickou zásuvku.

Elektronické řídicí systémy jsou dnes natolik sofistikovanou záležitostí, že je jen několik výrobců na Světě, kteří se jejich vývojem seriózně zabývají. Mezi nejvýznamnější patří bezesporu firma Bosch.

1 Rozdělení vstřikování a zapalování

Jak už bylo předesláno v úvodu, elektronický řídicí systém spalovacího motoru je poměrně složité zařízení, jehož mozek – řídicí jednotka – zpracovává data z jednotlivých snímačů umístěných na motoru a podle aktuálního zatížení řídí pomocí akčních členů provozní stav motoru. Rámcově lze tyto systémy rozdělit do dvou základních oblastí definovaných tím, zda se elektronika stará jen o přípravu zápalné směsi benzínu se vzduchem, či o kompletní motor management, tzn. přípravu směsi i její zapálení. Tyto oblasti by se daly dále dělit na množinu podoblastí v závislosti na tom, o jaký druh přípravy směsi (vstřikování) či zapalování se jedná. Pojďme si jednotlivé druhy přiblížit v následujících kapitolách.

1.1 Vstřikování benzínu

Ke spalování zápalné směsi ve spalovacím prostoru motoru je potřeba určitý poměr vzduchu a paliva. Ideální teoretický poměr je označován jako stechiometrický poměr a je roven 14,7 kg vzduchu na 1 kg paliva. Pro reálné úplné spalování (a tím i pro nejnižší spotřebu) je však nutný přebytek vzduchu, ten je ovšem limitovaný zápalností směsi a použitelnou dobou hoření. V praxi se používá poměr 15÷18 kg vzduchu na 1 kg paliva. Znamená to, že ke spálení jednoho litru benzínu je zapotřebí asi 10 000 litrů vzduchu.

Dnešní motory jsou konstruovány tak, aby dosahovaly nejnižší spotřeby v oblasti částečného zatížení, v níž jsou většinu času provozovány. Zároveň je ale nutné dodávat bohatší směs v oblastech plného zatížení či volnoběhu. Systém přípravy směsi musí být tedy především schopen pružně upravovat bohatost směsi v závislosti na zatížení.

Pro určení odchylky skutečného poměru vzduchu a paliva od stechiometrického byl zaveden tzv. součinitel přebytku vzduchu neboli vzdušný součinitel λ vyjadřující poměr skutečně přivedené hmotnosti vzduchu ku hmotnosti vzduchu potřebné pro stechiometrické spalování.

$\lambda = 1$ – množství přivedeného vzduchu odpovídá teoreticky potřebnému

$\lambda < 1$ – nedostatek vzduchu neboli bohatá směs; nejvyššího výkonu je dosaženo při
 $\lambda = 0,85 \div 0,95$

$\lambda > 1$ – přebytek vzduchu neboli chudá směs; snižující se spotřeba paliva nastává mezi
 $\lambda = 1,05 \div 1,3$

$\lambda > 1,3$ – směs již není schopná zapálení, dochází k vynechávání spalování

Některé provozní stavy však vyžadují odlišné složení zápalné směsi, a je tedy vyžadována jeho korekce:

Při studeném motoru dochází ke kondenzaci paliva na chladných stěnách válců a sacího potrubí a k nedostatečnému odpařování a promíchávání paliva se vzduchem vlivem nízkých teplot, což má za následek ochuzení směsi. Aby byl umožněn start studeného motoru, je potřeba přivést větší množství paliva. Při nízkých teplotách je dále nutné krátkodobé obohacení směsi, než dojde vlivem zvýšení teplot ve spalovacím prostoru k lepší přípravě zápalné směsi.

Po startu následuje zahřívání motoru. V této fázi stále ještě část paliva kondenzuje na chladných stěnách válců či v sacím potrubí, a je tedy potřeba připravovat bohatší směs. Čím je teplota motoru nižší, tím je směs bohatší a spotřeba paliva vyšší. Je tedy žádoucí co nejvíce podpořit a zkrátit dobu ohřevu motoru, zejména optimalizací chladícího okruhu či ohřevem nasávaného vzduchu výfukovými plyny.

Částečné zatížení motoru umožňuje použití chudší směsi, což má pozitivní vliv na spotřebu. U stále používanějšího třicestného katalyzátoru je však kvůli zajištění jeho správné funkce nutné naladit směs na $\lambda = 1$.

Plně otevřená škrticí klapka je ŘJ vnímána jako požadavek maximálního výkonu, v tom případě je bohatost směsi upravena na $\lambda = 0,85 \div 0,90$. Rychlé otevření škrticí klapky však způsobí krátkodobé ochuzení směsi vlivem omezeného odpařování paliva způsobeného přetlakem v sacím potrubí. Tento jev je kompenzován obohacením směsi závislým na teplotě motoru.

Brzdíme-li motorem, ŘJ přeruší dodávku paliva. Tento stav je výhodný zejména díky úspoře paliva, životního prostředí i brzdového systému, a je tedy dobré naučit se jej používat. Brzdění motorem je definováno sepnutým spínačem volnoběžné polohy škrticí klapky a otáčkami vyššími než volnoběžné.

Z uvedených příkladů je zřejmé, že na přípravu směsi jsou v závislosti na zatížení motoru kladeny velmi rozmanité nároky. Dříve používané karburátory nejsou schopny pro svou relativní jednoduchost tyto nároky plnit, proto se v dnešní době používají především právě vstřikovací systémy.

Podle umístění vstřikovacího ventilu rozlišujeme tři způsoby vstřikování benzínu:

- centrální (bodové, jednobodové) vstřikování (obr. 1. 1 a)
- vícebodové vstřikování (obr. 1. 1 b)
- přímé vstřikování (obr. 1. 1 c)

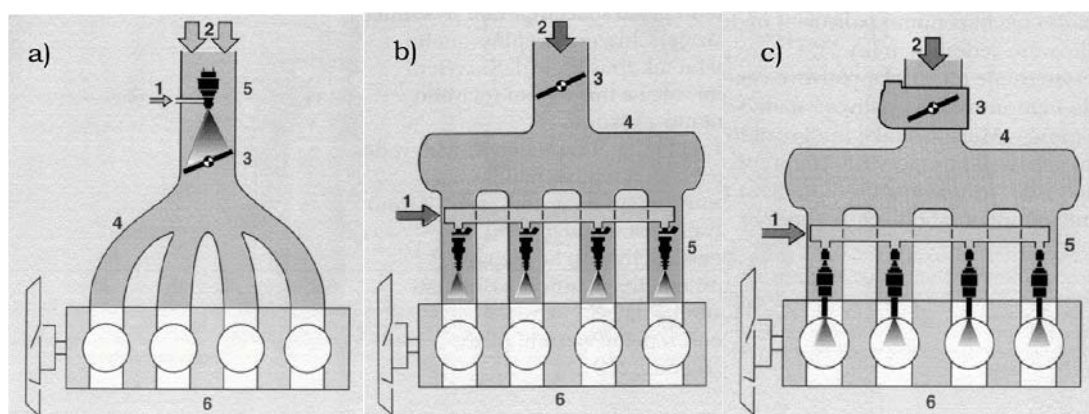
Centrální vstřikování – všem válcům je přiřazen jeden vstřikovací ventil umístěný nad škrticí klapkou – odpovídá umístění karburátoru. Výhodou oproti karburátoru je snížení průtočného odporu, nevýhoda tohoto systému spočívá v absenci možnosti dávkování paliva pro jednotlivé válce. Navíc není zabráněno kondenzaci paliva na chladných stěnách sacího potrubí. Tento systém je vhodný pro nejvýše čtyřválcové motory s výkonem do 80 kW.

Vícebodové vstřikování – každému válci je přiřazen jeden vstřikovací ventil, který vstřikuje palivo přímo před sací ventil daného válce. To zajišťuje rovnoměrné plnění jednotlivých válců palivem a je eliminována kondenzace paliva na stěnách sacího potrubí za nízkých teplot. Výhodou tohoto systému je, že nevyžaduje příliš vysoký tlak paliva ve vstřikovacích ventilech (např. 0,3 MPa), což má pozitivní vliv na jejich životnost.

Přímé vstřikování – benzin je vstřikován přímo do spalovacího prostoru jednotlivých válců, a to pod tlakem až 10 MPa. Tento způsob přípravy směsi je ze všech nejúčinnější, lze dosáhnout snížení spotřeby až o 40% při trvalém snížení emisí CO_2 . Přímý vstřik benzínu se během posledních deseti let velmi prudce rozšířil, dříve tomu bránily poměrně vysoké konstrukční nároky.

Základem tohoto systému je tzv. vrstvené plnění, které dovoluje pracovat s velmi chudou směsí ($\lambda = 1,5 \div 3,0$). Aby byla takto chudá směs zapalitelná, používá se princip tzv. tumble-proudění (víření směsi kolmé na osu válce), díky němuž vzniká v okolí zapalovací svíčky poněkud bohatší směs, zatímco v okrajových částech spalovacího prostoru je prakticky čistý vzduch. Tento režim znamená výraznou úsporu paliva a uplatňuje se do poloviny zátěže a poloviny jmenovitých otáček. Po překročení těchto mezí začne motor nejprve pracovat v režimu chudého plnění – režim s vrstvenou směsí ($\lambda \approx 1,5$), načež se klapka tumble otevírá, až je dosaženo otevření sacího kanálu v plném průřezu ($\lambda \leq 1$) – režim s homogenní směsí.

Jedním ze zásadních problémů, které dříve bránily v rozšíření přímého vstřiku, je nadměrná produkce oxidů dusíku NO_x v režimu vrstveného plnění (chudá směs). Tento problém byl vyřešen zařazením druhého, tzv. zásobníkového katalyzátoru NO_x do výfukového potrubí. V režimu vrstveného plnění tento katalyzátor shromažďuje škodlivé oxidy dusíku, v režimu homogenního plnění je pak redukuje na neškodný dusík. Snímač NO_x měří množství oxidů dusíku v katalyzátoru a vyhodnotí-li, že je plný, dá povel ŘJ k vyčištění. Ta změni režim z vrstveného na homogenní plnění. Tento jev se nazývá regenerace katalyzátoru. Dalším problematickým chemickým prvkem ve výfukových zplodinách je síra, která zanáší zásobníkový katalyzátor a tím snižuje jeho účinnost. K vyčištění je potřeba zahřát katalyzátor nad teplotu 650°C , k tomu opět slouží povel snímače NO_x řídicí jednotce, která změni režim na homogenní s $\lambda < 1$.



Obr. 1. 1 Vstřikování benzínu [3]

a) centrální vstřikování, b) vícebodové vstřikování, c) přímé vstřikování
 1 palivo, 2 vzduch, 3 škrtkicí klapka, 4 sací potrubí, 5 vstřikovací ventily, 6 motor

Podle časového průběhu vstřikování rozlišujeme

- vstřikování kontinuální – palivo je vstřikováno nepřetržitě
- vstřikování periodické – palivo je vstřikováno přerušovaně

U elektronického vstřikování benzínu dále rozlišujeme

- simultánní vstřikování
- skupinové vstřikování
- sekvenční vstřikování

Simultánní vstřikování – všechny vstřikovací ventily vstřikují palivo ve stejný okamžik, dvakrát za cyklus, tedy jednou za otáčku klikového hřídele; okamžik vstřiku je dán pevně předem.

Skupinové vstřikování – vstřikovací ventily jsou rozděleny do dvou skupin, každá z nich vstřikuje jednou za cyklus, časový odstup mezi skupinami je jedna otáčka klikového hřídele; okamžik vstřiku lze časovat dle provozních podmínek.

Sekvenční vstřikování – vstřikovací ventily jsou ovládány nezávisle na sobě; okamžik vstřiku lze plně optimalizovat pro každý válec zvlášť.

1.2 Zapalovací systémy

Jednotlivé zapalovací systémy zážehových motorů se liší způsobem získání vysokého napětí, jeho následného rozdělení a přenosu a způsobem regulace předstihu.

Okamžik zapálení směsi je závislý na otáčkách a zatížení motoru. S rostoucími otáčkami musí dojít k dřívějšímu zapálení, jelikož doba prohoření je za daných podmínek konstantní. Stejně tak je potřeba směs zapálit dříve při nižším zatížení motoru, protože vlivem menšího naplnění válce dochází k nedokonalému vyplachování spalovacího prostoru od zbytkových plynů, což má za následek větší prodlevu hoření a nižší rychlost prohořívání směsi.

Předstihem zážehu rozumíme polohu klikového hřídele před horní úvratí v okamžiku zapálení směsi.

Regulace předstihu zážehu je změna předstihu v závislosti na otáčkách a zatížení motoru. Elektronická zapalování zohledňují řadu dalších faktorů, jako např. teplotu či změnu složení směsi.

Vysoké napětí je indukováno cívkou po odpojení primárního vinutí od napájení a transformací a následně přivedeno na svíčku válce nacházejícího se v kompresním zdvihu. Při použití mechanického rozdělovače je identifikace daného válce dána vazbou hřídele rozdělovače s klikovým hřídelem. U bezrozdělovačových systémů je místo toho použit signál ze snímače natočení klikového nebo vačkového hřídele.

Předstih má významný vliv na spotřebu paliva, množství produkovaných škodlivin, točivý moment motoru, ale i na jeho životnost. S rostoucím předstihem rostou emise nespálených uhlovodíků (HC) a oxidů dusíku (NO_x). U spotřeby je to však přesně naopak, čím je směs chudší, tím musí být, pro nižší rychlost spalování, zapálena dříve.

Dalším předstihem ovlivněným jevem je náchylnost ke klepání neboli detonačnímu spalování. Tento jev nastává v případě, že je směs zapálena příliš brzy, čímž ve spalovacím prostoru prohořívá nerovnoměrně a způsobuje tlakové rázy slyšitelné zejména v nižších otáčkách jako klepání či zvonění, a může vést k poškození motoru. Lze odstranit optimalizací předstihu či použitím paliva s vyšším oktanovým číslem.

Je tedy zřejmé, že (obdobně jako u přípravy směsi) i na zapalovací systémy jsou kladeny vysoké požadavky, které si postupně vyžádaly použití elektroniky.

Rozlišujeme čtyři druhy zapalovacích systémů:

- cívkové zapalování
- tranzistorové zapalování
- elektronické zapalování
- plně-elektronické zapalování

Cívkové zapalování – primární proud protékající cívkou je přerušován mechanickým kontaktem (přerušovačem), ten je ovládán vačkou v rozdělovači. Jde o nejjednodušší druh zapalování. Vysoké napětí je rozdělováno k jednotlivým válcům úhlem natočení palce rozdělovače, jenž je spojen s klikovým hřídelem. Předstih je určen odstředivým regulátorem předstihu (závislost na otáčkách) a podtlakovým regulátorem předstihu (závislost na zatížení motoru). Tento systém je značně zastaralý, již počátkem 80. let byl plně nahrazen tranzistorovým zapalováním.

Tranzistorové zapalování – rozlišujeme 3 typy tranzistorového zapalování: řízené kontakty, s Hallovým snímačem v rozdělovači a s induktivním snímačem v rozdělovači.

U kontakty řízeného tranzistorového zapalování je vysoké napětí, stejně jako u cívkového zapalování, rozdělováno k jednotlivým válcům pomocí rozdělovače, přerušovač však nespíná primární proud, ale řídicí proud pro tranzistorové zapalování. To plní úlohu proudového zesilovače a spíná primární proud přes zapalovací tranzistor.

Tranzistorové zapalování s Hallovým snímačem v rozdělovači je bezkontaktní, kontaktní přerušovač primárního proudu je nahrazen Hallovým snímačem v rozdělovači, který úhel sepnutí určuje tvarem rotoru v rozdělovači a posílá signál řídicí (spínací) jednotce. Analogii můžeme nalézt u třetího typu, samozřejmě s osazeným indukčním snímačem namísto Hallova.

Elektronické zapalování – vysoké napětí je k jednotlivým válcům přenášeno rozdělovačem, o regulační charakteristiky se stará řada snímačů a elektronická ŘJ. Informaci o otáčkách motoru zajišťuje snímač otáček, snímač tlaku dodává signál zatížení. Mikroprocesor v ŘJ vypočítává na základě těchto údajů potřebné přestavení předstihu a modifikuje výstupní signál pro spínací jednotku zapalování. Tím je zajištěna optimalizace provozu motoru, jenž je daleko výkonnější a přesnější než u mechanické regulace charakteristik. V ŘJ je definováno asi 1000 až 4000 hodnot předstihu v závislosti na otáčkách a zatížení – tzv. pole charakteristik. Elektronické zapalování však zohledňuje mnohem víc faktorů, jmenujme např. teplotu motoru, vzdálenost od hranice klepání, spotřebu paliva, točivý moment či emise výfukových plynů. Tyto a další hodnoty slouží jako dodatečné korekční funkce.

Při zavřené škrticí klapce je zvolena speciální charakteristika pro volnoběh a brzdění motorem. Při poklesu otáček motoru pod předepsanou hranici volnoběžných otáček je předstih zvětšen, čímž dojde ke stabilizaci volnoběhu zvýšením točivého momentu. Při brzdění motorem jsou z důvodů emisí výfukových plynů a plynulému chodu odladěny zvláštní hodnoty předstihu. Při plném zatížení (škrticí klapka zcela otevřená) je zvolena charakteristika plného zatížení, zde je předstih optimalizován zejména vůči hranici klepání. Při startu motoru může být předstih naprogramován jako funkce otáček a teploty motoru, bez ohledu na pole charakteristik. Toto řešení umožní dosažení vysokého točivého momentu bez vzniku zpětných rázů.

Plně-elektronické zapalování – řízení předstihu je shodné s elektronickým zapalováním, avšak na rozdíl od něj se v tomto systému vysoké napětí nedistribuuje skrze rotační rozdělovač, nýbrž soustavou více zapalovacích cívek. Toto řešení nese výhody zejména v: podstatně menší úrovni elektromagnetického rušení vlivem absence nekrytých jisker, snížení hlučnosti díky menšímu počtu rotujících dílů, snížení počtu vysokonapětových spojů, a v neposlední řadě v konstrukčních výhodách pro výrobce motoru. Zapalovací cívky jsou buď jednojiskrové – kdy každému válci (svíčce) přísluší jedna cívka, dvoujiskrové – počet cívek odpovídá polovině počtu válců, každá cívka „pálí“ současně na svíčkách dvou válců, které jdou „spolu“, tedy jejich pracovní cyklus je vzájemně posunut o 360°, či čtyřjiskrové – zjednodušeně jde o spojení dvou dvoujiskrových cívek.

2 Popis jednotlivých komponent

Aby mohlo být elektronické řízení spalovacího motoru realizováno, musí být vozidlo (a zejména motor sám) vybaveno kromě ŘJ i řadou dalších zařízení. Tyto komponenty můžeme dle jejich funkce dělit do dvou skupin:

snímače – snímají provozní stav motoru a získaná data předávají řídicí jednotce, a
akční členy – jejich prostřednictvím řídí ŘJ na základě dat ze snímačů provozní stav motoru.

Z předchozí definice je zřejmé, že elektronické řízení probíhá na základě zpětné vazby. Tento druh řízení se nazývá regulace. Regulací tedy rozumíme udržování zvolené fyzikální veličiny na předem určené hodnotě nebo na nějak se měnící hodnotě. Fyzikální veličina je měřena snímači a srovnávána s požadovanou hodnotou. V závislosti na naměřených odchylkách zasahuje ŘJ prostřednictvím akčních členů do řízení motoru tak, aby byly odchylky odstraněny. Kromě regulace se setkáváme s dalším druhem řízení – ovládání, což je řízení bez této zpětné vazby.

V následující kapitole si představíme jednotlivé snímače a akční členy, jejich princip činnosti, způsob získávání či zpracování dat a také vliv na samotné řízení motoru.

2.1 Snímače

2.1.1 Snímač množství nasávaného vzduchu

Jedna z hlavních veličin pro výpočet vstřikovaného množství paliva a okamžiku zážehu je zatížení motoru. Pro jeho stanovení se používá snímač množství nasávaného vzduchu. Jedná se o zařízení zařazené v sacím potrubí, zpravidla před škrtkou klapkou. Existují tři základní druhy:

Měřič objemového průtoku vzduchu [m^3/s] – hlavním konstrukčním prvkem je vzduchová klapka spojená s potenciometrem. Nasávaný vzduch působí na tuto klapku a vychyluje ji proti působení síly pružiny ze zavřené polohy. Úhel natočení je snímán potenciometrem, který sestává z jezdce a odporové dráhy. Vstupní elektrický signál je potenciometrem upraven a poslán zpět do ŘJ. Rozdíl mezi vstupním a výstupním signálem udává úhel natočení klapky, které ŘJ vyhodnocuje jako zatížení motoru.

Tento princip měření průtoku vzduchu má dvě velké nevýhody. Zaprvé klapka klade nasávanému vzduchu značný odpor, což má nepříznivý vliv na plnění válců, a tedy na výkon, spotřebu a další provozní charakteristiky motoru. Zadruhé toto zařízení není schopné změřit absolutní množství vzduchu, tedy jeho hmotnost. Ta je v závislosti na změřeném objemovém toku přímo úměrná jeho hustotě, která se ale značně mění s teplotou a tlakem. Pro zpřesnění výpočtových údajů jsou hodnoty teploty a tlaku měřeny dalšími snímači a použity jako korekční veličiny.

Měřič hmotnostního průtoku vzduchu se žhaveným drátem [kg/s] – jedná se o termický snímač zatížení. V proudu nasávaného vzduchu se nachází elektricky vyhřívané tělísko tvořené 70 μm tenkým platinovým drátkem, které je proudem vzduchu ochlazováno. Regulační obvod přivádí vyhřívací proud o takové velikosti, aby rozdíl teploty tohoto tělíska vůči teplotě nasávaného vzduchu byl konstantní. Velikost vyhřívacího proudu je pak úměrná hmotnosti proudu vzduchu. Hustota vzduchu je u tohoto systému zohledněna, protože je spoluurčena velikostí přenosu tepla z vyhřívaného tělíska. Žhavicí elektrický proud vytváří na

přesném měřicím odporu proporcionální napěťový signál, úměrný hmotnosti proudu vzduchu, který je přiváděn k řídicí jednotce.

Nevýhodou tohoto systému by mohl být vznik nepřesnosti měření v důsledku zanášení vyhřívaného drátu. Pro minimalizaci těchto nepřesností je proto při každém vypnutí motoru vyhřívaný drát na jednu sekundu rozžhaven. Tím se případné usazené nečistoty spálí, popř. odpaří a drátek se tak vyčistí.

Měřič hmotnostního průtoku vzduchu s vyhřívaným filmem [kg/s] – princip je obdobný jako u předchozího způsobu, vyhřívané tělísko je ale tvořeno tenkým platinovým filmem. Ten se nachází společně s dalšími elementy můstkového zapojení na keramické destičce. Teplota filmu je získávána z teplotně závislého odporu, který je součástí můstku. Dlouhodobá přesnost zůstává zachována i bez spalování nečistot, ty se totiž usazují zejména na přední hraně sensorového elementu a části významné pro přenos tepla, umístěné na keramické destičce, zůstávají bez usazenin. Navíc je sensorový element zkonstruován tak, že případné usazeniny nečistot neovlivní jeho obtékání.

2. 1. 2 Snímač tlaku v sacím potrubí

Snímač tlaku v sacím potrubí je dalším rozhodujícím snímačem pro výpočet zatížení motoru. Je pneumaticky propojen se sacím potrubím a snímá v něm absolutní tlak. Vevnitř je rozdělen na tlakový článek se dvěma měřicími elementy a na prostor s vyhodnocovacím obvodem. Měřicí element je tvořen membránou ve tvaru zvonu, která uzavírá komoru s konstantním referenčním tlakem. Podle velikosti tlaku v sacím potrubí se mění velikost prohnutí membrány. Na membráně jsou naneseny piezorezistentní odpory, které mění svůj odpor v závislosti na mechanickém napětí. Tyto odpory jsou zapojeny do můstku, takže vychýlení membrány způsobí nerovnováhu můstku. Napětí na můstku je pak úměrné velikosti tlaku v sacím potrubí. Úkolem vyhodnocovacího obvodu je zesílit napětí na můstku, kompenzovat vliv teploty a linearizovat tlakovou charakteristiku. Výstupní signál vyhodnocovacího obvodu je přiváděn do ŘJ motoru.

2. 1. 3 Snímač polohy škrticí klapky

Snímač polohy škrticí klapky je připevněn na tělese škrticí klapky a je spojen s jejím hřídelem. Snímá úhel natočení škrticí klapky pro zjištění vedlejšího signálu zatížení. Vedlejší signál zatížení je společně s dalšími signály použit jako přídavná informace pro dynamické funkce, zjištění provozního stavu motoru (volnoběh, částečný výkon, plný výkon) a je použit jako nouzový signál při výpadku hlavních snímačů. Potenciometr vyhodnocuje úhel natočení škrticí klapky a přenáší poměr napětí přes odporové zapojení do řídicí jednotky.

Signál snímače škrticí klapky může být využíván také jako hlavní signál zatížení. V tom případě jsou však kladeny vyšší požadavky na přesnost měření, té je dosaženo použitím dvou potenciometrů namísto jednoho a vylepšeným uložením. Hmotnost nasávaného vzduchu je potom v ŘJ určena úhlem natočení škrticí klapky a příslušnými otáčkami motoru. Změna hustoty vzduchu v závislosti na teplotě je zohledněna vyhodnocením signálu ze snímače teploty nasávaného vzduchu.

2. 1. 4 Snímač otáček a polohy klikového hřídele

Pro stanovení okamžiku zážehu je použita jako měřicí veličina poloha pístu jednoho válce a tím přes ojnice s klikovým hřídelem i pístů všech válců. Jeden snímač na klikovém hřídeli tak udává informaci o poloze pístů ve všech válcích. Rychlost, se kterou se poloha klikového hřídele mění, nazýváme otáčkami a je dána počtem otočení klikového hřídele za minutu. Tato důležitá vstupní veličina je vypočítávána ze signálu polohy klikového hřídele. Přestože tento snímač získává ryze informaci o poloze klikového hřídele a až na základě její změny v čase vypočítává ŘJ otáčky motoru, používá se označení snímač otáček.

Na klikovém hřídeli je připevněn feromagnetický ozubený kotouč s místem pro 60 zubů, přičemž jsou dva zuby vynechány (zubová mezera) pro určení polohy klikového hřídele. Indukční snímač snímá posloupnost těchto 58 zubů. Sestává z permanentního magnetu a jádra z měkké oceli s měděnou cívkou. Prochází-li kolem snímače zuby ozubeného kotouče, mění se v něm magnetický tok a indukuje se střídavé napětí. Vyhodnocovací obvod v ŘJ převádí sinusový signál s velmi rozdílnou amplitudou na pravouhlé napětí s konstantní amplitudou. Pokud je aktuální odstup hran více jak dvakrát větší než předchozí a následující, pak je rozpoznána zubová mezera, která je definována jako určitá přesná poloha prvního válce. ŘJ synchronizuje s tímto okamžikem polohu klikového hřídele. S každou následující pozitivní nebo negativní hranou signálu počítá řídicí jednotka s natočením klikového hřídele o další 3° . Zapálení směsi však musí být prováděno ještě přesněji. Čas měřený mezi dvěma hranami signálu je proto rozdělen na čtyři stejné části. K hraně zubu tak může být takto vypočtená časová jednotka pro úhel natočení (krok $0,75^\circ$) přidána jednou, dvakrát nebo třikrát.

2. 1. 5 Snímač polohy vačkového hřídele

Vačkový hřídel ovládá sací a výfukové ventily motoru. Oproti klikovému hřídeli se otáčí poloviční rychlostí. Když se píst ve válci pohybuje do horní úvratě, pak je podle polohy sacích a výfukových ventilů určeno, zda se píst nachází ve fázi komprese nebo výfuku. Tuto informaci nelze získat z klikového hřídele. U elektronického zapalování s mechanickým rozdělovačem poháněným z vačkového hřídele palec rozdělovače vždy ukáže na správný válec a ŘJ nepotřebuje k zapálení směsi informaci o poloze vačkového hřídele. Na rozdíl od těchto zapalování s rotačním rozdělováním vysokého napětí potřebují plně-elektronické zapalovací systémy přídatelné informace. ŘJ totiž musí rozhodnout, kterou zapalovací cívku má ovládat. K tomu potřebuje informaci o poloze vačkového hřídele. Tuto informaci potřebuje také u sekvenčního vstřikování paliva pro určení správného okamžiku vstříknutí paliva do příslušného válce.

Poloha vačkového hřídele je nejčastěji snímána Hallovým snímačem. Ten je tvořen prvkem, jehož polovodičovou destičkou protéká elektrický proud. Tento prvek je řízen clonkou, která se otáčí spolu s vačkovým hřídelem. Clonka je zhotovena z feromagnetického materiálu a během jejího otáčení dochází k přerušování permanentního magnetického pole a v Hallově prvku se tak vytváří napětí, které je kolmé vůči směru magnetického toku. Speciálně tvarované clonky dovolují získat ze signálu vačkového hřídele signál pro nouzový běh motoru při výpadku snímače otáček. Použití snímače polohy vačkového hřídele jako hlavního snímače otáček i v normálním provozu však znemožňuje jeho malá přesnost.

2. 1. 6 Lambda sonda

Lambda sonda měří součinitel přebytku vzduchu λ (viz kapitola 1. 1). Lambda je poměrné číslo, určující poměr vzduchu a paliva ve směsi. Při $\lambda = 1$ pracuje katalyzátor optimálně. Vnější strana elektrody lambda sondy zasahuje do proudu výfukových plynů, vnitřní je v kontaktu s venkovním vzduchem.

Sonda sestává ze speciální keramiky, na jejímž povrchu jsou nanесeny tenké, plyn propouštějící platinové elektrody. Účinek sondy je založen na propustnosti porézní keramické hmoty, jež umožňuje difúzi vzdušného kyslíku (pevný elektrolyt). Keramika se stává při vysokých teplotách vodivou. Je-li obsah kyslíku na obou stranách elektrod různě veliký, objeví se na elektrodách elektrické napětí. Při stechiometrickém poměru složení směsi vzduchu s palivem $\lambda = 1$ se projeví skoková funkce.

Spolehlivá regulace je zajištěna od 350°C u nevyhřívané sondy, popř. od 200°C u vyhřívané sondy. Aktivní keramika vyhřívané sondy je zevnitř vyhřívána keramickým topným tělískem, takže je dostatečné pracovní teploty keramiky sondy dosaženo i při nízké teplotě spalin. Vyhřívání sonda má ochrannou trubku s minimálními spárami zabraňující kromě jiného ochlazování i při studených spalinách. Vyhřívání sondy zkracuje dobu od nastartování motoru do doby zahájení lambda regulace a umožňuje regulaci i při studených spalinách (např. při volnoběhu). Vyhřívané sondy mají kratší reakční doby, což vylepšuje rychlost regulace.

2. 1. 7 Snímače klepání - detonačního spalování

U zážehových motorů se může za určitých podmínek vyskytovat typické klepání (zvonění) omezující nárůst výkonu a účinnosti motoru a také značně ovlivňující jeho životnost. Tento nežádoucí spalovací proces se nazývá detonační spalování neboli klepání a je následkem samozápalů částic směsi, které se nestačily zapálit od postupně prohořívající směsi zapálené jiskrou svíčky. Normálně zahájené spalování a kompresní tlak vytvořený pístem ve válci způsobují tlak a zvýšení teploty, které vede k samozápalům koncových plynů (ještě nespálené směsi). Vyskytují se zde rychlosti hoření více jak 2000 m/s, přičemž u normálního spalování je to asi 30 m/s. Při tomto nárazovém spalování dochází lokálně v koncových plynech k prudkému zvýšení tlaku. Tím vzniklé tlakové vlny se rozpínají a narážejí na stěny spalovacího prostoru. Při déle působícím klepání mohou tlakové vlny a zvýšené tepelné zatížení způsobit mechanická poškození těsnění pod hlavou, pístů a v oblasti ventilů v hlavě válců.

Charakteristické vibrace detonačního spalování jsou snímány senzory klepání, převedeny na elektrické signály a vedeny do ŘJ. Počet a umístění snímačů klepání musí být přitom pečlivě zvoleno. Spolehlivé rozpoznávání klepání musí být zajištěno u všech válců a za všech provozních stavů motoru, zejména při vysokých otáčkách a výkonech. Zpravidla bývají 4-válcové řadové motory osazeny jedním, 5- a 6-válcové motory dvěma a 8-a 12-válcové motory dvěma nebo více snímači klepání.

2. 1. 8 Snímače teploty motoru a nasávaného vzduchu

Snímač teploty motoru je osazen termistorem – teplotně závislým odporem, který vyčnívá do chladicí kapaliny motoru a sdílí její teplotu. Obdobně získává snímač v sacím potrubí teplotu nasávaného vzduchu.

Tyto odpory mají negativní teplotní koeficient, tedy jejich odpor klesá s rostoucí teplotou, a jsou součástí děliče napětí, který je napájen napětím 5 V. Úbytek napětí na odporu je úměrný teplotě. V ŘJ jsou uloženy konkrétní hodnoty teploty odpovídající naměřeným hodnotám napětí. Tím je kompenzována nelineární charakteristika mezi napětím a teplotou.

2. 1. 9 Napětí akumulátoru

Otvírací a zavírací čas elektromagnetického vstřikovacího ventilu je závislý na napětí akumulátoru. Vyskytne-li se během provozu zakolísání palubního napětí, zkoriguje ŘJ z toho vyplývající reakční zpoždění vstřikovacího ventilu změnou doby vstřiku. Při nízkém napětí akumulátoru se musí doba sepnutí zapalovacího obvodu prodloužit, aby mohla zapalovací cívka akumulovat dostatečnou energii pro jiskru.

2. 2 Akční členy

Jak už bylo řečeno, prostřednictvím akčních členů ŘJ řídí provozní stav motoru. Tento děj probíhá na základě optimalizace vstřikování paliva, příp. zapalování, o čemž bylo pojednáno v kapitole 1. Stěžejními akčními členy jsou v těchto případech spínací jednotka zapalování, jenž spíná na základě signálu z ŘJ primární zapalovací obvod, a elektromagnetický vstřikovací ventil, který je blíže popsán v této kapitole. V okolí spalovacího motoru však probíhají i další řízené děje. Mezi podstatné patří zejména regulace volnoběžných otáček a odvětrání palivové nádrže.

2. 2. 1 Elektromagnetický vstřikovací ventil

Způsob uspořádání vstřikovacích ventilů je popsán v kap. 1. 1.

Ventil vstřikuje přesně odměřené množství paliva ve správný okamžik přímo před sací ventil/y válce motoru nebo přímo do spalovacího prostoru. Sací potrubí přivádí motoru pouze vzduch pro spalování a může být proto optimálně přizpůsobeno plnícím požadavkům motoru.

Elektromagnetický vstřikovací ventil obsahuje ventilovou jehlu ovládanou kotvou elektromagnetu. Jehla je velice přesně vedena v těle ventilu. V klidovém stavu tlačí pružina shora ventilovou jehlu do sedla ventilu, čímž uzavírá průchod paliva do sacího potrubí motoru. Jakmile začne řídicí jednotka ovládat elektromagnetickou cívku v tělese ventilu, nadzvedne se ventilová jehla o $60 \div 100 \mu\text{m}$ a palivo může být vystřikováno kalibrovaným otvorem do sacího potrubí.

O distribuci paliva k ventilu se stará palivová lišta, jenž je napájena palivovým čerpadlem a s níž jsou ventily napevno spojeny. O konstantní tlakový spád paliva se stará regulátor tlaku paliva, který je integrován do palivové lišty a přebytečné palivo vrací zpětným vedením do palivové nádrže. Množství vstříknutého paliva do válců je tak závislé pouze na době otevření vstřiku.

2. 2. 2 Regulace volnoběžných otáček

Režim volnoběhu je definován snímačem škrticí klapky v poloze „zavřeno“. V tomto režimu mohou nastat dvě situace:

- volnoběh a
- brzdění motorem – ŘJ rozpozná jako nuceně zvýšené otáčky při zavřené škrticí klapce a uzavře přívod paliva do válců.

Primární regulací volnoběhu je zásah do úhlu předstihu zážehu. Řízením úhlu předstihu v závislosti na otáčkách lze docílit toho, že při klesajících otáčkách motoru bude předstih nastaven na větší hodnotu, čímž dojde ke zvýšení krouticího momentu. Tato regulace se zpravidla používá jako první a nestačí-li, zahájí se regulace změnou množství vzduchu.

Regulace volnoběhu využívá u různých verzí tyto možnosti regulačního zásahu do množství vzduchu:

- řízení množství vzduchu přes obtokový kanál regulačním ventilem kolem škrticí klapky
- ovládání polohy škrticí klapky pohyblivým dorazem elektromotorem přes převodovku, popř. přímý pohon škrticí klapky

Právě obtokový ventil či elektromotor otevírající škrticí klapku jsou akčními členy ovládanými signálem z ŘJ.

2. 2. 3 Odvětrání palivové nádrže

Palivo se v palivové nádrži zahřívá, čímž vznikají emise HC. Zákonná opatření stanoví hraniční hodnoty těchto emisí. Odvětrávací soustavy palivové nádrže jsou vybaveny nádobkou s aktivním uhlím, v níž končí odvodušňovací hadička palivové nádrže. Aktivní uhlí zadržuje benzínové výpary a dovolí odvětrat do volného prostoru jen čistý vzduch. Aby bylo aktivní uhlí opět regenerováno, vede další hadička z nádobky s aktivním uhlím do sacího potrubí motoru. Při provozu se v sacím potrubí vytváří podtlak. Ten způsobuje, že je vzduch z okolí nasáván přes aktivní uhlí, kde strhává naakumulované palivo, které je posléze spalováno v motoru. Regenerační ventil jakožto akční člen umístěný na hadičce k sacímu potrubí dává tento regenerační proud. Regenerační ventil je ovládán tak, aby byla nádobka s aktivním uhlím dostatečně promývána a odchylky lambdy byly minimální. Aby mohla adaptace směsi pracovat nezávisle na odvětrávacím systému, je regenerační ventil v pravidelných intervalech zavírán. Vyskytující se odchylky lambda regulace jsou zaznamenány řídicí jednotkou jako korekce směsi regenerací odpařených par paliva. Funkce je dimenzována tak, že může přicházet až 40 % paliva z regeneračního proudu. Při neaktivní lambda regulaci jsou povolena jen malá regenerační množství, protože by jinak nebylo možné vyregulovat odchylku ve složení směsi. Při deceleraci je regenerační ventil prudce uzavřen, aby se zabránilo proniknutí nespálených benzínových par do katalyzátoru.

3 Přehled výrobců elektronických řídicích systémů

V úvodu jsme se dozvěděli, že nejvýznamnějším výrobcem elektronických řídicích systémů je firma Bosch. Na trhu se však vyskytují i další významní výrobci se svými produkty. Tato kapitola je věnována představení těch nejrozšířenějších. Budeme se přitom věnovat jen systémům zahrnujícím řízení přípravy směsi i zapalování, tedy kompletní motor management. Ostatními systémy se zabývat nebudeme, jelikož jsou z dnešního pohledu již lehce archaické.

3.1 Bosch Motronic

Jedná se o kombinovaný systém zapalování a vícebodového vstřikování. Systémy pod označením Motronic se vyrábí od roku 1979 ve velkém množství verzí. Následující popis se vztahuje na typické provedení systému Motronic. Další varianty jsou přizpůsobeny individuálním požadavkům výrobců automobilů a zemím s rozličnými zákony.

Společná ŘJ s digitálním zpracováním dat využívající mikroprocesory umožňuje zpracování provozních dat v polích vstřikovacích a zapalovacích charakteristik. Funkce jako regulace volnoběhu, lambda regulace a regulace klepání slouží k omezení emisí škodlivých látek ve spalínách a k snížení spotřeby paliva. Díky speciálním funkcím jako recirkulace spalín, přífukování sekundárního vzduchu a řízení vačkového hřídele umožňují splnit i mimořádně přísné emisní předpisy.

Integrovaná vlastní diagnostika plní řadu úkolů: sledování všech komponentů a systémů, ochrana ohrožených komponentů při vzniku závad, příprava náhradních veličin pro nouzový režim, indikace pro řidiče, ukládání podrobných informací do paměti závad, zjišťování v paměti uložených informací v dílně.

Při zvýšených požadavcích výrobce automobilů může být systém doplněn ještě o následující funkce: řízení turbodmychadla, řízení sacího potrubí s proměnnou délkou k regulaci nárůstu výkonu motoru či omezení maximálních otáček a omezení maximální rychlosti jízdy potřebné k ochraně motoru a vozidla.

3.2 Bosch Mono-Motronic

V roce 1990 byla firmou Bosch představena „odlehčená“ verze systému Motronic, která si zachovává všechny funkce tohoto systému, avšak pracuje s jednobodovým vstřikováním. Tento systém výrobci automobilů hojně využívali k omlazení svých karburátorových motorů (typickým příkladem je česká Škoda Favorit), a to zejména kvůli rostoucím nárokům na plnění emisních limitů. Výměna karburátoru za jednobodové vstřikování si totiž nežadá razantní konstrukční zásahy do motoru. Tento systém je však vytlačován díky jeho vlastním limitům v dalším vývoji.

3.3 Bosch Motronic MED 7

Jde o systém Motronic z roku 1999 určený k řízení motoru s přímým vstřikováním benzínu. Vychází ze systému Motronic ME 7, má však jinou ŘJ a navíc vysokotlaké palivové čerpadlo, druhý katalyzátor pro NO_x se snímačem dusíku, řídicí ventil tlaku paliva a jiné elektromagnetické vstřikovací ventily.

Vysokotlaké palivové čerpadlo zvyšuje tlak paliva z 0,35 MPa až na tlak 12 MPa a zároveň zabráňuje kolísání tlaku paliva v zásobníku. Ten je zhotoven z hliníkové slitiny ve tvaru potrubí a má otvory pro připojení vstřikovacích ventilů, tlakového řídicího ventilu, vysokotlakého čerpadla a příslušných snímačů. Tlakový řídicí ventil nastavuje systémový tlak paliva tak, aby odpovídal předepsaným hodnotám v daném poli charakteristik. Tlak paliva se konkrétně pohybuje mezi hodnotami $5 \div 12$ MPa.

Elektromagnetický vstřikovací ventil je složitější než u nepřímého vstřikování benzínu. Musí splňovat vysoké požadavky s ohledem na jeho umístění, na krátké doby vstřiku a především na velký význam výpočtu tvaru vstřikovacího paprsku. Prostřednictvím řídicího signálu pro vstřikovací ventil je současně určen počátek vstřiku a množství vstřikovaného paliva.

Aby bylo možné u přímého vstřikování benzínu dosáhnout nízké spotřeby paliva a vysokého výkonu motoru, je nutný komplexní systém řízení motoru. Rozlišují se dva základní způsoby provozu: dolní a horní rozsah zatížení.

V dolním rozsahu zatížení motor pracuje s vrstveným plněním válce a s vysokým přebytkem vzduchu. Tvarováním vstřikovacího paprsku je spalovací prostor rozdělen na dvě části, a sice zapálení schopný oblak směsi vzduchu s palivem v oblasti zapalovací svíčky a téměř čistý vzduch na okraji spalovacího prostoru. Motor v tomto režimu pracuje s naplno otevřenou škrticí klapkou a přidáním plynu se pouze zvýší množství vstřikovaného paliva. Tím se zvyšuje bohatost směsi, což má však za následek zhoršení emisí výfukových plynů, zejména pevných částic. V tomto horním rozsahu zatížení motor přechází do režimu homogenního plnění válců, točivý moment odpovídající poloze plynového pedálu je nastaven pomocí elektronicky řízené škrticí klapky.

3.4 Ford EEC

EEC – Electronic Engine Control je systém elektronického řízení motoru používaný automobilkou Ford již od roku 1979. Automobilka jej vyvinula ve spojení se společností Intel, dodnes bylo představeno 8 generací. Principiálně je řízení provozního stavu motoru shodné se systémem Motronic. Strategicky se však mírně liší.

Strategie EEC je rozdělena na dva segmenty: řízení motoru a vlastní diagnostiku. Existují tři operační oblasti řízení motoru: spouštění (škrticí klapka zavřená), nízké otáčky (škrticí klapka částečně otevřená) a vysoké otáčky (škrticí klapka plně otevřená). Strategie EEC je výpočtový program trvale probíhající v cyklu, tzv. cyklus pozadí. Zhruba každou milisekundu je cyklus pozadí přerušen cyklem popředí, aby se provedly operace vyšší priority (vyvolané např. signály snímačů). Ještě vyšší prioritu má signál snímače zapalování, ten může způsobit přerušování cyklu popředí i pozadí.

Snímače provozního stavu i akční členy se funkčně shodují s představenými v kapitole 2. Systém EEC je navíc vybaven recirkulací výfukových spalin a přísáváním vzduchu do výfukového potrubí, což má za následek snížení množství emisí ve výfukových spalínách.

3.5 Visteon Black-Oak

Z důvodu vzrůstajících požadavků na spotřebu paliva a emise výfukových plynů se nahrazuje systém EEC stále více systémem Black-Oak. Poprvé se vyskytuje v roce 2001 ve voze Ford Mondeo. Systém řízení Black-Oak se svou funkcí podobá systému řízení EEC V, vyznačuje se však vyšší výkonností a rychlejším zpracováním dat. To je zaručeno použitím mikroprocesoru Motorola s pracovní frekvencí 24 MHz (namísto 15 MHz u EEC V). Ke snížení spotřeby paliva se navíc používají systémy jako řízení vířivé klapky, elektricky vyhřívaný termostat či systém recirkulace výfukových spalín řízený krokovým motorem.

Podstatnou výhodou použitého procesoru je, že časově závislé výpočty nejsou prováděny komunikační procesorovou jednotkou, ale jsou převzaty dvěma časovými zpracovatelskými jednotkami. Ty provádějí tyto časově závislé výpočty: otáčky, okamžik zážehu, okamžik vstříku a signály frekvence a sledu impulsů. Tím má komunikační procesorová jednotka více času pro výpočty vysoké priority a její funkce nemusí být přerušována. Cykly popředí a pozadí, zmíněné u EEC, se zde tedy nepoužívají.

Další výhodou systému Black-Oak je modifikovaný palivový systém. Ten nemá zpětné (přetlakové) palivové vedení na palivové liště u vstřikovacích ventilů, ale hned za palivovým čističem. Tlak v systému je stanoven mechanickým tlakovým regulačním ventilem, který tak zajišťuje konstantní tlak paliva na vstřikovacích ventilech. Předností tohoto palivového systému je zejména nižší teplota paliva v nádrži, jelikož není ohříváno palivem vracejícím se od motoru. To má pozitivní dopad na tvorbu emisí HC.

3.6 Siemens SIM20

Dalším systémem řízení zážehových motorů, který používá automobilka Ford od roku 2001, je Siemens SIM20. Tento systém je z hlediska struktury a funkce velmi podobný popsanému Ford-EEC V a ve velké míře pracuje se shodnými komponenty. Rozdíl je však ve vlastní ŘJ a několika změněných snímačích a akčních členech. Software, tedy strategie řízení a kalibrační data, pochází od firmy Siemens.

Patrným rozdílem systému SIM je nasazení modulu nasávaného vzduchu, což je kompaktní jednotka sdružující sací sběrné potrubí a skříň vzduchového filtru s různými komponenty motoru a jeho řízení. Jednotka sacího sběrného potrubí zahrnuje kromě potrubí samotného také těleso škrticí klapky, snímač polohy škrticí klapky, snímač teploty a absolutního tlaku nasávaného vzduchu a ventil regulace vzduchu pro chod naprázdno.

ŘJ v SIM20 svou funkcí v podstatě odpovídá funkci EEC V. Rozdíly spočívají pouze ve strategiích vyvinutých firmou Siemens a jejich kalibrování. Navíc tato ŘJ používá mikroprocesor o 16 MHz (oproti 15 MHz v EEC V). Software se stará současně o přípravu paliva i zapalování. Tři nejdůležitější výpočty strategie SIM přitom jsou, stejně jako u EEC V, výpočet hmotnosti nasávaného vzduchu, odměřování paliva a výpočet úhlu zapalování.

Závěr

Jak vidno, elektronické systémy řízení spalovacích motorů jsou v dnešní době neodmyslitelnou součástí automobilového průmyslu. Zároveň se jedná o jedno z nejrychleji expandujících odvětví, a to právě zejména pro neustále rostoucí nároky na emise výfukových spalin. Jen pro představu si uveďme několik příkladů evropských emisních limitů (g/kWh):

Předpis:	Rok uvedení:	Oxid uhelnatý:	Uhlovodíky:	Oxidy dusíku:
EURO 1	1992	4,5	1,1	8,0
EURO 2	1995	4,0	1,1	7,0
EURO 3	2000	2,1	0,66	5,0
EURO 4	2005	1,5	0,46	3,5
EURO 5	2008	1,5	0,46	3,5

Z uvedených příkladů je zřejmé, jakou rychlostí se nároky na emise zvyšují, a tedy jakou rychlostí musí postupovat vývoj. Evropská emisní norma EURO 6 je již v návrhu a v platnost by měla vejít v roce 2013.

Samozřejmě jsou i jiné způsoby snižování emisí, na které se výrobci soustředí, v dnešní době zejména stále se rozvíjející hybridní pohony. Dokud však nepadnou světové zásoby ropy, nezastaví se ani vývoj spalovacích motorů, a tedy ani jejich elektronického řízení. A vzhledem k tomu, že je čím dál větší důraz kladen na hledání alternativní suroviny k výrobě „ropných“ produktů, můžeme věřit, že se jejich vývoj nezastaví ani potom...

Literatura

- [1] Rauscher, J.: Sylabus – Vozidlové motory
- [2] Vlk, F., Rauscher, J.: Sylabus – Příslušenství motorových vozidel
- [3] Rauscher, J.: Sylabus – Spalovací motory
- [4] Vlk, F.: Elektronické systémy motorových vozidel. Prof. Ing. František Vlk, DrSc., nakladatelství a vydavatelství, Brno, 2002