

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Variabilní časování ventilových rozvodů

Bakalářská práce

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jan Hromádko, Ph.D.

Vypracoval: Jan Veselý

Praha 2014

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra vozidel a pozemní dopravy

Technická fakulta

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Veselý Jan

Silniční a městská automobilová doprava

Název práce

Variabilní časování ventilových rozvodů

Anglický název

Variable valve timing

Cíle práce

Cílem práce je vytvořit literární rešerši s vlastními komentáři zabývající se variabilním časováním ventilových rozvodů.

Metodika

- prostudovat základní literaturu v oblasti variabilního časování ventilových rozvodů
- kontaktovat významné organizace zabývající se danou problematikou
- provést globální literární rešerši v dané problematice
- vlastní rozbor problematiky variabilního časování ventilových rozvodů
- návrh doporučení a předpokládaný vývoj v oblasti variabilního časování ventilových rozvodů

Osnova práce

1. Úvod
2. Časování ventilových rozvodů
3. Popis nejpoužívanějších systémů variabilního časování ventilových rozvodů
4. Očekávaný vývoj variabilního časování ventilových rozvodů
5. Doporučení a závěr

Rozsah textové části

30 - 40 stran formátu A4

Klíčová slova

spalovací motor, ventil, vačková hřídel, ventilový rozvod

Doporučené zdroje informací

1. Rauscher, J.: Spalovací motory, Studijní opory, VUT FSI Brno, 2004
2. Macek, J.: Spalovací motory I, ČVUT Praha, 2007, ISBN 978-80-01-03618-1
3. Beroun, S.: Vozidlové motory. Studijní opory, TU Liberec
4. Scholz, C.: Konstrukce pístového spalovacího motoru. Skripta TU Liberec 2003, ISBN 80-7083-693-8
5. Hromádko J., Hromádko J., Höning, V., Miler P.: Spalovací motory, Nakladatelství Grada, Praha, 2011, ISBN 978-80-247-3475-0

Vedoucí práce

Hromádko Jan, Ing., Ph.D.

Termín zadání

listopad 2012

Termín odevzdání

duben 2014

doc. Ing. Boleslav Kadleček, CSc.

Vedoucí katedry



prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.

Děkan fakulty

V Praze dne 18.3.2013

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci na téma „Variabilní časování ventilových rozvodů“ vypracoval samostatně pod vedením Ing. Jana Hromádka, Ph.D. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Praze dne

.....

Jan Veselý

Poděkování:

V úvodu mé bakalářské práce patří poděkování panu Ing. Janu Hromádkovi, Ph.D. za dohlížení, připomínky a pomoc při zpracování této práce.

Jan Veselý

Abstrakt: Cílem této bakalářské práce byl popis činnosti časování rozvodových mechanismů se zaměřením na možnosti jejich změny v časování. Kapitola „Časování ventilových rozvodů“ popisuje obecný princip práce ventilů ve spalovacím motoru a jejich nastavení v pracovním režimu motoru. V další kapitole „Popis nejpoužívanějších systémů variabilního časování ventilových rozvodů“ je zpočátku popsána problematika variabilního časování a následuje popis vybraných systémů využívajících variabilní časování ventilových rozvodů. Obsahem poslední kapitoly „Očekávaný vývoj variabilního časování ventilových rozvodů“ je objektivní názor autora práce na postup a další možnosti ve vývoji systémů variabilního časování.

Klíčová slova: spalovací motor, ventil, vačková hřídel, ventilový rozvod

Variable valve timing

Abstract: The aim of this thesis was to describe the timing of the divorce action mechanisms, focusing on the possibility of changes in the timing. Chapter „Timing valve mechanisms“ describes the general principle of the valves in an internal combustion engine and their settings in the operating mode of the engine. In the next chapter „The most common description of the variable valve timing mechanisms“ is initially described the issue of timing and a variable followed by a description of selected systems using variable valve timing. The final chapter „The expected path variable valve timing mechanisms“ is an objective opinion of the author on the procedure and other options in the development of systems of variable timing.

Key words: combustion engine, valve, camshaft, valve train

1. Úvod.....	1
2. Časování ventilových rozvodů.....	3
2.1 Kruhový diagram časování ventilového rozvodu	4
2.2 Časování sacího ventilu	4
2.3 Časování výfukového ventilu	5
2.4 Překrytí ventilů	6
3. Popis nejpoužívanějších systémů variabilního časování ventilových rozvodů	7
3.1 Vanos, Double Vanos (variable Nockenwellensteuerung).....	9
3.2 Valvetronic.....	11
3.3 VTEC (Variable Valve Timing and Lift Electronic Control).....	14
3.4 VarioCAM, VarioCAM Plus	16
3.5 Multiair	19
3.6 Valvematic	22
3.7 VVEL (Variable valve event and lift system)	24
4. Očekávaný vývoj variabilního časování ventilových rozvodů	26
5. Doporučení a závěr	28
Použitá literatura	29
Seznam obrázků.....	32

1. Úvod

Spalovací motor se stal nedílnou součástí dnešního života. Motory, které dnes běžně používáme a nedokážeme si vůbec představit život bez nich, prošly více než dvěma stoletími vývoje. Jeho počátky sahají až do druhé poloviny 18. století. Roku 1769 dostal James Watt patent na parní stroj a stal se tak právoplatným zakladatelem pohonných jednotek. První použití parního stroje ve vozidle je připisováno francouzskému inženýrovi Nikolasi Josephu Cugnotovi též roku 1769. Nebyl to sice klasický pístový spalovací motor, ale pístový parní stroj, který toto vozidlo poháněl. Od této doby ale začal konstruktérský boj o sestrojení stále lepšího a rychlejšího vozidla, a tak vyvíjení nových typů pohonných jednotek a jejich stále vylepšování. Základem pro stavbu pozdějších moderních motorů se stal čtyřdobý motor vyvinutý a patentovaný německým vynálezcem N. A. Otto. Stalo se tak skoro sto let od sestrojení parního stroje. Tyto první motory dosahovaly výkonu okolo 3 koňských sil a několika desítek otáček za minutu. Tyto parametry motoru byly samozřejmě nedostačující a vylepšování spočívalo ve zvyšování otáček motorů a následně tedy i výkonu. Zvyšování otáček způsobovalo problémy nejdříve se zapalováním a tedy elektrickou soustavou motoru. Tyto problémy se samozřejmě brzy vyřešily a vývoj pokračoval strmě dále.

Moderní motory dnešní doby nedosahují výkonu několika koňských sil, ani desítek až stovek otáček za minutu, ale došly do bodu, kdy dosahují otáček až několika tisíc za minutu. Výkony dosahují stovek koňských sil a automobily dosahují rychlosti několika stovek kilometrů za hodinu. Nároky na spalovací motory se tedy ohromně zvýšily. Už dávno nešlo jen o zvyšování výkonu jako v počátcích vývoje, ale s velkým rozmachem dopravy hlavně na snižování emisí škodlivin jimi produkujícími.

Elektrický systém motoru a tedy zapalování nebyl už problémem jako v počátcích, ale velký rozptyl otáček motorů komplikoval hlavně plnění motoru. Motor byl tedy mírně omezen a musel být nastaven na takové parametry, aby bylo zabezpečeno určité rovnováhy mezi výkonem, spotřebou, točivým momentem a emisemi motoru ve všech jízdních režimech. Motor tak dokázal být nastaven na příznivější chod v nízkých otáčkách, ale při potřebě

zvýšení otáček a většího zatížení motoru pracoval motor méně příznivěji. Tento princip samozřejmě funguje i naopak. Konstrukteři tak nejčastěji nastavili motor dle druhu automobilu, ve kterém měl být použit, a optimální práce motoru tak bylo dosahováno jen v úzkém rozmezí otáček.

Tento kompromis v konstrukci byl ale s dalším vylepšováním zážehových spalovacích motorů potlačován vývojem a možností použití variabilního časování ventilových rozvodů. Motory tak najednou dokáží pracovat v širokém rozmezí otáček motoru a snižuje se i množství škodlivin vypouštěných do ovzduší. Samozřejmostí je zvýšení výkonu motoru a jeho plošší momentová křivka. Jednotlivé automobilky se předháněly a dodnes předhánějí v konstrukci systémů variabilního časování ventilových rozvodů. Moderní systémy časování nepracují už jen na změně samotného časování, ale pro zvýšení jeho funkčnosti používají i variabilní změnu ve zdvihu ventilů. Principy fungování a konstrukce několika vybraných systémů je popsáno v této bakalářské práci.

2. Časování ventilových rozvodů

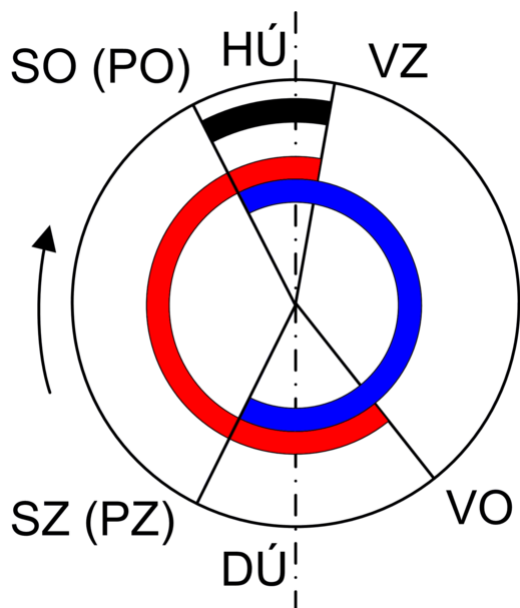
Čtyřdobé motory jsou opatřeny rozvodovým ústrojím, které ovládá správné plnění a vyprazdňování válců, a to při sání směsi vzduchu a benzínu a v době výfuku správným odvodem spalin z kompresního prostoru válce. Tento mechanismus platí jen u motorů zážehových, motory vznětové pracují na jiném principu plnění. U vznětových motorů je náplň vzduchu ve válci stále konstantní a výkon motoru je ovládán množstvím vstřikovaného paliva. Proto při problematice časování ventilových rozvodů mluvíme jen o motorech zážehových. Čtyřdobé zážehové motory pracují na principu čtyř pracovních cyklů:

1. Sání
2. Stlačení (komprese)
3. Výbuch (expanze)
4. Výfuk

Během těchto čtyř dob dojde ke dvěma otáčkám klikového hřídele. Klikový hřídel je tvarovým stykem ozubených kol nebo pomocí řemenového či řetězového rozvodu spojen s vačkovým hřídelem, a proto se tak přímo podílí na jeho pohonu. Na vačkovém hřídeli, jak už název napovídá, se nacházejí jednotlivé vačky, které ovládají otevírání a zavírání sacích a výfukových ventilů. Vhodným natočením těchto vaček příznivě ovlivňujeme momentové a výkonové charakteristiky daného motoru. Časováním ventilů tedy rozumíme okamžik otevření a zavření sacích a výfukových ventilů, ale i také rychlost otevření i zavření. Hodnoty časování jsou tak dány úhlem natočení vačkového hřídele vůči klikovému hřídeli a také samotným tvarem vačky. Tento celý cyklus dokážeme znázornit v kruhovém diagramu.

2.1 Kruhový diagram časování ventilového rozvodu

Tento diagram graficky znázorňuje a ve stupních natočení klikového hřídele udává úhel, při kterém dochází k otevírání a zavírání sacích a výfukových ventilů. Tento diagram úzce koresponduje s indikátorovým p-v diagramem motoru.



- SO** – Sací (plnicí) ventil otevírá
- SZ** – Sací (plnicí) ventil uzavírá
- VO** – Výfukový ventil otevírá
- VZ** – Výfukový ventil zavírá
- HÚ** – Horní úvrat'
- DÚ** – Dolní úvrat'

OBR. 1 Kruhový diagram [4]

2.2 Časování sacího ventilu

Sací zdvih trvá teoreticky u čtyřdobých zážehových motorů 180° pootočení klikového hřídele. Literatura uvádí, že sací ventil se má začít otevírat 5° až 40° před dosažením pístu horní úvratě. Předčasným otevřením sacího ventilu dosáhneme požadovaného průtočného průřezu v sedle ventilu i při vysokých otáčkách a nedochází tak ke škrcení čerstvé náplně. Experimenty bylo prokázáno, že optimální otevření sacího ventilu by mělo nastat v rozmezí od 10° do 20° před dosažením pístu horní úvrati. [2]

Pokud jde o uzavření sacího ventilu, tak by se tak mělo dít při 40° až 70° po dosažení pístu dolní úvratě. Děje se tak tedy téměř na počátku kompresního zdvihu při překračování čáry atmosférického tlaku. Využíváme tak setrvačnosti proudící čerstvé náplně v sacím potrubí k naplnění válce. Při využití kinetické energie proudu čerstvé náplně je možné zvýšit při jmenovitých otáčkách motoru hmotnostní naplnění válce až o 10 až 15 %. Při značně pozdním uzavření sacího ventilu dochází při nízkých až středních otáčkách motoru ke zpětnému vytlačování čerstvé náplně do sacího potrubí a dojde ke snížení točivého momentu motoru. Motory s takovýmto nastavením časování se hodí spíše pro závodní vozy, které pracují trvale při vysokých otáčkách. [2]

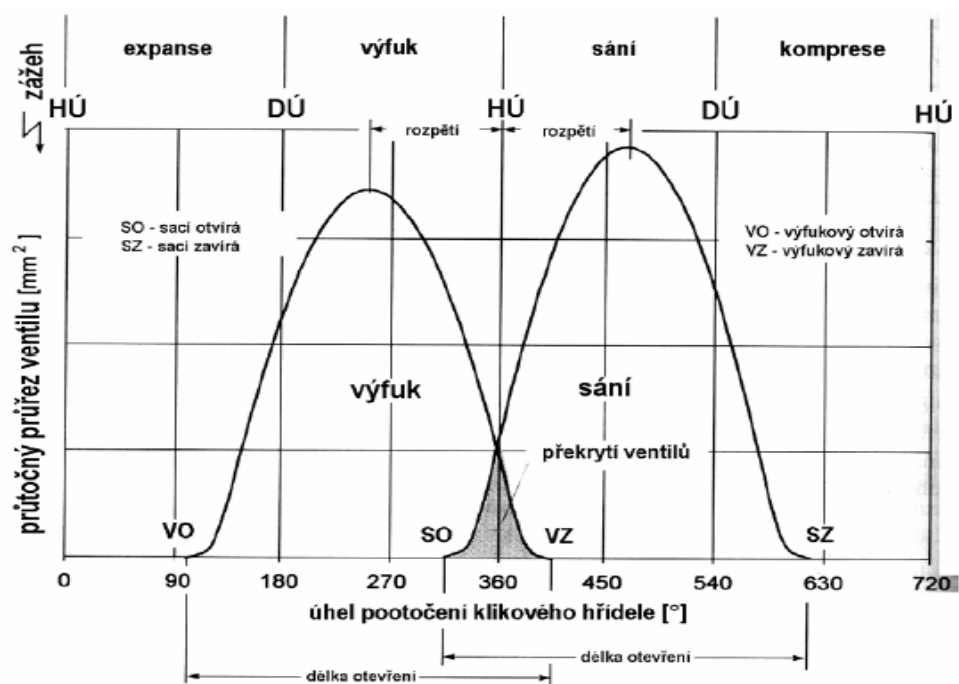
2.3 Časování výfukového ventilu

Výfukový ventil se otevírá 40° až 60° před dosažením pístu dolní úvratě na konci expanzního zdvihu. Předčasným otevřením výfukového ventilu využijeme vysoký tlak ve válci 0,3 až 0,5 MPa, který výrazně napomůže k rychlému úniku výfukových plynů z válce. Při tomto tlakovém spádu proudí spaliny rychlostí 500 až 600 m.s⁻¹. Experimentálně bylo zjištěno, že při tomto rozdílu tlaků tj. přetlaku 0,3 až 0,5 MPa do dosažení úrovně tlaku ve sběrném výfukovém potrubí dojde k odvodu až 70 % výfukových spalin. Samotným zdvihem pístu do horní úvratě je tedy odstraněno jen 20 až 30 % spalin. Kdyby se výfukový ventil začal otevírat už v dolní úvratě pístu, byla by v důsledku malého tlaku vynaložená práce pístu k odvodu spalin daleko vyšší.

Zavření výfukového ventilu probíhá 15° až 20° za horní úvratě na počátku sacího zdvihu, aby proudící spaliny pomohly odsát náplň z kompresního prostoru a nasát čerstvou náplň již otevřeným sacím ventilem. [2]

2.4 Překrytí ventilů

Při takto výše uvedeném časování ventilových rozvodů dochází na konci výfukového zdvihu pístu tj. v horní úvrati k překrytí ventilů. Tento jev nazýváme také jako stříh ventilů a využívá se k propláchnutí kompresního prostoru. U zážehových motorů s variabilním časováním ventilů se využívá stříhu ventilů k vnitřní recirkulaci spalin, a tím snížení emisí NO_x . Tohoto snížení emisí lze dosáhnout jen při malém zatížení motoru. [2]



OBR. 2 Překrytí ventilů [2]

3. Popis nejpoužívanějších systémů variabilního časování ventilových rozvodů

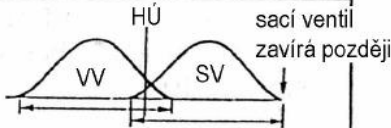
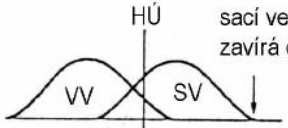
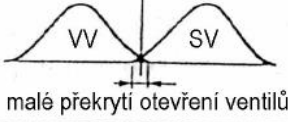
Pevné časování ventilových rozvodů plně vyhovuje pouze relativně úzkému rozmezí otáček motoru. Pro pístové spalovací motory s vyšším rozdílem otáček je výhodná změna časování ventilového rozvodu. Toto řešení má opodstatnění pouze u zážehových motorů. U motorů vznětových má časování ventilů na pracovní oběh téměř zanedbatelný efekt. [2]

Variabilní časování ventilového rozvodu motoru má vliv na několik faktorů, a to na velikost a průběh točivého momentu motoru, velikost výkonu, množství škodlivin ve výfukových plynech a v neposlední řadě také na spotřebu paliva. Tyto požadavky budou splněny jen pokud bude motor schopen pracovat v co největším rozsahu pracovního zatížení. Konstrukční řešení variabilního časování spočívá v natočení vačkových hřídelí. Nejčastější úpravou bylo natočení sacího vačkového hřídele vůči klikovému hřídeli. Netrvalo ale dlouho a pro ještě příznivější průběh charakteristiky motoru byly do časování zařazeny i ventily výfukové. Samotná změna časování ovšem nestačí a v jednotlivých konstrukčních řešeních se většinou počítá i se změnou zdvihu jednotlivých ventilů. Existují i případy, kde se využívá vyřazení funkce jednotlivých ventilů. [2]

Fázový posun otvírání sacích případně výfukových ventilů je pro určitá zatížení motoru rozdílná. Při potřebě využít vysoký výkon motoru je výhodné, aby sací ventil byl uzavřen co nejpozději a mohli jsme využít energie proudu nasávané směsi k většímu hmotnostnímu naplnění válce. Při nižších otáčkách motoru, a takto pracujícím časování, by ale docházelo při kompresním zdvihu k částečnému odvodu čerstvě nasáté náplně zpět do sacího potrubí. Pokud bude provedeno natočení a i samotné časování sacího vačkového hřídele opačně, tak sice zamezíme odvodu čerstvé náplně zpět do sacího potrubí při nízkých otáčkách motoru, ale při vyšších otáčkách už dochází ke zhoršenému plnění válců směsí a bude prudce klesat točivý moment motoru. Proto je toto nastavení výhodné jen pro snížené otáčky motoru, kde využíváme i prodloužené doby pro výfukový zdvih, a tak ke kvalitnějšímu odvodu spalin z kompresního prostoru válce. Další výhodou je, že sací ventil se otevírá dříve, což znamená,

že při vzniku podtlaku v prostoru válce je sací ventil již plně otevřen, a dojde k lepšímu naplnění válce čerstvou náplní.

Při tomto nastavení bohužel dochází k celkem dlouhodobému překrytí ventilů a možnosti dostání se nemalého množství spalin z prostoru válce do prostoru sacího potrubí. V závislosti na úhlu pootevření škrťací klapky, která je v režimu volnoběhu minimální, dochází k nasávání malého množství směsi, která v poměru s větším množstvím spalin může zapříčinit až nehořlavost takové směsi a nepravidelný chod motoru v tomto pracovním režimu. [2]

účel	charakteristika řízení ventilů
velký jmenovitý výkon	
vysoký točivý moment v nízkých otáčkách	
malé kolísání otáček na volnoběhu	



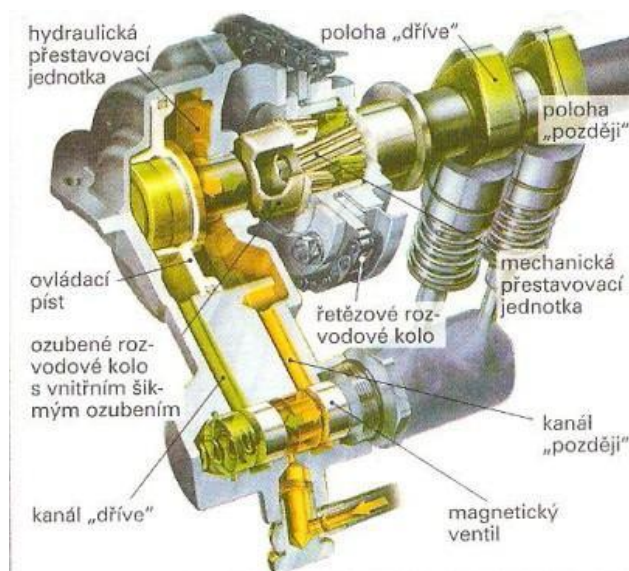
OBR. 3 Vliv vzájemných poloh sacího a výfukového ventilu na točivý moment a rovnoměrnost chodu motoru v režimu volnoběhu [2]

Z těchto výše popsaných charakteristik motorů pracujících v různých pracovních režimech se při návrhu motoru počítá s určitým kompromisem, viz. OBR. 3 , který alespoň částečně splňuje příznivé charakteristiky motoru při všech pracovních režimech. [6]

Současná konstrukční provedení variabilních časování ventilových rozvodů dokáží tyto nepříznivé vlivy a vznikající kompromis v oblasti časování rozvodových mechanismů téměř eliminovat. Tím splňuje požadavky na vysoký výkon i točivý moment. V tomto oboru existuje mnoho provedení variabilního časování a mnoho patentů. Obecně pracují tyto mechanismy s dvoupolohovou, vícepolohovou nebo s plynulou regulací polohy. [2]

3.1 Vanos, Double Vanos (variable Nockenwellensteuerung)

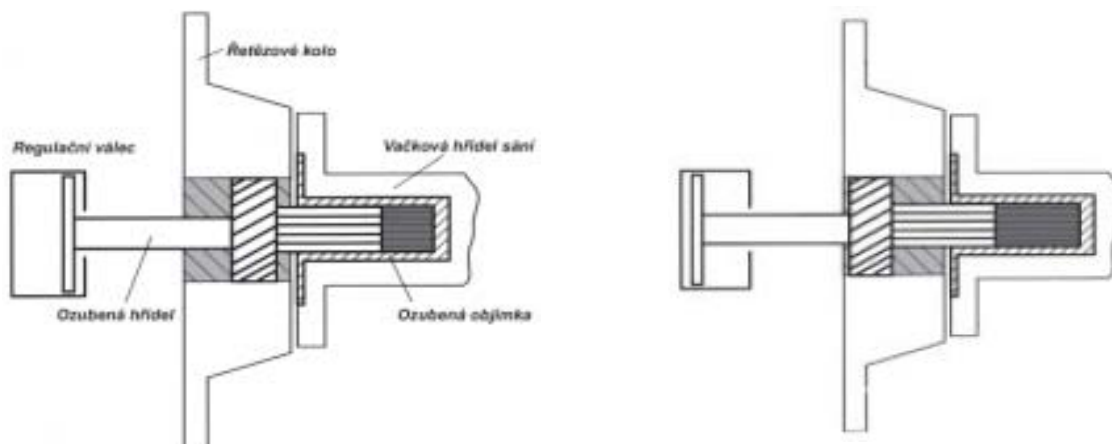
Systém časování rozvodů Vanos představila automobilka BMW již v roce 1992 u modelu BMW M50. Funkce spočívala v regulaci vačkového hřídele sání. S vylepšením tohoto systému přišlo BMW v roce 1996. Název Double Vanos vystihoval plně své vylepšení, a to v regulaci nejen sacího vačkového hřídele, ale nově i u vačkového hřídele výfukových ventilů. Regulace vačkového sacího i výfukového hřídele je prováděna plynule, u starších typů Vanos byla dvoupolohová. Plynulá regulace je docílena působením tlaku oleje (okolo 10 MPa) na regulační válec. Přepouštění oleje probíhá prostřednictvím řízených magnetických ventilů. Potřebný tlak oleje v systému je vytvářen pomocí vysokotlakého radiálního pístového čerpadla poháněného od vačkové hřídele. [11]



OBR. 4 Vanos [3]

Při působení tlakového oleje ve směru k vačkovému hřídeli dochází k zasouvání ozubeného hřídele, který je opatřen přímým ozubením, do ozubené objímky. Tato objímka je opatřena šikmým ozubením. Pohyb hřídele tedy vyvolá pootočení vačkové hřídele vůči řetězovému kolu z polohy „později“ do polohy „dříve“. Interval regulace u vačkového hřídele sání je 60° , u vačkového hřídele výfuku je to 45° otočení klikového hřídele. Ovládání této regulace zajišťuje řídicí jednotka systému Vanos podle aktuálního počtu otáček motoru. Snímače polohy vačkového hřídele sacích i výfukových ventilů zasílají informace o poloze do řídicí jednotky. Řídicí jednotka porovná aktuální naměřené hodnoty s hodnotami zadanými, které jsou uloženy v její paměti, a provede případnou korekci k zamezení odchylky od těchto hodnot. [11]

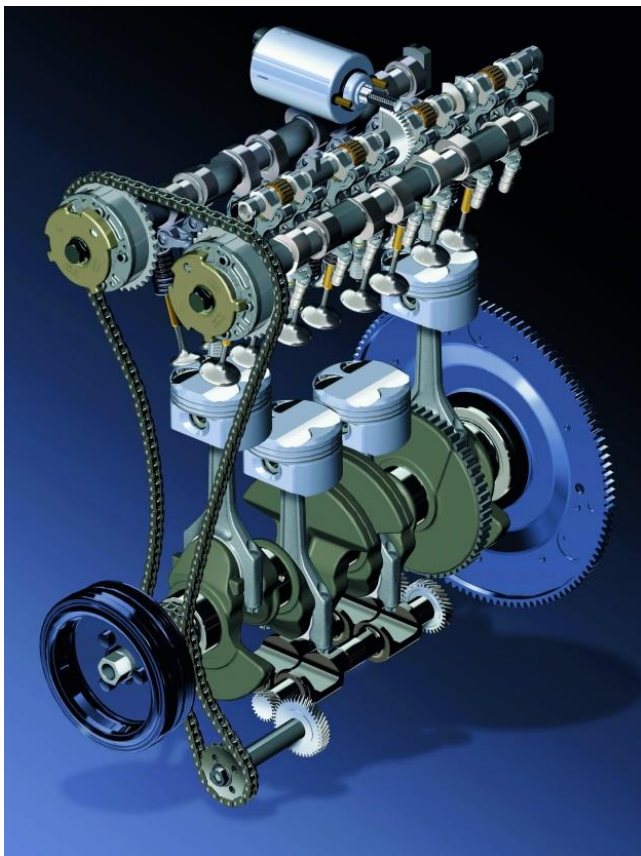
Řídicími parametry regulace jsou otáčky motoru, poloha pedálu akceleratoru a teplota motoru. Tento systém časování ventilového rozvodu napomáhá ke snížení spotřeby paliva, příznivější charakteristice točivého momentu, zvětšení výkonu motoru, snížení emisí a chování motoru při volnoběhu. Vanos dokáže také vyhodnotit provozní stav motoru a nastavit se do takové fáze, aby například při startu studeného motoru přispěl k rychlejšímu zahřátí katalyzátoru, a tím snížil emise výfukových plynů. [11]



OBR. 5 Regulace ve směru později a dříve [11]

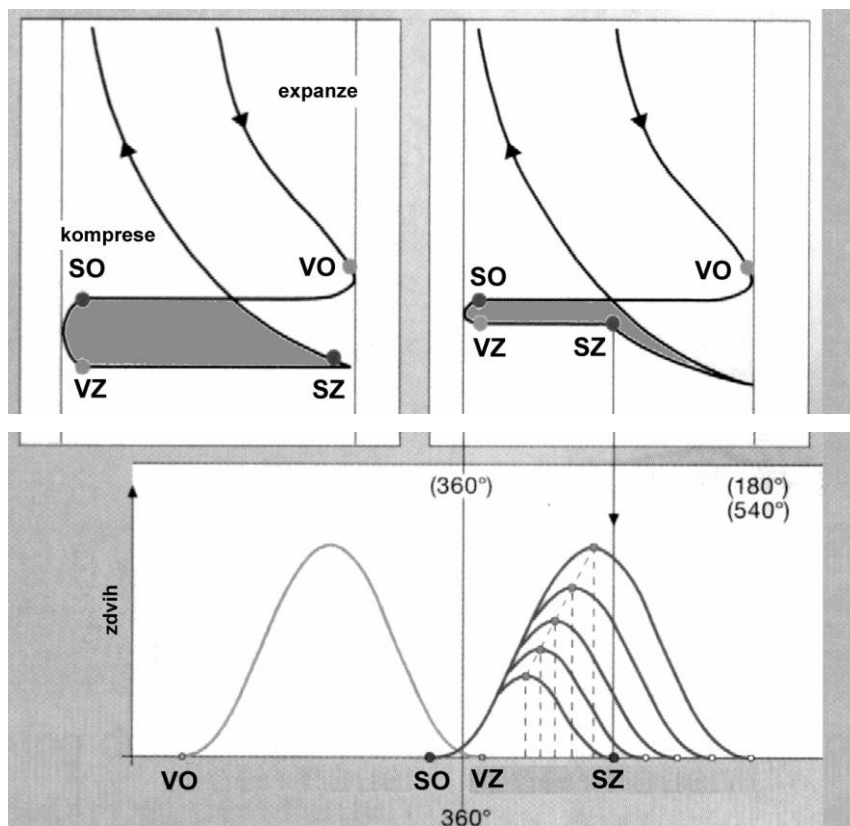
3.2 Valvetronic

Dalším pokrokem ve vývoji časování rozvodových mechanismů německé automobilky BMW je systém Valvetronic. Byl poprvé představen v roce 2001 u vozidla BMW 316i Compact vybaveného šestnáctiventilovým zážehovým motorem o zdvihovém objemu 1,8l a výkonu 85 kW. Motory vybavené tímto systémem mají proměnný zdvih sacích ventilů. Valvetronic pracuje zároveň se systémem Double Vanos a tvoří společně velmi účinný systém při zdokonalování výměny náplně válců zážehového spalovacího motoru. [10]



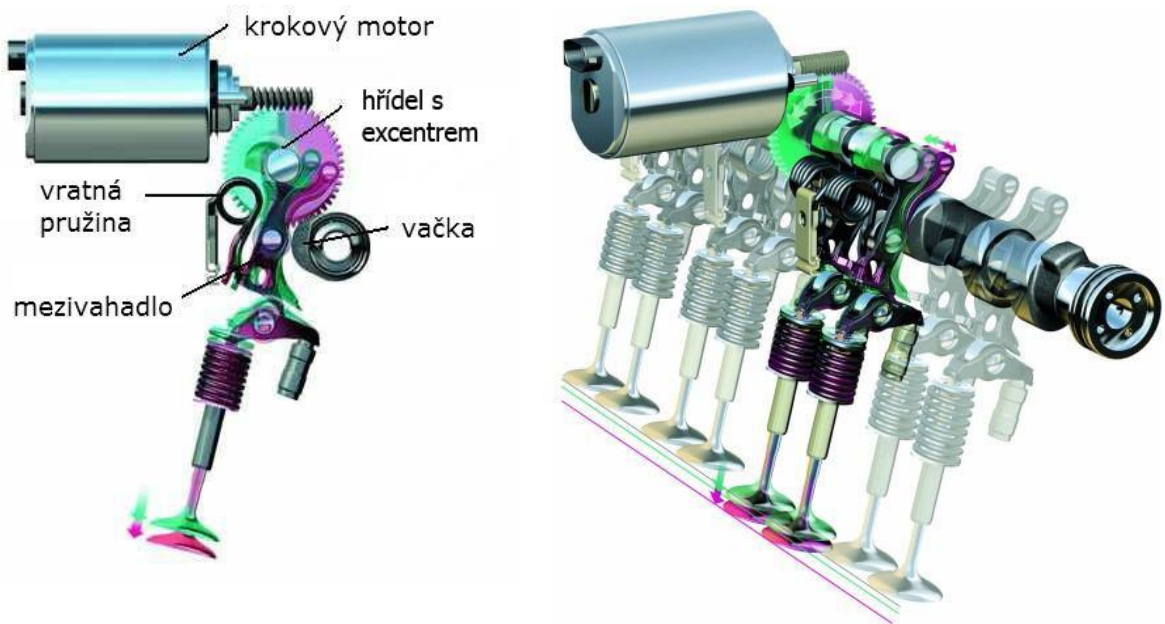
OBR. 6 Valvetronic [13]

Proměnným zdvihem sacích ventilů včetně řízení jejich doby otevření bylo docíleno velmi výhodného faktu, a tj. možnost vynechání škrtkové klapky v sacím potrubí. Plnění válců a výkon motoru je v případě Valvetronicu řízen změnou zdvihu sacích ventilů. Motory vybavené Valvetronicem mají škrtkovou klapku ovšem jen pro nouzové použití nebo korekci nasávaného množství směsi do válců motoru. Škrtková klapka je tedy stále plně otevřena. Vyřazením škrtkové klapky ze systému plnění motoru vzduchem odstraníme ztráty vzniklé turbulentním prouděním vzduchu škrtkovou klapkou. BMW udává úsporu paliva až 14 %. [11]



OBR. 7 Řízení množství nasávané směsi [2]

Dle OBR.7 můžeme posoudit vlivy odstranění škrťací klapky na pracovní průběh motoru. Pokud porovnáme šedě zbarvené plochy v diagramu, které znázorňují velikost potřebné práce pro nasátí příslušného množství čerstvé směsi, tak vidíme, že řízení sání sacími ventily přináší značné úspory. Motor tak dosahuje velkého poklesu spotřeby paliva při malých zatíženích. [2]



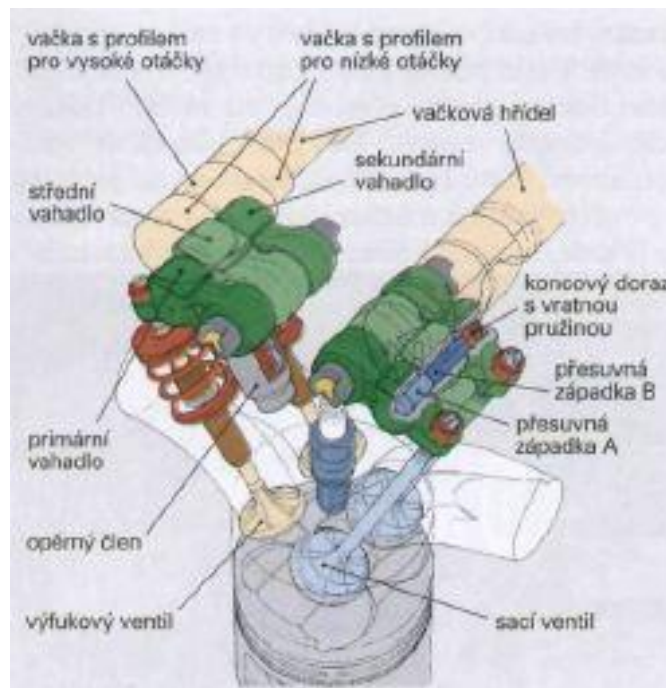
OBR. 8 Konstrukce Valvetronic [10]

V případě systému Valvetronic nejsou ventily ovládány přímo vačkami vačkového hřídele, nýbrž jsou ovládány vloženým speciálním mezivahadlem a elektromotoricky ovládaným hřídelem s excentrem. Při otáčení vačkového hřídele vačka přímo působí na vložené mezivahadlo. Toto vahadlo svou spodní částí ovládá páku ventilu. O vahadlo je opřena pružina, která zajišťuje jeho vratný pohyb do výchozí pozice. Vymezení ventilové vůle zabezpečuje hydraulická opěra. [11]

Pootočením excentrického hřídele se mění poloha a střed otáčení vloženého vahadla. Tato změna polohy vahadla způsobí změnu zdvihu ventilů. Elektromotor, který pootáčí hřídelem s excentrem, se uvádí do činnosti při sešlápnutí pedálu akcelérátoru. Celý systém je řízen plně elektronicky 32 bitovým počítačem a umožňuje odstupňované otevírání ventilů v rozmezí od 0,0 do 9,7 mm. Při menším zatížení motoru se ventily otevírají jen v rozmezí od 0,5 do 2,0 mm. Při volnoběhu je nastaven zdvih 0,25 mm. Čas potřebný pro přestavení zdvihu ventilů z výchozí do koncové polohy je 300 milisekund. Úzký průtočný průřez urychluje směr vzduchu s palivem až k rychlosti zvuku a zajišťuje tak tvorbu velmi kvalitní směsi. [2]

3.3 VTEC (Variable Valve Timing and Lift Electronic Control)

Průkopníkem v zavádění motorů s proměnným časováním ventilů je považována japonská automobilka Honda. Již v roce 1983 představila Honda motocykl CBR 400 s touto technikou časování. První automobil s motorem vybaveným tímto systémem byla až v roce 1989 Honda Integra XSi/RSi a CRX. Motor o objemu 1595 ccm dosahoval výkonu 118 kW při otáčkách 7600 ot/min. [15]



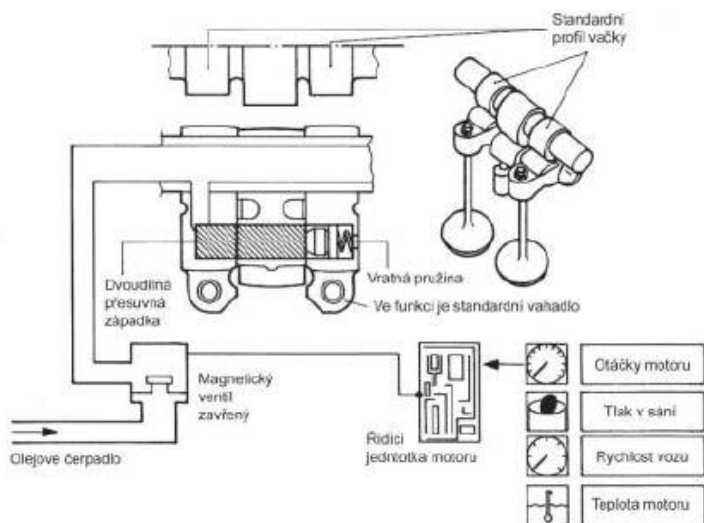
OBR. 9 VTEC Honda [3]

Motory vybavené tímto druhem časování mají v hlavě motoru dvě vačkové hřídele. Každý válec je opatřen čtyřmi ventily. Má vždy tři vačky a tři vahadla na každou dvojici sacích a výfukových ventilů. Vačkový hřídel obsahuje dva druhy vaček. [11]

- a) vačky pro výkonový (pasivní) režim – větší vačky
- b) vačky pro momentovou nebo-li aktivní polohu

Vačky, které pracují při menších provozních otáčkách motoru, přesněji do otáček 5100 min^{-1} , mají standardní profil a otevírají ventil na kratší dobu s menším zdvihem. Při menším průtočném průřezu dosáhneme rychlejšího proudění směsi, kvalitnějšího plnění válců a spolu s malým úhlem překrytí ventilů (střih ventilů) zvýšeného točivého momentu motoru.

Vačky pracující při zvýšených otáčkách motoru, tj. pro oblast od 5100 min^{-1} do 8000 min^{-1} , mají ostrý profil a otevírají ventil na delší dobu s delším zdvihem. Tento ostrý tvar vačky způsobí také velký úhel překrytí sacích a výfukových ventilů. Zlepší se tak výměna plynů a zvýší se výkon motoru. [11]

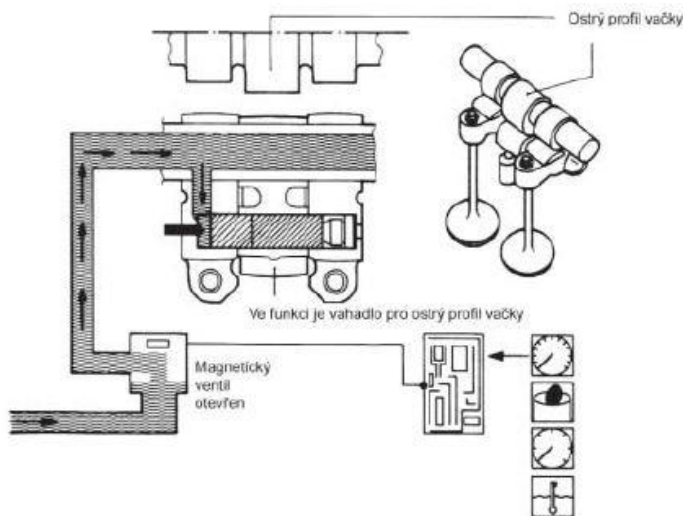


OBR. 10 Momentová poloha VTEC [11]

moment motoru je v této poloze vyšší. [3]

Při momentové poloze systému VTEC (do 5100 ot/min^{-1}) je primární, sekundární a prostřední vahadlo uvolněné. Přesuvná dvoudílná západka je v odblokované poloze, ve které ji udržuje na ni působící vratná pružina. Ventily jsou tak ovládány jen primárním a sekundárním vahadlem. Tato vahadla mají běžný profil. Zdvih a doba otevření ventilu je malý. Točivý

Ovládání celého mechanismu zajišťuje elektronická řídicí jednotka. Posílá signály do elektromagnetického ventilu, který řídí přepouštění oleje a změnu tlaků v systému VTEC.



OBR. 11 Výkonová poloha VTEC [11]

Při výkonové poloze systému VTEC (do 8000 ot/min^{-1}) se od povelu elektronické řídicí jednotky přepne do otevřené polohy elektromagnetický ventil a vpusť do systému tlakový olej. Olej působí na dvoudílnou přesuvnou západku a přesune jej doprava do polohy, kdy spojí všechna tři vahadla. Proti západce působí vratná pružina, která při odtlakování systému a tedy přepnutí VTEC

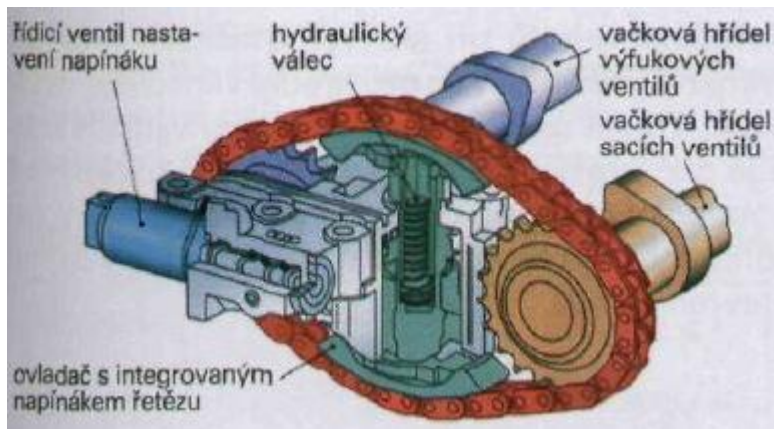
z polohy výkonové do polohy momentové vrátí dvoudílnou západku do výchozí pozice.

Ventily jsou v této sepnuté poloze ovládány pouze střední vačkou s největším zdvihem a nejdelší dobou otevření ventilů. Obě krajní vačky tj. primární a sekundární běží naprázdno a nedotýkají se společného vahadla. [3]

3.4 VarioCAM, VarioCAM Plus

VarioCAM je systémem variabilního časování ventilových rozvodů vyvinutým automobilkou Porsche. Tento systém používaly i jiné automobilky jako např. Audi, Škoda.

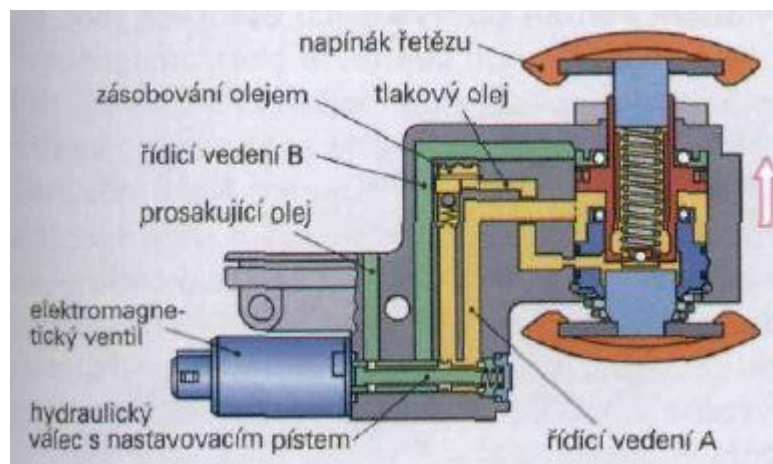
VarioCAM umožňuje fázové natočení sacího vačkového hřídele až o 30° od náhonového řetězového kola. Toto natočení je uskutečňováno pomocí dvoustavového hydromotoru. Napínač řetězu vložený mezi sací a výfukový vačkový hřídel dokáže svou změnou polohy měnit počet členů řetězu mezi vačkovými hřídeli. Touto změnou dochází k samotné změně natočení vačkového hřídele sacích ventilů. [2, 11]



OBR. 12 Konstrukce VarioCAM [3]

ovládací vedení A. Tlakový olej je tak přiváděn do napínáku ovládacím vedením B. Tato změna způsobí přesunutí napínáku z horní polohy do polohy spodní. Prodloužením spodní větve řetězu a zároveň zkrácením horní větve se natočí vačkový hřídel sacích ventilů do polohy „dříve“. [3]

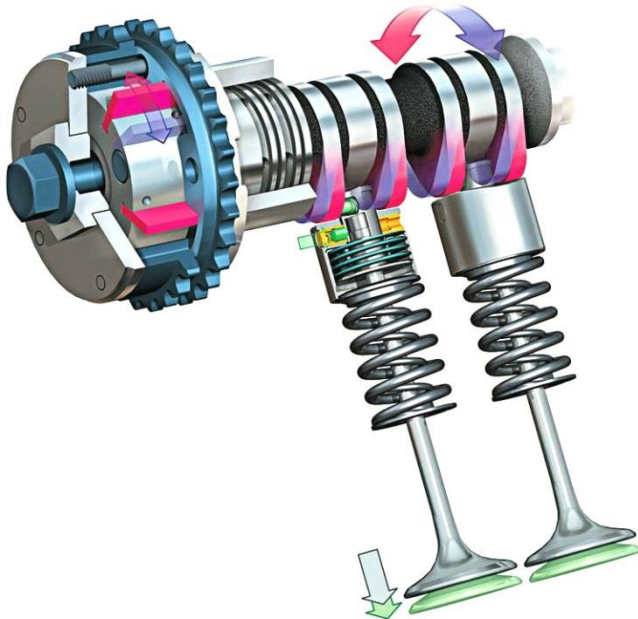
Napínák řetězu je v základní poloze v poloze horní a sací vačkový hřídel je nastaven na pozdější otevření ventilů. Olej je do ovládací soustavy přiveden z mazací soustavy motoru. Pro změnu časování z polohy „později“ do polohy „dříve“ se uzavře nastavovacím pístem



OBR. 13 Napínák řetězu [3]

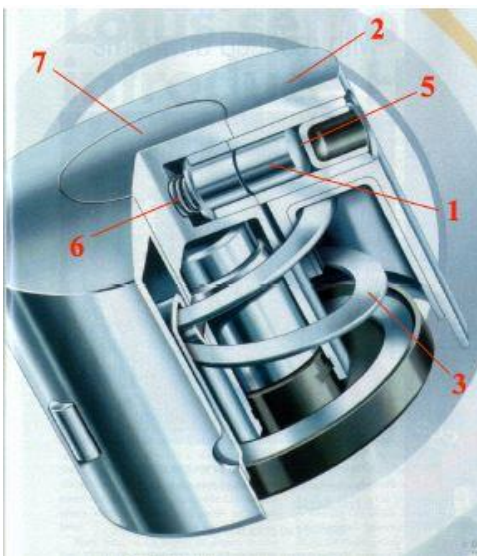
Tyto dvě koncové polohy časování v systému VarioCAM ovlivňují několik parametrů motoru. Jsou to rozvodové doby, úhel překrytí ventilů a úhel natočení klikového hřídele mezi maximálními zdvihy ventilů. Dojde tak ke zlepšení točivého momentu motoru a výkonu. Samozřejmostí je snížení spotřeby paliva a snížení emisí škodlivin. [11]

VarioCAM - Plus je zdokonalený systém VarioCAM. Zdokonalení spočívá v možnosti změny zdvihu sacích ventilů. [17]



OBR. 14 VarioCAM - Plus [17]

Nejvýraznějším znakem tohoto systému je speciální vačkový hřídel. Je opatřen třemi vačkami pro každý sací ventil. Jsou to dvě krajní největší vačky a střední vačka (nejmenší). Rozdílný tvar vaček určuje změnu zdvihu ventilů. Změna natočení vačkového hřídele a tedy jeho časování je prováděna lopatkovým seřizovačem polohy a nevyužívá napínák řetězu jako předchůdce VarioCAM. Lopatkový regulátor je umístěn na čelní straně vačkového hřídele a umožňuje plynulou regulaci natočení. Přepínání mezi dvěma druhy vaček zajišťují dělená hrníčková zdvihátka. [11,17]

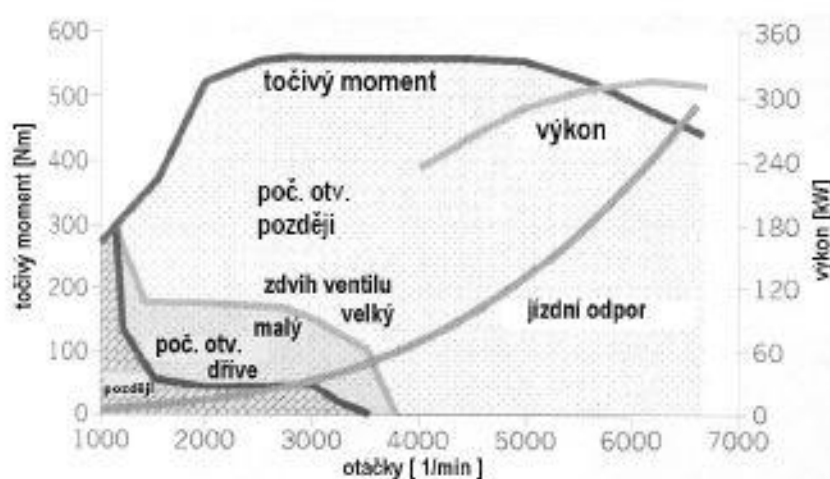


OBR. 15 Hrníčkové zdvihátko [2]

Hydraulicky řízené dělené zdvihátko umožňuje přepínání mezi dvěma druhy vaček. Při malém zatížení motoru jsou ventily ovládány střední menší vačkou. Při tomto stavu je spojovací čep 1 zdvihátka v poloze jako na OBR. 15. Obě vnější vačky jsou v kontaktu s vnější částí zdvihátka 2. Vnější vačky tak stlačí pouze pružinu zdvihátka 3 a zdvih ventilů je ovládán menší střední vačkou. Po přivedení tlaku oleje do prostoru 5 se posune spojovací čep proti pružině 6 a spojí tak vnější část zdvihátka s čepem 7, který je v kontaktu se střední vačkou. Po spojení obou částí zdvihátka jsou ventily

ovládány vnějšími vačkami s vyšším zdvihem. [2]

Střední vačka umožňuje zdvih pouze 3 mm. Při vysokých otáčkách motoru a přepnutí na vnější vačky je dosaženo zdvihu až 10 mm. Při přepnutí z mírných vaček na ostré musí zasáhnout řídicí jednotka, která zajistí plynulost přechodu. Dojde totiž až k dvojnásobnému nárůstu točivého momentu. Řídicí jednotka zasáhne pomocí úpravy polohy škrtkové klapky a mírou recirkulace výfukových plynů. Vstupní veličiny v tomto systému jsou otáčky motoru, poloha pedálu akcelérátoru, teplota motorového oleje a zařazený převodový stupeň. [17]



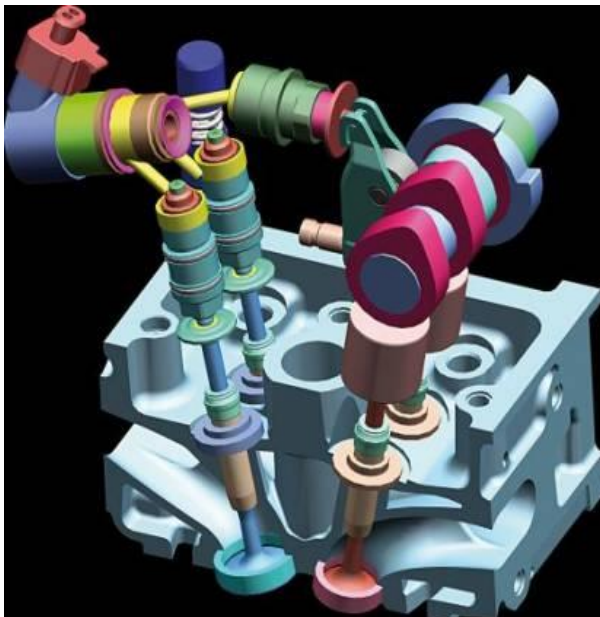
OBR. 16 Úplná charakteristika motoru s VarioCAM - Plus [2]

3.5 Multiair

Revoluční novinkou v oblasti variabilního časování ventilů se stal systém Multiair. Vyvinut a následně patentován byl italskou automobilkou Fiat. Prvně byl tento systém představen v automobilu Alfa Romeo Mito. Multiair byl původně vyvinut pro zážehové motory spalující benzín, zemní plyn a vodík. Hlavním účelem bylo dodat na trh takový systém, který by dokázal plnit rostoucí požadavky na zážehové motory a byl dokonale integrovatelný s dalšími technologiemi, které jsou čím dál častěji používány. A to přeplňováním či přímým vstřikem paliva. Systém je natolik všestranný, že se s ním počítá i pro budoucí použití ve vznětových motorech. U těchto motorů konstruktéři počítají

s možností redukce pevných částic až o 40 % a oxidů dusíku až o 60 %. Bylo by tak dosaženo emisní normy EURO VI. [18,20]

Hlavní výhodou bylo odstranění mechanické vazby mezi sacími ventily a vačkovým hřídelem. Tato vazba byla nahrazena vloženým elektrohydraulickým členem, který dokáže ovládat sací ventily téměř nezávisle, a to jak na poloze vačkového hřídele, tak i na ostatních válcích. Nezávislost v ovládní ventilů přispívá k dalšímu zkvalitnění a zpřesnění plnění motoru čerstvou směsí. Mechanická konstrukce motoru je oproti jiným systémům variabilního časování jednodušší. Na dva ventily totiž stačí jen jeden elektrohydraulický člen a tedy jen jedna vačka. Další velkou výhodou je samotné řízení množství nasávaného vzduchu. Děje se tak přímo na vstupu do válce pomocí elektronických akčních členů a ovládním sacích ventilů při zachování konstantního tlaku vzduchu v sacím potrubí. Multiair tak nepotřebuje škrťací klapku na vstupu sacího potrubí. [19,20]

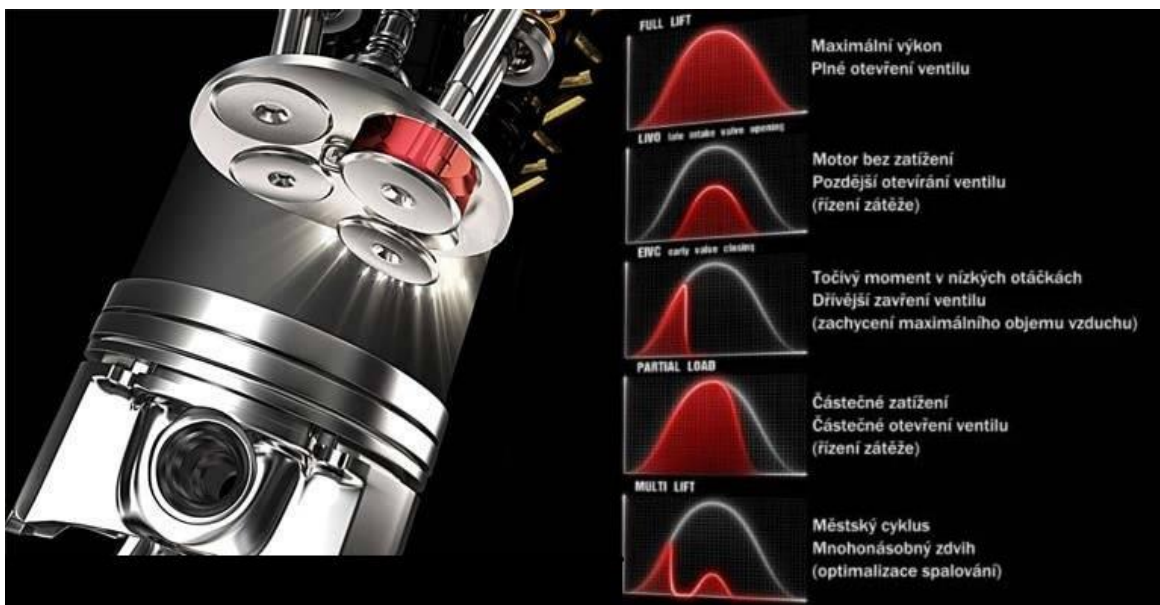


OBR. 17 Multiair [17]

Elektrohydraulický systém ovládní sacích ventilů je proveden pomocí vložené vysokotlaké komory mezi vačkou a sacím ventilem. Do této komory proudí olej od hydraulického válce, který generuje tlakový olej od působení vačky vačkového hřídele. Tlak v komoře je upravován pomocí selenoidového ventilu a řízen řídicí jednotkou. Profil zdvihu sacích ventilů tak může být velmi dobře měněn při různé zátěži motoru. Samozřejmě je v tlakovém systému řízena i změna různých strategií otevírání a zavírání sacích ventilů. Multiair dokáže

ovládat sací ventil i přerušovaně a docílit tak vrstveného plnění válce. [20]

Dřívějším uzavřením sacího ventilu se zamezí úniku již nasátého vzduchu do výfukového potrubí. Zvýší se tak množství vzduchu ve válci a vzroste účinnost. Přepřlované motory tak dosahují společně s Multiair ještě větší efektivity. [19]



OBR. 18 Řízení zdvihu Multiair [18]

Výhody systému Multiair

- Díky plnějšímu profilu vačky nárůst výkonu až o 10 %
- Nárůst točivého momentu motoru při nízkých otáčkách až o 15 %. Je tak docíleno pomocí dřívějšího zavírání sacích ventilů a nárůstu množství vzduchu ve válcích.
- Snížením čerpacích ztrát při výměně náplně oproti běžným atmosférickým i přeplňovaným motorům klasické konstrukce uspořádání sacích ventilů. Snížení těchto ztrát přinese pokles spotřeby paliva i emisí škodlivin až o 10 %.
- Maloobjemové přeplňované motory vybavené touto technologií dokáží uspořit až 25 % paliva při provozu oproti stejně výkonným atmosférickým motorům. Proto byl tento systém ze strany Fiatu vyvíjen hlavně pro podporu maloobjemových zážehových motorů.

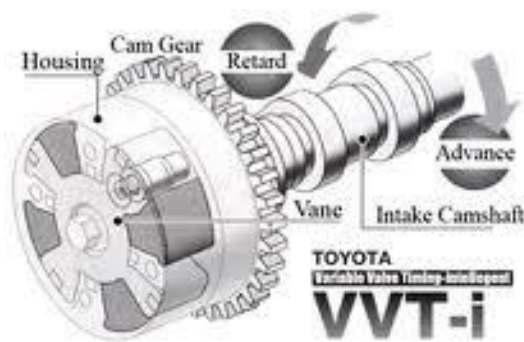
- Schopnost variabilní změny strategie otevírání sacích ventilů během zahřívání motoru přináší snížení emisí HC a CO až o 40 %, pro NO_x až o 60 %. Multiair nechá mírně pootevřený sací ventil během výfukového zdvihu a docílí tak vnitřní recirkulace výfukových spalin.
- Konstantní tlak vzduchu v sacím potrubí. Atmosférický pro atmosférické motory a mírně zvýšený tlak pro motory přeplňované. Spolu s velmi rychlým řízením proudění vzduchu a proměnlivého zdvihu pro každý válec má motor velmi dobrou reakci na změny jízdních režimů a oplývá zvýšenou dynamičností.

3.6 Valvematic

Ani japonská Toyota nechtěla být pozadu oproti ostatním automobilkám produkujícím systémy variabilního časování a zdvihu ventilů. V roce 2008 představila svůj systém pod názvem Valvematic. Valvematic pracuje zároveň s VVT-i, který zabezpečuje změnu časování sacích i výfukových ventilů. VVT-i používala Toyota už o několik let dříve. [12]

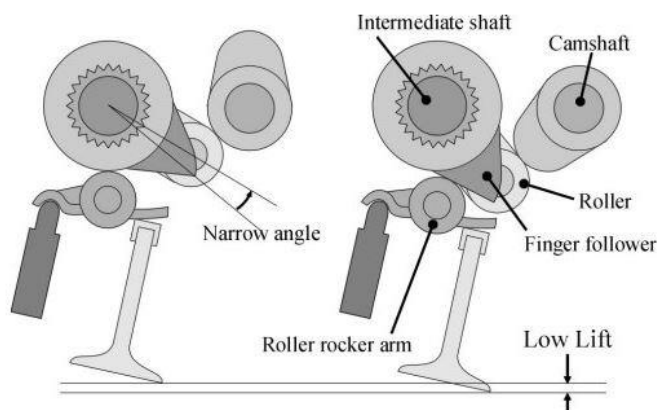
Valvematic pomocí možnosti nepřetržité a plynulé regulace zdvihu sacích ventilů ovládá množství nasávané směsi do válců. Sací systém motoru tak nebyl opatřen škrticí klapkou. Její funkci plně převzal Valvematic a eliminoval tak čerpací ztráty při sání. Motory opatřené systémem Valvematic jsou navíc často vybavené i proměnnou délkou sacího potrubí, která navyšuje efektivitu proměnného zdvihu ventilů.

Například motor o zdvihovém objemu 2,0 l Valvematic má v závislosti na jízdních podmínkách o 5 až 10 % nižší spotřebu paliva, minimálně o 10 % vyšší výkon s lepší akcelerační odezvou a nižší emisí CO₂. [21]



OBR. 19 VVT-i [22]

natáčena vnitřní část oproti vnější části nastavovače. Dojde tak ke změně časování ventilových rozvodů. [22]



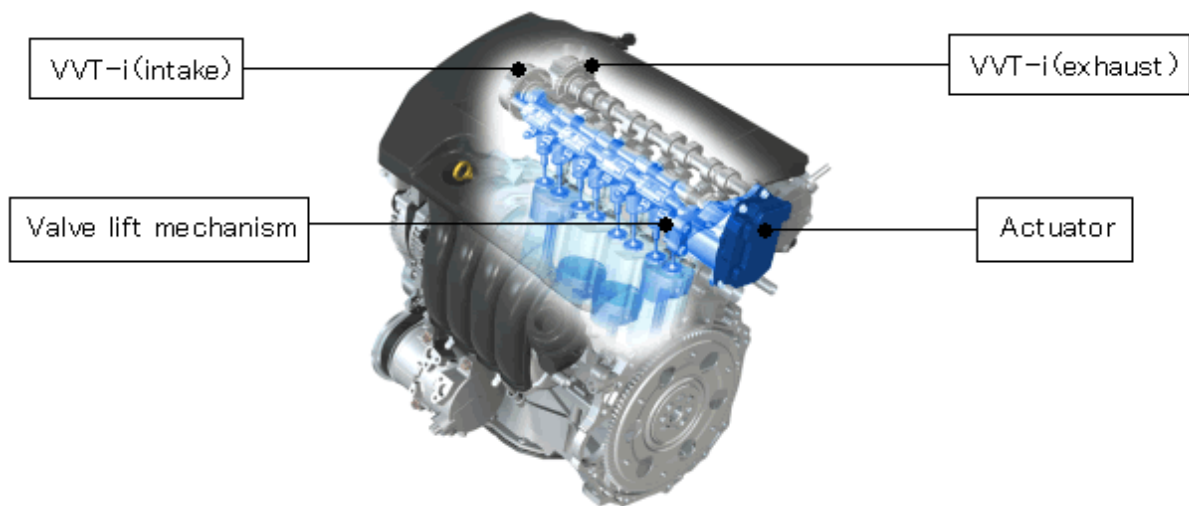
OBR. 20 Konstrukce Valvematic [12]

tvaru velmi ostré vačky (finger follower) a ta stlačuje vahadlo (roller rocker arm), které přímo ovládá ventil. Mezihřídel je spojen s jeho ovládacím prvkem pomocí vnitřního ozubení. Elektromotor umístěný na konci mezihřídele ovládá pootočení mezihřídele oproti jeho ovládacímu prvku.

Pokud je nastaven malý úhel mezi ovládacím prvkem a mezihřídelem (narrow angle), tak je nastaven nízký zdvih ventilu. Pokud elektromor zvýší tento úhel, zvýší se zdvih ventilu. Valvematic dokáže měnit zdvih ventilu od 0,97 mm až do 11 mm.

Změna časování ventilů VVT-i je prováděna plynule pomocí vhodného přepouštění tlakového oleje. Vnější část lopatkového regulátoru je spojena s rozvodovým ozubeným věncem. Vnitřní část nastavovače je naopak spojena jen s vačkovým hřídelem, která je opatřena lopatkami, na které působí olej. Pomocí tlaku oleje, který je do regulátoru přiváděn přes hydraulický ventil z mazacího systému motoru, je

Hlavním znakem Valvematicu je využití vloženého mezihřídele (Intermediate shaft). Rotační pohyb koná vačka vačkového hřídele (camshaft), který je poháněn klasicky od motoru. Vačka při svém pohybu působí na kladku (roller). Tato kladka je spojena s mezihřídelem a převádí tak na něj svůj pohyb. Mezihřídel má ovládací prvek pro každý válec ve



OBR. 21 Valvematic [23]

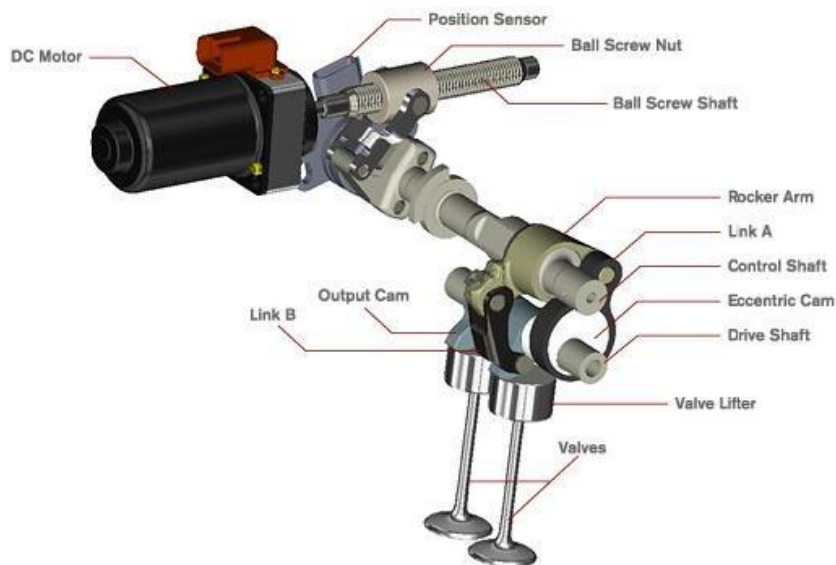
3.7 VVEL (Variable valve event and lift system)



OBR. 22 VVEL [24]

Nissan se připojil k automobilkám produkujícím systémy variabilního zdvihu ventilů v roce 2007. První automobil vybavený VVEL byl Nissan Skyline Coupe (Infiniti G37). Nissan uvádí, že ve srovnání se systémem např. Valvetronic od mnichovské automobilky BMW je VVEL mnohem kompaktnější, zahrnuje méně dílů a má nižší energetické ztráty. Osobně si myslím, že BMW má systém jednodušší a levnější. V nutnosti přesnosti výroby jednotlivých dílů jsou oba tyto systémy rovnocenné. VVEL je při prvním pohledu celkem složitý a svou konstrukcí se naprosto odlišuje od systémů ostatních automobilek. [12]

Nissan používá motor s VVEL i ve sportovním voze Nissan 370Z. Tento motor má výkon působivých 241 kW při 7000 ot/min⁻¹. Točivý moment motoru je 363 Nm při 5200 ot/min⁻¹ a zdvihovém objemu 3,7l. [24]



OBR. 23 Konstrukce VVEL [24]

VVEL nepoužívá klasickou vačkovou hřídel. Vačkovou hřídel zde nahradil hřídel (drive shaft) pohánějící excentrické vačky (excentric cam). Tyto vačky umístěné na hřídeli excentricky jsou volně uloženy v rameni A (link A). Excentrická vačka přenáší svůj rotační pohyb přes rameno na vahadlo (rocker arm), které koná pohyb kývavý. Jednodušeji si můžeme tento pohyb představit jako princip fungování klikového mechanismu. Kývavý pohyb vahadla je dále převáděn na rameno B (link B). Na rameni B je připevněna vačka (output cam), která je ve styku s ventilovým zdvihátkem (valve lifter), a dochází k samotnému zdvihu ventilu. Ke změně zdvihu ventilu dojde při natočení ovládacího hřídele (control shaft). Vahadlo je totiž též uloženo na hřídeli mírně excentricky, a při natočení hřídele dojde k posunutí osy otáčení vahadla, a tak ke změně zdvihu ventilu. Natočení probíhá pomocí elektromotoru (DC motor) a řídí ho řídicí jednotka motoru. Elektromotor otáčí hřídelem se šroubovicí (ball screw shaft) a kuličková matice (ball screw nut) převádí rotační pohyb šroubu na pohyb páky řídicího hřídele. Informace o míře natočení hřídele poskytuje polohový senzor (position sensor).

4. Očekávaný vývoj variabilního časování ventilových rozvodů

Variabilní časování ventilových rozvodů a jednotlivé systémy prošly téměř dvacetiletým vývojem. Za tu dobu vzniklo několik rozdílných konstrukcí, které můžeme ohodnotit jako lepší nebo horší. Ať už si uděláme na každý systém jakýkoliv názor, pokaždé plnil velmi dobře úlohu, pro kterou byl vyvinut. Variabilní časování se ještě dnes nepoužívá ve všech motorech, ale předpokládám, že nebude trvat dlouho a díky zvyšujícím se nárokům na motory a emisním normám budou tyto systémy v budoucnu naprostou nutností. K rozvoji těchto systémů určitě napomohla i ekonomická krize a raketové zvyšování cen pohonných paliv. Tyto faktory právě velmi urychlily vývoj motorových jednotek. Lidé totiž požadovali velké snížení nákladů na provoz. Automobilky se tak uchýlily k produkci motorů s nižšími zdvihovými objemy, většinou i s nižším počtem válců. Z těchto maloobjemových motorů tak muselo být dosahováno jeho maximálně možného výkonu a vhodné momentové křivky, aby na úkor snižování spotřeby a emisí škodlivin neztrácely na dynamičnosti. Došlo tak právě k velkému rozvoji systémů jako například variabilní časování rozvodů, které měly k těmto provozním parametrům výrazně dopomoci. Vývoj časování bych osobně rozdělil do tří fází. V první fázi automobilky nejdříve vyvíjeli systémy, které ovlivňovaly jen samotné časování, a tak změnu ve standardním kruhovém diagramu. Motory ale neustále dosahovaly vyšších výkonů a bylo tlačeno i na emisní normy a obyčejné časování, tedy natáčení vačkových hřídelů bylo doplněno ještě o změnu zdvihu ventilů. Díky změně zdvihu ventilů mohlo být také dosaženo odstranění škrťací klapky ze sacího potrubí a lepší tlakový průběh v plnění motorů. Tuto konstrukční změnu bych zařadil do fáze druhé. Ve třetí fázi vývoje ale došlo celkem k výraznému pokroku. Fiat přišel na trh s Multiair a nahradil mechanickou vazbu v ovládní ventilových rozvodů elektrohydraulickým ovládním.

Myslím si, že i nadále se budou vyvíjet systémy, které by více nahrazovaly právě mechanickou vazbu v ovládní ventilů, a bylo tak dosaženo plně nastavitelných systémů, které nebudou závislé na poloze klikového respektive i vačkového hřídele. Elektronika motoru tak bude moci neustále upravovat časování, zdvih ventilů i plnicí tlaky v motoru naprosto nezávisle. V současnosti se používá i možnosti tzv. vypínání jednotlivých válců. Dokáží tak reagovat na provozní stav vozidla a pokud nepotřebuje motor využít jeho plný výkon, tak

řídící jednotka pomocí vhodného rozpojení vahadel vyřadí určitý počet válců z chodu motoru. V součinnosti se systémy variabilního časování včetně zdvihu ventilů tak dokáží u víceválcových motorů velmi ovlivnit produkci škodlivin do ovzduší, snížení spotřeby a menšího mechanického opotřebení dílů v motoru.

V budoucnu by tak motor měl umět dokázat plně reagovat na provozní podmínky a upravovat své provozní parametry. Bude se tak tlačit více na vývoj elektronických a elektrohydraulických systémů, které dokáží odstranit jednotlivé vazby ve funkci motoru a všechny systémy včetně časování rozvodových mechanismů budou pracovat v rámci možností naprosto nezávisle na ostatních systémech motoru. Multiair byl hozenou rukavicí v konstrukci časování a je otázkou času, jak na to dokáží reagovat ostatní automobilky a s jakou inovací přijdou.

5. Doporučení a závěr

Cílem této bakalářské práce bylo seznámení se s problematikou variabilního časování ventilových rozvodů. Vybral jsem a popsal jen několik těchto systémů. Existují i další, ale většinou jsou to starší varianty z počátků vývoje časování a fungují v principu stejně jako systémy popsané. Věřím, že principy jednotlivých systémů, které jsem popsal, někomu napomohou k jejich bližšímu seznámení a pochopení. Pro jejich popis jsem vycházel z několika zdrojů, a to jak z literárních, tak většinou i z internetových, které mnohdy dokázaly lépe a podrobněji nahlédnout do jejich fungování. Tuzemské zdroje byly někdy nedostačující, a musel jsem nahlédnout i do zdrojů zahraničních. Po sepsání této práce musím uznat, že většina automobilek má opravdu co nabídnout. Nejvíce mě asi překvapil přínos italské automobilky Fiat, která svůj Multiair vyvíjela téměř přes dvacet let a představila ho ve velmi vhodný čas při vzestupu maloobjemových výkonných motorů.

K nevýhodám složitějších mechanických systémů jako jsou například Valvetronic či Valvematic a VVEL oproti hydraulickému systému Multiair patří určitě nutná zvýšená přesnost výroby. Zvýšený počet dílů v těchto systémech způsobuje nutnost menší tolerance při výrobě jednotlivých dílů. Při jejich součtu totiž dostaneme celkovou možnost nepřesnosti celého systému variabilního časování, která musí být při zvyšujících se nárocích na provozní parametry motoru a tedy i přesnosti ovládání rozvodových systémů velmi malá. Například BMW udává nutnou maximální toleranci u výroby mezivahadla jen osm tisícín milimetru. S touto přesností výroby samozřejmě stoupá i cena výroby celého systému. U mechanických systémů se setkáme po nějaké době i s únavou materiálu, která zvýší nepřesnost v ovládání. Vymezení vůle je obtížné a většinou se musejí jednotlivé opotřebované díly nahradit za nové. U elektrohydraulického systému jako je Multiair tak můžeme počítat s menšími provozními možná i výrobními náklady, jelikož pracuje na odlišném principu ovládání a přesnost systému závisí především na hydraulickém tlaku, který můžeme variabilně upravovat, a vymezovat tak vůle v systému.

Nemyslím si ale, že ostatní automobilky usnuly na vavřínech, ale pokračují ve vývoji a budou se snažit překonat Multiair. K čemu se budou nejspíše uchýlovat a jakým směrem půjdou tyto nové systémy jsem popsal ve čtvrté kapitole očekávaného vývoje.

Použitá literatura

Tištěné zdroje

[1] FERENC, Bohumil. *Spalovací motory: karburatory a vstřikování paliva*. 1. vyd. Praha: Computer Press, 2004, 388 s. ISBN 80-251-0207-6.

[2] Rauscher, J. *Spalovací motory I*, ČVUT Praha, 2007, ISBN 978-80-01-03618-1.

[3] GSCHEIDLE, Rolf. *Příručka pro automechanika*. 3. přeprac. vyd. /. Překlad Iva Michňová, Zdeněk Michňa, Jiří Handlíř. Praha: Europa - Sobotáles, 2007, 685 s. ISBN 978-80-86706-17-7.

Internetové zdroje

[4] Časovanie rozvodu. In Wikipedia : the free encyclopedia [online]. St. Petersburg (Florida): Wikipedia Foundation, 09.06.2006 , last modified 10.3.2013 [cit. 2013-12-20].

Dostupné z: http://sk.wikipedia.org/wiki/%C4%8Casovanie_rozvodu

[5] Pístové spalovací motory. [online]. 2011 [cit. 2014-01-04]. Ventilové rozvody.

Dostupné z: http://www.kvm.tul.cz/studenti/texty/PSM/PSM_19.pdf

[6] SAJDL, Jan. Autolexicon. [online]. 2013. [cit. 2014-01-04]. Variabilní časování ventilů.

Dostupné z: <http://cs.autolexicon.net/articles/variabilni-casovani-ventilu/>

[7] STÝBLO, Slavomír. Tipcars. [online]. 09-09-2009. [cit. 2014-01-04]. Vše o ventilových rozvodech. Dostupné z: <http://www.tipcars.com/magazin-vse-o-ventilovych-rozvodech-4249.html>

[8] Kotamuda. [online]. nevedeno. [cit. 2014-01-06]. Vačkový hřídel, ventily.

Dostupné z: http://kotamuda.humlak.cz/navody_manualy/127/HTM/HTM2/motor/vackovy.htm

- [9] KOLÍČ, Vojtěch. Motohouse. [online]. nevedeno. 23-10-2012 [cit. 2014-01-10]. Technika motoru : rozvody. Dostupné z: <http://www.motohouse.cz/technika-motoru-rozvody>
- [10] SAJDL, Jan. Autolexicon. [online]. 2011. [cit. 2014-02-01]. Valvetronic. Dostupné z: <http://cs.autolexicon.net/articles/valvetronic/>
- [11] ČUMPELÍK Jiří. AutoEXPERT. [online]. 2005 [cit. 2014-01-30]. Spalovací motory III. Dostupné z: http://www.skolahostivar.cz/DownloadPF/prakticka-dilna_09_2005.pdf
- [12] Autozine [online]. 2009 [cit. 2014-02-18]. Autozine technical school. Dostupné z: http://www.autozine.org/technical_school/engine/vvt_5.html
- [13] Usautoparts [online]. 2007 [cit. 2014-02-01]. Valvetronic. Dostupné z: http://www.usautoparts.net/bmw/pics/engine/3021_832.jpg
- [14] SAJDL, Jan. Autolexicon. [online]. 2013. [cit. 2014-01-30]. Vanos, double vanos. Dostupné z: <http://cs.autolexicon.net/articles/vanos-double-vanos/>
- [15] SAJDL, Jan. Autolexicon. [online]. 2013. [cit. 2014-02-03]. VTEC. Dostupné z: <http://cs.autolexicon.net/articles/vtec-variable-valve-timing-and-lift-electronic-control/>
- [16] BMW automobiles. [online]. nevedeno [cit. 2014-02-01]. Valvetronic. Dostupné z: http://www.bmw.com/com/en/insights/technology/technology_guide/articles/mm_valvetronic.html?content_type=/com/en/insights/technology/technology_guide/articles/mm_valvetronic.html&source=/com/en/insights/technology/technology_guide/articles/vanos_double_vanos.html&article=mm_valvetronic
- [17] SAJDL, Jan. Autolexicon. [online]. 2013. [cit. 2014-02-07]. VarioCAM, VarioCAM-Plus. Dostupné z: <http://cs.autolexicon.net/articles/variocam-variocam-%E2%80%93-plus/>
- [18] Fiat people. [online]. 2011. [cit. 2014-02-15]. Technologie Multiair. Dostupné z: <http://www.fiatpeople.cz/fiat/technologie/7/7/>

- [19] SAJDL, Jan. Autolexicon. [online]. 2013. [cit. 2014-01-30]. TwinAir (Multiair).
Dostupné z: <http://cs.autolexicon.net/articles/fiat-multiair/>
- [20] Fiat automobiles. [online]. 2011. [cit. 2014-02-15]. Multiair.
Dostupné z: <http://www.fiat.cz/technologie/multiair/popis/>
- [21] Toyota Motor Czech. [online]. Neuvedeno. [cit. 2014-02-20]. Multiair.
Dostupné z: http://www.toyota.cz/cars/new_cars/toyota_tech/valvematic.tmex
- [22] Power enterprise USA, INC. [online]. Neuvedeno. [cit. 2014-02-26]. What is VVTi?
Dostupné z: <http://www.power-enterprise.co.jp/USA/products/electric/camcon/camcon.htm>
- [23] Toyota Motor Corporation. [online]. 12 June 2007. [cit. 2014-02-21]. Toyota Develops Next-generation Engine Valve Mechanism. Dostupné z: <http://www.toyota.co.jp/en/news/07/0612.html>
- [24] Nissan 370Z. [online]. 2011. [cit. 2014-02-28]. Nissan 370Z review, engine tech.
Dostupné z: <http://www.370z.com/MagazineArticles/tabid/57/articleType/ArticleView/articleId/14/370Z-Engine-VQ37VHR.aspx>

Seznam obrázků

OBR. 1 Kruhový diagram [4]	4
OBR. 2 Překrytí ventilů [2].....	6
OBR. 3 Vliv vzájemných poloh sacího a výfukového ventilu na točivý moment a rovnoměrnost chodu motoru v režimu volnoběhu [2]	8
OBR. 4 Vanos [3]	9
OBR. 5 Regulace ve směru později a dříve [11]	10
OBR. 6 Valvetronic [13].....	11
OBR. 7 Řízení množství nasávané směsi [2].....	12
OBR. 8 Konstrukce Valvetronic [10]	13
OBR. 9 VTEC Honda [3]	14
OBR. 10 Momentová poloha VTEC [11].....	15
OBR. 11 Výkonová poloha VTEC [11].....	16
OBR. 12 Konstrukce VarioCAM [3].....	17
OBR. 13 Napínák řetězu [3]	17
OBR. 14 VarioCAM - Plus [17]	18
OBR. 15 Hrničkové zdvihátko [2].....	18
OBR. 16 Úplná charakteristika motoru s VarioCAM - Plus [2].....	19
OBR. 17 Multiair [17]	20
OBR. 18 Řízení zdvihu Multiair [18]	21
OBR. 19 VVT-i [22].....	23
OBR. 20 Konstrukce Valvematic [12].....	23
OBR. 21 Valvematic [23]	24
OBR. 22 VVEL [24].....	24
OBR. 23 Konstrukce VVEL [24]	25