

Vstřikovací systémy Motronic

Motronic spojuje v jedné řídicí jednotce kompletní elektroniku řízení motoru, která u zážehového motoru vykonává všechny potřebné řídicí zásahy.

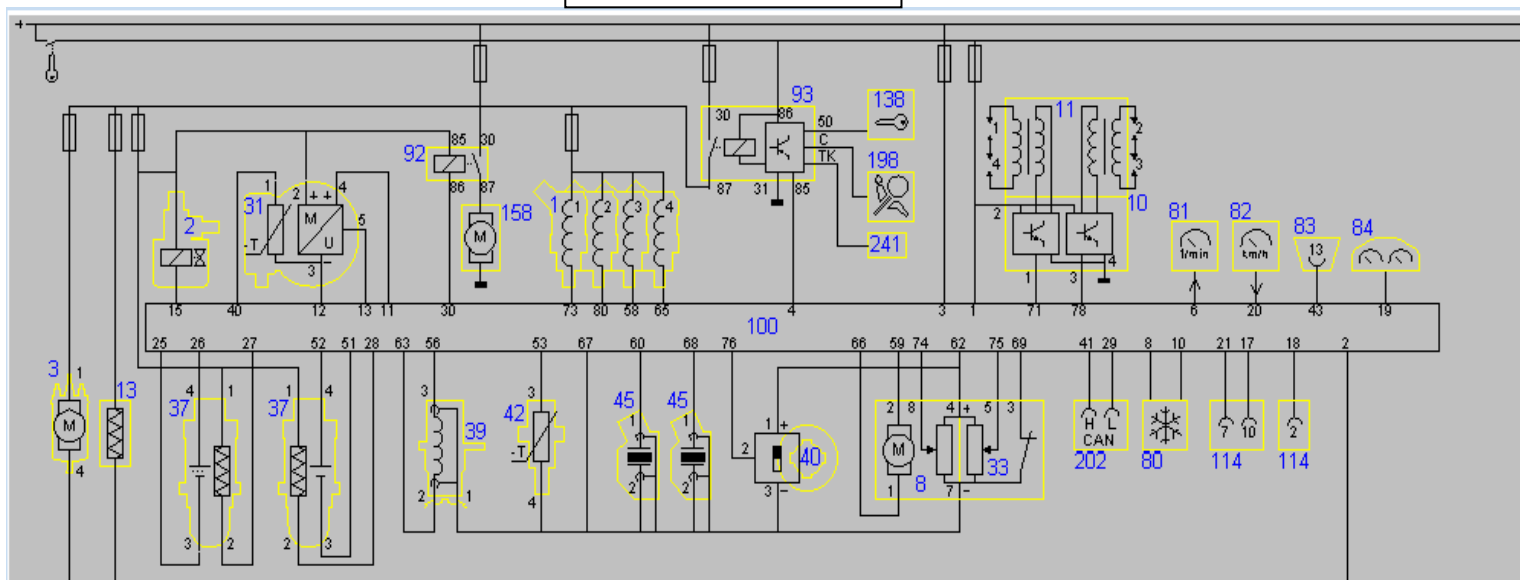
Provozní data jsou získávána pomocí snímačů a vstupní obvody v řídicí jednotce upravují tato data pro mikroprocesor. Ten zpracovává upravená data, rozpoznává z nich provozní stav motoru a vypočítává potřebné ovládací signály. Koncové stupně zesilují tyto signály, ovládající posléze akční členy, které řídí provozní stavy motoru. Tím je dosaženo optimální přípravy směsi a její zapálení ve správný okamžik při různých provozních stavech motoru.

Systémy pod označením Motronic, které se vyvinuly ze staršího systému L Jetronic, se vyrábí od roku 1979 ve velkém množství verzí.

Následující popis s příslušnými vyobrazeními se vztahuje na typické provedení systému Motronic. Další varianty jsou přizpůsobeny individuálním požadavkům výrobců automobilů a zemím s rozličnými zákony.

Zapojení řídicí jednotky

Zapojení řídicí jednotky



Základní funkce

Jádro systému Motronic tvoří řízení vstřikování i zapalování..

Přídavné funkce

Další řídicí a regulační funkce jsou nutné ke snížení emisí a spotřeby paliva jež jsou požadovány zákonnými normami. Tyto funkce rozšiřují základní systém Motronic a dovolují tak hlídání všech vlivů na složení výfukových plynů.

Patří sem :

- regulace volnoběžných otáček,
- lambda regulace,
- řízení systému odvětrání palivové nádrže,
- regulace klepání,
- recirkulace spalín ke snížení obsahu NO_x
- řízení vhnění sekundárního vzduchu ke snížení obsahu HC

Při zvýšených požadavcích výrobce automobilů může být systém doplněn ještě o následující funkce:

- řízení turbodmychadla jakož i sacího potrubí s proměnnou délkou k regulaci nárůstu výkonu motoru,
- řízení nastavení vačkových hřídelů ke snížení emisí ve výfukových plynech jakož i regulaci nárůstu výkonu motoru a
- regulaci klepání jakož i omezení maximálních otáček a omezení maximální rychlosti jízdy potřebné k ochraně motoru a vozidla.

System řízení motoru

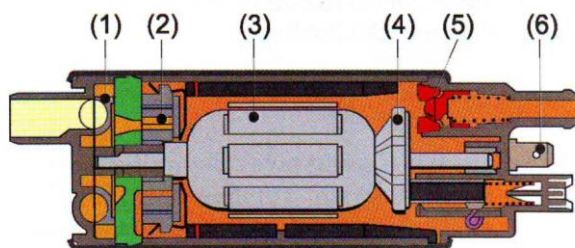
Motronic spolupracuje s řídicími jednotkami ostatních elektronických systémů ve vozidle. Umožňuje kromě jiného propojení s řídicí jednotkou automatické převodovky, přičemž snížením kroutícího momentu motoru při řazení šetří převodovku, a společně s řídicí jednotkou ABS zajišťuje regulaci prokluzu hnacích kol (ASR) a tím zaručuje vyšší bezpečnost jízdy.

Palivový systém

System má za úkol zásobovat motor za všech podmínek dostatečným množstvím paliva. **Elektrické palivové čerpadlo** dopravuje palivo z palivové nádrže přes **palivový filtr** do **rozdělovače paliva** s **elektromagnetickými vstřikovacími ventily**. Tyto dávkují palivo do sacího potrubí motoru. Nespotebované palivo protéká přes **regulátor tlaku** zpět do nádrže.

Ve většině případů využívá regulátor tlaku paliva při regulaci také podtlak v sacím potrubí. Neustálý průtok paliva zajišťuje chlazení a zamezuje vzniku nežádoucích bublinek palivových par. Regulátor tlaku paliva udržuje v soustavě konstantní diferenční tlak obvykle asi 300 kPa. Pokud je potřeba, může být do palivového systému vřazen tlakový tlumič, který redukuje tlakové pulzace paliva.

Elektrické palivové čerpadlo



- (1) - základní stupeň (odstředivé čerpadlo s bočním kanálem)
- (2) - hlavní stupeň (zubové čerpadlo)
- (3) - rotor elektromotoru
- (4) - komutátor
- (5) - zpětný ventil
- (6) - elektrické připojení

Elektrické palivové čerpadlo dopravuje palivo kontinuálně z palivové nádrže. Čerpadlo může být umístěno přímo v nádrži ("Intank"), nebo na palivovém vedení ("Inline").

V současné době jsou zpravidla používána "Intank" čerpadla integrovaná do tělesa palivové nádrže, vybavená navíc snímačem stavu paliva a prostorem pro odloučení bublinek přicházejících z vratného potrubí. U čerpadel "Inline" se může, kvůli teplotním problémům, použít malé předčerpadlo umístěné v nádrži, které k hlavnímu čerpadlu dopravuje palivo pod malým tlakem. Aby byl zajištěn potřebný tlak paliva za všech provozních podmínek, je dopravované množství paliva vždy vyšší než maximální spotřeba motoru.

Elektrické palivové čerpadlo je ovládáno přes řídicí jednotku motoru a z bezpečnostních důvodů je znemožněna doprava paliva při zapnutém zapalování a stojícím motoru.

Konstrukce

Elektromotor a vlastní čerpadlo se nachází ve společném tělese a jsou trvale omývány palivem. To zajišťuje dostatečné chlazení elektromotoru. Nepřítomnost kyslíku zabraňuje vytvoření zápalné směsi a tudíž nehrozí nebezpečí výbuchu. Na přípojném víku jsou elektrické přípojovací kontakty, zpětný ventil a nátrubek výtlaku. Zpětný ventil udržuje po odpojení napětí ještě po určitou dobu tlak v systému a zamezuje tím tvorbě bublinek.

V závislosti na systémových požadavcích se používají různé typy čerpadel .

Objemová čerpadla

Do této skupiny patří válečková lamelová čerpadla a vnitřní zubová čerpadla. Princip čerpání je u těchto čerpadel založen na změně velikosti oběžných komor. Do zvětšujících se komor je nasáváno palivo přes plnicí otvor a když je dosaženo maximálního naplnění komory, plnicí otvor se uzavře a otevře se výtlakový otvor. Zmenšováním komor je pak palivo vytlačováno. U válečkového lamelového čerpadla jsou komory tvořeny válečky vedenými v rotujících drážkách obvodového kola. Válečky jsou odstředivou silou a tlakem paliva přitlačovány vně na excentricky uloženou válečkovou dráhu, přičemž excentricita mezi obvodovým kolem a válečkovou dráhou způsobuje neustálé zvětšování a zmenšování objemu komor.

Vnitřní zubové čerpadlo sestává z vnitřního poháněného kola, zapadajícího svými zuby do excentricky uloženého vnějšího oběžného kola, které má o jeden zub více. Při otáčení se mezi vzájemně utěsněnými boky zubů vytvářejí v jejich meziprostorech komory proměnných velikostí.

Válečková lamelová čerpadla mohou být použita do přetlaku 650 kPa. Vnitřní zubová čerpadla do 400 kPa, což stačí prakticky pro všechny systémy Motronic.

Proudová čerpadla

Do skupiny proudových čerpadel patří obvodová lopatková a boční kanálová čerpadla. U těchto čerpadel jsou částice paliva urychlovány oběžným kolem a vháněny do kanálu, kde výměnou impulzů vzniká tlak. Obvodová lopatková čerpadla se odlišují od bočních kanálových čerpadel vyšším počtem lopatek, tvarem oběžného kola a po obvodě (periferně) umístěnými kanály. S obvodovými lopatkovými čerpadly lze vytvořit maximální tlak jen asi 400 kPa. Díky kontinuálnímu, prakticky nepulzujícímu proudu paliva je vhodné pro použití ve vozidlech s nároky na bezhlučnost. Boční kanálová čerpadla jsou schopna vytvořit tlak jen asi 30 kPa. Používají se proto především jako předčerpadla u systémů s "Inline" čerpadly nebo jako první stupeň čerpadel "Intank" ve vozidlech, která mají problémy se studeným startem, jakož i u systémů s centrálním vstřikováním paliva.

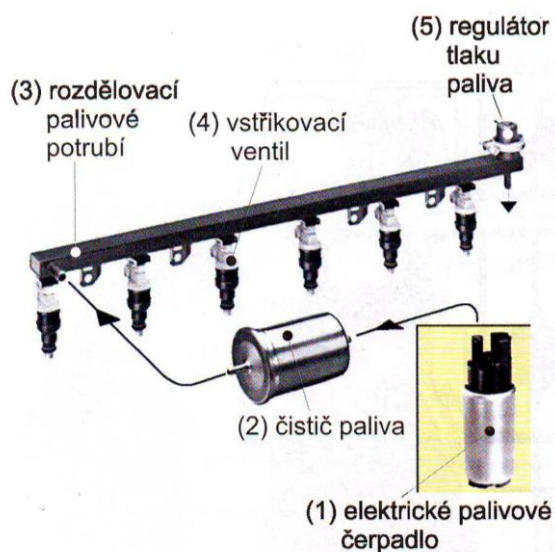
Většina moderních vstřikovacích systémů používá v současnosti dvou čerpadel nebo dvoustupňových čerpadel.

Palivový filtr

Nečistoty v palivu mohou ovlivnit správnou funkci vstřikovacích ventilů a regulátoru tlaku paliva. Za elektrické palivové čerpadlo je proto vřazen palivový filtr. Palivový filtr obsahuje papírovou vložku se střední velikostí pórů 10 μm . Papírová vložka filtru je fixována v kovovém pouzdru pomocí opěrné desky. Interval výměny filtru je závislý na objemu filtru a znečištění paliva.



Rozdělovač paliva – palivová lišta



Palivo protéká rozdělovačem paliva a je tak rovnoměrně rozděleno ke všem vstřikovacím ventilům. Kromě vstřikovacích ventilů je na rozdělovač paliva většinou připevněn i regulátor tlaku paliva a případně tlumič tlakových rázů. Speciální konstrukce rozdělovače paliva zabraňuje místním změnám tlaku způsobeným rezoncencemi při otevírání a zavírání vstřikovacích ventilů, čímž je zabráněno nerovnoměrnostem ve vstřikovaném množství paliva. V závislosti na požadavcích jednotlivých typů vozidel jsou rozdělovače paliva zhotoveny z oceli, hliníku nebo plastu.

Regulátor tlaku paliva

Vstřikované množství má být závislé pouze na době vstřiku a proto musí zůstat konstantní rozdíl mezi tlakem paliva v rozdělovači a tlakem v sacím potrubí. Proto musí regulátor tlaku paliva propouštět do zpětného potrubí takové množství paliva, aby byl tlakový rozdíl na vstřikovacích ventilech (rozdíl tlaku paliva a tlaku v sacím potrubí) konstantní.

Regulátor tlaku paliva bývá většinou montován na konci rozdělovače paliva, ale může být také umístěn na palivovém vedení.

Regulátor tlaku paliva je membránový s přepadem. Membrána z pogumované tkaniny rozděluje regulátor tlaku na palivovou a pružinovou komoru. Pružina tlačí přes na membráně integrovaný ventilový nosič na ventilové sedlo. Když tlak paliva působící zespoda na membránu překročí protitlak pružiny, otevře se ventil a odpustí se takové množství paliva zpět do palivové nádrže, aby bylo dosaženo rovnovážného stavu. Pružinová komora regulátoru tlaku paliva je pneumaticky spojena se sacím potrubím v místě za škrtkovou klapkou. Tlak v sacím potrubí odpovídá proto tlaku v pružinové komoře. Na membránu působí stejné tlakové poměry jako na vstřikovací ventil. Tlakový spád na vstřikovacím ventilu závisí proto na síle pružiny a ploše membrány a zůstává následně konstantní.

Tlumič tlaku paliva

Taktování vstřikovacích ventilů a periodické výtlaky od palivového čerpadla způsobují pulzace paliva. Tyto pulzace se mohou za určitých okolností přenášet přes upevnění palivového čerpadla, palivové vedení a rozdělovač paliva na palivovou nádrž a karosérii vozidla. Vznikající hluk lze minimalizovat úpravami uložení a speciálními tlumiči tlaku paliva. Tlumič tlaku paliva je podobné konstrukce jako regulátor tlaku paliva. Stejně jako u něj odděluje membrána podepřená pružinou palivový a vzduchový prostor. Síla pružina je dimenzována tak, aby se membrána nadzvedla při dosažení pracovního tlaku paliva. Variabilní palivový prostor tak může při tlakových špičkách palivo upustit a při poklesu tlaku tlak zvýšit. Aby mohl být absolutní tlak paliva řízen podle proměnného tlaku v sacím potrubí, může být pružinová komora propojena se sacím potrubím. Stejně jako u regulátoru tlaku paliva může být tlumič tlaku připevněn na rozdělovači paliva nebo umístěn na palivovém potrubí.

Vstřikování paliva

Každému válci motoru je přiřazen jeden elektromagnetický vstřikovací ventil. Ventil vstřikuje přesně odměřené množství paliva ve správný okamžik přímo před sací ventil(y) válce motoru. Tímto způsobem je zcela odstraněna nevýhoda vysrážení paliva na stěnách sacího potrubí motoru. Sací potrubí přivádí motoru pouze vzduch pro spalování a může být proto optimálně přizpůsobeno plnicím požadavkům motoru.

Elektromagnetický vstřikovací ventil

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.

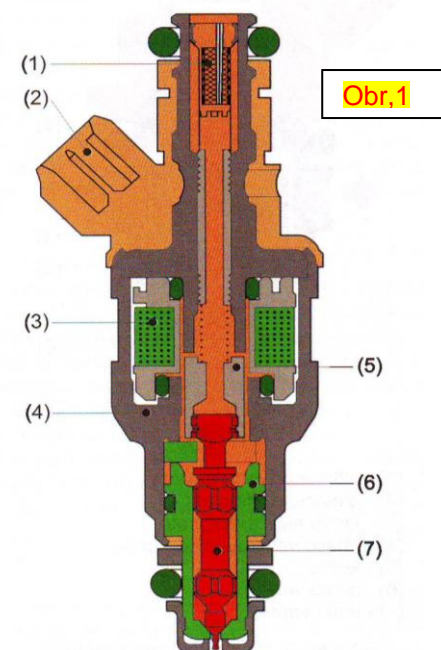
Jakmile začne řídicí jednotka ovládat elektromagnetickou cívku v tělese ventilu, nadzvedne se ventilová jehla o 60...100 μm a palivo může být vstřikováno kalibrovaným otvorem do sacího potrubí.

Mohou být použity dva typy vstřikovacích ventilů:

"Top-Feed"-obr.1- vstřikovací ventil je zásobován palivem axiálně shora ("top-feed").

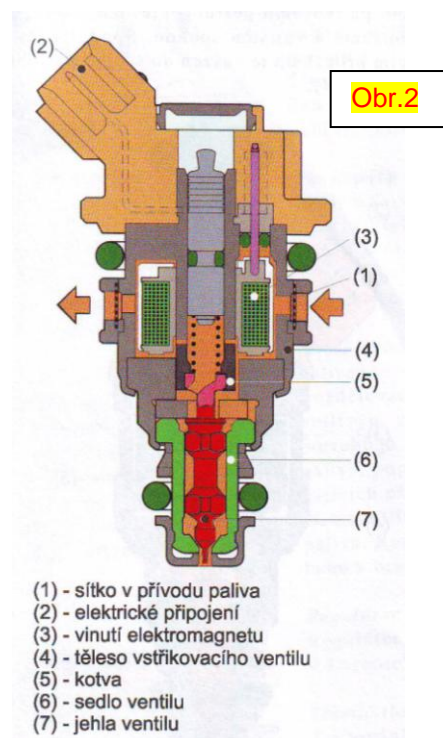
Horním těsnícím kroužkem je vsazen do příslušně tvarovaného otvoru v rozdělovači paliva a je zajištěn proti vypadnutí přídržnou svorkou a spodním těsnícím kroužkem je vsazen do sacího potrubí motoru.

"Bottom-Feed"-obr.2- vstřikovací ventil je integrován do rozdělovače paliva je neustále proplachován palivem. Přívod paliva je ze strany ("bottom-feed"). Rozdělovač paliva je montován přímo na sací potrubí. Ventil je fixován přídržnou svorkou nebo víkem rozdělovače paliva, které může také obsahovat elektrické připojovací kontakty. Úniku paliva zabraňují dva pryžové kroužky.



Obr.1

- (1) - sítko v přívodu paliva
- (2) - elektrické připojení
- (3) - vinutí elektromagnetu
- (4) - těleso vstřikovacího ventilu
- (5) - kotva
- (6) - sedlo ventilu
- (7) - jehla ventilu



Obr.2

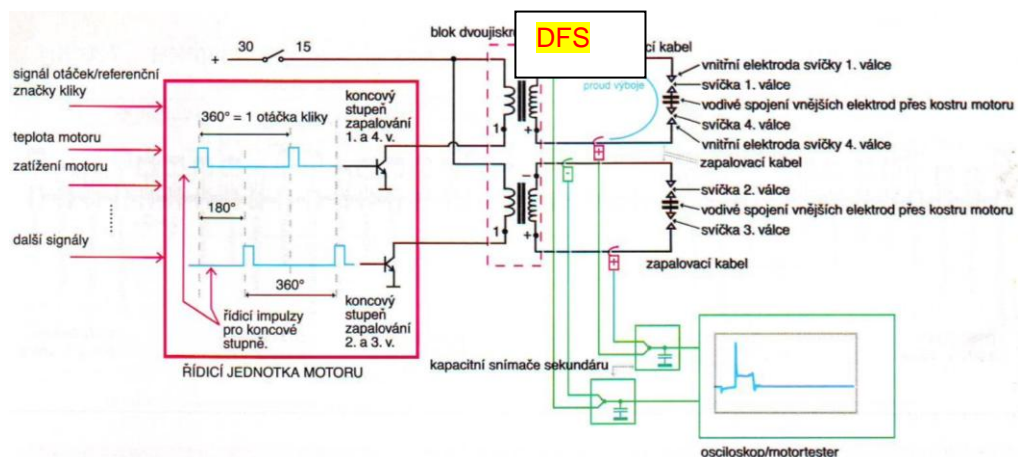
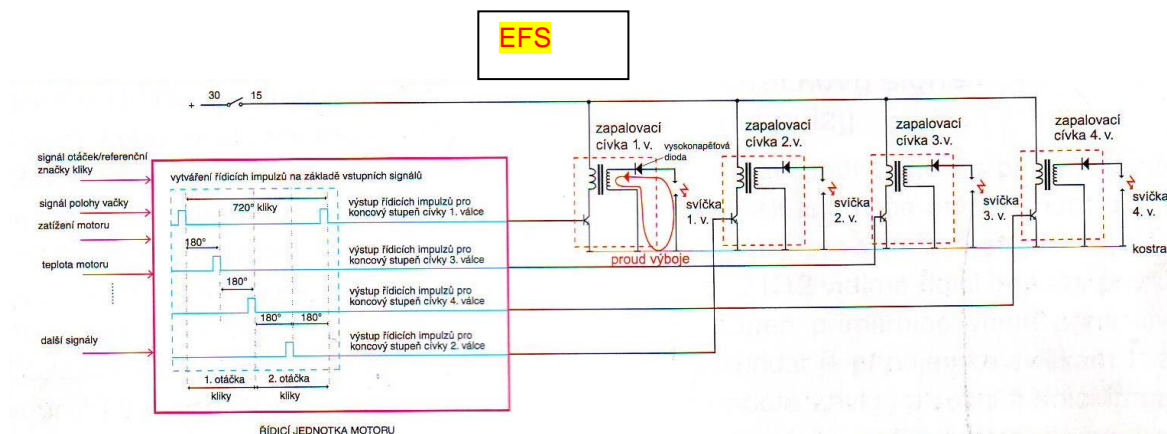
- (1) - sítko v přívodu paliva
- (2) - elektrické připojení
- (3) - vinutí elektromagnetu
- (4) - těleso vstřikovacího ventilu
- (5) - kotva
- (6) - sedlo ventilu
- (7) - jehla ventilu

Vysokonapětový obvod zapalování

Ve vysokonapětovém obvodu zapalování je vytvářeno vysoké zapalovací napětí a ve správný okamžik rozdělováno na jednotlivé zapalovací svíčky.

Vysokonapětový obvod Motronic může být rozdílného provedení:

- Vysokonapětový obvod s jednou zapalovací cívkou, jedním koncovým stupněm a jedním rozdělovačem vysokého napětí pro všechny válce (zapalování s rotačním rozdělovačem).
- Vysokonapětový obvod s jednou jednojiskrovou zapalovací cívkou (EFS) a jedním koncovým stupněm pro každý válec (bezrozdělovačové neboli elektronické zapalování). Každému válci je přidělena jedna zapalovací cívka a jeden koncový stupeň, ovládané v pořadí zapalování řídicí jednotkou Motronic.
- Vysokonapětový obvod s jednou dvoujiskrovou zapalovací cívkou (DFS) a jedním koncovým stupněm pro každé dva válce (bezrozdělovačové neboli elektronické zapalování). Jedné zapalovací cívice s jedním koncovým stupněm jsou přiřazeny dva válce motoru. Na konce sekundárního vinutí jsou napojeny po jedné zapalovací svíčke příslušného válce. Válce jsou zvoleny tak, aby v horní úvratí byl vždy jeden z páru ve fázi komprese a druhý ve fázi výfuku. V době zápalu přeskočí jiskra na obou zapalovacích svíčkách.



Snímání provozních dat

Zatížení motoru

Jedna z hlavních veličin pro výpočet vstřikovaného množství a okamžiku zážehu je zatížení motoru. Pro stanovení zatížení motoru se u systémů Motronic používají následující snímače zatížení:

- měřič množství vzduchu,
- měřič hmotnosti vzduchu se žhaveným drátem,
- měřič hmotnosti vzduchu s vyhříváním filmem,
- snímač tlaku v sacím potrubí a
- snímač polohy škrtkové klapky.

Snímač polohy škrtkové klapky se u systémů Motronic většinou používá jako tzv. vedlejší snímač zatížení, společně s výše jmenovanými hlavními snímači zatížení.

Měřič množství vzduchu

Měřič množství vzduchu je umístěn mezi vzduchovým filtrem a škrtkovou klapkou a měří objem proudu vzduchu nasátý motorem [m^3/h]. Proud vzduchu natáčí měřicí klapku proti konstantní síle vratné pružiny a úhel natočení klapky je snímán potenciometrem. Napětí na potenciometru je vedeno do řídicí jednotky, kde se porovnává s napájecím napětím potenciometru. Tento napěťový poměr je úměrný množství vzduchu nasátého motorem.

Aby nedocházelo, vlivem pulzací nasávaného vzduchu, ke chvění měřicí klapky, je systém doplněn protiklapkou s tlumícím prostorem. Změny hustoty vzduchu způsobené různou teplotou nasávaného vzduchu jsou korigovány snímačem teploty integrovaným do měřiče množství vzduchu, jehož hodnotu odporu zpracovává řídicí jednotka motoru.

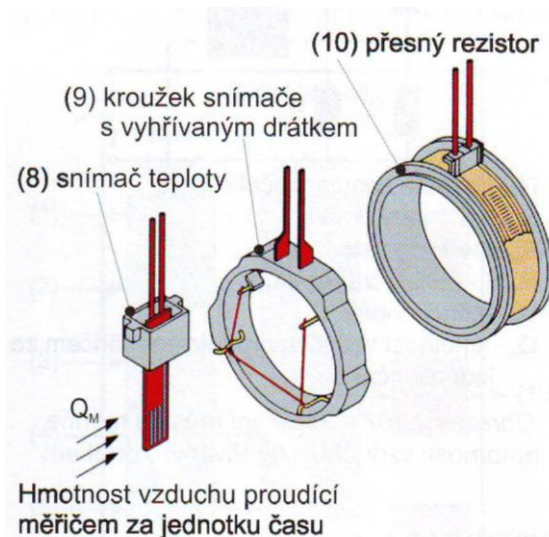
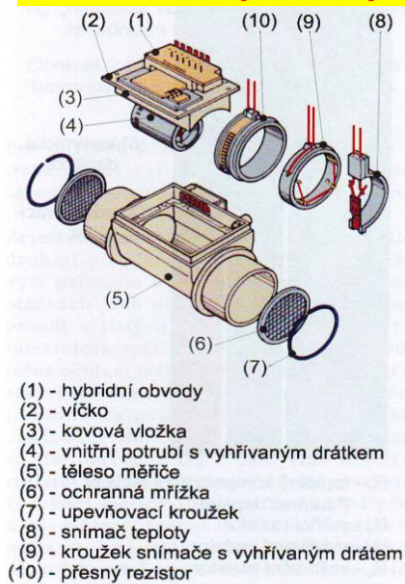
Měřič množství vzduchu byl používán u starších vývojových verzí.

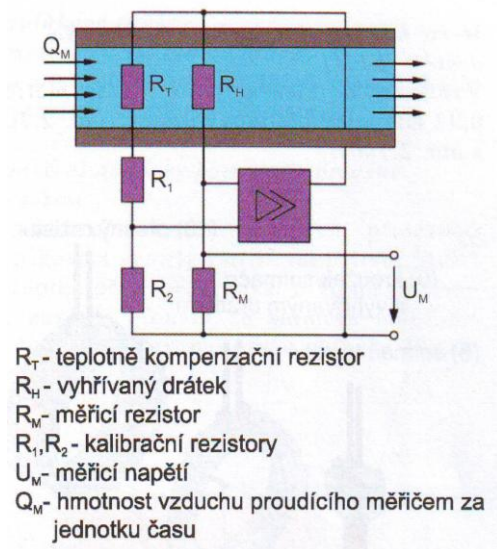
Měřič hmotnosti vzduchu

U měřičů hmotnosti vzduchu se žhaveným drátem a vyhříváním filmem se jedná o "termické" snímače zatížení. Jsou umístěny mezi vzduchovým filtrem a škrtkovou klapkou a měří hmotnost proudu vzduchu nasátého motorem [kg/h]. Oba měřiče pracují na stejném principu.

V proudu nasávaného vzduchu se nachází elektricky vyhříváné tělísko, 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 vyhříváného tělíska.

Měřič hmotnosti vzduchu se žhaveným drátem





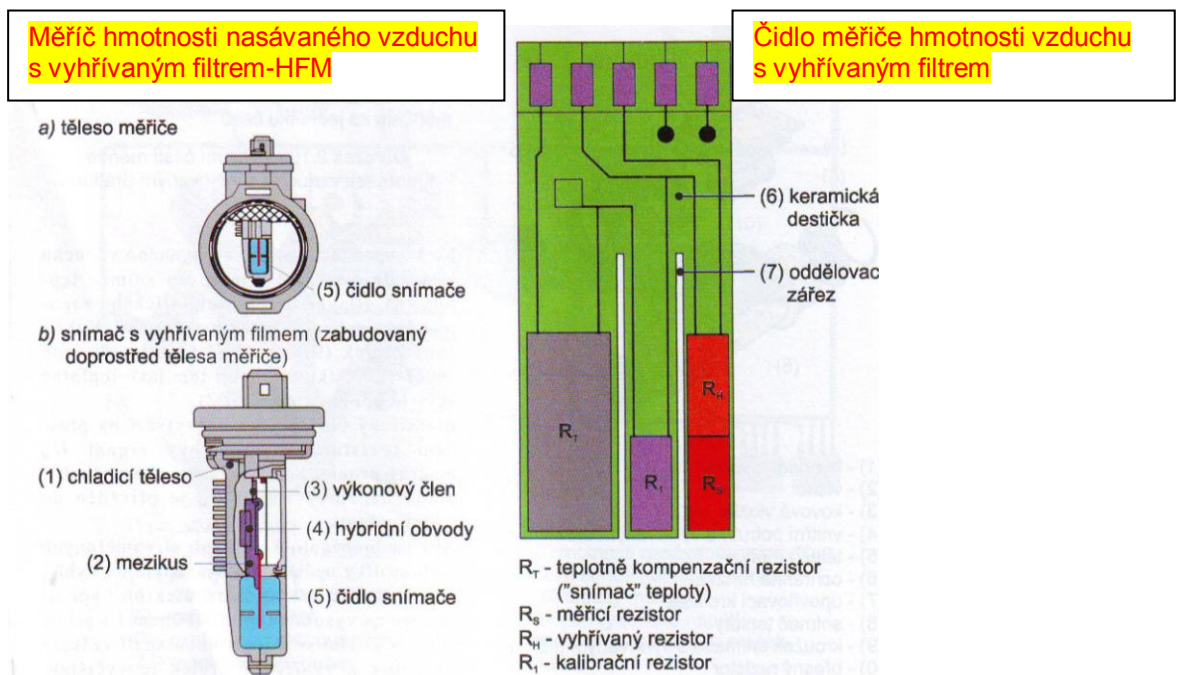
Zapojení můstku měřiče hmotnosti vzduchu s vyhříváním drátkem

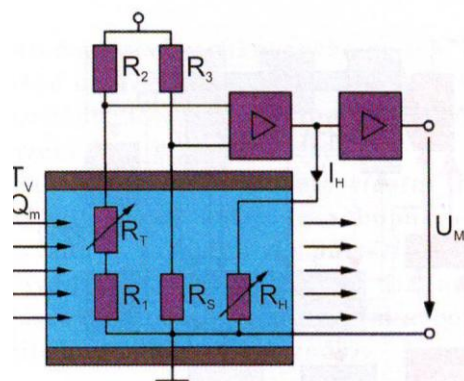
U měřiče hmotnosti vzduchu se žhaveným drátem je vyhřívané tělísko tvořeno 70 μm tenkým platinovým drátkem. Pro kompenzaci teploty nasávaného vzduchu je v tělese měřiče integrován snímač teploty. Žhavicí elektrický proud vytváří na přesném měřicím odporu proporcionální napěťový signál, úměrný hmotnosti proudu vzduchu, který je přiváděn k řídicí jednotce. Pro minimalizaci nepřesností způsobených usazeninami na platinovém drátku je při každém vypnutí motoru žhaveny drát na jednu sekundu rozžhaven. Tím se případné usazené nečistoty spálí, popř. odpaří a drátek se tak vyčistí.

Měřič hmotnosti vzduchu s vyhříváním filmem

U měřiče hmotnosti vzduchu s vyhříváním filmem je vyhřívané tělísko tvořeno tenkým platinovým filmem. Ten se nachází společně s dalšími elementy můstkového zapojení na keramické destičce.

Teplota filmu je získávána z teplotně závislého odporu (snímač průtoku), který je součástí můstku. Dlouhodobá přesnost zůstává zachována i bez spalování nečistot. Protože se nečistoty usazují zejména na přední hraně sensorového elementu, části rozhodující pro přenos tepla, umístěné na keramickém substrátu, zůstávají bez usazenin. Navíc je sensorový element zkonstruován tak, že případné usazeniny nečistot neovlivní jeho obtékání.





Zapojení můstku měřiče hmotnosti vzduchu s vyhříváním filtrem

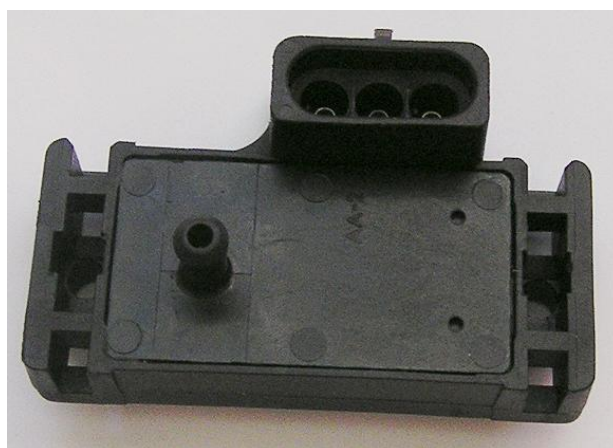
- R_T - teplotně kompenzační rezistor ("snímač" teploty)
- R_s - měřicí rezistor
- R_H - vyhřívavý rezistor
- R_1, R_2, R_3 - kalibrační rezistory
- U_M - měřicí napětí
- I_H - elektrický vyhřívací proud
- T_V - teplota vzduchu
- Q_m - hmotnost vzduchu proudícího měřičem za jednotku času

Snímač tlaku v sacím potrubí

Snímač tlaku v sacím potrubí je pneumaticky propojen se sacím potrubím a snímá v něm absolutní tlak [kPa]. Existují snímače tlaku zabudované do řídicí jednotky motoru a snímače tlaku pro připevnění v blízkosti nebo na sací potrubí. Snímač tlaku zabudovaný v řídicí jednotce je se sacím potrubím propojen hadičkou.

Snímač je vnitřně rozdělen na tlakový člunek se dvěma měřicími elementy a na prostor s vyhodnocovacím obvodem. Oba měřicí elementy a vyhodnocovací obvod jsou umístěny na desce z keramického substrátu.

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 řídicí jednotky motoru.



Snímač polohy škrtkící klapky

Snímač polohy škrtkící klapky snímá úhel natočení škrtkící 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.

Snímač polohy škrtkící klapky je připevněn na tělese škrtkící klapky a je spojen s jejím hřídelem. Potenciometr vyhodnocuje úhel natočení škrtkící klapky a přenáší poměr napětí přes odporové zapojení do řídicí jednotky.

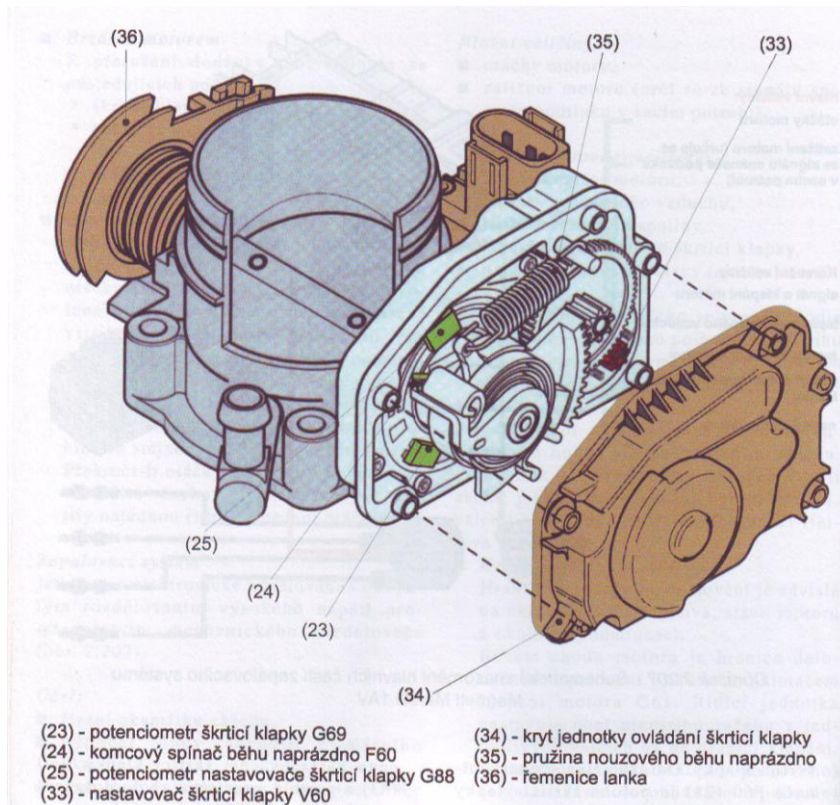
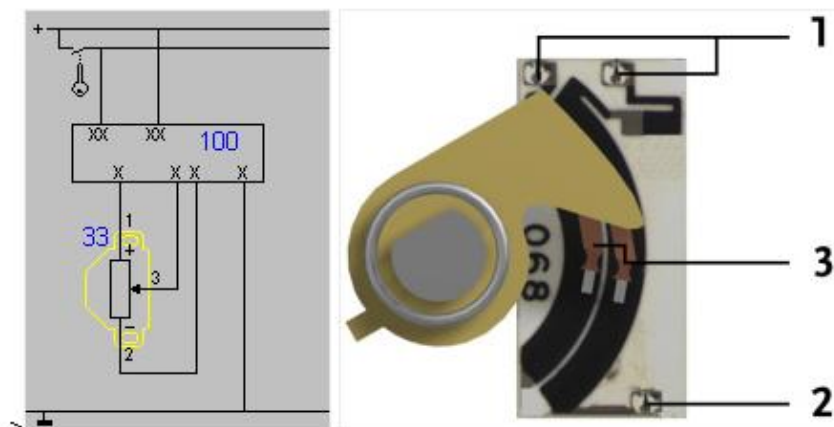


Schéma zapojení jednoduchého potenciometru a schematické znázornění desky potenciometru.



Snímač otáček a polohy klikového hřídele

Pro stanovení okamžiku zážehu je použita jako měřící 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.

Indukční snímač - tvorba signálu polohy klikového hřídele
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 řídicí jednotce 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. Řídicí jednotka 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 zuby tak může být takto vypočtená časová jednotka pro úhel natočení (krok $0,75^\circ$) přidána jednou, dvakrát nebo třikrát.

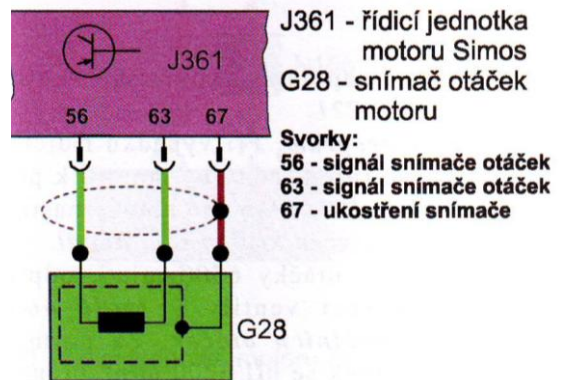
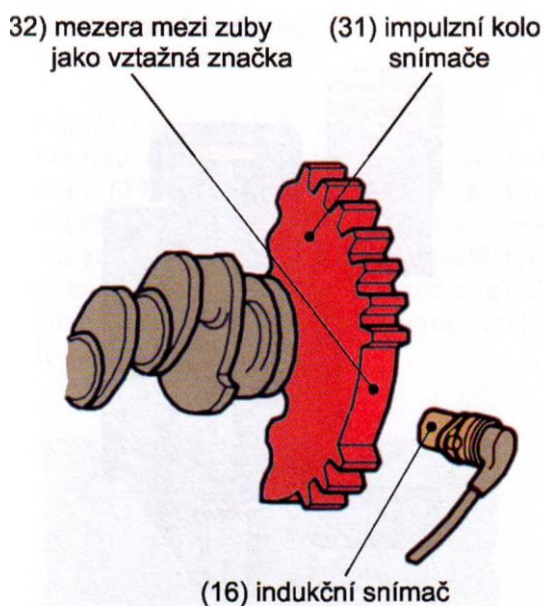
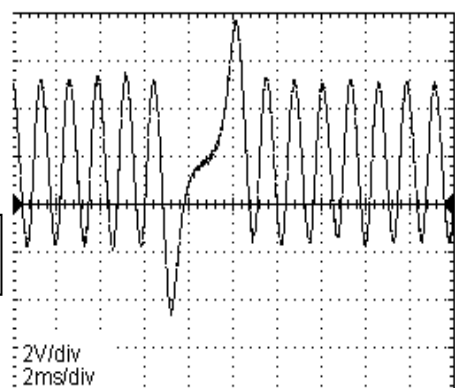


Schéma el. zapojení indukčního snímače polohy a Otáček klikového hřídele

Indukční snímač polohy a otáček klikového hřídele

Naměřený signál pomocí osciloskopu



Snímač polohy vačkového hřídele

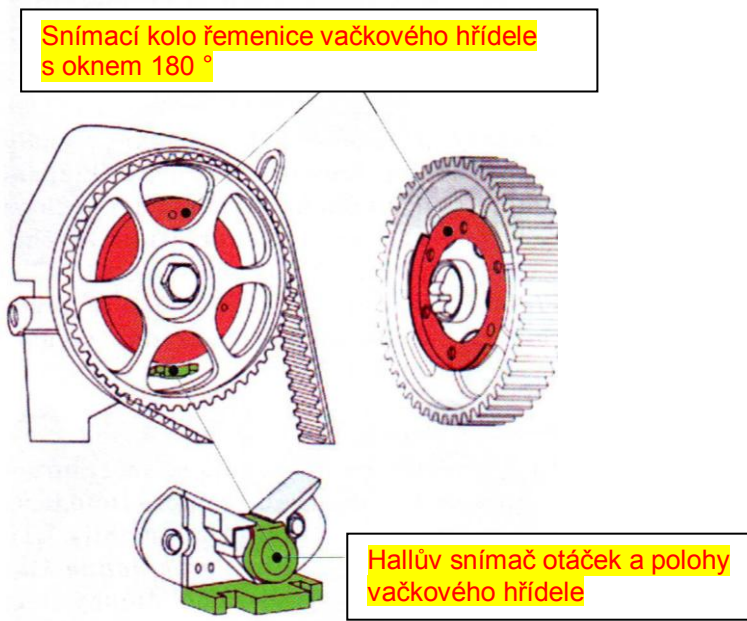
Vačkový hřídel ovládá sací a výfukové ventily motoru. Oproti klikovému hřídeli se otáčí poloviční rychlostí. Když se píst ve válci pohybuje do horní úvratě, pak je podle polohy sacích a výfukových ventilů určeno, zda se píst nachází ve fázi komprese nebo výfuku. Tuto informaci nelze získat z klikového hřídele.

Je-li zapalování vybaveno mechanickým rozdělovačem poháněným z vačkového hřídele, pak palec rozdělovače vždy ukáže na správný válec a řídicí jednotka nepotřebuje k zapálení směsi informaci o poloze vačkového hřídele.

Na rozdíl od těchto zapalování s rotačním rozdělováním vysokého napětí potřebují systémy Motronic s bezrozdělovačovými zapalovacími systémy a s jednojiskrovými zapalovacími cívkami přídavné informace. Řídicí jednotka totiž musí rozhodnout, kterou zapalovací cívku, s příslušnou zapalovací svíčkou, 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.

Poloza 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.



Lambda sonda (skoková) - složení směsi

Lambda sonda měří součinitel přebytku vzduchu lambda (λ). 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 naneseny 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 (nevyhřívána sonda) popř. od 200°C (vyhřívána sonda).

Aktivní keramika vyhřívání sondy je zevnitř vyhřívána keramickým topným tělískem, takže je dostatečné pracovní teploty keramiky sondy dosaženo i při nízké teplotě spalin.

Vyhřívána 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). Vyhřívání sondy mají kratší reakční doby, což vylepšuje rychlost regulace.

Snímače klepání - detonačního spalování

U zážehových motorů se může za určitých abnormálních podmínek vyskytovat typické "klepání" omezující nárůst výkonu a účinnosti motoru. Tento nežádoucí spalovací proces se nazývá detonační spalování nebo-li 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 řídicí jednotky Motronic.

Počet a umístění snímačů klepání musí být 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.

Snímače teploty motoru a nasávaného vzduchu

Snímač teploty motoru je osazen teplotně závislým odporem, který vyčnívá do chladící kapaliny motoru a sdílí její teplotu.

Stejným způsobem získá snímač v sacím potrubí teplotu nasávaného vzduchu.

Tento odpor má negativní teplotní koeficient (NTC) a je součástí děliče napětí, který je napájen napětím 5 V.

Úbytek napětí na odporu je vyhodnocován analogově-digitálním převodníkem a je úměrný teplotě. V řídicí jednotce je uložena tabulka, ve které každé hodnotě napětí odpovídá určitá teplota a tím je kompenzována nelineární charakteristika mezi napětím a teplotou.

Napětí akumulátoru

Otvírací a zavírací čas elektromagnetického vstřikovacího ventilu je závislý na napětí akumulátoru. Vyskytne-li se během provozu zakolísání palubního napětí, zkoriguje řídicí jednotka 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.

Zpracování provozních dat

V řídicí jednotce je ze signálů zatížení a otáček motoru vypočítána hodnota zatížení, která odpovídá hmotnosti nasátého vzduchu za jeden zdvih motoru. Tato hodnota zatížení je brána jako základ pro výpočet doby vstříku a pro pole charakteristik určujícího úhel předstihu zážehu.

Při použití měřiče hmotnosti vzduchu s žhaveným drátem popř. vyhřívaným filmem je přímo měřena hmotnost vzduchu, která je použita jako veličina pro výpočet hodnoty zatížení. Při měření měřičem množství vzduchu je pro zjištění hmotnosti vzduchu nutné použít korekci hustoty vzduchu. V jednotlivých případech jsou chyby v měření způsobené silnými vzduchovými pulzacemi v sacím potrubí kompenzovány korekcí pulzace.

Měření tlaku

U systémů měřících tlak v sacím potrubí neexistuje, v porovnání se systémy měřícími přímo hmotnost vzduchu, žádný matematický vztah mezi tlakem v sacím potrubí a hmotností nasátého vzduchu. Pro výpočet hodnoty zatížení je zde v řídicí jednotce použito přízpusobovací pole charakteristik.

Výpočet doby vstříku

Základní doba vstříku

Základní doba vstříku je vypočítávána přímo z hodnoty zatížení a konstanty vstříkovacího ventilu. Tato konstanta vstříkovacího ventilu definuje vztah mezi ovládacím časem vstříkovacího ventilu a protékajícím množstvím a je závislá na jeho konstrukci. Základní dimenzování přitom probíhá na součinitel přebytku vzduchu $\lambda = 1$.

To platí tak dlouho, dokud je diferenční tlak mezi tlakem paliva a tlakem v sacím potrubí konstantní. V ostatních případech je tento vliv na dobu vstříku kompenzován pomocí korekčního pole charakteristik λ . Vliv kolísajícího napětí akumulátoru, na otevírací a zavírací čas elektromagnetického vstříkovacího ventilu, je kompenzován korekcí na napětí akumulátoru.

Efektivní doba vstříku

Efektivní doba vstříku je k dispozici po dodatečném propočítání korekčních veličin. Tyto jsou vypočítávány ve zvláštních funkcích a zohledňují rozličné provozní rozsahy a provozní stavy motoru. Během startu probíhá oddělený výpočet doby vstříku, který je nezávislý na hodnotě zatížení.

Okamžik vstříkování

Vedle správné doby vstříku je okamžik vstříkování další z parametrů optimalizujících spotřebu paliva a emise výfukových plynů.

U simultánního vstříkování, kde dochází ke vstříkování všech vstříkovacích ventilů v jeden okamžik, dvakrát za cyklus, jednou za otáčku klikového hřídele, je okamžik vstříku je dán pevně předem.

U skupinového vstříkování jsou vytvořeny dvě skupiny vstříkovacích ventilů, kdy každá skupina vstříkuje jednou za cyklus. Časový odstup obou skupin tvoří jedna otáčka klikového hřídele. Toto uspořádání umožňuje již načasování okamžiku vstříku dle provozních podmínek.

U sekvenční vstříkování jsou vstříkovací ventily ovládány nezávisle na sobě ve stejný okamžik, vztaženo na příslušný válec. Okamžik vstříku je volně programovatelný a lze jej přizpusobit na příslušná optimalizační kritéria.

Řízení úhlu sepnutí

Pomocí pole charakteristik úhlu sepnutí je řízena doba průtoku proudu do zapalovací cívky v závislosti na otáčkách a napětí akumulátoru tak, že je na konci doby průtoku proudu, i při provozu ve vzdálených rozsazích, dosaženo požadované hodnoty primárního proudu.

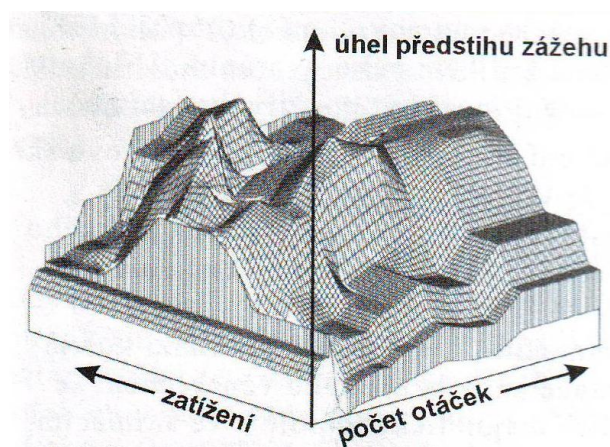
Doba sepnutí vychází z doby nabíjení zapalovací cívky, která je závislá na velikosti napětí akumulátoru. Dodatečná dynamická rychlost umožňuje dostatečně rychle pokrýt potřebu proudu také při velmi rychlém zvýšení otáček.

Omezení doby nabíjení zapalovací cívky v horním rozsahu otáček zajišťuje potřebnou dobu hoření jiskry.

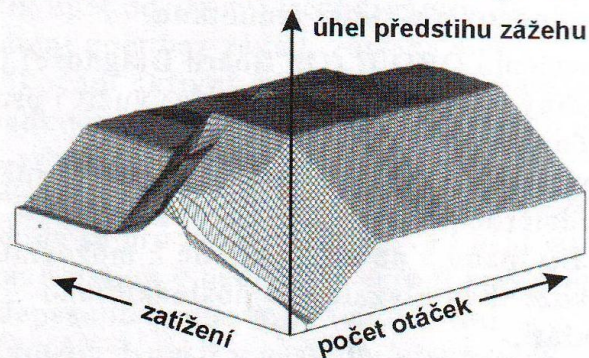
Řízení úhlu zážehu

V řídicí jednotce je uloženo pole charakteristik se základním úhlem zážehu v závislosti na zatížení motoru a jeho otáčkách. Tento úhel zážehu je optimalizován vzhledem ke spotřebě paliva a emisím ve výfukových plynech. Vyhodnocováním teploty motoru a teploty nasávaného vzduchu (převzatými ze snímačů teploty motoru a nasávaného vzduchu) jsou zohledněny změny teplot.

Další účinné korekce popř. přepnutí na jiná pole charakteristik umožňují přizpůsobení na každý provozní stav motoru. Tím jsou umožněny účinné vzájemné vazby mezi kroučícím momentem, výfukovými plyny, spotřebou, sklonem ke klepání a jízdním chováním. Speciální korekce úhlu zážehu působí například při provozu s vhněním sekundárního vzduchu nebo s recirkulací výfukových plynů, jakož i při dynamickém provozu (např. zrychlení). Dále jsou zohledněny rozličné provozní stavy jako volnoběh, částečný a plný výkon, jakož i nastartování a zahřívání.



a) datové pole při elektronické regulaci



b) datové pole při mechanické regulaci

Provozní stavy

Start

V průběhu celého startu je vstřikované množství stanoveno speciálním výpočtem.

Pro první vstřikovací impulzy je navíc zvolen speciální vstřikovací režim. Zvýšené vstřikovací množství, které je přizpůsobeno teplotě motoru, slouží k vytvoření palivového filmu na stěnách sacího potrubí a pokrývá zvýšenou potřebu paliva při rozběhu motoru. Bezprostředně po prvních otáčkách motoru (začátek startu) je zvýšené startovací množství, v závislosti na stoupajících otáčkách motoru, regulováno až do konce startovací doby. Průběhu startu je rovněž přizpůsoben i předstih zážehu, který je nastavován v závislosti na teplotě motoru a jeho otáčkách.

Doba po startu

Během doby po startu (fáze po úspěšném nastartování) probíhá další redukce zvýšeného vstřikovaného množství v závislosti na teplotě motoru a době, která uběhla od nastartování. Předstih zážehu je přizpůsoben tomuto vstřikovanému množství a odpovídajícímu provoznímu stavu motoru. Doba po startu plynule přechází do fáze zahřívání.

Zahřívání

Podle konstrukce motoru a úpravy výfukových plynů může mít fáze zahřívání různý průběh. Rozhodujícím faktorem je chování při jízdě stejně jako zlepšení emisí škodlivin a spotřeby paliva. Kombinace chudé směsi ve fázi zahřívání a malého předstihu zvyšuje teplotu výfukových plynů. Další cestou jak zvýšit teplotu spalin je provozování fáze zahřívání s bohatou směsí a s vháněním sekundárního vzduchu. Zde je těsně po nastartování vháněn vzduch do výfukového systému za výfukový ventil. Tento přídatný vzduch je přifukován do systému například pomocí ventilátoru sekundárního vzduchu. Přebytek vzduchu společně s dostatečně vysokou teplotou vede k oxidaci složek HC a CO ve výfukovém systému a tím ke zvýšení teploty výfukových plynů. Obě opatření přispívají k rychlejšímu náběhu provozní teploty katalyzátoru. Vedle zásahů do zapalování a vstřikování je možné, pro rychlejší zahřátí katalyzátoru, zvýšit volnoběžné otáčky speciálně přizpůsobeným řízením množství přísávaného vzduchu.

Po dosažení provozní teploty katalyzátoru je vstřikování řízeno na součinitel přebytku vzduchu $\lambda = 1$ a přizpůsoben je i úhel předstihu zážehu.

Zrychlení/ zpomalení

Část paliva, vstříknutého do sacího potrubí, není vždy nasáta do motoru, ale ulpí na stěnách sacího potrubí ve formě filmu. Množství takto uloženého paliva stoupá se stoupajícím zatížením a delší dobou vstřiku. Při otevírání škrtkové klapky je proto potřebná část paliva, která vytvoří palivový film na stěnách sacího potrubí. Aby se zamezilo ochuzení směsi při zrychlení, musí být toto přídatné množství paliva dodatečně vstříknuto, takže je při klesajícím zatížení ve formě filmu opět k dispozici. Proto musí být při zpomalení doba vstřiku o stejné množství paliva opět snížena.

Decelerace / obnovení

Při deceleraci je odpojeno vstřikování paliva a tím snížena spotřeba paliva a emise škodlivin.

Před odpojením vstřikovacích impulzů je nejprve snížen předstih, aby se snížil přechodový skok krouticího momentu. Při překročení daných otáček je vstřikování opět obnoveno. Aby bylo zabráněno poklesu volnoběžných otáček pod hodnotu volnoběhu, je velikost těchto otáček závislá na rozličných parametrech, jako např. teplotě motoru nebo dynamickém průběhu otáček, a je uložena v řídicí jednotce. Při obnovení vstřikování je u prvních vstřikovacích impulzů poněkud prodloužena doba vstřiku, kvůli tvorbě filmu paliva na stěnách sacího potrubí. Plynulý nástup krouticího momentu bez rušivých cukání je opět zajištěn změnou předstihu zážehu.

Regulace volnoběhu

Volnoběh

Při volnoběhu je rozhodujícím faktorem účinnost a spotřeba při volnoběžných otáčkách. Proto jsou výhodné pokud možno nízké volnoběžné otáčky. Volnoběh však musí být nastaven tak, aby za všech podmínek, jako je zatížená palubní síť, zapnutá klimatizace, zařazený rychlostní stupeň u automatické

převodovky, aktivní posilovač řízení atd., nepoklesly příliš otáčky motoru nebo aby motor neběžel nepravidelně nebo se nezastavil.

Regulace volnoběžných otáček musí vytvořit rovnováhu mezi odevzdaným kroutícím momentem a zatížením motoru a tím zajistit konstantní otáčky. Toto zatížení motoru vyrovnávané regulací volnoběhu, podléhá pomalým změnám v průběhu životnosti motoru a navíc je silně teplotně závislé.

K třecím momentům motoru se přidávají navíc již zmiňovaná externí zatížení jako klimatizace atd. Tyto externí zátěže podléhají silnému kolísání protože jsou agregáty skokově zapínány a opět vypínány. Obzvláště moderní motory s malými setrvačnými hmotami a velkoobjemovým sacím potrubím reagují citlivě na tyto změny zatížení.

Vedle signálu snímače otáček potřebuje regulace volnoběhu ještě informaci o úhlu natočení škrtkové klapky, aby byl rozpoznán požadavek volnoběhu (nesešlápnutý plynový pedál). Aby bylo možno vyregulovat teplotní závislost, je zjišťována teplota motoru.

V závislosti na teplotě motoru a požadovaných otáčkách je zvolena potřebná hmotnost vzduchu a pokud jsou k dispozici, slouží vstupní signály od klimatizace nebo automatické převodovky k včasné informovanosti řídicí jednotky a tím podporují regulaci volnoběžných otáček.

Regulace volnoběhu

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

- řízení množství vzduchu přes obtokový kanál kolem škrtkové klapky
- ovládání polohy škrtkové klapky pohyblivým dorazem elektromotorem přes převodovku popř. přímý pohon škrtkové klapky jako u "elektronického plynového pedálu".

Podstatně rychlejší možností regulace 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 a tím dojde ke zvýšení kroutícího momentu. Tato regulace se zpravidla používá jako první a nestačí-li, zahájí se regulace změnou množství vzduchu.

Lambda regulace

Účinným opatřením snižování škodlivých emisí ve výfukových plynech je jejich zpracování v třicestném katalyzátoru. Tento katalyzátor převádí tři škodlivé složky CO, HC a NO_x na H₂O, CO₂ a N₂.

Regulační rozsah (skoková lambda sonda)

K co nejúčinnější přeměně všech tří zmíněných složek výfukových plynů dochází pouze ve velmi úzkém rozsahu kolem $\lambda = 1$. Toho lze dosáhnout pouze s lambda regulací. Lambda sonda, umístěná v proudu výfukových plynů před katalyzátorem, měří obsah kyslíku.

Při chudé směsi ($\lambda > 1$) je její napětí asi 100 mV, bohatá směs vyvolá napětí přibližně 800 mV. Při $\lambda \sim 1$ skočí napětí z jedné napěťové úrovně na druhou. Řídicí jednotka vytváří ze signálu měřiče hmotnosti vzduchu a získaných otáček motoru vstřikovací signál. Pro lambda regulaci vypočítává řídicí jednotka ze signálu lambda sondy faktor, z jehož pomoci lze korigovat dobu vstřiku.

Funkce

Lambda regulace je účinná jen s provozuschopnou lambda sondou. Vyhodnocovací obvod lambda sondy neustále vyhodnocuje její připravenost k provozu.

Pokud je lambda sonda studená nebo vedení k ní přerušené či zkratované, jsou hodnoty napětí nevěrohodné a nejsou vyhodnocovány. Ve většině případů je lambda sonda vyhřívána; proto je přibližně po 30 s provozuschopná.

Studené motory potřebují pro rovnoměrný běh bohatší směs ($\lambda < 1$). Proto může být funkce lambda regulace uvedena do provozu až po překročení určité prahové teploty motoru. Při aktivní lambda regulaci je napěťový signál lambda sondy v řídicí jednotce přeměněn na dvoubodový signál, který dává podnět regulačnímu obvodu aby změnil své ovládací veličiny. Doba vstřiku je změněna (zkrácena nebo prodloužena), a s neustálou výměnou dat se nastaví trvalá oscilace regulačního faktoru.

Lambda sondy

Zjišťování hodnoty λ je v současné době pro regulaci složení výfukových plynů jednou z nejdůležitějších věcí. K jejímu stanovení se používají lambda-sondy.

Lambda-sondy se liší způsobem činnosti i konstrukcí:

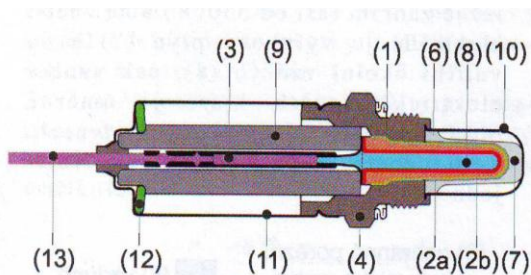
- dvoubodové
- širokopásmové

Dvoubodová lambda-sonda

Běžné vyhřívané lambda-sondy LHS a LSF se, vzhledem ke svým charakteristikám v oblasti $\lambda = 1$, označují jako dvoubodové nebo skokové. Lambda-sonda LSH (Lambda-Sonde Heizung) má snímací prvek kruhového průřezu. Lambda-sonda LSF (Lambda-Sonde Flach) má snímací prvek plochý. Ke stanovení hodnoty λ se u nich využívá napětí U_s , které na nich vzniká.

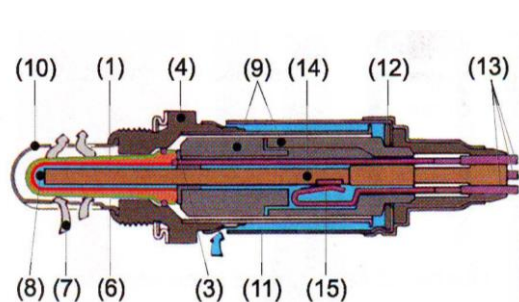
Oba uvedené typy lambda-sond se umísťují jak za katalyzátor, tak i před katalyzátor a podávají informaci o tom, zda je spalovaná směs bohatá ($\lambda < 1$) nebo chudá ($\lambda > 1$).

Lambda sonda

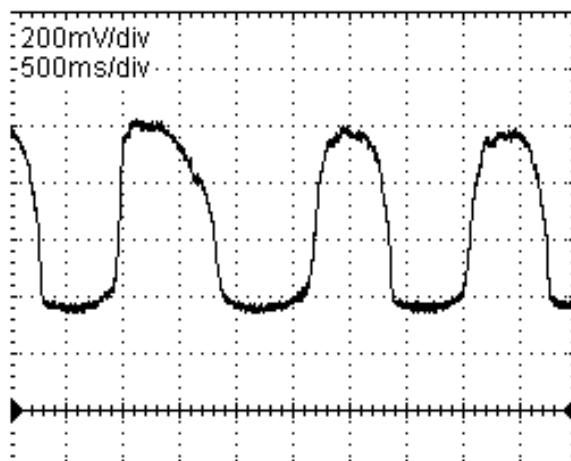


- (1) - aktivní keramika sondy
- (2a) - elektroda (-)
- (2b) - elektroda (+)
- (3) - kontaktní část (+)
- (4) - těleso sondy (-)
- (6) - porézní keramická vrstva
- (7) - výfukové plyny
- (8) - vzduch
- (9) - keramická opěrná trubka
- (10) - ocelová ochranná trubka se štěrbinami
- (11) - ochranné pouzdro
- (12) - talířová pružina
- (13) - elektrický vodič

Vyhřívaná Lambda sonda



- (1) - aktivní keramika sondy
- (3) - kontaktní část
- (4) - těleso sondy
- (6) - porézní keramická vrstva
- (7) - výfukové plyny
- (8) - vzduch
- (9) - opěrná trubka
- (10) - ochranná kovová trubka
- (11) - ocelové pouzdro
- (12) - talířová pružina
- (13) - připojovací vodiče
- (14) - vyhřívací tělísko
- (15) - kontakt vyhřívacího tělíska



Signál naměřený osciloskopem

Širokopásmová lambda-sonda

Zástupcem nové řady lambda-sond je lambda-sonda LSU (Lambda-Sonde Universal).

Ke stanovení hodnoty λ se u nich využívá velikost čerpacího proudu I_p (viz dále), který vypočítává řídicí jednotka motoru. Křivka čerpacího proudu je rostoucí. Lambda-regulace je možná v širokém rozmezí od $\lambda = 0,7$ do $\lambda = 4$ → proto širokopásmová.

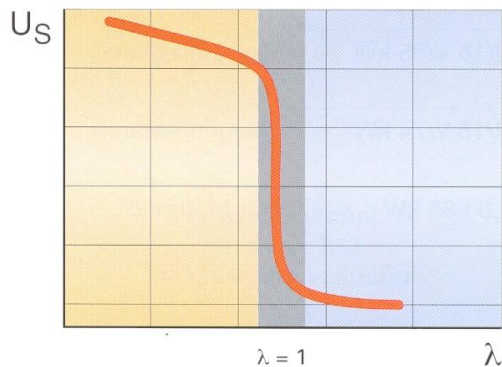
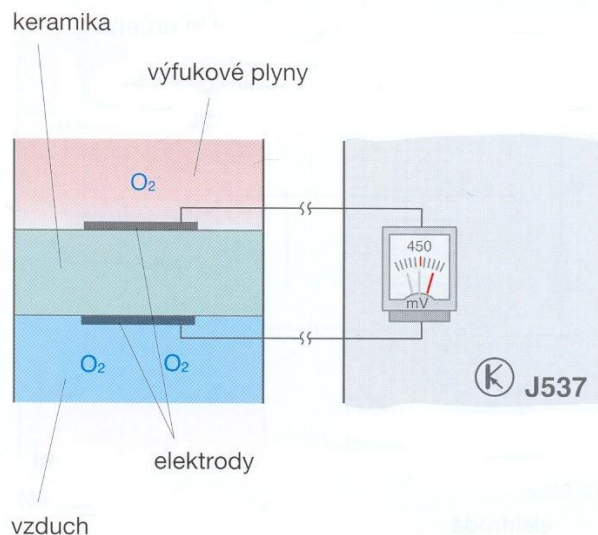
Širokopásmová lambda-sonda se používá jako lambda-sonda před katalyzátorem.





Konstrukce a popis činnosti

K popisu konstrukce a zejména k vysvětlení základních principů činnosti je použito značně zjednodušených vyzobrazení.

Dvoubodová lambda-sonda

Základem je tzv. Nernstova buňka. Tvoří ji keramická destička, na níž jsou z obou stran naneseny vrstvy, které slouží jako elektrody. Jedna elektroda je spojena s vnějším vzduchem a druhá s výfukovými plyny. Vlivem rozdílné koncentrace kyslíku



-  napětí U_S
-  bohatá směs
-  chudá směs
-  oblast skokové změny

ve výfukových plynech a ve vzduchu vzniká mezi elektrodami napětí U_S .

Vzniklé napětí je vedeno do řídicí jednotky motoru, která z něj vypočítává hodnotu λ .

Širokopásmová lambda-sonda

Širokopásmová lambda-sonda je kombinací dvou keramických buněk:

- Nernstovy buňky (viz dvoubodová lambda-sonda)
- čerpací buňky

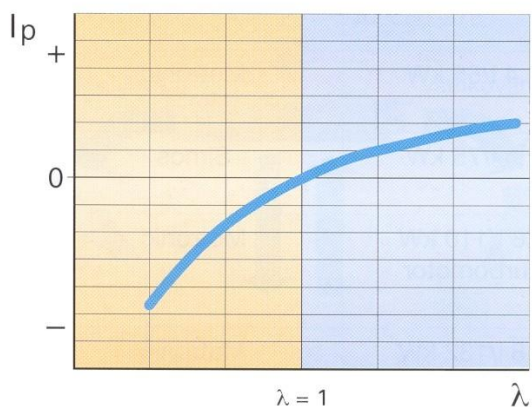
Na Nernstově buňce (jako na části širokopásmové lambda-sondy) vzniká, v důsledku rozdílné koncentrace kyslíku na jejich elektrodách, napětí. Tento efekt je u čerpací buňky využíván obráceně, tzn., že přivedením napětí na elektrody bude na nich docházet ke vzniku rozdílu obsahu kyslíku. V závislosti na polaritě bude do měřicího prostoru (nebo naopak z něj) „čerpáno“ tolik kyslíku, aby na Nernstově buňce bylo trvale napětí 450 mV.

Popis činnosti širokopásmové lambda-sondy

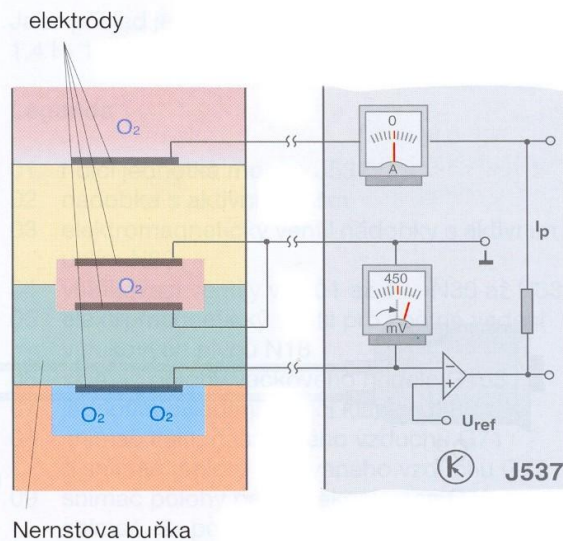
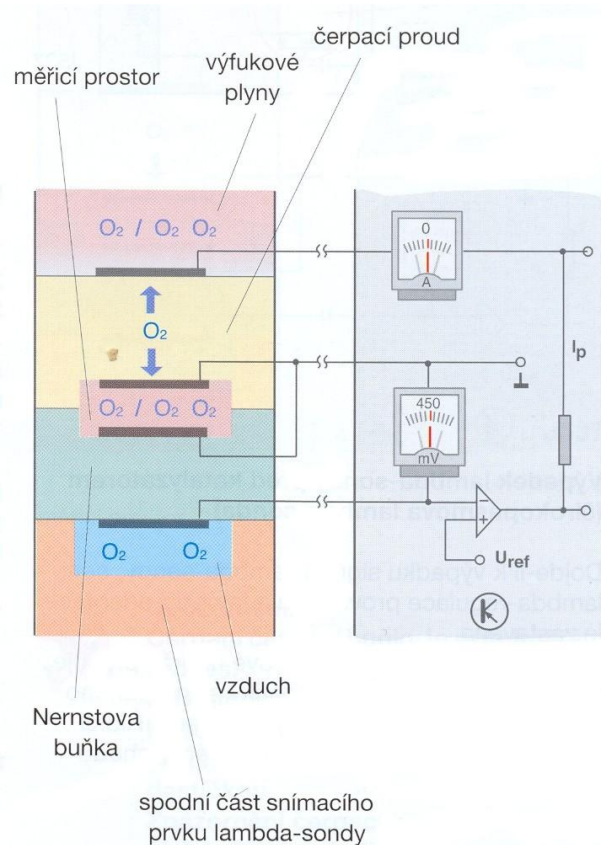
Bohatá směs (viz obrázek)

Jestliže je směs (palivo-vzduch) bohatá, znamená to, že je koncentrace kyslíku ve výfukových plynech, a tím i na elektrodě na straně výfukových plynů, nižší. Napětí na elektrodách Nernstovy buňky se zvýšilo. Informace o změně napětí jde do řídicí jednotky motoru.

Aby napětí na jejich elektrodách bylo zase 450 mV ($\lambda = 1$), musí se koncentrace kyslíku na elektrodě na straně výfukových plynů zvýšit. Čerpací buňka začne „čerpat“ kyslík do měřicího prostoru. Velikost proudu, potřebného k čerpání, je ekvivalentem obsahu (potřeby) koncentrace kyslíku ve výfukových plynech, a tím i mírou součinitele λ . Čerpací proud je v řídicí jednotce vyhodnocován a na jeho základě dojde k takovým opatřením, která povedou k ochuzení směsi.



- čerpací proud I_p
- bohatá směs
- chudá směs

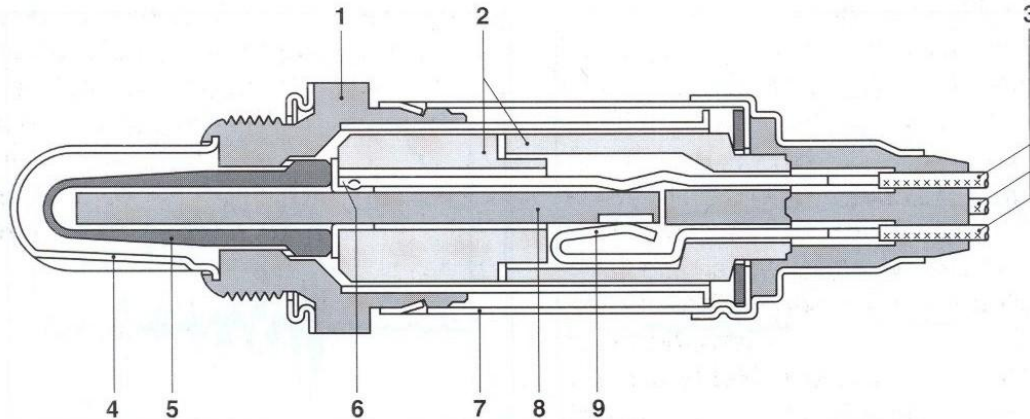


Chudá směs

Jestliže je směs chudá, pracuje systém stejně, ale s tím rozdílem, že čerpání se provádí opačným směrem. Kyslík je čerpán z měřicího prostoru směrem ven.

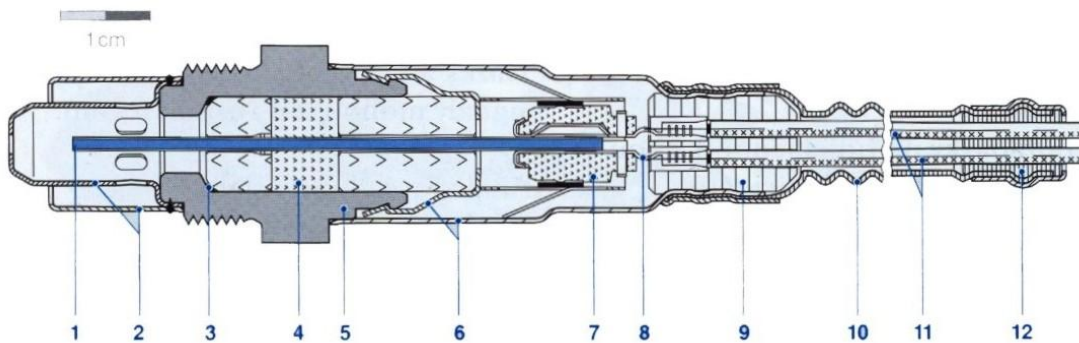
Vyhřívaná lambda sonda

1 těleso sondy, 2 keramická ochranná trubka, 3 elektrické kontakty, 4 ochranný klobouček se zářezy, 5 aktivní keramika sondy, 6 kontaktní část, 7 ochranné pouzdro, 8 vyhřívaný element, 9 svorkové připojení topného elementu.



Planární širokopásmová sonda lambda LSU4 (řez)

1 Měřicí komora (kombinace Nerstovy koncentrační komory a přečerpávací komory); 2 Dvojitá ochranná trubka, 3 Těsnící kroužek, 4 Těsnící hmota, 5 Pouzdro sondy, 6 Ochranná objímka, 7 Držák kontaktu, 8 Připojovací klips, 9 Průchočka (teflon), 10 Tvarová hadice, 11 Pět přívodních vodičů, 12 Těsnění



Výpadek lambda-sondy před katalyzátorem (EOBD - širokopásmová lambda-sonda)

Dojde-li k výpadku signálu lambda-sondy, není lambda-regulace prováděna a lambda-adaptace je zastavena.

Systém odvzdušňování palivové nádrže pracuje v nouzovém režimu. Diagnostiky sekundárního vzduchu a katalyzátoru jsou zastaveny. Řídicí jednotka motoru využívá k nouzovému chodu údajů v datovém poli.

Adaptivní lambda regulace

Lambda regulace koriguje časově následující vstřikování paliva na základě předešlých měření na lambda sondě.

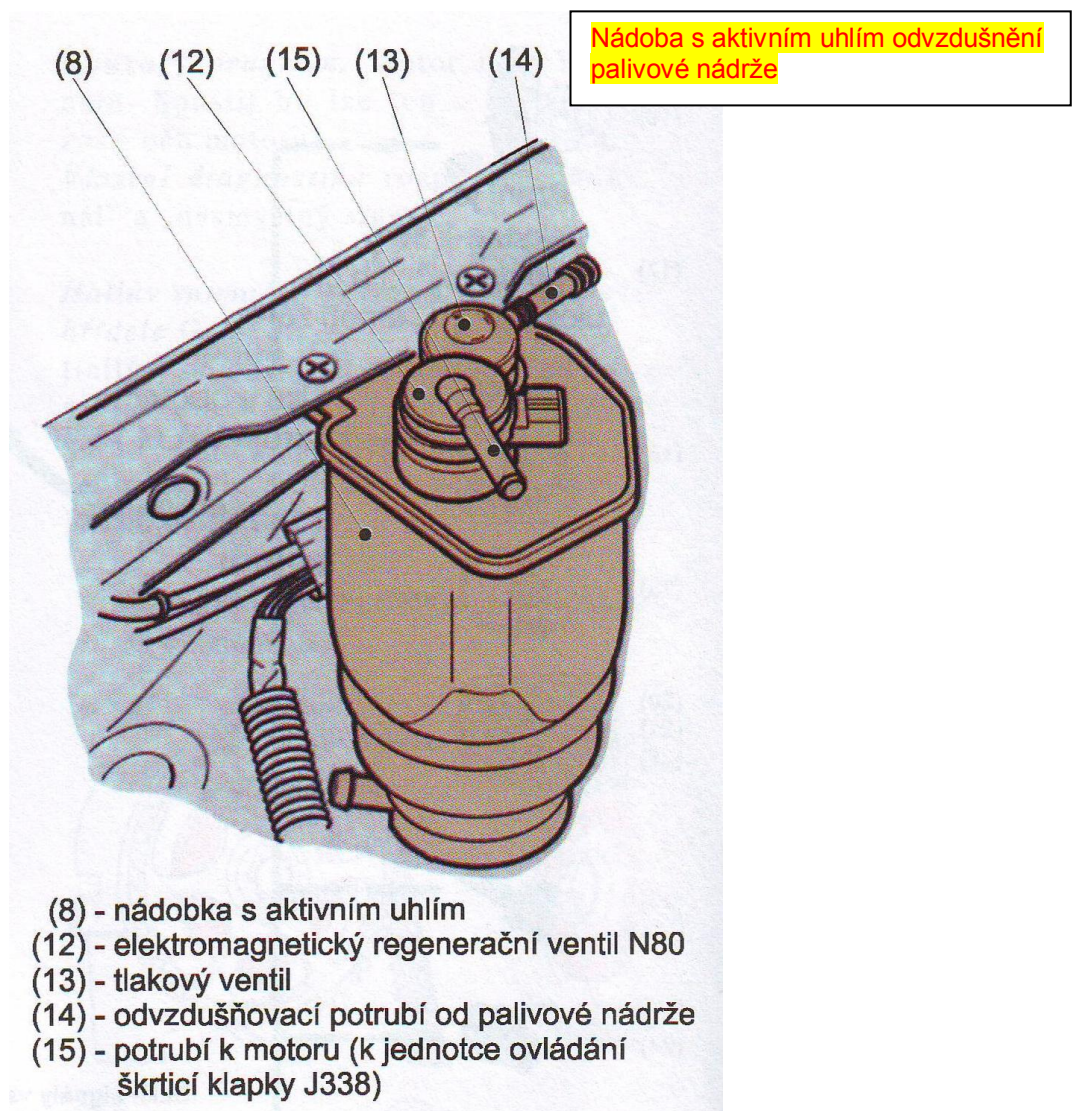
Toto časové zpoždění je dáno dobou proudění plynů a nedá se nijak obejít. Pro udržení hraničních hodnot emisí ve výfukových plynech je proto nutné použít přednastavení, které je pevně určeno při přizpůsobení k motoru a pole charakteristik hodnot lambda je uloženo do paměti ROM (pevná paměť). V průběhu doby používání vozidla se však mohou vyskytovat "výkyvy", jež potřebují jiná přednastavení. Těmito výkyvy se rozumí např. změny hustoty a kvality paliva. Adaptace přednastavení rozpozná, že lambda regulace musí v určitých rozsazích otáček pod zatížením provádět stále stejné korekce. Zkoriguje tedy přednastavení v tomto rozsahu a zapíše ji do paměti (trvalé RAM), napájené i v klidovém stavu elektrickým napětím. Při dalším nastartování může být proto použito toto korigované přednastavení předtím, než dojde k aktivaci lambda regulace.

Odvětrávací soustava palivové nádrže

Palivo se v palivové nádrži zahřívá a tím 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. Dodatečně je tím také zajištěno vyrovnání tlaků. 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 umístěný na hadičce k sacímu potrubí dávkuje tento regenerační "promývací" 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.

Regenerační ventil je otevírán pravouhlejším impulzem. Přitom se vyskytující 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.



Regulace klepání

Elektronické řízení okamžiku zážehu umožňuje velice přesné řízení úhlu zážehu v závislosti na otáčkách, zatížení a teplotě. S přihlédnutím k tolerancím motoru, jeho stárnutí, okolním podmínkám a kvalitě paliva, nesmí žádný válec dosáhnout nebo překročit hranici klepání.

Nyní lze každý válec motoru provozovat, v průběhu jeho životnosti téměř ve všech provozních stavech, na jeho hranici klepání a tím s optimální účinností.

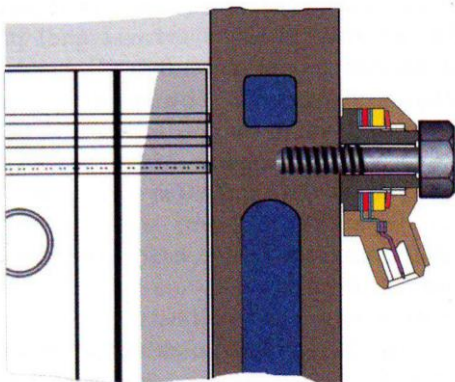
Předpokladem pro tuto korekci úhlu zážehu je spolehlivé rozpoznávání intenzity klepání jednotlivých válců v celé provozní oblasti motoru. Pro rozpoznání klepání jsou snímány charakteristické vibrace prostřednictvím jednoho nebo více snímačů klepání připevněných na vhodném místě na motoru a jejich elektrické signály jsou vedeny k řídicí jednotce k vyhodnocení. Rozpoznané detonační spalování vede ke snížení předstihu v postiženém válci o naprogramovanou hodnotu. Pokud klepání ustane, započne postupné zvyšování předstihu až na přednastavenou hodnotu. Rozpoznávací a regulační algoritmy detonačního spalování jsou sladěny tak, aby se nevyskytovalo žádné slyšitelné nebo motor poškozující klepání.

V reálném provozu mají jednotlivé válce různé hranice klepání a tím i rozdílné body zážehu. K adaptaci přednastavených hodnot bodu zážehu na jednotlivé hranice klepání jsou, pro každý válec individuálně a v závislosti na provozním stavu, uloženy hodnoty snížení předstihu.

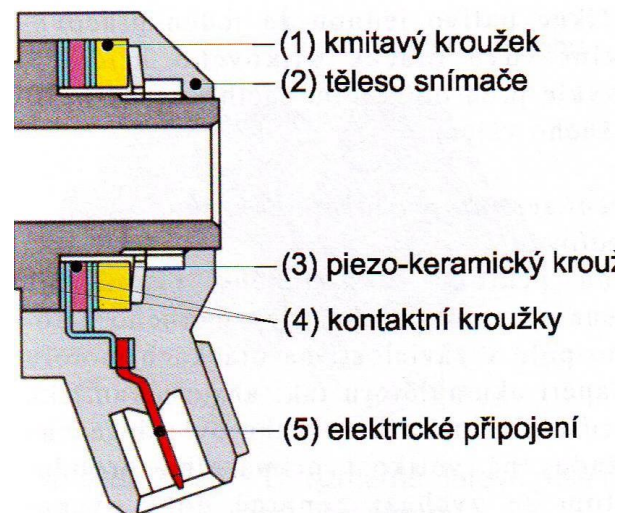
Toto uložení probíhá do stálých polí charakteristik paměti RAM v závislosti na zatížení a otáčkách. Proto lze motor provozovat také při rychlých změnách zatížení a otáček v každém provozním bodě s optimální účinností, jakož i se zamezením slyšitelného klepání. Motor lze provozovat dokonce i na paliva s nižšími oktanovými čísly. Obvyklé je přizpůsobení motoru na benzín super.

U motorů s přeplňováním turbodmychadly je kombinace regulace klepání a plnicího tlaku zvláště výhodná. Při výskytu klepání je nejprve snížen předstih. Teprve při překročení prahové hodnoty přestavení předstihu, jež je určena teplotou spalin, je jako další prvek pro snížení klepání použito snížení plnicího tlaku. Přeplňovaný motor tak může pracovat při optimální účinnosti na hranici klepání bez překročení přípustné teploty spalin.

Umístění snímače klepání motoru na bloku motoru



Hlavní části snímače klepání motoru



Regulace plnicího tlaku

Přepřehování turbodmychadlem

Ze známých způsobů přepřehování se u zážehových motorů oproti přepřehování mechanickému a tlakovými vlnami jednoznačně prosadilo přepřehování turbodmychadlem. Turbodmychadla umožňují dosáhnout již u motorů s malým objemem vysokých kroutících momentů a výkonů s dobrou účinností motoru. Ve srovnání s atmosféricky plněným motorem stejného výkonu je přepřehovaný motor stavebně menší a má proto vyšší výkonovou hmotnost.

Výzkumy v automobilovém průmyslu prokázaly, že při stejných jízdních výkonech vykazuje přepřehovaný motor s menším objemem válců a elektronickou regulací plnicího tlaku, oproti atmosféricky plněnému motoru, podobnou úsporu spotřeby paliva jako může mít vznětový motor s komůrkou. Turbodmychadlo sestává z kompresoru a výfukové turbíny jejichž oběžná kola jsou umístěna na společném hřídeli.

Výfuková turbína převádí část energie výfukových plynů na rotační energii a pohání kompresor. Ten nasává čerstvý vzduch dopravuje jej stlačený přes chladič stlačeného vzduchu, škrtkící klapku a sací potrubí do motoru.

Akční členy pro přepřehování turbodmychadlem

Motoru u osobních automobilů musí dosahovat při nízkých otáčkách vysokého kroutícího momentu. Proto je těleso turbíny přizpůsobeno malému hmotnostnímu proudu výfukových plynů, např. plnému zatížení při $n = 2000 \text{ min}^{-1}$. Aby nedocházelo při vyšších hmotnostních proudech výfukových plynů k přílišnému zvýšení plnicího tlaku, musí být v tomto rozsahu část plynů odvedena obtokovým ventilem ("Waste-Gate") kolem turbíny do výfukového systému. Obvykle je tento obtokový klapkový ventil integrován do tělesa turbodmychadla. Vzácněji je použito talířového ventilu v separátním tělese paralelně k turbíně. Variabilní turbínová geometrie (VTG) se u zážehových motorů nepoužívá.

Elektronická regulace plnicího tlaku

U pneumaticko-mechanické regulace je akční člen turbodmychadla přímo ovládán plnicím tlakem z výstupu kompresoru. Zde je průběh kroutícího momentu motoru v závislosti na otáčkách volitelný jen ve velmi malém rozsahu. V závislosti na zatížení existuje jen jedno omezení a to při plném zatížení. Při částečném zatížení zhoršuje zavřený obtokový ventil účinnost. Zrychlení z nízkých otáček může vést k opožděné reakci turbodmychadla (známé jako "turbo-efekt").

Tyto nevýhody lze odstranit elektronickou regulací plnicího tlaku. V určitých oblastech zatížení lze snížit specifickou spotřebu paliva. Dosahuje se toho otevřením obtokového ventilu

U systému Motronic s elektronickou regulací plnicího tlaku se používají předepsané hodnoty tlaku, množství nebo hmotnosti vzduchu, podle použitého snímače zatížení. Tyto hodnoty jsou uloženy v poli charakteristik v závislosti na otáčkách motoru a úhlu natočení škrtkící klapky.

Členy regulačního obvodu porovnávají diferenci mezi provoznímu stavu odpovídající požadovanou hodnotou a skutečnou naměřenou hodnotou. Vypočítaná hodnota na výstupu regulace je převedena na ovládací signál (pulzně modulovaný), jenž je veden k taktovacímu ventilu. V akčním členu způsobí tento signál, vlivem změny ovládacího tlaku a zdvihu, změnu průřezu obtokového ventilu.

U přepřehovaného motoru nesmí teplota výfukových plynů mezi motorem a turbínou překročit určitou prahovou hodnotu. Proto používá Bosch regulaci plnicího tlaku pouze v kombinaci s regulací klepání. Jen regulace klepání totiž dovoluje v průběhu celé životnosti motoru provoz s co možná největším předstihem zapalování. Tento, pro každý provozní stav optimálně přizpůsobený úhel zážehu, přináší s sebou velmi nízké teploty spalín.

Omezení otáček a rychlosti

Extrémně vysoké otáčky mohou vést k poškození motoru (ventilový rozvod, písty). Omezovačem otáček je zabráněno, aby byly překročeny maximální dovolené otáčky motoru. Motronic nabízí možnost omezení otáček a maximální rychlosti jízdy přerušením vstřikování paliva.

Při překročení maximálních otáček popř. maximální rychlosti jsou potlačeny vstřikovací impulzy. Tím je dosaženo omezení otáček motoru popř. rychlosti jízdy.

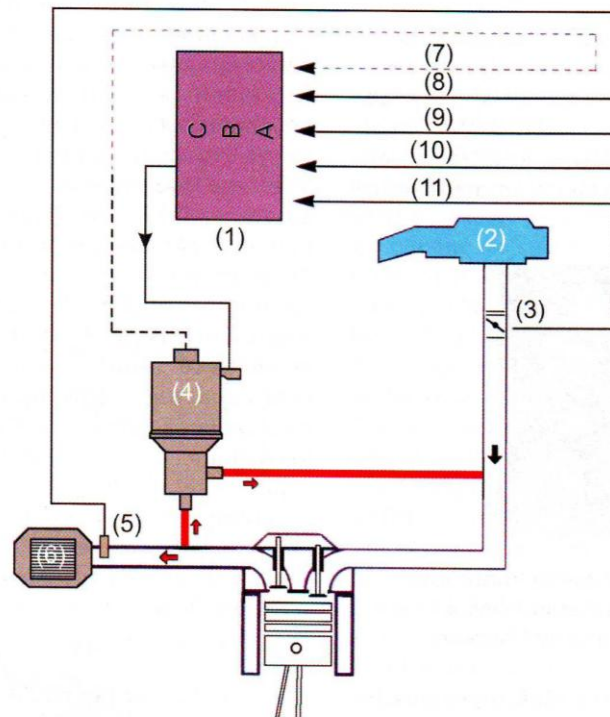
Při překročení nízké prahové hodnoty se vstřikování opět obnoví. To následuje v rychlém sledu uvnitř tolerančního pásma okolo maximálních povolených otáček motoru.

Recirkulace spalin

V průběhu překrytí ventilů je určité množství zbytkových plynů vráceno ze spalovacího prostoru zpět do sacího potrubí. Při následujícím sacím cyklu je pak společně s čerstvou směsí nasáta i část zbytkových plynů. Velikost podílu zbytkových plynů je díky překrytí ventilů pevně závislá na provozním stavu motoru a je dána konstrukcí motoru.

Změna podílu zbytkových plynů je tedy možná buď "vnějším" zpětným vedením spalin (AGR) pomocí ventilu zpětného vedení spalin, řízeného řídicí jednotkou Motronic nebo přestavením ventilového rozvodu. Do určitého bodu může zvyšování podílu zbytkových plynů působit pozitivně na přeměnu energie a tím na spotřebu paliva. Další zvyšování podílu zbytkových plynů vede k redukci maximální teploty při spalování a následkem toho ke snížení tvorby oxidů dusíku. Zároveň však zvýšení podílu zbytkových plynů nad jistou hranici vede k nedokonalému spalování a tím ke zvýšení emisí uhlovodíků, spotřeby paliva a neklidnosti běhu motoru.

Schéma systému recirkulace výfukových plynů s elektromagnetickým AGR-ventilem



- | | |
|--------------------------------------------------------------------|---------------------------------|
| (1) - elektronická řídicí jednotka | (8) - napětí na kyslíkové sondě |
| (2) - čistič vzduchu | (9) - teplota motoru |
| (3) - potenciometr škrticí klapky | (10) - otáčky motoru |
| (4) - elektromagnetický AGR ventil se solenoidem a snímačem polohy | (11) - zatížení motoru |
| (5) - kyslíková sonda (lambda - sonda) | A - vstup |
| (6) - katalyzátor | B - zpracování |
| (7) - množství recirkulovaných výfukových plynů | C - výstup |

Řízení ventilového rozvodu

Řízení ventilového rozvodu může ovlivňovat zážehový motor různými způsoby a metodami:

- zvýšením kroutícího momentu a výkonu, snížením emisí a spotřeby paliva,
- řízením plnění válců,
- skokovým popř. plynulým přestavením sání a výfuku.

Okamžik uzavření sacího ventilu je rozhodující pro maximální plnění válce v závislosti na otáčkách. Při dřívějším uzavření sacího ventilu je dosaženo nejlepšího plnění při nízkých otáčkách, při pozdějším uzavření se posouvá do vyššího rozsahu otáček.

Fáze v níž se řízení ventilů překrývá (sací ventil se otevírá a výfukový zavírá) určuje pevně velikost vnitřního zpětného vedení zbytkových zplodin.

Prodloužením doby otevření ventilů, dřívějším otevřením sacího ventilu dojde ke zvýšení podílu zbytkových plynů, protože se zvýší objem zbytkových plynů natlačených do sacího potrubí a poté nasátých zpět do motoru.

Natočení vačkových hřídelů

Hydraulický nebo elektrický nastavovač natočí v závislosti na otáčkách motoru nebo jeho provozním stavu odpovídající vačkový hřídel (k procesu natáčení vačkových hřídelů musí být v hlavě válců umístěna jeden sací a jeden výfukový vačkový hřídel) a mění tím časování "sací/výfukový otevírá" popř. "sací/výfukový zavírá" .

Natáčí-li nastavovač např. sací vačkový hřídel při volnoběhu nebo vyšších otáčkách tak, aby "sací/výfukový zavíral" později, má to ve volnoběhu za následek minimální podíl zbytkových plynů a ve vyšších otáčkách lepší plnění válců.

Při nižších až středních otáčkách vede, natočení sacího vačkového hřídele do polohy "sací otevírá/zavírá" dříve, v určitých oblastech částečného zatížení, k lepšímu maximálnímu plnění válců.

Zároveň v oblasti částečného zatížení vede ke zvýšení podílu zbytkových plynů a s tím spojenými vlivy na spotřebu paliva a emise výfukových plynů.

Optimálním, avšak náročným způsobem řízení je plynulá změna časování a zdvihu ventilů:

Přepínání sacího potrubí

Cílem při konstrukci motoru je jak dosažení vysokého kroutícího momentu při nízkých otáčkách, tak vysokého jmenovitého výkonu při maximálních otáčkách. Průběh kroutícího momentu motoru je úměrný nasáté hmotnosti vzduchu v závislosti na otáčkách motoru.

Pomocným prostředkem k ovlivnění kroutícího momentu je geometrické provedení sacího potrubí. Nejjednodušší způsob přeplňování spočívá ve využití dynamiky nasávaného vzduchu.

Standardní sací potrubí vícebodových vstřikovacích systémů sestávají ze samostatných sacích potrubí a sběrného sacího potrubí se škrťací klapkou. Přitom platí:

- Krátké potrubí umožňuje vysoký jmenovitý výkon se současnými ztrátami kroutícího momentu v nízkých otáčkách, dlouhé sací potrubí vykazuje opačné vlastnosti.
- Velký objem sběrného potrubí vyvolává při určitých otáčkách částečný rezonanční efekt, jenž zlepšuje plnění. Má však za následek možné dynamické chyby (odchyly ve složení směsi při rychlých změnách zatížení). Téměř ideální průběh kroutícího momentu umožňuje přepínání sacího potrubí, při němž jsou např. možná různá přestavení v závislosti na zatížení, otáčkách a natočení škrťací klapky:
- přestavení délky sacího potrubí,
- přepínání mezi různými délkami nebo různými průměry sacích potrubí,
- volitelné vypínání jednotlivých trubic u systémů s vícenásobným sacím potrubím,
- přepínání na různé objemy sběrného potrubí.