

Základní pojmy z autoelektroniky

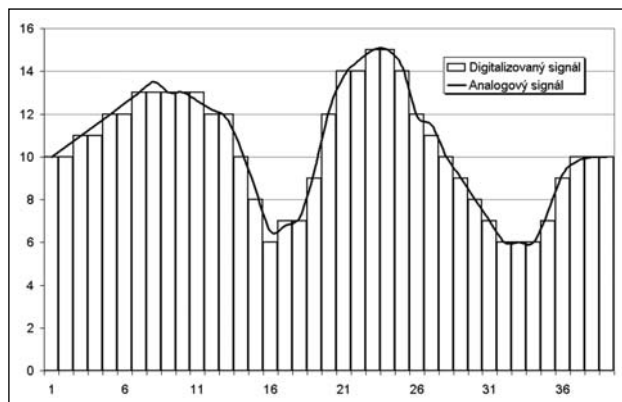
Mezi základní kameny elektroniky v motorových vozidlech patří jednotlivé řídicí jednotky (motoru, brzd, převodovky, retardéru, dveří, ...) a jejich vzájemná interakce, která se dnes uskutečňuje pomocí palubních počítačových sítí. Možnosti řízení a regulací jsou dnes tak rozsáhlé, že pouhým přehráním software v příslušné řídicí jednotce diametrálně změním nejen funkci odpovídajícího celku, tj. motoru, převodovky ale můžeme ovlivnit i chování a jízdní vlastnosti celého vozidla. Většina výrobců tak dnes i bez vědomí majitelů vozidel při pravidelném servisu mění softwarová nastavení klíčových celků a ovlivňují tak funkce celého vozidla.

Softwarové změny jsou často diagnosticky obtížně zjištělné, jinými slovy, není problém přeprogramovat řídicí jednotku motoru tak, že vozidlo nebude plnit emisní limity a přitom při pravidelném kontrolním měření technik nezjistí žádné odlišnosti. Současně vznikají systémy palubní diagnostiky, kdy řídicí jednotky kontrolují samy sebe, ruku v ruce s tím však přicházejí na trh i systémy třetích stran, jejichž úkolem je naopak systém palubní diagnostiky paralyzovat. Časem si tak budeme jistě klást otázky principiálního charakteru, například „Je to, co navenek vypadá jako digitální tachograf opravdu pravým digitálním tachografem nebo jen jeho věrnou imitací, která simuluje potřebné funkce podle potřeby majitele vozidla?“. To je zatím sice hudba budoucnosti, nezodpovězenou otázkou však zůstává, jak je vzdálená...

Veškeré elektronické celky mohou bezchybně pracovat pouze tehdy, pokud mají k dispozici odpovídající signály z potřebných snímačů. Proto se budeme v následujících kapitolách zabývat nejen vlastními řídicími jednotkami a jejich regulačními algoritmy, ale budeme věnovat pozornost též elektrickým signálům, možnostem jejich vzorkování a analýze. Zmíníme se i o vybraných typech snímačů, jejich vlastnostech a vhodnosti použití pro konkrétní podmínky. Část naší pozornosti budeme věnovat též problematice měření a analýzy získaných signálů.

Analogové a digitální signály

Průběhy fyzikálních veličin jsou od přírody analogové. Jako analogový průběh (analogový signál) označujeme přitom takový, který mezi dvěma krajními stavy (např. minimem a maximem) může nabývat nekonečného množství hodnot. Oproti tomu digitalizovaný signál může nabývat pouze konečného počtu hodnot. Množství těchto mezilehlých hodnot je přitom závislé na způsobu digitalizace reálného signálu. Rozdíly mezi signály vidíme na připojeném grafu.



Analogový a digitalizovaný průběh. Při digitalizaci se vždy část původní vypovídací hodnoty nenávratně ztratí.

Při digitalizaci signálu musíme vždy vědět, jaký je požadovaný rozsah vstupu nebo výstupu a s jakou přesností potřebujeme rozlišit změny, které v jeho průběhu nastanou. Toto rozlišení definujeme počtem bitů, na které je signál převodníkem rozložen. V praxi používáme nejčastěji následující rozlišení:

Počet bitů	Počet úrovní
8	255
12	4095
16	65535
32	4294967295

V praxi to tedy znamená, že pokud budeme snímat například napětí 0..5 Voltů v rozlišení 8 bitů, bude nejmenší rozlišitelná změna 5/255 tj. 0.019 V, což může být pro řadu účelů plně dostačující přesnost snímání.

Snímejme však jinou veličinu – otáčky motoru. Představme si motocyklový motor, pracující v rozsahu do 20000 min⁻¹. V tomto případě bychom při 8 bitovém rozlišení obdrželi přesnost snímání otáček 78 min⁻¹, což je např. pro účely regulace volnoběžných otáček, které máme udržovat v rozmezí ±100 min⁻¹ přesnost naprosto nedostačující.

Při požadavku regulace ±100 min⁻¹ potřebujeme snímat s přesností alespoň 10 min⁻¹, což znamená použití preciznější digitalizaci – místo 8-bitové tedy aplikujeme 16-bitovou. Při ní již obdržíme rozlišení 0.3 min⁻¹, což je již přesnost naprosto vyhovující.

Můžete se samozřejmě zeptat, proč automaticky neaplikujeme vysoké bitové rozlišení. Odpověď je v tomto případě poměrně prostá – použití vysokých rozlišení klade v následném zpracování signálu vyšší nároky na kapacitu paměti, vypočetní čas, přenos dat po sběrnících a s tím

související rychlost zpracování. Nakonec se vše projeví i v cenách zařízení.

Digitální přenosy a TTL logika

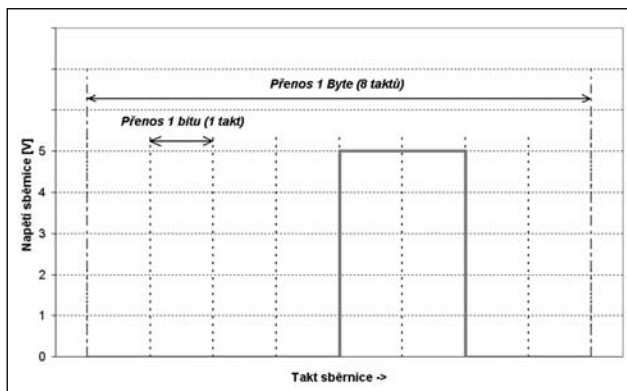
Elektronické číslicové obvody jsou standardizovány tak, aby pracovaly se signály v rozmezí 0 až 5 Volt. Současně s tím však digitální technika rozlišuje principiálně pouze 2 základní stavy – „zapnuto“ a „vypnuto“, neboli tzv. logickou jedničku a logickou nulu (binární číslicová soustava). Pomocí posloupnosti „0“ a „1“ potom můžeme vyjádřit jakoukoli hodnotu. Uvedme si malý příklad:

Decimální vyjádření	Binární vyjádření
0	0000
1	0001
2	0010
3	0011
4	0100
5	0101
10	1010

Elektricky vyjadřujeme logickou „1“ napětím v rozmezí 2.0–5.0 V, logickou „0“ potom napětím v rozmezí 0.0–0.8 V. Úroveň napětí mezi 0.8 až 2.0 V patří do tzv. zakázané oblasti, při níž není chování elektronických členů definováno.

Převod analogové veličiny na binární vyjádření má za úkol tzv. Analogově-Digitální (AD) převodník. Opačný úkol, tj. z digitálního signálu vytvořit analogový signál např. pro ovládání servomotoru škrtkící klapky nebo výfukové přívěry zajišťuje Digitálně-Analogový (DA) převodník.

K přenosu digitálního signálu slouží tzv. sběrnice. Popíšeme si ukázkou přenosu po jednoduché dvou vodičové sběrnici (viz obr.):



Přenos digitálního signálu po jednoduché sběrnici. Na ukázkce je přenášeno 1 Byte (8 bitů).

Na vstupu mějme analogovou veličinu, např. napětí, dosahující úrovně v našem případě 12 V. Toto napětí je 8-bitovým převodníkem převedeno do binární formy.

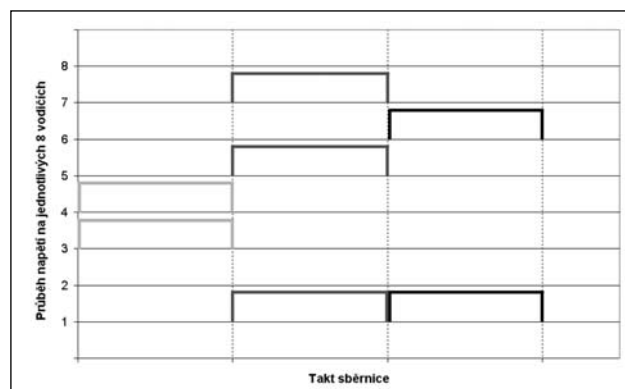
Bude-li pro zjednodušení rozsah snímání do 255 Voltů, obdržíme na výstupu z převodníku hodnotu „00001100“. Tuto hodnotu nyní musíme vyjádřit elektricky. To provedeme pomocí periodických změn napětí sběrnice, které bude v našem případě nabývat v definovaných časových intervalech (tzv. taktu sběrnice) hodnot „0 V – 0 V – 0 V – 0 V – 5 V – 5 V – 0 V – 0 V“.

Na druhém konci vodičů bude přijímací zařízení, které bude signál dále zpracovávat. Toto zařízení musí „poslouchat“ na sběrnici přesně ve stejných časových intervalech, aby správně detekovalo vyslanou hodnotu.

Zamyslíme-li se nad tímto typem přenosu, vidíme, že je poměrně časově náročný. Pokud bychom jej potřebovali zrychlit, máme dvě základní možnosti:

- zrychlit frekvenci přenosu – ta je však limitována použitým vedením (konstrukce, délka) a rychlostmi všech zařízení na sběrnici
- přenést všech 8 hodnot najednou – v tomto případě však potřebujeme ne 2 vodiče, ale 9 vodičů (8x signál, 1x kostra). V tuto chvíli jsme dospěli k tzv. 8-bitové sběrnici. Použijeme-li ještě více vodičů, získáme např. 16 či 32-bitovou sběrnici.

Rychlost přenosu vyjadřujeme v tzv. Baudech (zkratka Bd). 1 Baud představuje 1 přenesený bit za 1 sekundu (někdy též označujeme „bps“).



Přenos signálu po 8-bitové sběrnici. Na jeden takt je přeneseno vždy všech 8 bitů najednou, jedná se o tzv. paralelní přenos.

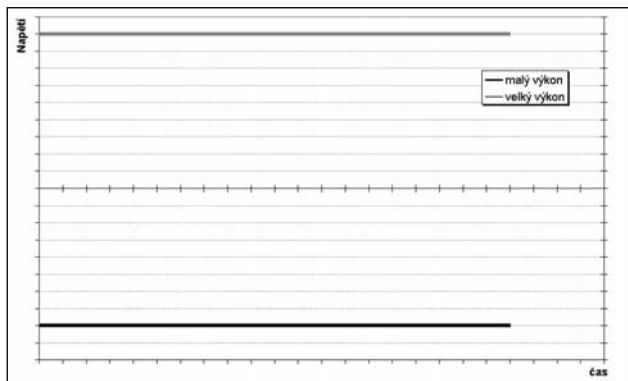
Principy regulací

Potřebujeme-li při řízení regulovat velikost nějaké veličiny, např. průtoku, vyhřívání apod., máme v principu dvě základní možnosti, jak ji provést.

Analogová regulace

Při tomto přístupu využíváme přímé závislosti regulované veličiny na ovládacím signálu. Jako příklad si uvedme

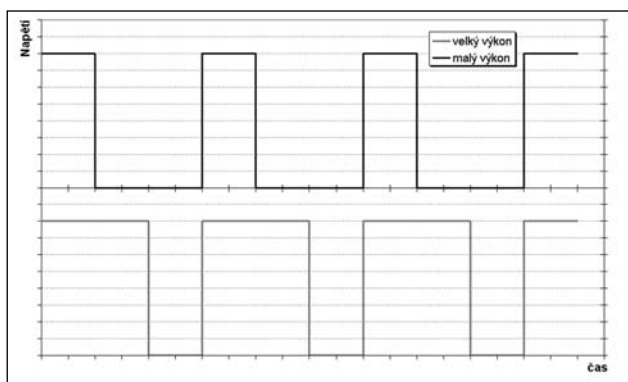
regulaci vyhřívání. Teplota topného tělíska bude jistě závislá na napětí, jakým jej budeme napájet. Při malém napětí bude topný výkon také malý a výsledná teplota nízká, zatímco při vyšším napětí bude topný výkon velký a výsledná teplota také vysoká.



Analogová regulace teploty, malý a velký výkon. Při malém výkonu (dole) je napájecí napětí sníženo, při velkém výkonu (nahore) je vyšší.

Pulsní regulace

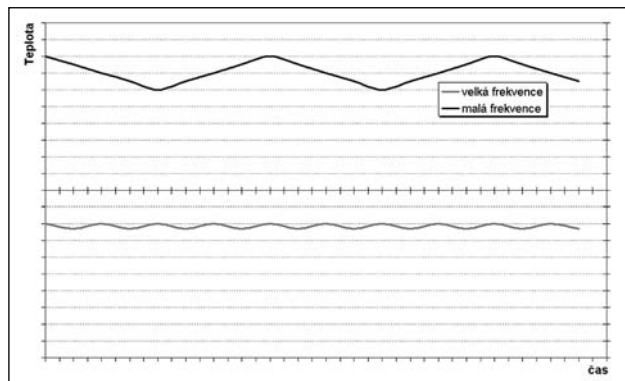
Při tomto přístupu aplikujeme pouze 2 základní stavy ANO a NE, resp. ZAPNUTO a VYPNUTO (OTEVŘENO a ZAVŘENO), které vhodně často střídáme. Uvedme-li si opět příklad pro regulaci vyhřívání topného tělíska. Napájet jej budeme vždy maximálním napětím, které budeme v periodických intervalech vypínat. Budeme-li potřebovat malý topný výkon, bude perioda zapnutí krátká, naopak při požadavku velkého výkonu může dojít i ke stavu, kdy bude napájení zapnuté nepřetržitě.



Pulsní regulace teploty, malý a velký výkon. Napájecí napětí je vždy stejně velké. Při malém výkonu (nahore) je vypínáno v delších intervalech, při velkém výkonu (dole) se intervaly vypínání zkracují.

Při pulsni regulaci by se nám mohlo zdát, že průběh výsledné veličiny bude také pulsující. Ve skutečnosti však můžeme pulsace potlačit natolik, že budou z fyzikálního hlediska zanedbatelné. Uvedme si opět příklad na regulaci

topného tělíska. Při malé frekvenci změn napájecího napětí budou změny teplot poměrně velké, zatímco při velké frekvenci budou téměř zanedbatelné. Velikost maximální frekvence je potom zpravidla daná mechanickými limity ovládacího členu a v praxi může dosahovat i stovek Hz.



Průběh výsledné veličiny při malé a velké frekvenci ovládacího členu. Použití malé frekvence (nahore) má za následek velké odchylky vůči cílové hodnotě, zatímco při dostatečně velké frekvenci (dole) můžeme dosáhnout zanedbatelné pulzace.

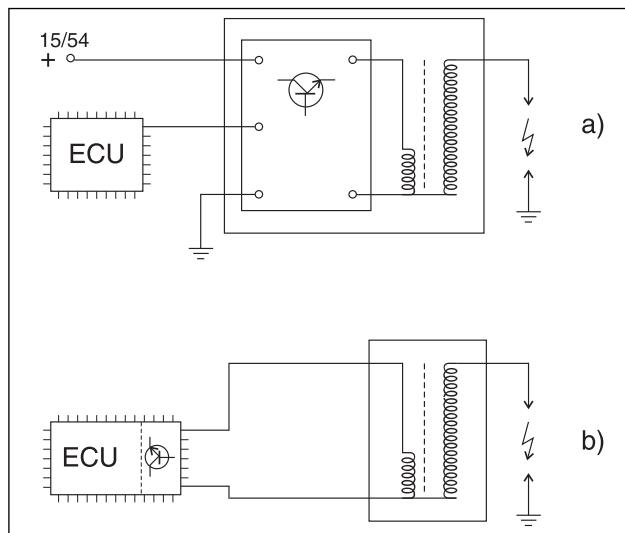
V praxi dnes většinou používáme pulsni regulace, především z důvodu exaktnosti, shodnosti seriové výroby a často i rychlosti regulace.

Způsoby ovládání akčních členů

Při řízení motorů či podvozků máme řadu možností jak ovládat akční členy. Pojďme se podívat na některé z nich:

a) buzení zapalovacích členů

V současné době používáme nejčastěji bezrozdělovačové systémy, kdy každý válec nebo dvojice válců má svůj



Třívodičové (a) a dvouodičové (b) zapojení zapalovacích členů.

zapalovací člen. Odmyslíme-li si vnitřní zapojení tohoto členu, dojdeme často k následujícím zapojením:

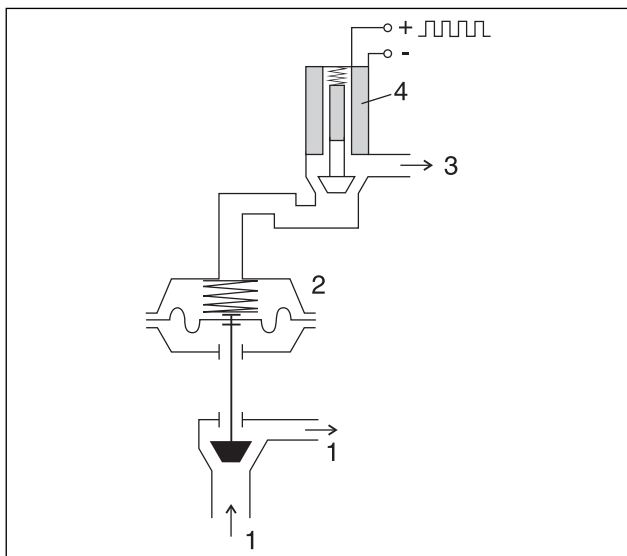
- Trívodičové zapojení – obsahuje napájení, kostru a ovládací (signálový) vodič. Řídící jednotka posílá signálovým vodičem pouze zapalovací impulsy (logika 5V). Výhodou tohoto řešení je, že řídicí systém nemusí obsahovat koncové výkonové členy.
- Dvouvodičové zapojení – v tomto případě je zapalovací člen jedním vývodem trvale napájen palubním napětím (+12 V) a druhý vývod je řídicí jednotkou periodicky uzemňován. V okamžiku rozpojení uzemnění přeskočí jiskra. Část silových obvodů obsahuje vlastní řídicí jednotka.

b) ovládání vstřikovačů

Způsob ovládání vstřikovačů paliva je prakticky jednotný. Vstřikovače jsou jedním vývodem trvale napájeny palubním napětím (+12 V) a druhý vývod řídicí jednotka periodicky uzemňuje. V okamžiku jeho uzemnění se vstřikovač otevře a začne jím protékat palivo.

c) ovládání podtlakových ventilů

Při potřebě ovládat pomocí podtlaku nějaký člen (např. EGR ventil) přistupujeme k pulsnímu buzení ovládacího ventilu stanoveným napětím. Tak máme zajištěno, že i při kolísání velikosti palubního napětí a rozptylu přesnosti výroby ovládacího ventilu bude proporce otevření stále stejná a rychlost regulace velká.

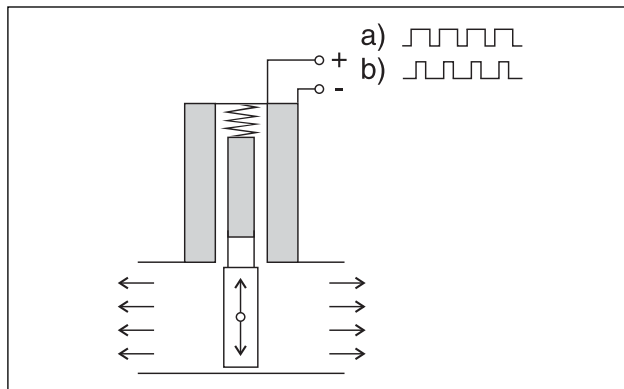


Ovládání podtlakových ventilů (např. EGR ventil). 1 – ventil fyzicky otevírající průtok média, 2 – podtlaková komora, 3 – zdroj podtlaku (sací potrubí, vývěva apod.), 4 – elektromagnetický ovládací ventil, reguluje pouze velikost podtlaku v podtlakové komoře.

Pokud bychom ovládali ventil změnou velikosti napájecího napětí, nezajistili bychom stále stejnou velikost otevření, krom toho se budeme potýkat s hysterezí otevření tohoto ventilu, která při pulsním buzení vymizí.

d) ovládání volnoběžných ventilů

Při ovládání obtokových ventilů, kterými regulujeme průtok volnoběžného vzduchu do sání motoru při zavřené škrtkové klapce, použijeme stejný princip, jako v předchozím případě. Získáme tak velkou rychlost regulace a opakovatelnost nastavení.



Ovládání volnoběžných ventilů. a) velké otevření, b) malé otevření.

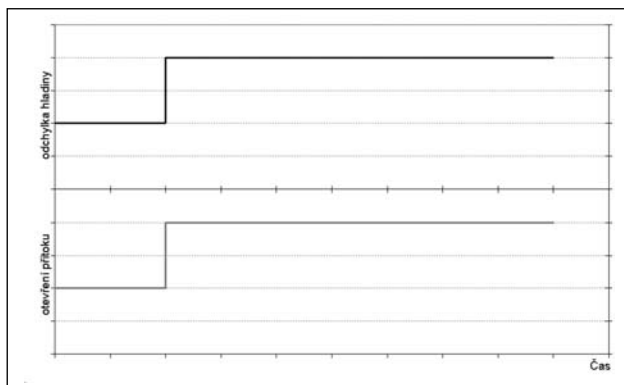
Druhy regulačních algoritmů

Ať již použijeme jakýkoli princip ovládání nějakého regulačního členu např. topného tělesa, průtokového ventilu, či ventilu vstřikujícího palivo apod., budeme řešit otázku, jak hodně budeme muset topit, otevřít ventil či vstřikovat palivo, abychom dosáhli žádaného cíle, kterým může být udržení určité teploty, průtoku kapaliny či bohatosti směsi.

Pro ilustraci uvažujme například způsob regulace výšky hladiny v nádobě s vodou na stanovené hodnotě. K tomu můžeme využít některé z následujících algoritmů, resp. jejich kombinací:

Proporcionální

Princip proporcionální regulace (P-regulace) spočívá v tom, že velikost průtoku vody přitékající do nádoby bude úměrná



Velikost otevření ventilu v čase v závislosti na velikosti poklesu hladiny při P-regulaci.

vzdálenosti aktuální výšky hladiny od teoretické hodnoty. Závislost otevření ventilu ovládajícího přítok vody do nádoby vidíme na připojeném grafu. Nevýhodou této regulace je fakt, že s její pomocí nejsme schopni dosáhnout cílové hodnoty (výšky hladiny); buďto se jí po uplynutí velmi dlouhé doby přiblížíme nebo kolem ní budeme oscilovat.

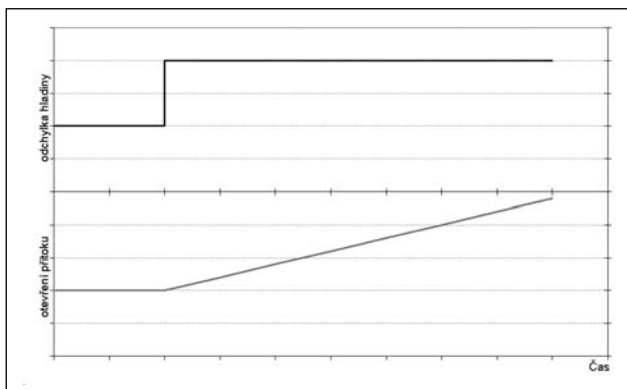
Matematicky můžeme tento přístup vyjádřit jako

$$Y = k \cdot X$$

kde X představuje odchylku od cílové hodnoty, k je velikost proporce a Y je v našem případě velikost otevření ventilu regulujícího přítok do nádoby.

Integrální

Při integrální regulaci (I-regulaci) budeme stanovovat v závislosti na vzdálenosti aktuální výšky hladiny od teoretické hodnoty nikoli velikost otevření ventilu, ovládajícího přítok vody, ale rychlost jeho otevírání resp. uzavírání. Závislost vidíme opět na připojeném grafu.



Velikost otevření ventilu v čase v závislosti na velikosti poklesu hladiny při I-regulaci.

Při matematickém vyjádření obdržíme

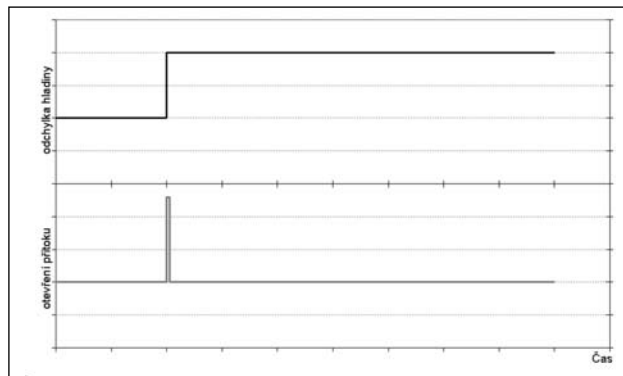
$$Y = \int_0^T f(X) \cdot dt$$

kde f(X) představuje funkci velikosti otevření ventilu přítoku do nádoby, která může být obecně závislá na velikosti odchylky od cílové hodnoty a čase, T je doba regulace a Y je v našem případě velikost otevření ventilu regulujícího přítok do nádoby v daném čase.

Derivační

Poslední variantou odezvy na odchylku od požadovaného stavu je tzv. derivační regulace (D-regulace). Zde bychom

v našem modelovém případě stanovili velikost otevření ventilu, ovládajícího přítok vody na rychlosti poklesu hladiny.



Velikost otevření ventilu v čase v závislosti na velikosti poklesu hladiny při D-regulaci.

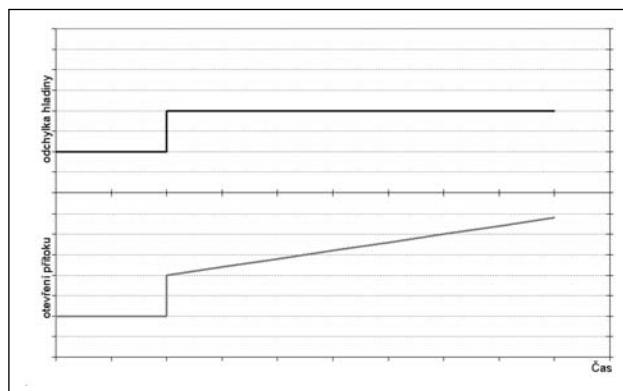
Matematicky obdobně obdržíme

$$Y = \frac{\partial X}{\partial t}$$

kde X představuje funkci závislosti velikosti odchylky od cílové hodnoty na čase Y je opět v našem případě velikost otevření ventilu regulujícího přítok do nádoby.

PI-regulace

Tento přístup se při řízení motorů (např. lambda regulace, řízení volnoběžných otáček apod.) používá nejčastěji a představuje kombinaci prvních dvou metod. Je to z důvodu jeho rychlosti a schopnosti úplně vyregulovat případnou odchylku.



Velikost otevření ventilu v čase v závislosti na velikosti poklesu hladiny při PI-regulaci. Jedná se o superpozici P a I regulace.

Matematicky potom můžeme PI regulaci vyjádřit jako

$$Y = \int_0^T f(X) \cdot dt + k \cdot X$$

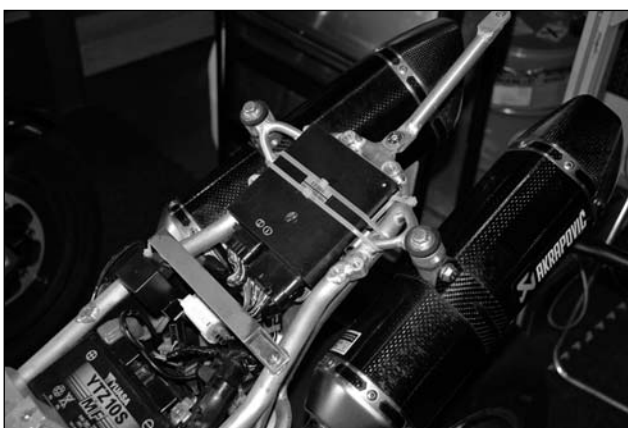
Řízení motorů

Systémy řízení motorů představují základní kámen elektroniky v motorovém vozidle. Postupem vývoje již ovšem nejsou obvykle schopny pracovat samostatně, neboť jsou zaintegrované do elektronických systémů celého vozidla a pro správnou funkci vyžadují vzájemnou kooperaci s řadou z nich. Tato vzájemná kooperace se dnes uskutečňuje pomocí palubních datových sítí, tzv. multiplexů, zpravidla typu CAN-BUS.

Implementace algoritmů vlastní diagnostiky někdy může svádět mechaniky k slepému využívání diagnostických

přístrojů, čtení paměti závad a zapomínání na fundamentální pravidla fyziky, mechaniky a elektrotechniky. Výsledkem jsou tak někdy bezradní mechanici, nespokojení majitelé vozidel a chybně fungující motory.

Pokusme se tedy poodhalit roušku tajemství a seznámíme se s tím, co má vlastně řídicí systém motoru za úkoly, co od něj můžeme očekávat a co nikoli.



Řídicí jednotka motoru, různé provedení.



Typy řídicích jednotek

V praxi se můžeme setkat s několika základními typy řídicích jednotek motorů. Pokusme se definovat jejich

rozdělení a v následujících kapitolách se seznámíme s jejich funkcemi.

Druh řídicí jednotky	Charakteristika, použití
Primární	Základní řídicí jednotka, která na základě vstupních parametrů (otáčky, poloha plynu, tlaky, teploty) komplexně zajišťuje řízení motoru (dodávka paliva, zážeh, doplňkové funkce). Do této skupiny patří všechny řídicí jednotky montované v prvovýrobě.
Korekční	Tyto řídicí jednotky neumí samostatně řídit motor ani jiný celek, ke své funkci potřebují primární řídicí jednotku. Připojují se na výstup z primární řídicí jednotky a korigují signály, které tato jednotka vysílá. Umožňují tak korigovat např. dodávku paliva nebo předstih zážehu. Do této skupiny patří různé tuningové jednotky typu PowerCommander, PowerBox a celá řada řídicích jednotek pro LPG/CNG.
Mystifikační	Tyto řídicí jednotky se, na rozdíl od předchozího případu, připojují na vstup primární řídicí jednotky popř. přímo na sběrnici CAN-BUS a ovlivňují signály ze snímačů nebo jiných jednotek. Tyto modifikované signály (údaje o teplotách, tlacích apod.) potom předávají do primární řídicí jednotky, která se potom podle toho chová. Speciální skupinou jsou jednotky, které mají za úkol obelstít různé kontrolní algoritmy, kdy některá část vozidla cíleně nepracuje správně, ale je z různých důvodů žádoucí, aby tuto informaci o chybné funkci zbytek elektronických zařízení ve vozidle neobdržel (podsouvání idealizovaných průběhů signálů do OBD, podsouvání signálů a informací pocházejících za běžných okolností z tachografu, ačkoli tachograf je fyzicky vymontován apod.)

Korekční a mystifikační jednotky tvoří v některých případech jeden konstrukční celek, jedná se většinou o dodatečně montovaná chiptuningová zařízení. S některými z nich se seznámíme později.

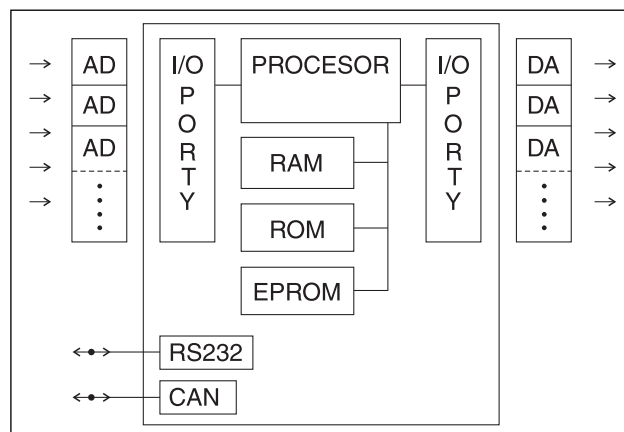
Řízení motorů primární jednotkou

Architektura řídicí jednotky

Podíváme-li se na blokové uspořádání, máme řídicí jednotku standardně složenu z následujících celků:

- procesor – „srdce“ celé řídicí jednotky. Vykonává předepsané operace, řídí běh celé jednotky.
- paměť – obsahuje data pro řízení motoru. Paměť můžeme dále dělit na následující druhy:
- ROM – tzv. trvalá paměť, obsahuje data nebo algoritmy již z výroby, která nelze přepsat. Vyznačuje se poměrně dlouhou přístupovou dobou, proto se informace v ní uložené často kopírují po zapnutí napájení do paměti RAM
- RAM – tzv. operační paměť. Informace v ní uložené lze kdykoliv přepsat. Vyznačuje se velmi krátkou dobou přístupu a též tím, že po ztrátě napájení se data v ní uložená nenávratně ztratí.
- PROM – tzv. programovatelná paměť (jednou). Do této paměti můžeme jedenkrát uložit požadovaná data, poté se paměť chová již jako ROM. Pokud bychom potřebovali změnit uložená data, musíme paměť vyhodit a použít novou.
- EPROM – programovatelná paměť s externím výmazem. Do této paměti můžeme data jedenkrát uložit, poté zde zůstanou i po vypnutí napájení. Jejich výmaz lze provést jedině pomocí UV záření, poté je možno ji opět naprogramovat.
- EEPROM – přepisovatelná paměť, která si zachovává naprogramovaná data i po vypnutí napájení. Data je možno bez externího zásahu kdykoli přepsat či vymazat. Doba přepisu je však poměrně dlouhá, proto se nehodí na běžné operace (na ty je tu paměť RAM), ale pouze na uchování dat před vypnutím zařízení. Během zápisu dat zároveň nesmí dojít k výpadku napájení, může dojít k poškození paměti.
- Sběrnice – zajišťuje přenos dat mezi paměti, procesorem, vstupními a výstupními obvody.
- Vstupní a výstupní obvody – jsou osazeny DA a AD převodníky, popřípadě výkonovými ovládacími členy, spínacími velkými proudy. Pomocí těchto obvodů se informace ze snímačů dostanou do řídicích algoritmů a naopak, např. informace o velikosti dávky paliva se převedou na impuls pro otevření vstřikovačů.

- CAN-Interface – tento obvod představuje též určitou formu vstupního/výstupního obvodu, ale na počítačové úrovni. Zajišťuje komunikaci řízení motoru s ostatními elektronickými zařízeními ve vozidle (např. převodovka, přístrojová deska, apod.)



Příklad architektury řídicí jednotky. AD – analogovo-digitální převodníky, I/O PORTY – vstupně-výstupní porty, RAM – operační paměť, ROM – trvalá nepřepisovatelná paměť, EPROM – trvalá přepisovatelná paměť (za určitých podmínek), DA – digitálně-analogové převodníky, RS232 – komunikační rozhraní po sériové lince, CAN – interface pro vozidlovou komunikaci prostřednictvím CAN sítě.

Řídicí strategie

Hlavními úkoly systému řízení motoru (ECU) je dodávka paliva a zapálení nasáté směsi v souladu s momentálním provozním režimem. Současně provádí ECU obsluhu periferních zařízení, opět podle požadavků motoru, řidiče a momentálních provozních podmínek. Pojďme se nyní vžít do role konstruktéra a projdeme si krok za krokem celý, v našem případě fiktivní, řídicí systém motoru.

Základní řídicí veličiny

Mezi základní řídicí veličiny, podle kterých budeme provádět vlastní regulaci, můžeme zařadit:

- otáčky motoru (RPM)
- zatížení motoru

Otáčky motoru nemá smysl jakkoli komentovat, jejich význam je zřejmý. Ke stanovení jak dodávky paliva, tak i předstihu zážehu však potřebujeme mimo jiné informaci o zatížení motoru, kterou můžeme získat několika způsoby:

- snímáním polohy škrtky klapky (TPS)
- snímáním tlaku v sacím potrubí (MAP)
- snímáním průtoku vzduchu do motoru (MAF)

Nejčastěji se využívá snímání tlaku v sacím potrubí, proto jej pro naše další úvahy použijeme také. Pokud bychom

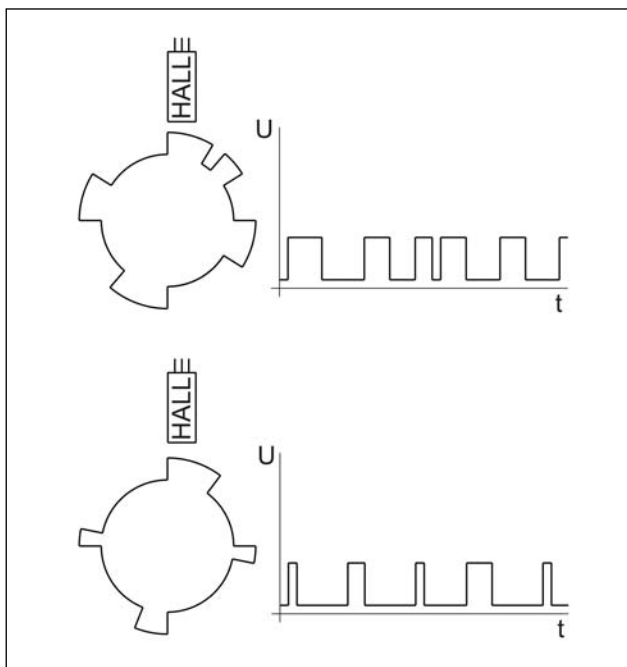
však měli motor vybaven recirkulací výfukových plynů (EGR), bude výhodnější snímat průtok vzduchu do motoru, neboť v případě otevření recirkulačního ventilu se nám změní tlak v sacím potrubí, což by nám přinášelo zbytečné problémy s hledáním řídicích algoritmů a korekcí.

V některých případech se pro řízení využívá kombinace dvou snímačů reprezentujících zatížení motoru. Pro určitou oblast, zpravidla částečná zatížení, se aplikuje řízení pomocí map RPM x MAP, v jiné oblasti, zpravidla vyšší zatížení motoru, potom RPM x TPS. Nevýhodou použití map RPM x TPS je nutnost aplikace přidavných korekcí např. v případě, že se nám bude měnit tlak na vstupu do sání motoru (náporová sání, proměnné délky sacích potrubí, regulace teploty nasávaného vzduchu apod.).

Další informací, kterou budeme potřebovat při návrhu systému řízení motoru je informace o poloze motoru. Tu můžeme získat v zásadě dvěma způsoby, v praxi se využívají oba a závisí na typu řídicího systému, jaký systém získávání dat jeho autoři zvolili.

a) snímání polohy klikového hřídele

Systém využívá snímače otáček, umístěného na klikovém hřídeli motoru. Snímač otáček pracuje nejčastěji na principu Hallova jevu a snímá jinak pravidelné výřezy na setrvačnicku, kterých je na jednu otáčku např. 8, 16 či 22. V místě odpovídající úvrati motoru, tzn. místě, které vezmeme za impuls pro zapálení směsi a pro vstříknutí dávky paliva budeme mít ovšem jeden výřez odlišný (např. širší, užší nebo dvojitý). Nevýhodou tohoto řešení je, že nemůžeme realizovat sekvenční vstříkování, ale pouze simultánní nebo skupinové (např. Škoda Felicia 1.3; systém řízení Siemens Simos 2).



Snímání polohy klikového hřídele – nerovnoměrné dělení setrvačnicku a příklad průběhu signálu.

b) snímání polohy vačkového hřídele v kombinaci se snímačem otáček klikového hřídele

Systém využívá dvojici snímačů, kde jeden z nich snímá pravidelné výřezy na setrvačnicku pro informaci o otáčkách motoru a druhý snímač snímá polohu motoru pomocí snímání polohy vačkového hřídele. Snímání polohy vačkového hřídele můžeme opět provést např. Halloým snímačem, který bude spouštěn výřezy/nálitky na rozvodovém kole. Jeden výřez/nálitek bude odlišný (užší, širší) a bude udávat polohu prvního válce motoru. Impulzy z klikového hřídele v tomto případě využíváme pro zapalování, impulzy z vačkového hřídele potom pro vstříkování paliva buďto přímo nebo v synchronizaci s impulzy z klikového hřídele.

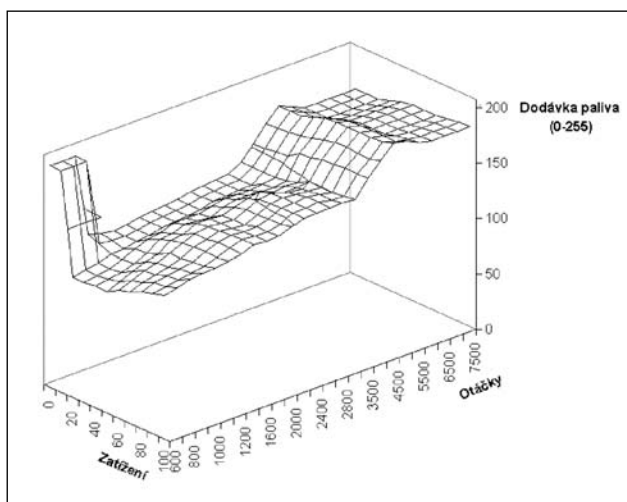
Informace o otáčkách a poloze motoru jsou klíčové pro funkci řídicího systému. Pokud tedy nemůžeme motor nastartovat, budeme potenciální závadu hledat nejprve zde.

Kromě toho využijeme pro řízení motoru ještě další vstupní veličiny (teploty, tlaky), o nich se však zmíníme až na místě.

Stanovení základní dodávky paliva

Základní dodávka paliva je závislá na otáčkách motoru a jeho zatížení. Zkombinujeme-li tyto veličiny dohromady, získáme tzv. palivové mapy. Hodnoty v palivových mapách mohou nabývat pro každou kombinaci otáček a zatížení velikosti 0 až 255 (1 Byte) a odpovídají době otevření vstříkovacího ventilu. Konkrétní data musíme získat na základě řady zkoušek prováděných na motorovém dynamometru.

Jednotlivé systémy se od sebe liší hustotou těchto palivových map. Často se používá i nerovnoměrné rozdělení rastru (jak otáčkového tak TPS). V oblasti nižších otáček, ve kterých je motor častěji provozován, je dělení otáčkového rastru např. po 100 min⁻¹. Se zvyšujícími se otáčkami nám rastr řídne na 200 či 500 min⁻¹ a při vysokých otáčkách používáme rastr 1000 min⁻¹. Podobná je situace při dělení rastru zatížení (TPS, MAP), kdy bereme v úvahu fakt, že při malém zatížení (malém otevření škrtící klapky) i malá změna otevření klapky vyvolá podstatné změny ve výkonu motoru, proto je dělení jemnější, zatímco při otevření blízcím se 100% se změny v chování motoru projevují jen málo a tak může být dělení hrubší. Hardware ECU potom provádí lineární nebo kvadratickou interpolaci zadaných hodnot pro konkrétní otáčky a zatížení. Důvod, proč nepoužíváme stále jemné dělení, je poměrně prostý – úspora paměti ECU. Ukázkou palivové mapy (RPM x MAP) můžete vidět např. na připojeném obrázku.



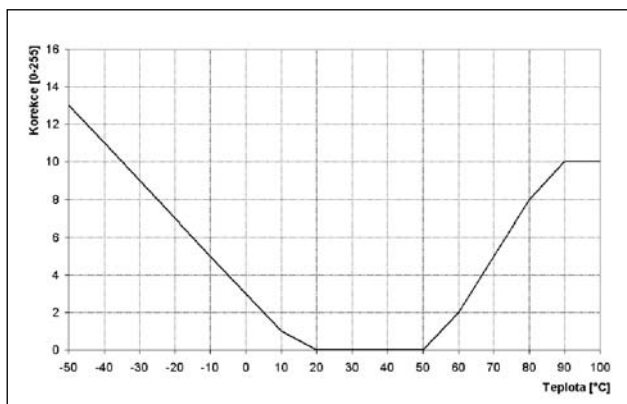
Základní palivová mapa zážehového motoru.

Korekce dodávky paliva

Základní dodávka paliva se bude korigovat podle vnějších vlivů tak, abychom měli zajištěno stálé složení směsi a přiměřený jízdní komfort. Hlavními veličinami budou:

- barometrický tlak
- teplota nasávaného vzduchu
- teplota motoru
- teplota paliva
- napětí palubní sítě/vliv ukostření motoru

Tyto jednotlivé korekce budou obsahovat tabulky, o kolik % se bude upravovat základní dodávka paliva. Tabulky však nebudou přímo obsahovat jednotlivá %, ale opět jejich „počítačové“ vyjádření v hodnotách 0 až 255. Vzhledem k tomu, že korekce mohou nabývat kladných i záporných hodnot, bude nulové korekci odpovídat hodnota 128 a ostatní hodnoty budou vztaheny k tomuto středu. Ukázkou korekce vidíme v připojeném obrázku.



Příklad korekce dodávky paliva s ohledem na teplotu nasávaného vzduchu.

Dodávka paliva v přechodových stavech

Motor nám musí bezchybně a přitom ekonomicky pracovat nejen při ustáleném režimu, ale i během přechodových stavů, kterých nalezneme v běžném provozu takřka většinu. Vzhledem k tomu, že doposud popsané řízení dodávky paliva může vykazovat při reálném určité časovou setrvačnost (např. vlivem regulace tlaku paliva, kondenzace aerosolu směsi v sacím potrubí apod.), setkali bychom se při akceleraci s ochuzením a při deceleraci s obohacením směsi. Následné korekce tyto vlastnosti do jisté míry eliminují.

a) obohacení při akceleraci

Pohyb škrticí klapky snímáme pomocí TPS. Při zvětšení otevření škrticí klapky systém provede prodloužení doby otevření vstřikovacích ventilů o hodnotu $FUEL_{acc}$, která se dále násobí rychlostí otevření škrticí klapky. Tato hodnota se bude ovšem s každou otáčkou motoru snižovat o hodnotu $DFUEL_{acc}$ až k nule.

b) ochuzení při deceleraci

Proběhne analogicky, jako předchozí obohacení při akceleraci. Pohyb škrticí klapky snímáme pomocí TPS. Při uzavírání škrticí klapky provede systém zkrácení doby otevření vstřikovacích ventilů o hodnotu $FUEL_{dec}$, která se bude, stejně jako při akceleraci, násobit rychlostí otevření škrticí klapky. Toto ochuzení se bude s každou otáčkou motoru snižovat o hodnotu $DFUEL_{dec}$ až k nule, kdy již systém bude pracovat pouze s korigovanou základní dodávkou paliva.

c) obohacení při prudké akceleraci

Při prudké akceleraci, kdy rychlost otevření škrticí klapky překročí hodnotu TO_{max} , provedeme pro zajištění dobrých dynamických parametrů motoru silné obohacení směsi. Velikost tohoto obohacení bude dána proměnnou $MFUEL$ a úbytky s každou otáčkou motoru do normálního stavu $DMFUEL$. Toto obohacení též můžeme mít závislé na teplotě motoru – při studeném motoru z důvodu dobrého komfortu jízdy bude obohacení větší, při teplém motoru stačí menší.

Důvod rozdělení obohacení směsi na „běžné“ a prudké akcelerace je poměrně prostý – nutnost plnění emisních limitů. Při homologačních emisních testech, jejichž jízdní režim je v Evropských předpisech velmi mírný, se tak uplatní pouze strategie „běžných“ akcelerací a vozidlo požadavkům těchto emisních předpisů vyhoví.

Obohacení při plném výkonu

Při požadavku plného výkonu motoru je žádoucí provést obohacení směsi, abychom možnosti motoru využili co nejvíce. Toto obohacení můžeme provést několika způsoby:

1. pomocí již zmíněné základní dodávky paliva, kdy v oblasti plných zatížení budeme definovat bohatší směs (nejčastější případ)
2. pomocí separátní palivové mapy
3. pomocí tabulky procentuálních korekcí, tyto korekce budou otáčkové závislé

První způsob je nejjednodušší, ovšem bude v činnosti vždy, když se režim práce motoru dostane do oblastí, kdy jsme směs z důvodu předpokladu využití jeho plného výkonu obohatili. Druhý způsob je neoptimálnější, ale také nejnáročnější na kapacitu paměti ECU. Třetí způsob představuje určitý kompromis mezi funkcností a nároky na paměť.

K oběma posledně zmiňovaným způsobům musíme ještě definovat tabulku spínacího prahu, tj. tabulku, v níž bude pro různá zatížení stanoveno, při jaké poloze škrticí klapky (nikoli podtlaku v sání nebo množství nasávaného vzduchu) budeme obohacení provádět. Tento práh budeme mít většinou nastaven na 80% otevření škrticí klapky, ale není to podmínkou, je možné definovat jiné hodnoty.

Oba poslední způsoby mají jednu výhodu – je možné je explicitně vypnout, vyžaduje-li to situace. Nechceme tím přímo narážet na legislativu a zejména na pravidla týkající se povolených exhalací motorů, ale i s nimi musí návrhář ECU počítat.

Kalibrace vstřikovačů

Systém řízení motoru musí umožnit tzv. kalibraci vstřikovače. Znamená to, že musíme systému řízení poskytnout informace o nominálním průtoku paliva vstřikovačem. Tyto informace se do systému běžně vkládají pouze při jeho vývoji, nicméně se s nimi můžeme setkat např. při přizpůsobování řídicí jednotky třetích výrobců pro sportovně upravený motor nebo při výměně původních vstřikovačů za jiný typ.

Kalibrace se typicky zadává ve tvaru závislosti průtoku paliva vstřikovačem na napájecím napětí. Napájecí napětí logicky ovlivňuje velikost otevření vstřikovače a pokud bychom systému řízení neposkytli informace o průběhu této závislosti, byla by při poklesu palubního napětí (volnoběh s rozsvícenými světly, startovací fáze, vznik přechodových odporů apod.) dodávka paliva menší než je žádoucí a při jeho vzrůstu naopak větší.

Kalibrace vstupních veličin

Systém řízení musíme mít vybaven kalibrací vstupních veličin, resp. kalibračními snímači. V principu jde o to, sdělit systému elektrický průběh vstupní veličiny a přiřadit jej číslcovému vyjádření. Fyzický převod potom zajistí AD převodník na vstupu řídicí jednotky. Kalibrace se provádí jednak při výměně snímače za jiný typ a jednak při některých dílenských úkonech (např. nastavení TPS).

V praxi nejčastěji kalibrujeme tyto vstupy:

- TPS – systému musíme sdělit napětí na TPS při plně zavřené a plně otevřené škrticí klapce
- Teplotní snímače – v několika bodech (cca 5–10) přiřadíme odpovídající teplotě hodnotu napětí na snímači
- MAP – pro několik hodnot tlaku opět přiřadíme odpovídající hodnotu napětí (analogový typ) nebo šířku pulsu (frekvenčně-pulsní typ)
- I-sonda – stanovíme napětí pro přechod chudý/bohatý u klasické sondy nebo úplnou charakteristiku v případě širokopásmové sondy
- RPM snímač – zadáváme počet pulsů na otáčku motoru spolu s informací o synchronizaci (poloha delšího pulsu), pokud je použita
- VSS – zadáváme počet pulsů, který snímač vyšla při určité rychlosti jízdy (např. při 100 km/h) nebo vzdálenost, kterou vozidlo ujede na 1 impuls
- Snímač zařazeného rychlostního stupně – rozmanitost tohoto vstupu je velmi rozsáhlá, neboť můžeme užít několika způsobů jeho detekce
- při použití potenciometrického snímače v převodovce budeme postupně řadit jednotlivé stupně a přiřazovat jim hodnotu napětí na snímači
- při použití karuselového přepínače v převodovce budeme opět řadit jednotlivé stupně a přiřazovat jednotlivým logickým vstupům do ECU význam v podobě zařazeného stupně
- v případě, že převodovka žádný snímač neobsahuje, budeme zařazený převodový stupeň určovat z poměru rychlosti jízdy (VSS) a otáček motoru (RPM). Musíme tak provést jízdní zkoušku na všechny převodové stupně.

Stanovení okamžiku vstřiku

Abychom mohli komplexně řídit dodávku paliva do motoru, musíme mít možnost stanovit nejen délku vstřiku (množství paliva) ale i okamžik vstřiku, abychom zajistili pro všechny provozní režimy její optimální složení, ať již z hlediska emisí škodlivin a spotřeby paliva či výkonu motoru. Tato hodnota se bude měnit v závislosti na otáčkách motoru a jeho zatížení a dále může být korigována např. podle teploty motoru či teploty nasávaného vzduchu.