

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV VÝKONOVÉ ELEKTROTECHNIKY A ELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF POWER ELECTRICAL AND ELECTRONIC ENGINEERING

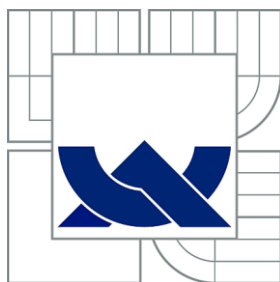
ANALÝZA SYSTÉMU ZAPALOVÁNÍ A VSTŘIKOVÁNÍ PALIVA

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

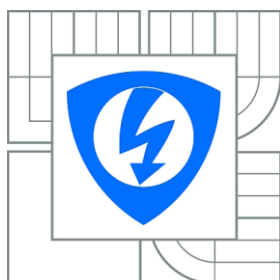
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

JAN SCHNABL

BRNO 2011



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV VÝKONOVÉ ELEKTROTECHNIKY A
ELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF POWER ELECTRICAL AND ELECTRONIC
ENGINEERING

ANALÝZA SYSTÉMU ZAPALOVÁNÍ A VSTŘIKOVÁNÍ PALIVA

FUEL INJECTION ANALYSIS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

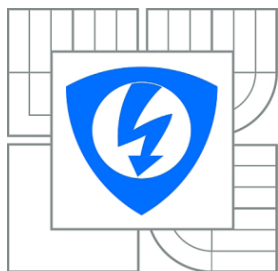
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

JAN SCHNABL

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

prof. Ing. VÍTĚZSLAV HÁJEK, CSc.

BRNO 2011



**VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ**

**Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií**

Ústav výkonové elektrotechniky a elektroniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor

Silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika

Student: Jan Schnabl

Ročník: 3

ID: 115271

Akademický rok: 2010/11

NÁZEV TÉMATU:

Analýza systému zapalování a vstřikování paliva

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Popište stručně způsoby zapalování spalovacích motorů a jejich vývoj.
2. Analyzujte současně používané systémy zapalování a vstřikování paliva.
3. Navrhněte způsob realizace cvičení z předmětu BAEB.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Dle pokynů vedoucího

Termín zadání: 23.9.2010

Termín odevzdání: 26.5.2011

Vedoucí projektu: prof. Ing. Vítězslav Hájek, CSc.

doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Abstrakt

Zapalovací a vstřikovací soustava v jakékoliv podobě jsou nedílnou součástí každého automobilu. Vývoj těchto soustav jde ruku v ruce s rozvojem automobilismu a jeho stále většího průmyslu. Od devatenáctého století do současnosti došlo v tomto odvětví výrazného pokroku. Tato práce se především zaměřuje na popis těchto dvou soustav a jejich rozdělení. Vývoj je zachycen od nejstarších systémů až po nejnovější systémy.

Abstract

The ignition and injection system in any form are an integral part of each car. The development of these systems goes hand in hand with the development of the automobile and his growing industry. Since the nineteenth century to the present occurred in this sector significant progress. This thesis is focused primarily on the description of the two systems and their partition. The development has been recorded from the oldest systems to the newest systems.

Klíčová slova

FSI; MPI; předstih; regulace; snímače; spalovací motor; SPI; TSI; vstřikování; zapalování

Keywords

Combustion engine; FSI; ignition; injection; MPI; pre-ignition; regulation; sensors; SPI; TSI

Bibliografická citace

SCHNABL, J. *Analýza systému zapalování a vstřikování paliva*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2011. 57 s. Vedoucí bakalářské práce prof. Ing. Vítězslav Hájek, CSc..

Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma *Analýza systému zapalování a vstřikování paliva* jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne

Podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce *prof. Ing. Vítězslav Hájek, CSc.* za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne

Podpis autora

OBSAH

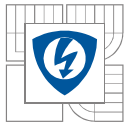
ÚVOD	11
1 HISTORIE ZAPALOVACÍCH SYSTÉMŮ	12
2 ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ ZAPALOVACÍCH SYSTÉMŮ, ČINNOST SPALOVACÍHO MOTORU	12
2.1 ZAPALOVÁNÍ	12
2.1.1 ZAPALOVÁNÍ KOMPRESNÍM TEPLEM.....	12
2.1.2 ZAPALOVÁNÍ ELEKTRICKOU JISKROU	12
2.1.3 ZAPALOVÁNÍ SMĚSI, VÝBOJ MEZI ELEKTRODAMI SVÍČKY	13
3 ČINNOST SPALOVACÍHO MOTORU.....	14
3.1 PRACOVNÍ CYKLUS ČTYŘDOBÉHO SPALOVACÍHO MOTORU	14
4 ELEKTROMECHANICKÉ ZAPALOVÁNÍ.....	15
4.1 ZAPALOVACÍ CÍVKA.....	16
4.2 ROZDĚLOVAČ	18
4.3 ZAPALOVACÍ SVÍČKA	18
4.4 SYSTÉM SDI – ZAPALOVACÍ CÍVKA + SVÍČKA.....	20
5 MAGNETOVÉ ZAPALOVÁNÍ	20
6 ELEKTRONICKÉ ZAPALOVÁNÍ	22
6.1 ZAPALOVÁNÍ S ELEKTRONICKÝM ODLEHČENÍM KONTAKTŮ PŘERUŠOVAČE.....	22
6.2 KONDENZÁTOROVÉ, TYRISTOROVÉ ZAPALOVÁNÍ.....	24
6.3 BEZKONTAKTNÍ ZAPALOVÁNÍ	25
6.3.1 INDUKČNÍ SNÍMAČ	25
6.3.2 SNÍMAČ S HALLOVOU SONDOU.....	26
7 PIEZOELEKTRICKÉ ZAPALOVÁNÍ.....	28
8 NASTAVENÍ PŘEDSTIHU	28
8.1 ODSTŘEDIVÁ A PODTLAKOVÁ REGULACE PŘEDSTIHU	30
8.1.1 ODSTŘEDIVÁ REGULACE.....	30
8.1.2 PODTLAKOVÁ REGULACE	31
9 SYSTÉMY VSTŘIKOVÁNÍ PALIVA.....	32
9.1 HISTORIE VSTŘIKOVÁNÍ PALIVA.....	32
9.2 POŽADAVKY MOTORU NA SMĚS A JEJÍ TVORBA	32
9.2.1 SLOŽENÍ ZÁPALNÉ SMĚSI	32
9.3 PŘÍZPŮSOBNOST PROVOZNÍM STAVŮM.....	36
9.3.1 STUDENÝ START	36
9.3.2 FÁZE PO STARTU	36
9.3.3 FÁZE ZAHŘÍVÁNÍ.....	36
9.3.4 ČÁSTEČNÉ ZATÍŽENÍ MOTORU	36
9.3.5 PLNÉ ZATÍŽENÍ	37
9.3.6 ZRYCHLENÍ	37
9.3.7 DECELERACE.....	37

9.3.8 PŘIZPŮSOBENÍ SMĚSI VE VYŠŠÍCH POLOHÁCH	37
9.4 ZÁKLADNÍ PRINCIPY VSTŘIKOVÁNÍ PALIVA.....	37
9.4.1 ÚKOL VSTŘIKOVACÍCH ZAŘÍZENÍ	37
9.4.2 VÝHODY MOTORŮ SE VSTŘIKOVACÍM ZAŘÍZENÍM (OPROTI KARBURÁTORU).....	37
9.5 ROZDĚLENÍ VSTŘIKOVACÍCH SYSTÉMŮ BENZINU.....	39
9.5.1 PODLE ZPŮSOBU VSTŘIKOVÁNÍ.....	39
9.5.2 PODLE ČASOVÉHO PRŮBĚHU (U VÍCEBODOVÉHO VSTŘIKOVÁNÍ)	47
10 REALIZACE V PŘEDMĚTU BAEB.....	49
10.1 VLASTNÍ ZPŮSOB REALIZACE MODELU ZAPALOVACÍ SOUSTAVY	50
10.1.1 MĚŘENÍ NA MODELU	51
10.1.2 DALŠÍ MOŽNÉ VYLEPŠENÍ MODELU	53
11 ZÁVĚR.....	54
LITERATURA	55

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1 – Průběh napětí na elektrodách zapalovací svíčky</i>	<i>13</i>
<i>Obr. 2 – Válec spalovacího motoru</i>	<i>14</i>
<i>Obr. 3 – Pracovní cyklus.....</i>	<i>14</i>
<i>Obr. 4 – Schéma zapalovací soustavy.....</i>	<i>15</i>
<i>Obr. 5 – Elektrické schéma zapojení zapalovací soustavy.....</i>	<i>16</i>
<i>Obr. 6 – Řez zapalovací cívkou.....</i>	<i>16</i>
<i>Obr. 7 – řez cívkou + schematické zapojení</i>	<i>17</i>
<i>Obr. 8 – Průběh primárního proudu při sepnutí delším než 3τ</i>	<i>17</i>
<i>Obr. 9 – Průběh primárního proudu při sepnutí kratším než 3τ.....</i>	<i>17</i>
<i>Obr. 10 – Řez rozdělovačem</i>	<i>18</i>
<i>Obr. 11 – Řez zapalovací cívkou + popis.....</i>	<i>19</i>
<i>Obr. 12 – Řez systémem SDI.....</i>	<i>20</i>
<i>Obr. 13 – Princip magnetového zapalování.....</i>	<i>21</i>
<i>Obr. 14 – Schéma zapalování s odlehčenými kontakty přerušovače</i>	<i>22</i>
<i>Obr. 15 – Principiální elektrické schéma zapalování s odlehčenými kontakty.....</i>	<i>23</i>
<i>Obr. 16 – Schéma kondenzátorového, tyristorového zapalování.....</i>	<i>24</i>
<i>Obr. 17 – Princip indukčního snímače.....</i>	<i>25</i>
<i>Obr. 18 – Řízení primárního proudu zapalovací cívkou úhlem sepnutí z indukčního snímače.....</i>	<i>26</i>
<i>Obr. 19 – Princip snímače s Hallovou sondou</i>	<i>26</i>
<i>Obr. 20 – Blokové schéma zpracování signálů řídicí jednotkou.....</i>	<i>27</i>
<i>Obr. 21 – Definované nastavení předstihu podle zatížení a otáček</i>	<i>27</i>
<i>Obr. 22 – Funkce piezoelektrického zapalování</i>	<i>28</i>
<i>Obr. 23 – Průběh tlaku ve spalovacím prostoru</i>	<i>29</i>
<i>Obr. 24 – Společné působení odstředivé a podtlakové regulace</i>	<i>30</i>
<i>Obr. 25 – Funkce odstředivé regulace</i>	<i>30</i>
<i>Obr. 26 – Funkce podtlakové regulace</i>	<i>31</i>
<i>Obr. 27 – Poměr vzduchu a paliva při nejmenší měrné spotřebě paliva</i>	<i>33</i>
<i>Obr. 28 – Směšovací součinitel α a vzdušný součinitel λ v závislosti na otáčkách motoru ...</i>	<i>34</i>
<i>Obr. 29 – Vliv součinitele přebytku vzduchu λ na výkon P_e a měrnou spotřebu paliva m_{Pe}</i>	<i>34</i>
<i>Obr. 30 – Vliv součinitele přebytku vzduchu λ na složení emisí.....</i>	<i>34</i>
<i>Obr. 31 – Principiální schéma lambda sondy.....</i>	<i>35</i>

<i>Obr. 32 – Skoková změna napětí na lambda sondě.....</i>	<i>36</i>
<i>Obr. 33 – Závislost výkonu motoru a točivého momentu na otáčkách</i>	<i>38</i>
<i>Obr. 34 – Jednobodové vstřikování SPI.....</i>	<i>39</i>
<i>Obr. 35 – Vstřikovací systém Mono – Jetronic</i>	<i>40</i>
<i>Obr. 36 – Vícebodové vstřikování MPI.....</i>	<i>40</i>
<i>Obr. 37 – Princip přímého vstřikování (sání vzduchu + vstřikování paliva)</i>	<i>41</i>
<i>Obr. 38 – Motor s přímým vstřikováním benzínu FSI.....</i>	<i>42</i>
<i>Obr. 39 – vířivé vstřikovací trysky (výkonný a úsporný režim).....</i>	<i>42</i>
<i>Obr. 40 – Tvarová hlava pístu</i>	<i>43</i>
<i>Obr. 41 – Způsob práce v úsporném režimu</i>	<i>43</i>
<i>Obr. 42 – Způsob práce ve výkonném režimu</i>	<i>44</i>
<i>Obr. 43 – Oblasti zatížení u motoru se vstřikovacím systémem FSI.....</i>	<i>44</i>
<i>Obr. 44 – Průběh výfukových plynů u motoru FSI.....</i>	<i>45</i>
<i>Obr. 45 – Princip činnosti motoru TSI.....</i>	<i>46</i>
<i>Obr. 46 – Simultánní vstřikování</i>	<i>47</i>
<i>Obr. 47 – Skupinové vstřikování</i>	<i>47</i>
<i>Obr. 48 – Sekvenční vstřikování.....</i>	<i>48</i>
<i>Obr. 49 – Schéma možného zapojení měřicí úlohy</i>	<i>49</i>
<i>Obr. 50 – Měřicí pracoviště.....</i>	<i>50</i>
<i>Obr. 51 – Vlastní model zapalovací soustavy</i>	<i>50</i>
<i>Obr. 52 – Schéma zapojení měřeného modelu zapalování</i>	<i>51</i>
<i>Obr. 53 – Průběh ustáleného nabíjecího proudu zapalovací cívky</i>	<i>51</i>
<i>Obr. 54 – Doběh nabíjecího proudu při rozepnutí kontaktu přerušovače</i>	<i>52</i>
<i>Obr. 55 – Průběh nabíjecího proudu zapalovací cívky při vyšších otáčkách</i>	<i>52</i>
<i>Obr. 56 – Porovnání nabíjecích proudů při různých otáčkách motoru</i>	<i>53</i>
<i>Obr. 57 – Kmitavý doběh nabíjecího proudu při rozepnutí kontaktu přerušovače při vyšších otáčkách motoru.....</i>	<i>53</i>



ÚVOD

V této práci se budeme zabývat problémem řízení zapalování a vstřikování u spalovacích motorů. V dřívějších dobách nebylo důležité, kolik paliva automobil spotřebuje a jak využije jeho potenciál ke zvýšení účinnosti spalovacího procesu a tím pádem zvýšení účinnosti motoru. Automobily se vyráběly s velkým objemem válců a velkým počtem válců, našim předkům šlo hlavně o výkon, který byl tímto dosažen. V dnešní době, kdy má každá rodina minimálně jeden automobil, je počet automobilů tak vysoký, že s použitím dřívějších technologií bychom měli brzy znečištěné ovzduší a vyčerpány dosažitelné zásoby ropy a dalších fosilních paliv. Proto se kladou požadavky na co nejnížší spotřebu paliva a na zvýšení účinnosti spalovacích motorů.

Toho se dosahuje pomocí kvalitních zapalovacích a vstřikovacích systémů. V této bakalářské práci se především zaměříme na dřívější, i nynější zapalovací a vstřikovací systémy.

Poslední část obsahuje návrh řešení do předmětu Automobilová elektrotechnika a jeho laboratorních cvičení. Řešení by mělo být co nejvíce názorné pro pochopení probírané látky.

1 HISTORIE ZAPALOVACÍCH SYSTÉMŮ

V dřívějších dobách se využívalo k nastartování motoru a zapálení směsi více, či méně účinných systémů. Zpočátku se točilo klikou připojenou k motoru, dokud nebylo dosaženo požadovaných otáček motoru k zapálení paliva. Poté se využívalo měděné nebo mosazné tyči připojené na motor, která se zahřívala externím zdrojem. Jakmile se dostalo palivo do kontaktu s tyčí, následoval zážeh paliva. Tento systém bylo třeba nahradit účinnějším a říditelným systémem, který by dokázal zapálit palivo podle toho, kdy je válec před horní úvratí a dokázal tak využít na maximum sílu spalovacího motoru.

První člověk, který přišel 16. 8. 1896 s patentem na zapalovací svíčku, byl Nikola Tesla. Jeho patent č. 609,250, popisuje první systém, který využívá k zapálení paliva jiskru. Vytvořenou pomocí vysokého napětí, získaného ze zapalovací cívky a přivedeného na zapalovací svíčku, kde se nachází jiskřiště a vzniká jiskra mezi kontakty svíčky. Poté přišly další patenty od Fredericka Richarda Simmse, Roberta Bosche a i od Karla Benze.

2 ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ ZAPALOVACÍCH SYSTÉMŮ, ČINNOST SPALOVACÍHO MOTORU

2.1 ZAPALOVÁNÍ

- **Kompresním teplem** – vznětové motory
- **Elektrickou jiskrou** – zážehové motory

2.1.1 Zapalování kompresním teplem

Vznětové motory využívají k zapálení paliva vysoký tlak vzduchu (3 MPa), který je silně stlačován pístem ve válci. Tímto stlačením se vzduch ohřeje na vysokou teplotu (600 °C). Jestliže se píst nachází před horní úvratí, vysokotlaké čerpadlo rozpráší palivo do zahřátého vzduchu a palivo je vzníceno. Tímto problémem se ale zabývat nebudeme. V naší práci se zaměříme na zapalování elektrickou jiskrou.

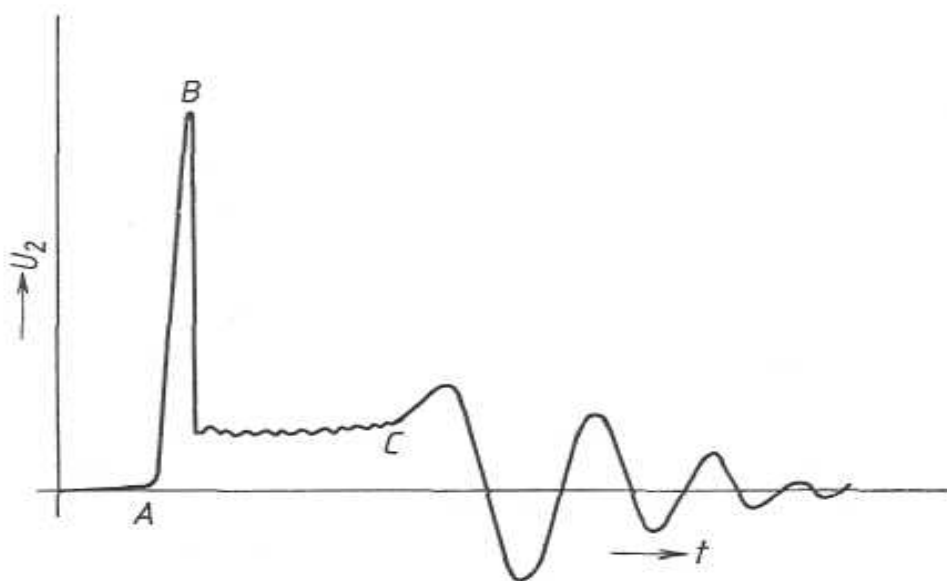
2.1.2 Zapalování elektrickou jiskrou

V zážehových motorech dochází k zapálení paliva pomocí zapalovací svíčky. Do válce je nasávána směs vzduchu a paliva, kterou stlačuje píst k hlavě válce, kde se nachází zapalovací svíčka, na kterou je přivedeno vysoké napětí (19 - 40kV). Toto napětí způsobí, že ve svíčkovém jiskřišti přeskočí jiskra, právě těsně před horní úvratí válce a směs je jiskrovým výbojem zapálena. Tento výboj musí přijít vždy s předstihem před horní úvratí, aby celá směs dokonale prohořela a

tím bylo dosaženo co největší účinnosti motoru. Z toho důvod se nastavuje předstih zapálení. Nastavením předstihu a funkcí motoru se budeme dále zabývat.

2.1.3 Zapalování směsi, výboj mezi elektrodami svíčky

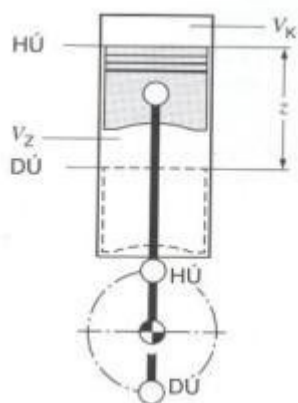
Za normálního (atmosférického) tlaku se chová plyn jako izolant. Jeho molekuly jsou od sebe hodně vzdáleny, z toho důvodu není schopen vést proud. Mezi elektrodami svíčky (hrotové jiskřiště) přiložením vnějšího napětí vzniká elektrického pole. V jiskřišti vznikne ionizované prostředí, které je schopno vést elektrický proud. V tomto elektrickém poli se kladné ionty pohybují směrem ke katodě (-) a záporné ionty se přesouvají k anodě (+) a vzniká jiskrový výboj. *Výboj závisí na tvaru, materiálu elektrod a teplotě jejich povrchu, na druhu plynu a jeho tlaku a především na napětí mezi elektrodami (vlastnostech zdroje).* Je to složitější o to, že pochody v motoru působí zpětně na jiskřiště a mění postupem času jeho vlastnosti.



Obr. 1 – Průběh napětí na elektrodách zapalovací svíčky [1]

Obrázek 1 znázorňuje průběh napětí na elektrodách zapalovací svíčky. Toto napětí rychle roste po zániku primárního proudu zapalovací cívky a tím rychle stoupá sekundární napětí z bodu A do bodu B. Toto napětí se objeví na kontaktech zapalovací svíčky a v jiskřišti vzniká jiskrový výboj, jehož napětí rychle klesá. Výboj trvá až do okamžiku bodu C, kde jeho napětí přechází v zotavené napětí a výboj zaniká. Napětí výboje klesá v tlumených oscilacích až k nule už bez trvajících výboje. Důležité pro zapálení směsi ve válci je první, krátký průraz (z bodu A do bodu B) a jeho energie = vybití kapacity svíčky. Čím větší kapacita svíčky, tím větší uvolněná energie. Směs se nezapaluje jen tepelným účinkem jiskrového výboje, ale i nárazovou ionizací (urychlené elektrony narážejí do atomů a vytvářejí z nich kladné a záporné ionty). Vzdálenost mezi elektrodami svíčky (doskok) má dvojitý vliv na zapálení směsi. Větší vzdálenost mezi kontakty zvyšuje kapacitu a průrazné napětí. Větší vzdálenosti nejsou tak náchylné na znečištění jiskřiště.

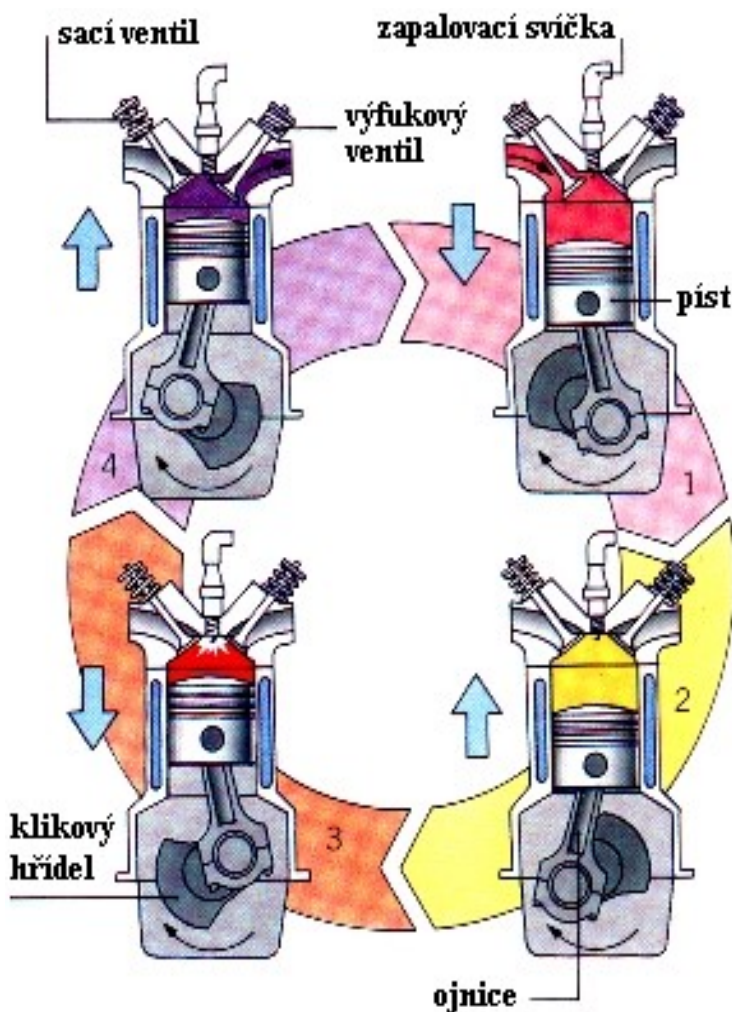
3 ČINNOST SPALOVACÍHO MOTORU



Obr. 2 – Válec spalovacího motoru [3]

Píst se ve svém pracovním cyklu ve válci pohybuje od dolní úvratě (DÚ) k horní úvratí (HÚ). Jeho pohyb je přenášen na klikovou hřídel a odtud jsou poháněna kola automobilu. Zdvihový objem válce (V_Z) je prostor ve válci, který je dán dolní a horní úvratí tzv. zdvihem (z). A kompresní objem (V_K) je prostor nad pístem v horní úvratí, kde se na konci válce nachází zapalovací svíčka, sací a výfukový ventil.

3.1 Pracovní cyklus čtyřdobého spalovacího motoru



1. sání: do válce je sacím ventilem nasávána směs vzduchu a paliva.

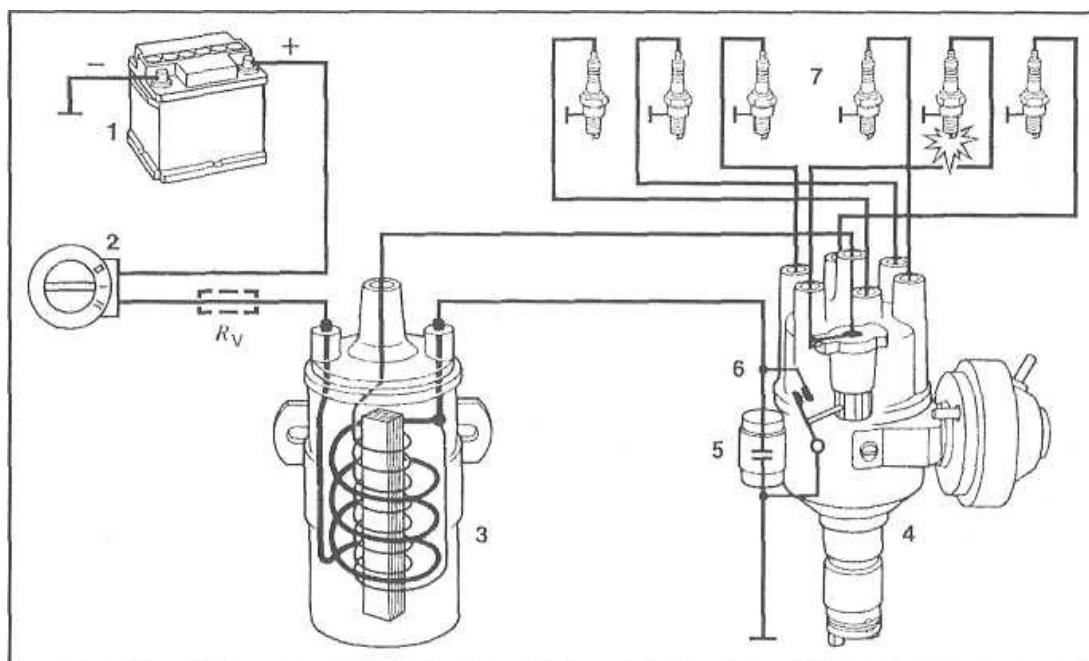
2. stlačení (komprese): směs paliva a vzduchu je stlačována až na jednu osminu svého původního objemu.

3. výbuch (expanze): před dosažení horní úvratí pístu se směs zapálí pomocí svíčky a dojde k výbuchu paliva, směs hoří. Vzniklé teplo a rozpínající se zplodiny tlačí píst dolů. Jediná fáze, kdy píst koná práci.

4. výfuk: při dalším zvedání pístu dochází k výfuku zplodin výfukovým ventilem. Prostor válce se vyprázdní, aby se mohl tento proces opakovat.

Obr. 3 – Pracovní cyklus [5]

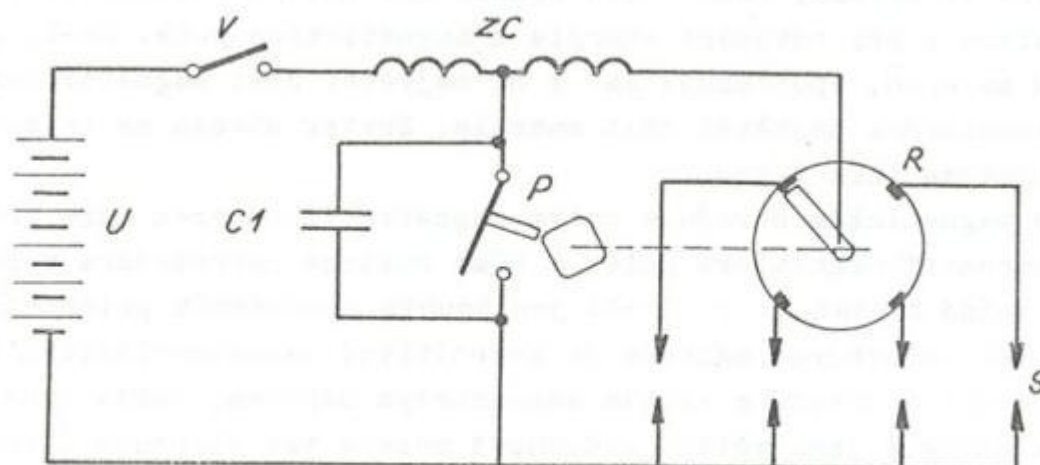
4 ELEKTROMECHANICKÉ ZAPALOVÁNÍ



Obr. 4 – Schéma zapalovací soustavy: 1 akumulátor, 2 klíček zapalování, 3 zapalovací cívka, 4 rozdělovač, 5 kondenzátor, 6 přerušovač, 7 zapalovací svíčky, R_v předřadný odpor [3]

Při zapnutí klíčku a kontaktu přerušovače teče proud primárním obvodem zapalovací cívky a vytváří magnetické pole. Při přerušení kontaktů přerušovače se proud v primárním obvodu rychle zmenšuje a změnou magnetického toku se indukuje v sekundárním vinutí s velkým počtem závitů vysoké napětí, které způsobí přeskok jiskry na svíčke. Paralelně ke kontaktům přerušovače je připojen kondenzátor, který se v okamžiku rozpojení kontaktů přerušovače zapojí do primárního obvodu.

Účelem kondenzátoru je potlačit nebo alespoň omezit elektrický výboj na kontaktech při přerušování proudu. Kdyby nebyl kondenzátor zapojen paralelně ke kontaktům i malé indukované napětí by způsobilo výboje mezi oddalujícími se kontakty (i při malých vzdálenostech kontaktů). Při dalším vzdalování kontaktů by se oblouk jen prodloužil a nezhasl, dokud by se v něm nespotřebovala téměř celá energie primárního obvodu. Napětí na sekundární straně by bylo velice malé a jiskra na svíчке by nepřeskočila.

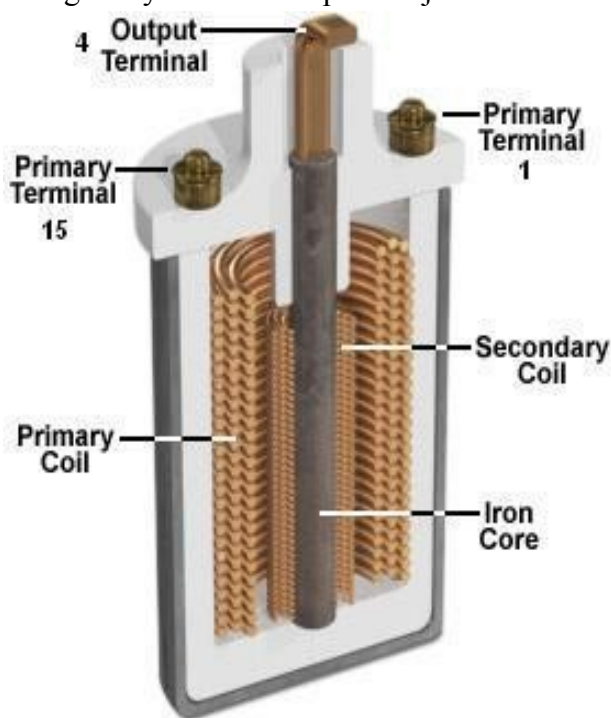


Obr. 5 – Elektrické schéma zapojení zapalovací soustavy: U zdroj napětí (akumulátor), V vypínač zapalování (klíček zapalování), ZC zapalovací cívka, P kontakt přerušovače + vačka, R rozdělovač, S zapalovací svíčky, C_1 kondenzátor [3]

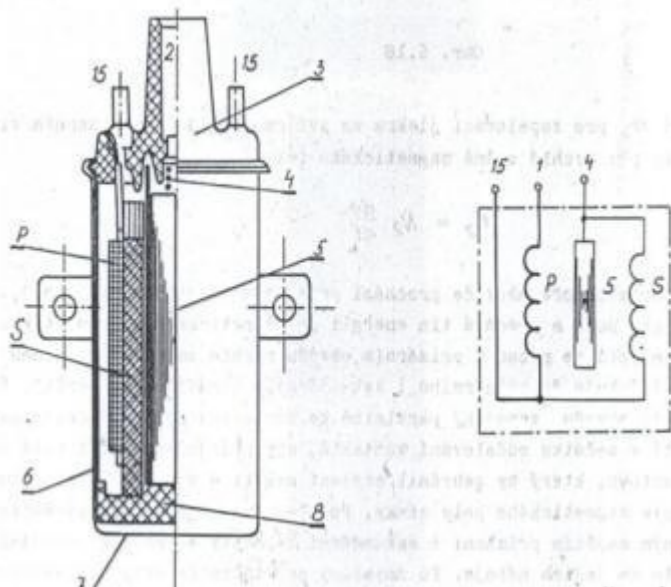
4.1 Zapalovací cívka

Zapalovací cívka je schopna přijímat energii z obvodu s nízkým napětím do svého magnetického pole a následnou transformací zvýšit její energetickou úroveň bez větších energetických ztrát a předat ji do obvodu s vysokým napětím. Chová se podobně jako transformátor, ale má zvětšený magnetický odpor.

Kdyby byl obvod celý z materiálu magneticky vodivého bez přerušení vzduchovou mezerou, např. ze železa, byl by magnetický odpor malý a byl by nezbytný velký magnetický tok. Znamenalo by to buď velké množství železa, nebo velké sycení železa a v obou případech velké ztráty při akumulaci a při odvádění energie z magnetického pole. Je-li obvod přerušen vzduchovou mezerou, spotřebuje se v ní největší část magnetomotorické síly a v ní je též kumulována největší část energie. Zbytek obvodu se železem jen usnadňuje magnetickému toku cestu. Ke svorce 1 se připojuje přes spínací skříňku kladný pól akumulátoru, svorka 15 se zapojí na kontakty přerušovače a svorka 4 se připojuje na vysokonapěťový vstup rozdělovače.



Obr. 6 – Řez zapalovací cívkou [14]

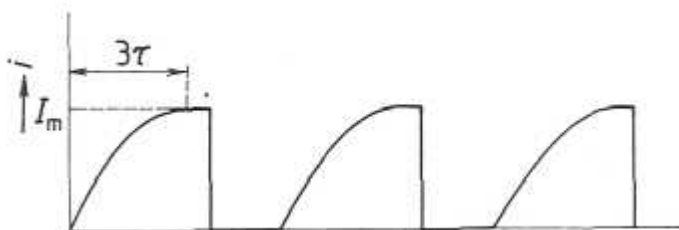


Obr. 7 – řez cívkou + schematické zapojení [1]

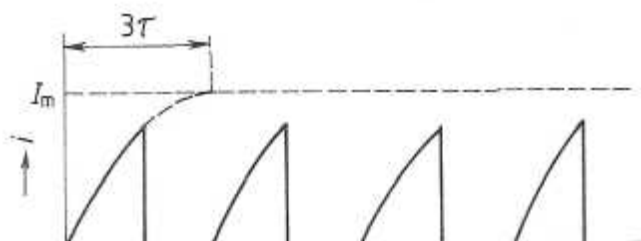
Železné jádro 5 je kvůli omezení ztrát vířivými proudy složeno z plechových pásků navzájem od sebe izolovaných a je odizolováno izolačními podložkami 8 a víčkem z izolantu 3 od kovového pouzdra 7.

Jádro 5 je vodivě spojeno s jedním koncem sekundárního vinutí S s velkým počtem závitů. Silná pružina 4 vodivě spojuje jádro 5 s kontaktem vývodu vysokého napětí 2. Druhý konec sekundárního vinutí je připojen do série k primárnímu vinutí s malým počtem závitů.

Po sepnutí kontaktů přerušovače začíná nabíjecí pochod až do okamžiku rozpojení kontaktů přerušovače. Po rozpojení kontaktů přerušovače je nabíjecí pochod ukončen. Primární proud dosáhne maximální ustálené hodnoty přibližně za dobu 3τ . Proto by bylo ideální, aby za všech provozních podmínek spalovacího motoru byly kontakty přerušovače sepnuty nejméně po dobu 3τ . U běžné zapalovací soustavy se toto nedá technicky splnit, protože spalovací motor pracuje také ve vysokých otáčkách.



Obr. 8 - Průběh primárního proudu při sepnutí delším než 3τ [1]

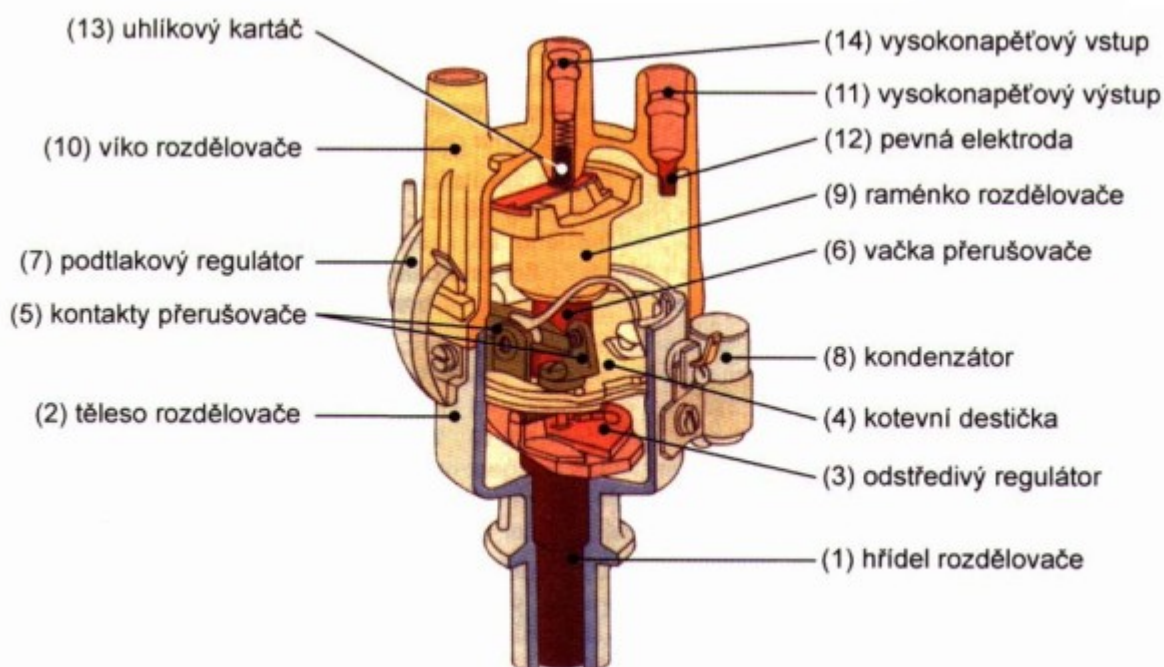


Obr. 9 – Průběh primárního proudu při sepnutí kratším než 3τ [1]

Z Obr. 9 je patrné, že primární proud není schopen narůst na svoji maximální ustálenou hodnotu. Z toho důvodu má elektromechanické zapalování dobrý výkon při malých otáčkách motoru, ale ztrácí energii při vysokých otáčkách motoru.

4.2 Rozdělovač

Rozdělovač slouží k řízení zápalu jednotlivých svíček ve válcích. Hřídel rozdělovače, na které je vačka přerušovače, otáčí raménkem rozdělovače a ten přenáší vysoké napětí jednotlivě na svíčky přes vysokonapěťové kabely. Tento proces se řídí rychlostí otáčení raménka rozdělovače. Rozdělovač se skládá z víka rozdělovače 10, které je zpravidla z hmoty s dobrými izolačními vlastnostmi a ve které jsou zalisovány vložky 11 pro přívody k jednotlivým svíčkám, z vačky přerušovače 6, která nese rozdělovací raménko 9 a ze sběracího, uhlíkového kartáče 13, jímž se přivádí vysoké napětí z přívodu 14 od zapalovací cívky na rozdělovací raménko. Spodní část obsahuje podtlakovou a odstředivou regulaci a kondenzátor.



Obr. 10 – Řez rozdělovačem [2]

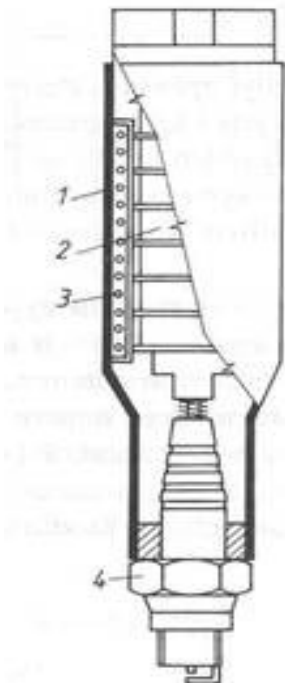
4.3 Zapalovací svíčka

Jedná se minimálně o dvě elektrody. Jedna je uzemněná přes závit a druhá vedoucí středem svíčky je připojena přes vysokonapěťový kabel k zapalovací cívce. Elektrody jsou vůči sobě odizolovány keramikou a musí snášet napětí až k hodnotám 45kV bez větších energetických ztrát. Střední elektroda je buď slitina s velkým obsahem Ni (bod tání 1450°C / 6,8 $\mu\Omega\text{cm}$), platinová (bod tání 1770°C / 10,6 $\mu\Omega\text{cm}$) nebo iridium (bod tání 2454°C / 5,3 $\mu\Omega\text{cm}$). Svíčka zasahuje do spalovacího prostoru, kde pracuje v těžkých podmínkách, kde se v rychlém sledu střídají teploty 2 000 až 2 500 °C a tlaky až 6 MPa při hoření, s teplotami okolo 60 °C a s podtlakem při sání motoru. Materiály svíčky musí snášet velké teplotní spády, odolávat chemicky velmi agresivnímu prostředí.



Obr. 11 – Řez zapalovací cívkou + popis [8]

4.4 Systém SDI – zapalovací cívka + svíčka



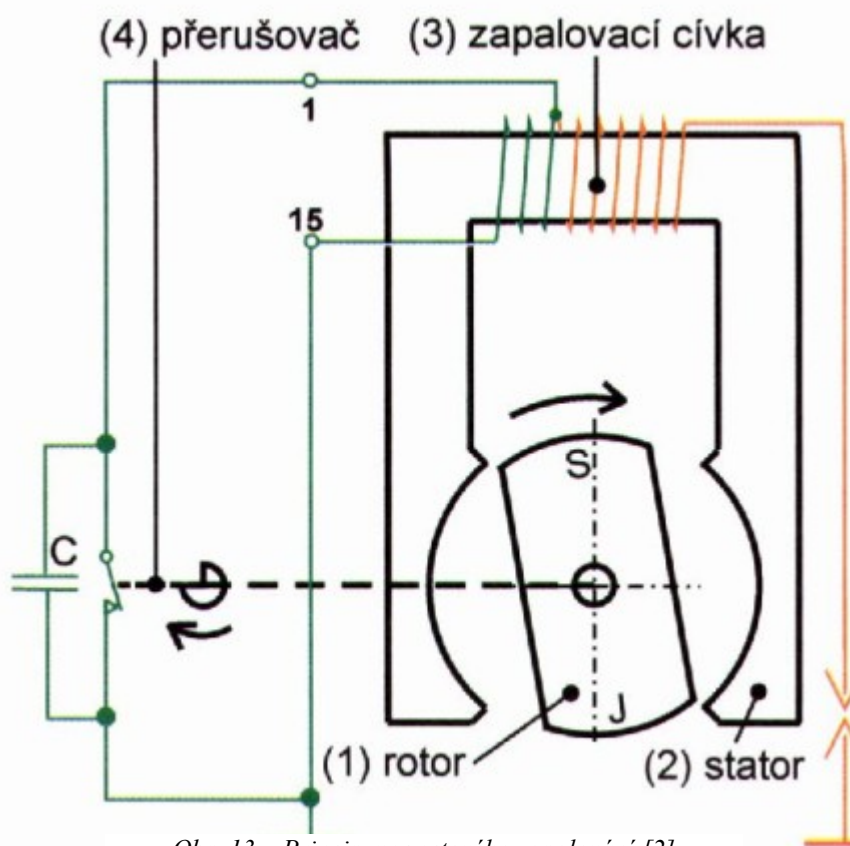
Tento systém využívá cívku, která je přímo nasazená na zapalovací svíčku. Tedy, každá svíčka má svojí zapalovací cívku. Nevznikají tak vysoké ztráty, protože se určitá energie neztrácí ve vysokonapětových kabelech a vznikají minimální ztráty na svodových odporech svíčky. Systém neobsahuje klasický rozdělovač, přerušovač ani kabelové rozvody. Zapalovací impulsy jsou snímány z klikového hřídele. Mikroprocesor řídí průběh zapalování v závislosti na ostatních provozních podmínkách motoru. Napětí se u této soustavy transformuje dvakrát. Nejprve z 12 V pomocí měniče na 400 V. Na toto napětí je nabíjen pracovní kondenzátor. Ten se pomocí polovodičového spínače - tyristoru vybije do primárního vinutí příslušné zapalovací cívky. Tam se napětí 400 V transformuje na napětí okolo 40 kV. Nárůst napětí trvá asi 1 μ s, což je dvacetkrát rychleji, než u klasického induktivního zapalování. Při tak velkých napětích může být vzdálenost mezi elektrodami zapalovací svíčky až 1,5 mm, což výrazně zvyšuje energii jiskry a zajišťuje bezpečné zapálení směsi za všech provozních podmínek motoru.

Obr. 12 – Řez systémem SDI [3]

Zapalovací cívky se svíčkami jsou zapouzdřeny ve speciální schránce v krytu hlavy motoru. Pouzdro 1 je kovové a zaručuje účinné vysokofrekvenční odrušení. Sekundární vinutí 2 je navinuto do sekcí a primární vinutí 3 je tvořeno jen několika závity silnějšího drátu. Cívka je nasazena na svíčku 4 pomocí speciálního pryžového pouzdra.

5 MAGNETOVÉ ZAPALOVÁNÍ

Při magnetovém zapalování se energie získává z točivého stroje buzeného permanentními magnety, zvaného magneto. Vysoké napětí se však nezískává pohybem vodičů v magnetickém poli, ale podobně jako u bateriového zapalování využívá akumulování energie do magnetického pole a jejího náhlého uvolnění přerušením primárního proudu. Používá se u malých jednostopých vozidel, lodních motorů, motorových pil (tam, kde není k dispozici akumulátor).



Obr. 13 – Princip magnetového zapalování [2]

Rotor magneta je tvořen permanentním magnetem (1). Na statoru (2) je navinuta zapalovací cívka (3), jejíž primární vinutí je spojeno s přerušovačem (4) nakrátko. Otáčením permanentního magnetu se mění velikost i směr magnetického toku v magnetickém obvodu statoru a ve vinutí zapalovací cívky se indukují napětí. Toto napětí není ale dostatečně velké, aby mohla přeskocit jiskra na zapalovací svíčke. I kdyby bylo dost velké, tak by se nedal přesně nastavit okamžik přeskočení. Napětí, které se indukují v primárním vinutí zapalovací cívky, způsobí, že cívkou přes sepnuté kontakty prochází proud. Tento proud vyvolává magnetický tok statoru, který se sčítá s magnetickým tokem rotoru. K tomu, aby bylo možné magnetem otáčet, je nutné dodávat do soustavy mechanickou energii. Tato energie se mění na energii magnetického pole. Po přerušení proudu v primární cívce magnetické pole zaniká a v cívce se indukují napětí stejně, jako tomu bylo u bateriového zapalování.

Proud se přerušuje přerušovačem pomocí vačky, stejně jako u bateriového zapalování. I kondenzátor, paralelně připojený ke kontaktům přerušovače, má stejnou funkci jako u zapalování bateriového (omezení přeskokového výboje). Přerušovač se seřizuje podle toho, jestli se požaduje optimální výkon při malých nebo velkých otáčkách. Zpravidla se přerušovače nastavují na optimální výkon při malých provozních rychlostech, protože při větších rychlostech bývá dostatek energie.

6 ELEKTRONICKÉ ZAPALOVÁNÍ

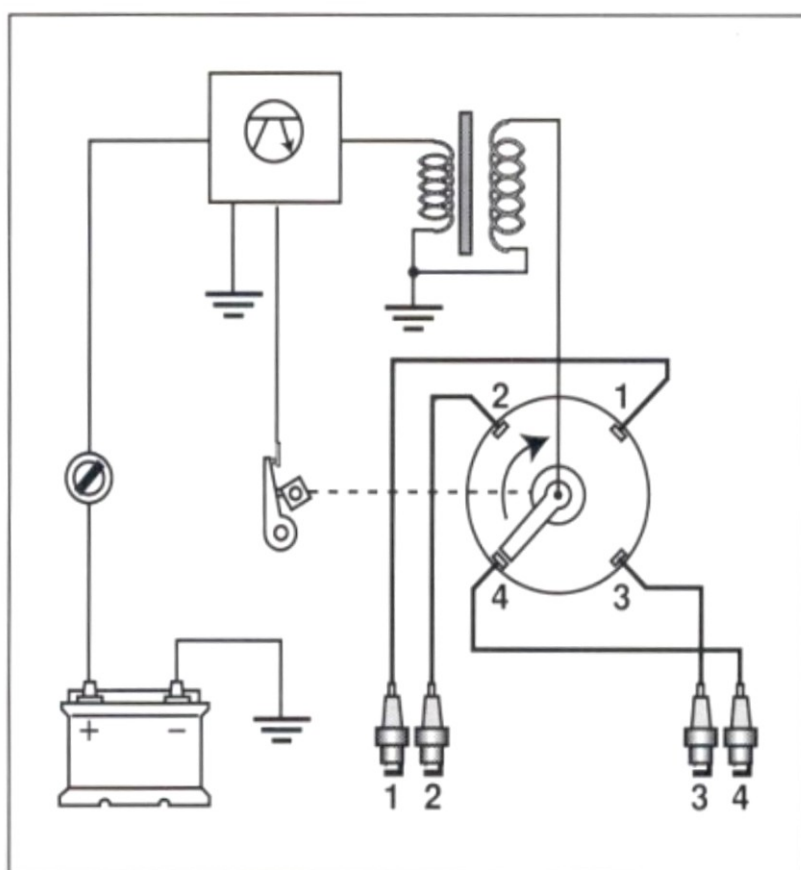
6.1 Zapalování s elektronickým odlehčením kontaktů přerušovače

6.2 Zapalování kondenzátorové nebo induktivní s použitím klasického přerušovače a rozdělovače

6.3 Zapalování zcela bezkontaktní

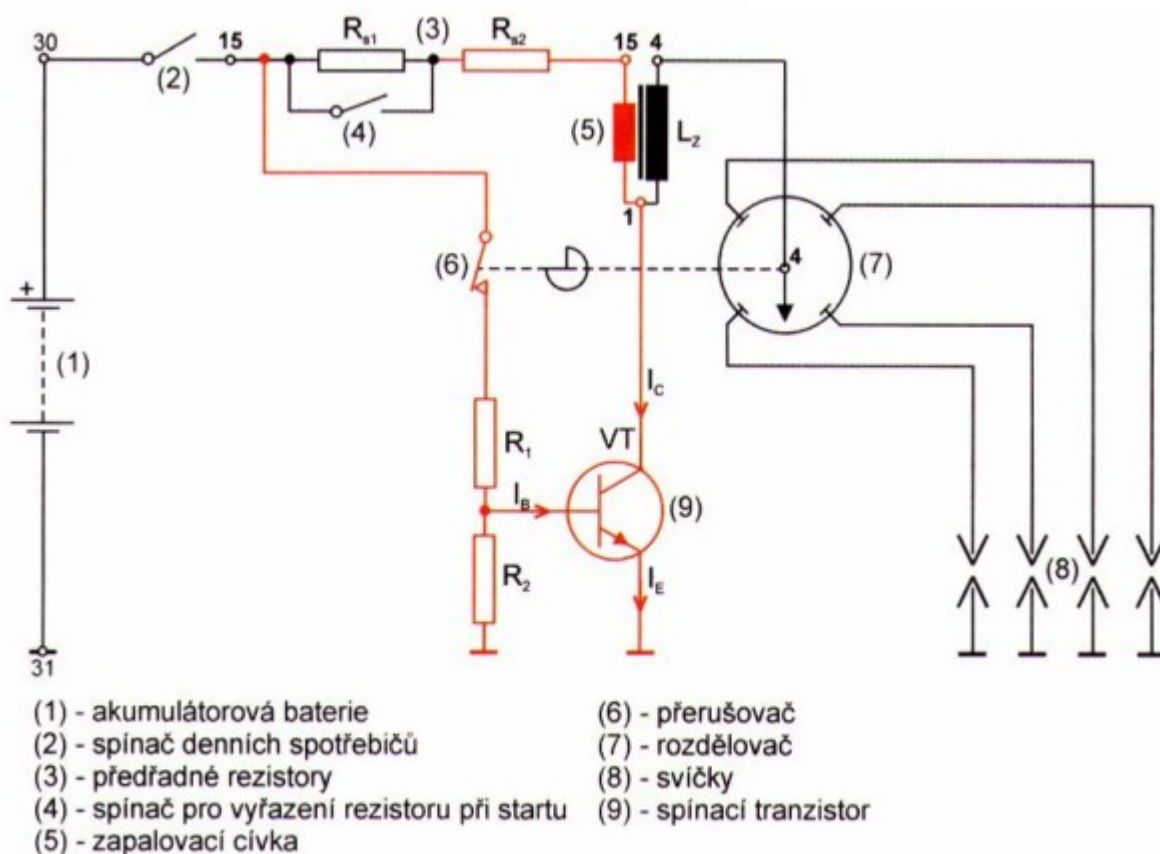
Hlavní výhodou elektronických zapalování je, že mohou být použita pro výkony a podmínky, v nichž spolehlivá činnost klasické zapalovací soustavy je již vlivem mechanických i elektrických mezí přerušovače s mechanickými kontakty mimo technické možnosti. Za mez pro kontaktní přerušovač se pokládá zpravidla 400 zážehů za sekundu. Elektronickým bezkontaktním zapalováním se dosahuje 1000 zážehů za sekundu. Další výhodou je prodloužení životnosti součástí a není třeba kontrolovat rozdělovač. Určitou nevýhodou elektronických zapalování je větší složitost a tím větší pravděpodobnost poruchy a také opravy jsou složitější.

6.1 Zapalování s elektronickým odlehčením kontaktů přerušovače



S vývojem zapalovacích systémů nastoupilo použití elektronických polovodičových prvků. Místo klasického platinového spínače se využilo kontaktu, který byl ovládán vačkou a spínal tranzistor nebo tyristor. Při odlehčení kontaktů tranzistorem můžeme volit zapalovací cívku s menším počtem závitů primárního vinutí a tím menší indukčností a menším odporem a větším primárním proudem. Nashromáždění energie v magnetickém poli se pak dosáhne již za kratší dobu, tedy i při vysokých otáčkách motoru. Kontakty přerušovače prochází jen malý řídicí proud báze tranzistoru, zpravidla nejméně desetkrát menší než primární proud cívky.

Obr. 14 – Schéma zapalování s odlehčenými kontakty přerušovače [2]



Tranzistorové zapalování s odlehčením kontaktů přerušovače TZ-K

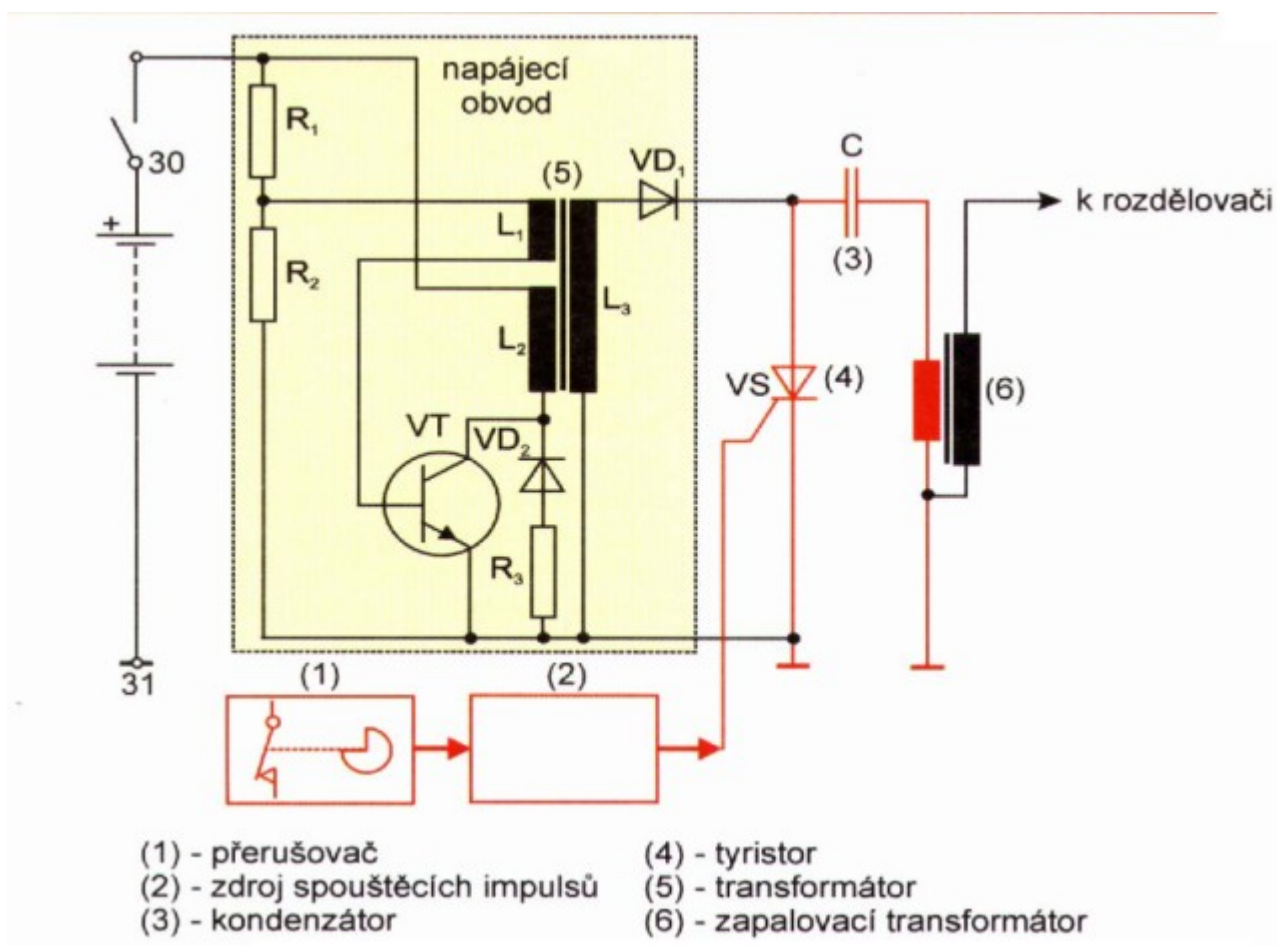
Obr. 15 – Principiální elektrické schéma zapalování s odlehčenými kontakty [2]

Jsou-li kontakty přerušovače P spojeny, je tranzistor T (9) ve vodivém stavu (proud do báze je omezen děličem z rezistorů R_1 a R_2) a zapalovací cívku protéká proud. Rozpojením kontaktů se tranzistor skokem uvede do nevodivého stavu a proud do zapalovací cívky ZC se bezkontaktně přeruší. Pro omezení proudu do primárního obvodu zapalovací cívky bývají do série k primárnímu vinutí zapalovací cívky zapojeny rezistor R_{s1} a R_{s2} . R_{s1} se při startování zkratuje. Při přerušení proudu se v primárním vinutí zapalovací cívky indukuje napětí několik set voltů, proto se používají speciální tranzistory. Tranzistor T bývá ještě chráněn Zenerovou diodou.

6.2 Kondenzátorové, tyristorové zapalování

Princip kondenzátorového zapalování spočívá v tom, že energie se akumuluje do kapacity kondenzátoru, která se potom přivádí na primární cívku zapalovací cívky a odtud na svíčku.

Pomocí tranzistorového měniče se zvýší stejnosměrné napětí akumulátoru na napětí několika set voltů. Kondenzátor C (3) se nabíjí na toto napětí, a když přijde signál na řídicí elektrodu tyristoru (4), je kapacita vybita do obvodu zapalovací cívky. Při vyšších otáčkách je doba mezi jednotlivými impulsy na tyristor tak krátká, že se kondenzátor nestíhá nabít na plnou hodnotu a akumulovaná energie tak klesá.



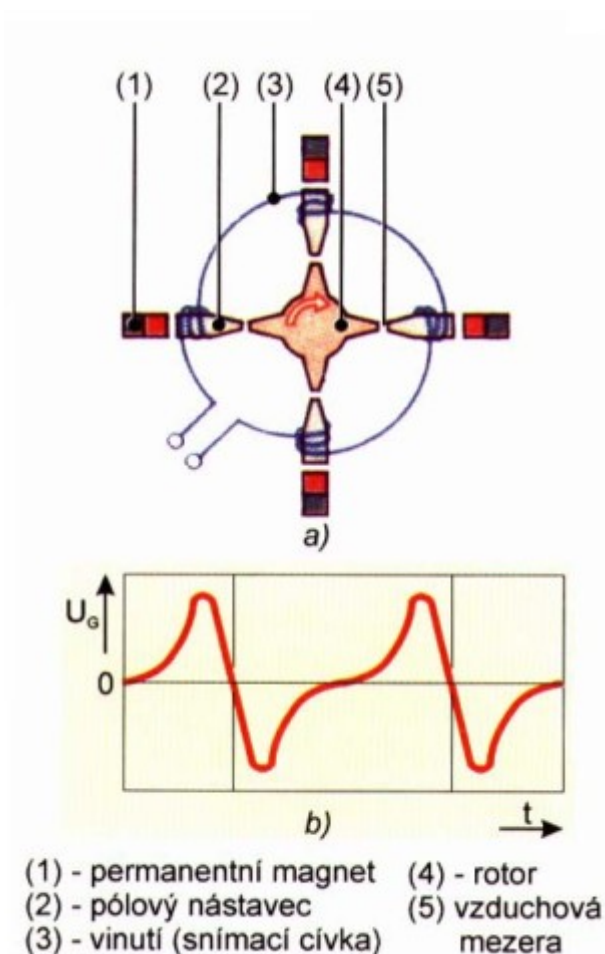
Obr. 16 – Schéma kondenzátorového, tyristorového zapalování [2]

6.3 Bezkontaktní zapalování

Základ elektronického zapalování bez mechanického přerušovače, jehož mez je asi 400 zážehů za sekundu, byl umožněn zavedením elektronického přerušovače a integrovaných obvodů. Tímto způsobem byl vytvořen výkonový modul, který je schopen s řídicí jednotkou zajistit kvalitní zapalování motoru. Tyto systémy pracují bez mechanických setrvačností a tím značně snižují požadavky na údržbu a zvyšují délku životnosti součástek.

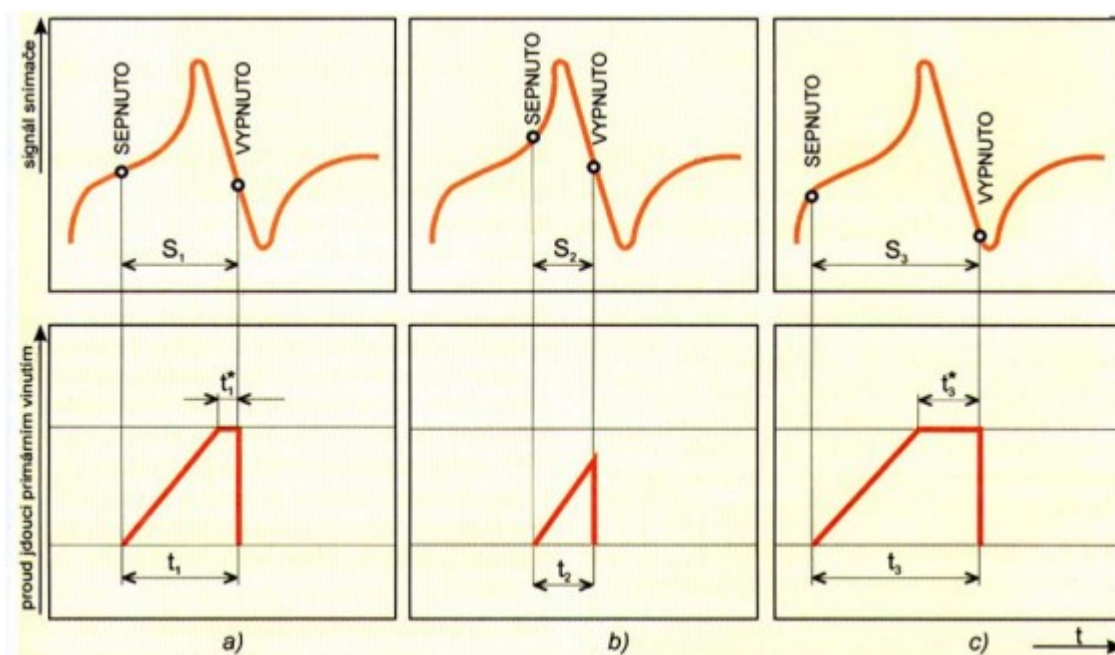
K řízení zapalení potřebuje řídicí elektronická jednotka některé údaje, jako jsou otáčky motoru, tlak, horní úvrať pístu, klepání a teplota motoru, atd. Počet údajů, které jsou potřeba přivést na vstup řídicí jednotky, bude tím vyšší, čím větší jsou požadavky na kvalitu zapalování. Signály vstupů, které jsou přijímány řídicí jednotkou, jsou vytvářeny snímači (čidly). Používají se indukční snímače, snímače na principu Hallova jevu, optoelektrické snímače, oscilátorové snímače s vazebními můstky apod.

6.3.1 Indukční snímač



Tento snímač je nejvíc využíván na snímání otáček motoru a horní úvrať pístu. Je tvořen permanentním magnetem, na kterém je navinut vodič. Ten tvoří cívku a v té se vytváří signál pro řídicí jednotku.

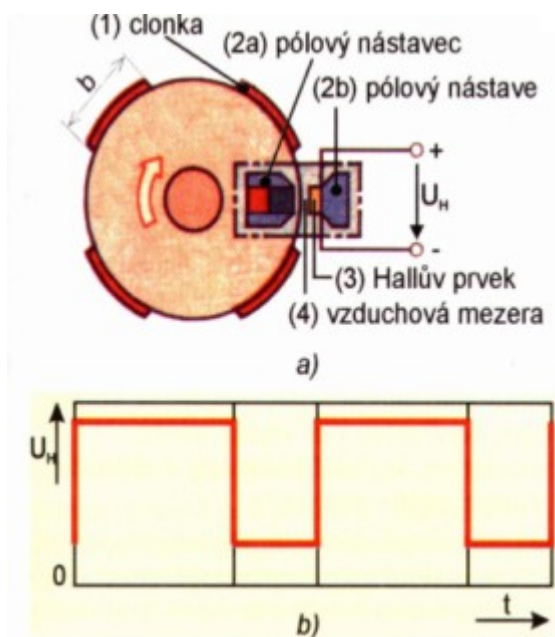
S hřídelí rozdělovače se otáčí hvězdice 4 z magneticky vodivého materiálu. (Má tolik ramen, kolik má motor válců.) Magnetický tok, který vytváří permanentní prstencový magnet, se uzavírá přes pólové nástavce 2 a hvězdičky. Pootočením hvězdice se magnetický tok přeruší a ve snímací cívce 3 se indukuje napěťový impuls, který se odvádí kabelem do elektronického zapalování.



Obr. 18 – Řízení primárního proudu zapalovací cívky úhlem sepnutí z indukčního snímače [2]

Na obrázku 18 je závislost napětí indukčního snímače na čase a v druhé části je proud, který získáme na primárním vinutí zapalovací cívky. Výstupní střídavé napětí z indukčního snímače se nejprve převádí v tvarovači impulsů spínací jednotky na obdélníkový signál. Rozhodující je při tom změna signálu z kladné půlplny na zápornou půlplnu, ta ovládá časový okamžik zážehu. To odpovídá poloze, při které stojí zuby rotoru proti zubům statoru a vzduchová mezera se právě začíná zvětšovat. Podle toho, jak řídicí jednotka vyhodnocuje signály ze snímače, řídí impulsy na zapalovací cívku. Na obrázku je vidět, jak ovlivňuje úhel sepnutí proud, který prochází primárním vinutím zapalovací cívky.

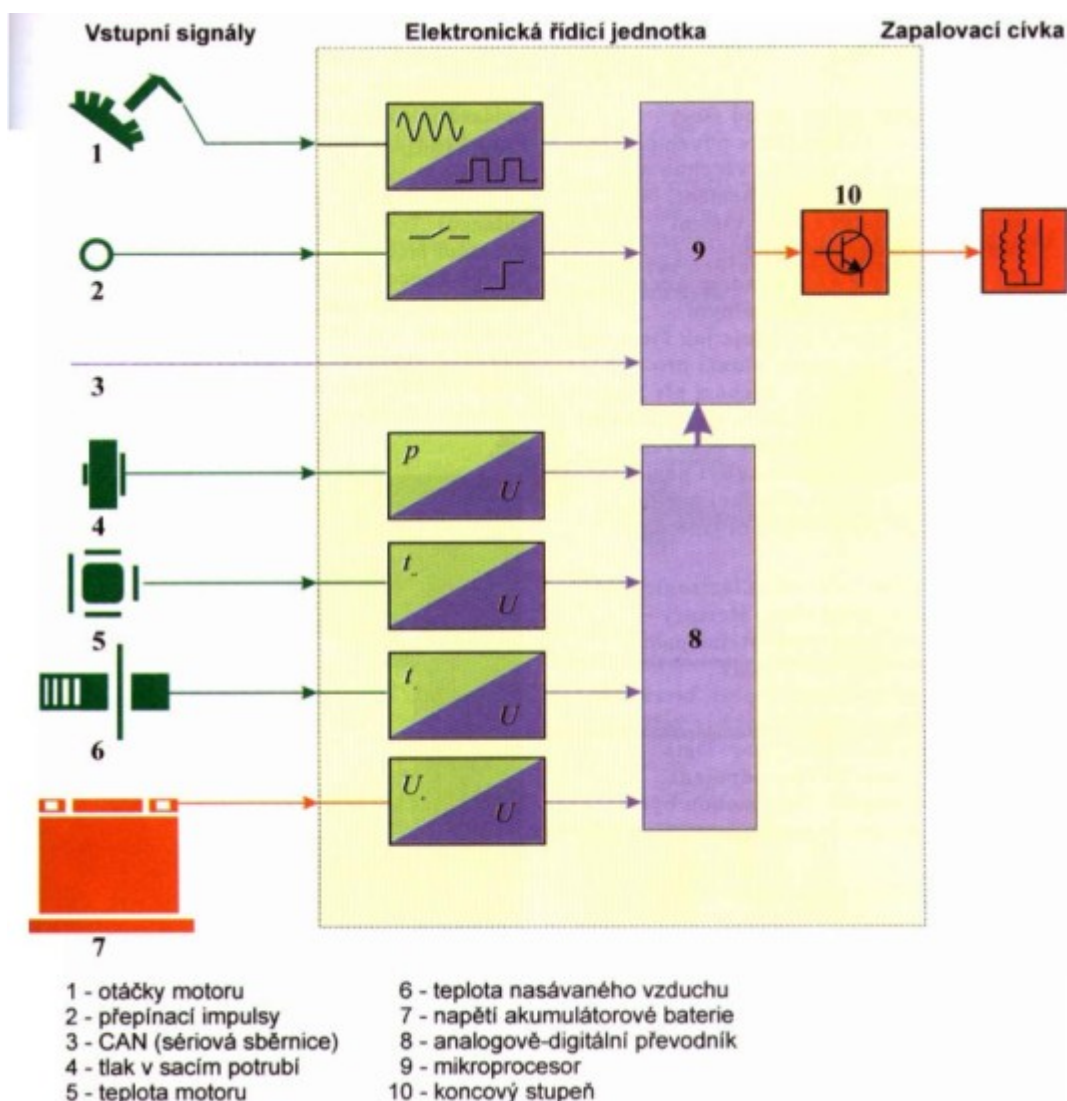
6.3.2 Snímač s Hallovoú sondou



Obr. 19 – Princip snímače s Hallovoú sondou [2]

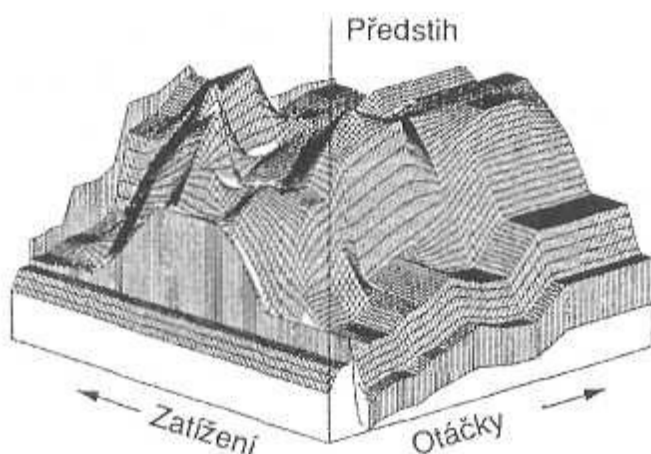
Amplituda spouštěcích impulsů u indukčních snímačů závisí na rychlosti otáčení rotoru (hvězdičky). Snímač musí být navržen tak, aby i při spouštěcích otáčkách motoru dával snímač impulsy s dostatečně velkou amplitudou. Tento problém odpadá u snímačů fotoelektrických nebo u snímačů s Hallovoú sondou. U těchto snímačů amplituda signálu nezávisí na rychlosti otáčení motoru.

Rotor s clonkami se otáčí společně s hřídelí rozdělovače. Clonky uzavírají magnetický tok a tato změna toku je registrována Hallovoú sondou, na které vzniká Hallovo napětí. Toto napětí je snímáno a jako impulsy posílány do řídicí jednotky. Průběh tohoto napětí je na obrázku 19 b).



Obr. 20 - Blokové schéma zpracování signálů řídicí jednotkou [2]

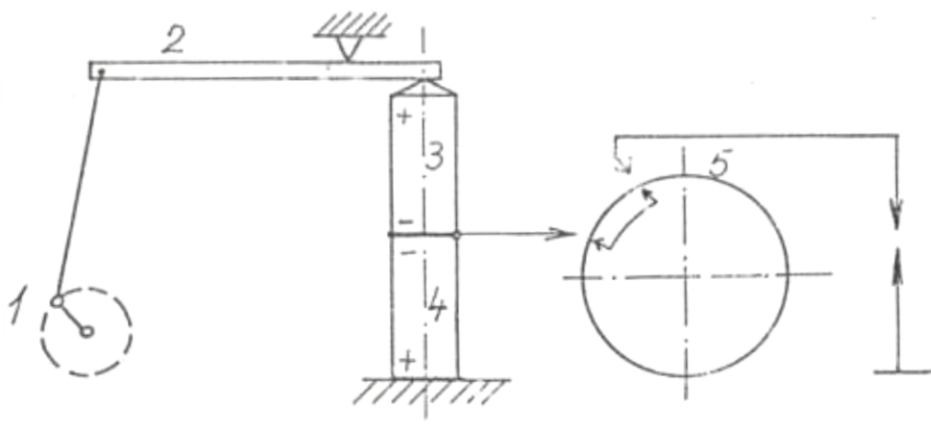
Na tomto schématu je znázorněna řídicí jednotka a její jednotlivé zdroje signálu. Jednotlivé signály jsou převáděny A/D převodníky a pomocí těchto signálů se řídicí jednotka rozhoduje o



řízení zapalování podle předem daných nastavení, které jsou uloženy v paměti řídicí jednotky. Pro různé provozní stavy motoru jsou jiné nastavení předstihu. Uložené charakteristické nastavení podle otáček a zatížení motoru mohou být podobné jako na obrázku 21. U tohoto zapalování není klasický rozdělovač a zapalovací cívka. Využívá se systému SDI (každá svíčka má svojí zapalovací cívku), jednotlivé cívky jsou spínány rovnou z řídicí jednotky.

Obr. 21 – Definované nastavení předstihu podle zatížení a otáček [3]

7 PIEZOELEKTRICKÉ ZAPALOVÁNÍ



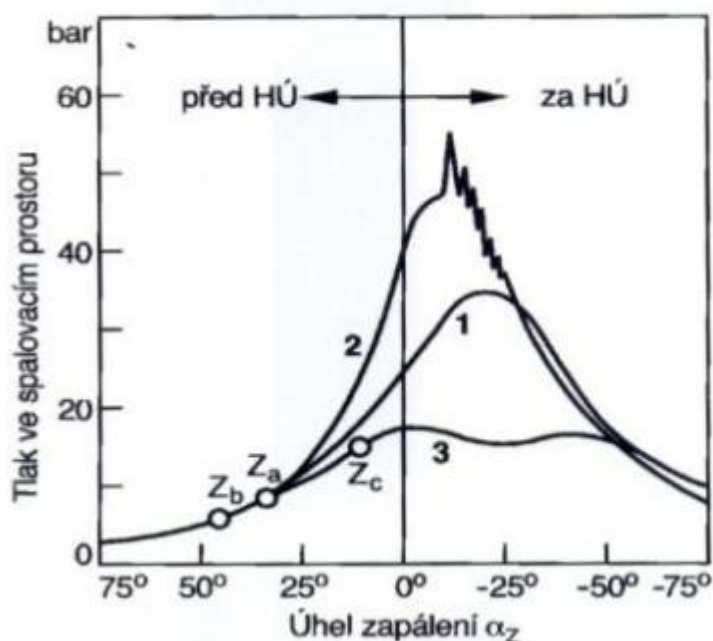
Obr. 22 – Funkce piezoelektrického zapalování [3]

U toho zapalování se dosahuje potřebné energie mechanickým namáháním piezoelektrického materiálu. Dva válečky z piezoelektrického materiálu jsou namáhány přes pákové ústrojí. Na piezoelektrických válečkách vznikne elektrický náboj (ve směru namáhání), který je soustředěný na koncích válečků. Zde jsou válečky uspořádány tak, aby se kladný náboj při deformaci soustředil na koncích a záporný mezi válečky. Zde může být náboj odveden na mechanický spínač (podobný rozdělovači) a odtud na zapalovací svíčku. Nebo tento náboj může samovolně zaniknout po pominutí mechanického namáhání. Tento způsob zapalování se nedočkal velkého rozvoje především kvůli své nespolehlivosti a velkým rozměrům.

8 NASTAVENÍ PŘEDSTIHU

Zapalování je nezbytné pro funkci zážehového motoru a v podobě jiskry na zapalovací svíčke přináší energii, která podněcuje zapálení paliva. Požadavek je ten, aby jiskra přeskočila ve správný *okamžik* a aby jiskra měla potřebnou *energii* pro zažehnutí směsi. Doba hoření směsi je nenulová, proto je nutno směs zapálit s jistým *předstihem* před horní úvratí pístu, aby maximální tlak na píst byl těsně za horní úvratí při pohybu pístu k dolní úvratí, čímž vykonává užitečnou práci. Při malém předstihu (pozdní zapálení) není tlak využit efektivně a značně klesá výkon motoru. Na druhou stranu předčasný zážeh (velký předstih) se projevuje detonačně – snižuje výkon a značně roste opotřebení motoru.

1 Správný předstih, zapálení Z_a ve správném okamžiku, 2 Velký předstih, zapálení Z_b příliš brzo (klepání při spalování), 3 Malý předstih, zapálení Z_c příliš pozdě



Obr. 23 – Průběh tlaku ve spalovacím prostoru [3]

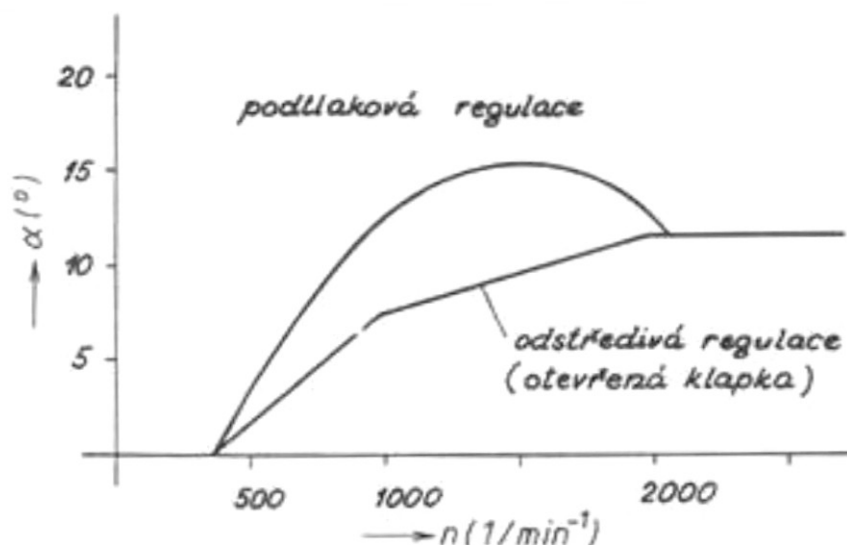
Parametry, na kterých závisí okamžik předstihu zapálení, jsou:

- otáčky motoru
- zatížení motoru
- teplota hlavy válců
- relativní vlhkost vzduchu
- barometrický tlak
- směšovací poměru palivové směsi
- oktanové číslo paliva

Okamžik zážehu paliva je též nutné volit s ohledem na tvorbu škodlivin ve výfukových plynech. S rostoucím předstihem obvykle klesá spotřeba paliva, emise oxidu uhličitého a nespálených uhlovodíků, ale rostou emise oxidů dusíku. Další limitem je klepání motoru - moderní řídicí systémy zapalování jsou schopny detekovat detonační hoření pomocí snímače klepání (knock senzor) na principu piezoelektrického jevu. Snímač je umístěn na válci nebo hlavě válců a řídicí jednotka v případě klepání snižuje předstih o 3-5° dokud klepání neustane. U čtyřdobých motorů je třeba předstih přizpůsobovat pracovním podmínkám motoru. Dodržení optimálního předstihu při všech provozních podmínkách je velmi obtížné, protože podmínky činnosti spalovacího motoru se za provozu rychle mění. Dobrých výsledků (ne ve všech provozních režimech) je možno dosáhnout regulací v závislosti na otáčkách a podtlaku v sacím potrubí. Samočinná regulace předstihu v závislosti na otáčkách motoru se většinou docílí odstředivým regulátorem.

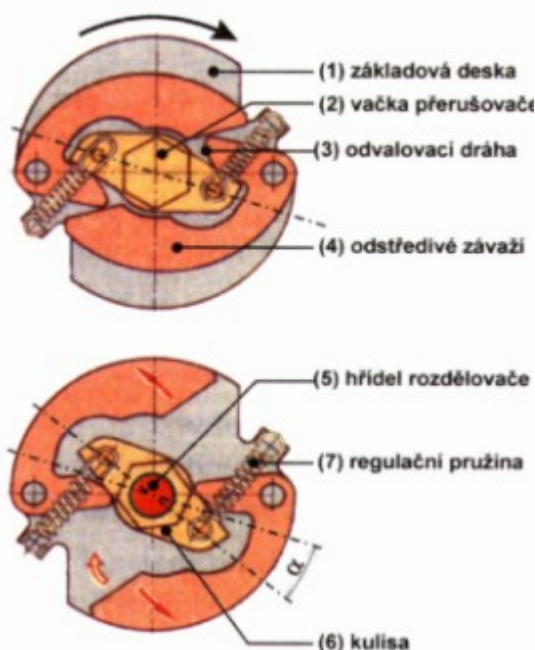
8.1 Odstředivá a podtlaková regulace předstihu

Tyto dvě regulace se používají u většiny čtyřdobých motorů. Této regulace se využívá i u jednodušších typů elektronického zapalování. U vozidel, jejichž motor nemá velký přebytek výkonu a v provozu je zatěžován většinou na plný výkon, stačí jen regulace předstihu podle otáček. Naopak u některých motorů s velkým přebytkem výkonu se používala i jen podtlaková regulace. Odstředivý regulátor začíná působit až od určitých otáček, většinou vyšších než jsou otáčky naprázdno. Až do těchto otáček je stálý "základní předstih".



Obr. 24 – Společné působení odstředivé a podtlakové regulace [3]

8.1.1 Odstředivá regulace

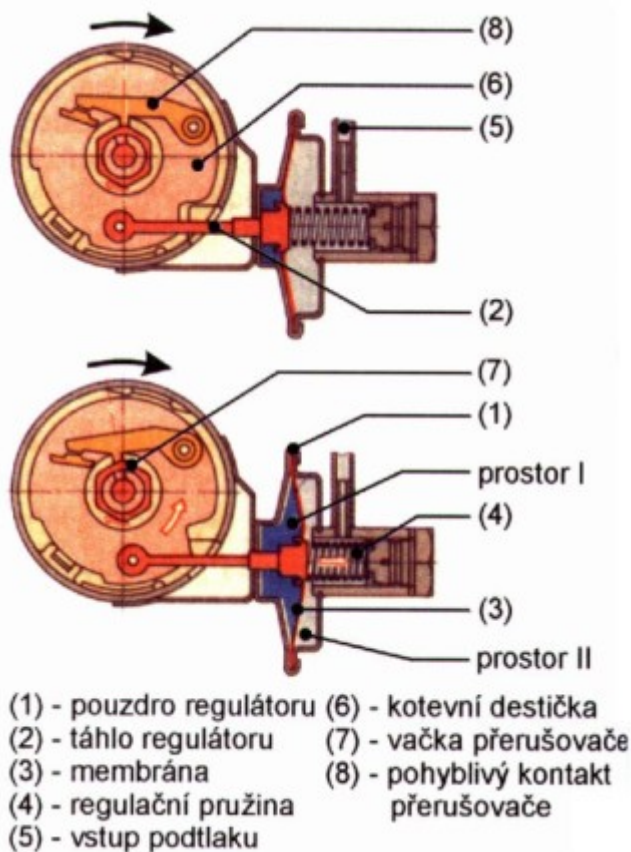


Obr. 25 – Funkce odstředivé regulace [2]

Samočinné regulace předstihu v závislosti na otáčkách motoru se docílí především odstředivým regulátorem. Tento regulátor je na obrázku 25.

Vačka 2 je uložena na hřídeli rozdělovače 5. S hřídelí je pevně spojena základová deska 1, na které jsou na čepech otočně uložena odstředivá závaží 4. V klidové poloze jsou závaží držena regulačními pružinami 7. Při určitých otáčkách hřídele přemůže odstředivá síla tah pružin a závaží se vychýlí. Tím se pootočí kulisa 6 a odstředivá závaží se odvalí po kulise po odvalovací dráze 3. Tím se mění úhel natočení vačky přerušovače α a tím pádem i předstih zapalení směsi. U některých konstrukcí je umístěn odstředivý regulátor do horní části rozdělovače, kde tvoří jeden celek s rotorem (palcem) rozdělovače.

8.1.2 Podtlaková regulace



V pouzdře 1 je pryžová membrána 3, jejíž pohyb se táhlem regulátoru 2 přenáší na kotevní destičku 6, která je v rozdělovači otočně uložena a s níž je prostřednictvím stavitelné podložky spojen pohyblivý kontakt přerušovače 8. Prostor za membránou je spojen trubicí 7 s vhodným místem sacího potrubí, kde vstupuje podtlak 5. Při podtlaku v sacím potrubí se prohne membrána 3 směrem vpravo, stlačí pružinu 4 a natočí kotevní destičku 6 v opačném smyslu, než se otáčí vačka přerušovače 7. Pohyblivý kontakt přerušovače 8 se tedy zvedne dříve, takže předstih se zvětší. U některých konstrukcí se v závislosti na podtlaku natáčí celé těleso rozdělovače.

Obr. 26 – Funkce podtlakové regulace [2]

9 SYSTÉMY VSTŘIKOVÁNÍ PALIVA

9.1 Historie vstřikování paliva

Vstřikování benzínu má dlouhou, více než 100letou minulost. Již v roce 1898 vyrobila továrna na plynové motory Deutz v malém počtu kusů pístové čerpadlo pro benzínové vstřikování. Jen o něco málo později byl objeven princip karburátoru a benzínové vstřikování pak již při tehdejších stavu techniky nebylo konkurence schopné. Od roku 1912 se Bosch začal věnovat experimentům s benzínovými vstřikovacími čerpadly. Nespolehlivost karburátorové techniky způsobená zamrzáním a nebezpečím požáru, podpořila vývoj vstřikování benzínu.

V roce 1951 bylo poprvé přímým vstřikováním benzínu sériově vybaveno osobní vozidlo. V následujících letech byla mechanická vstřikovací čerpadla dále vyvíjena. V roce 1967 se vstřikování benzínu podařil významný skok vpřed: první elektronický vstřikovací systém, tlakem v sacím potrubí řízený systém D – Jetronic. V dalších letech následoval elektronicky řízený systém L – Jetronic a mechanicko-hydraulicky řízený K – Jetronic, oba dva s měřením množství nasávaného vzduchu. V roce 1979 přišel první mikroprocesor v automobilu, byl to systém Motronic s digitálním zpracováním mnoha funkcí motoru (spojení L – Jetronic s elektronickým zapalováním). O pár let byl nabízen vylepšený model KE – Jetronic, K – Jetronic rozšířený o lambda sondu a regulační obvod. Následovaly systémy Mono – Jetronic a Mono – Motronic. V dnešní době se využívají moderní techniky vstřikování, jako jsou například FSI nebo TSI.

9.2 Požadavky motoru na směs a její tvorba

Spalovací motor mění spalováním chemickou energii na tepelnou a tu mění tlakem na píst v energii mechanickou. Podmínkou spolehlivého zažehnutí a správného průběhu hoření u zážehových motorů je vytvoření buď homogenní směsi palivových par se vzduchem, nebo směsi vrstvené tak, aby bohatost směsi mezi elektrodami zapalovací svíčky v okamžiku přeskočků vysokonapěťového výboje umožnila její zažehnutí. Takovou tu směs má za úkol připravit systém pro tvorbu směsi. Teoretické dokonalé spalování by mělo být takové, že všechny uhlíkové a vodíkové atomy paliva se vzdušným kyslíkem zoxidují na oxid uhličitý (CO_2), případně na vodu (H_2O) za vývinu tepla. Bohužel dokonalé spalování neexistuje.

9.2.1 Složení zápalné směsi

Vyjadřeno dvěma základními způsoby:

- Směšovací poměrem α
- Vzdušným součinitelem λ

9.2.1.1 Směšovací součinitel α

Vyjadřuje složení směsi pomocí hmotnostního poměru množství benzínu a vzduchu.

- Teoretický směšovací poměr (1 : 14,7)
- Skutečný směšovací poměr

Směs lze zapálit svíčkou jen v určitém rozmezí jejího složení (1 : 10 – 1 : 19).

- Bohatá směs

- Chudá směs

9.2.1.2 Vzdušný součinitel λ

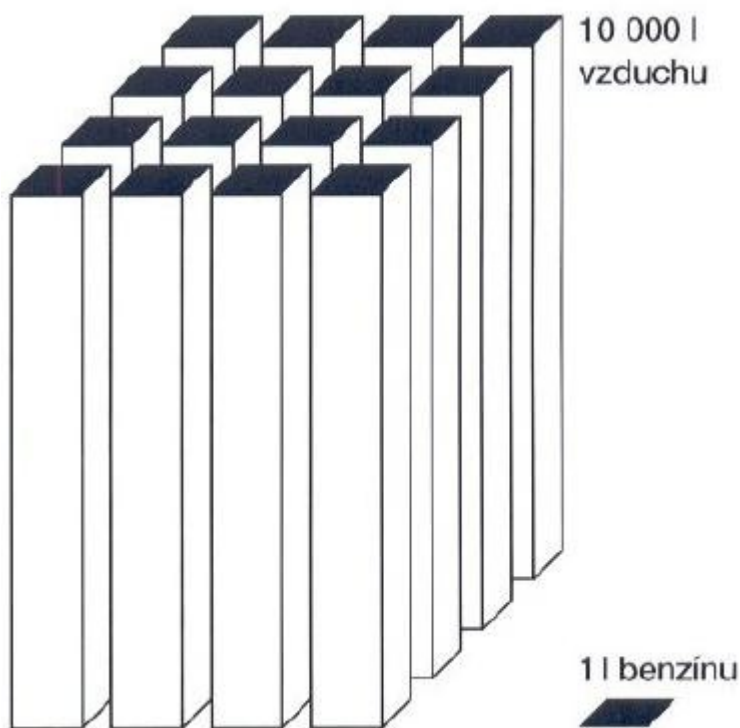
Z hlediska regulace pracovního režimu motoru je nutno zabezpečit odměření vzájemně odpovídajících množství paliva a vzduchu tak, aby byla zachována požadovaná hodnota vzdušného součinitele λ . Ideální teoreticky dokonalé spalování nastává při poměru 1 : 14,7. Tento poměr je označován za stechiometrický poměr. Pro reálné, úplné spalování a tím také pro co nejmenší spotřebu je nutný přebytek vzduchu, jehož hranice je určena zápalností směsí a použitelnou dobou hoření.

Pro teoretický směšovací poměr $\alpha = 1 : 14,7$ je $\lambda = 1$.

$$\lambda = \frac{\text{nasáté množství vzduchu (kg)}}{\text{teoreticky potřebné množství vzduchu (kg)}}$$

Při chodu motoru:

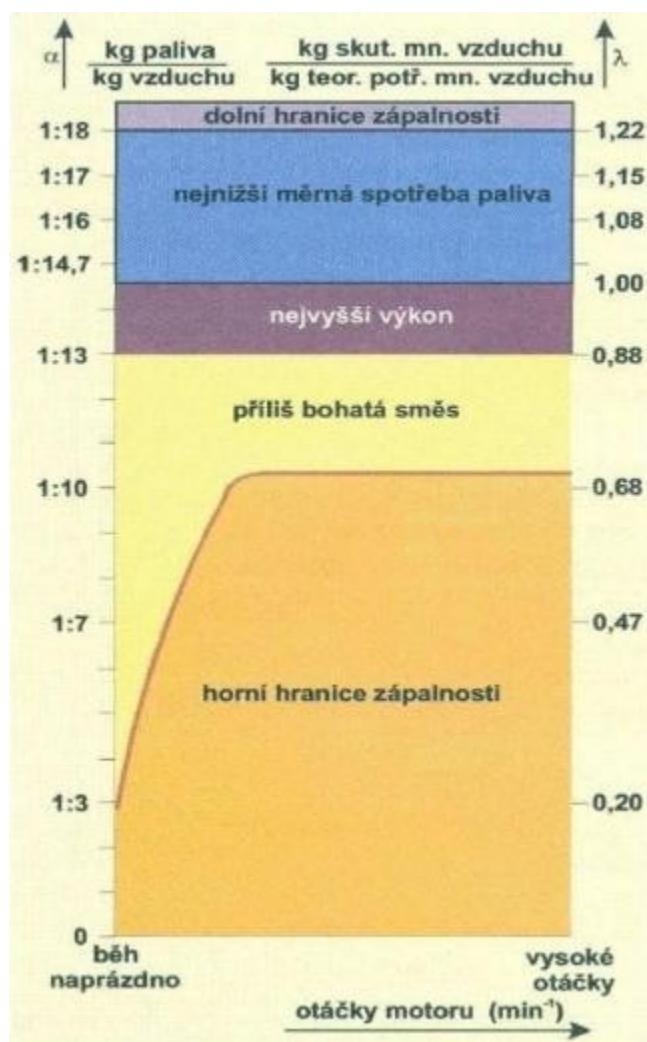
- *Naprázdno (volnoběh)* – nutnost bohaté směsi $\alpha = 1 : 14$, $\lambda = 0,90 - 0,98$
- *Střední zatížení (běžná jízda)* – mírně chudá směs $\alpha = 1 : 16$, $\lambda = 1,05 - 1,15$
- *Plné zatížení (přechod z volnoběhu na vyšší otáčky, zrychlování)* – mírně obohacená směs $\alpha = 1 : 13,5$, $\lambda = 0,85 - 0,90$



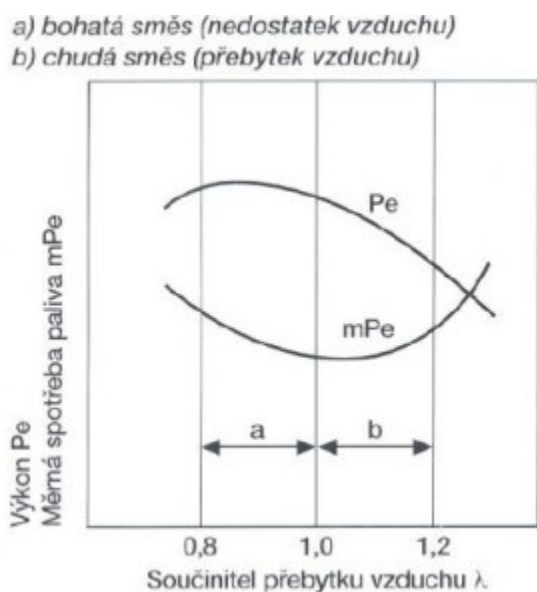
U dnešních motorů je nejnižší spotřeba paliva při poměru vzduchu asi 15 – 18 kg vzduchu na 1 kg paliva. Názorně zobrazeno to znamená, že ke spálení jednoho litru benzínu je potřeba asi 10 000 litrů vzduchu.

Motory vozidel, které jsou většinu času provozovány v oblasti částečného zatížení, jsou konstrukčně dimenzovány tak, aby v této oblasti dosáhly nejnižší spotřeby. Pro ostatní oblasti provozu (volnoběh, plné zatížení) je vhodnější směs bohatší na palivo. Systém přípravy směsi musí být proto zkonstruován tak, aby byl schopen splnit tyto variabilní požadavky. [9]

Obr. 27 – Poměr vzduchu a paliva při nejmenší měrné spotřebě paliva [9]



Obr. 28 – Směšovací součinitel α a vzdušný součinitel λ v závislosti na otáčkách motoru [10]



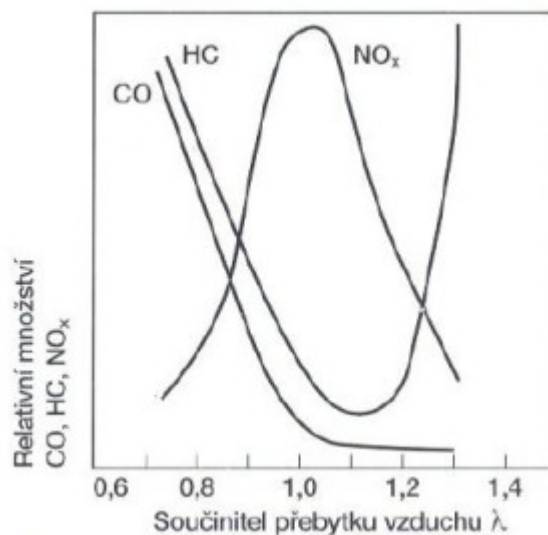
Obr. 29 - Vliv součinitele přebytku vzduchu λ na výkon Pe a měrnou spotřebu paliva mPe [9]

$\lambda = 1$: Skutečně přivedená hmotnost vzduchu odpovídá teoretické spotřebě.

$\lambda < 1$: Nedostatek vzduchu, bohatá směs. Nejvyššího výkonu se dosahuje při $\lambda = 0,85 - 0,95$.

$\lambda > 1$: Přebytek vzduchu, chudá směs, nastává od $\lambda = 1,05 - 1,30$. Při této hodnotě lze pozorovat snižující se spotřeba spojenou se snižováním výkonu motoru.

$\lambda > 1,3$: Směs již není schopna zapálení. Dochází k vynechávání spalování. Běh motoru je neklidný.

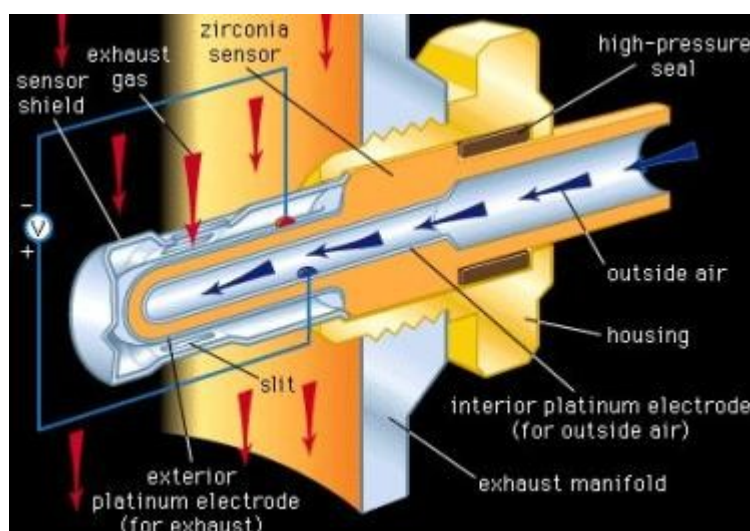


Obr. 30 - Vliv součinitele přebytku vzduchu λ na složení emisí [9]

Na obrázcích 29 a 30 jsou zobrazeny závislosti výkonu, měrné spotřeby paliva a vývoj emisí na součiniteli přebytku vzduchu λ . Z charakteristik je patrné, že neexistuje ideální hodnota poměru vzduchu, při které dosahují všechny faktory nejvýhodnějších hodnot. V praxi se jako nejvhodnější osvědčily hodnoty $\lambda = 0,9 - 1,1$. Pro dosažení nejlepšího poměru a tedy i těchto ideálních hodnot se musí přesně měřit hmotnost nasávaného vzduchu a přesně dávkovat množství paliva. Také je důležité dosažení homogenní směsi (dobré rozprášení paliva). Pokud není tento požadavek splněn, usazují se kapičky paliva na stěnách sacího potrubí, což vede ke zvýšení emisí HC (nespálených uhlovodíků).

Měření vzdušného součinitele λ

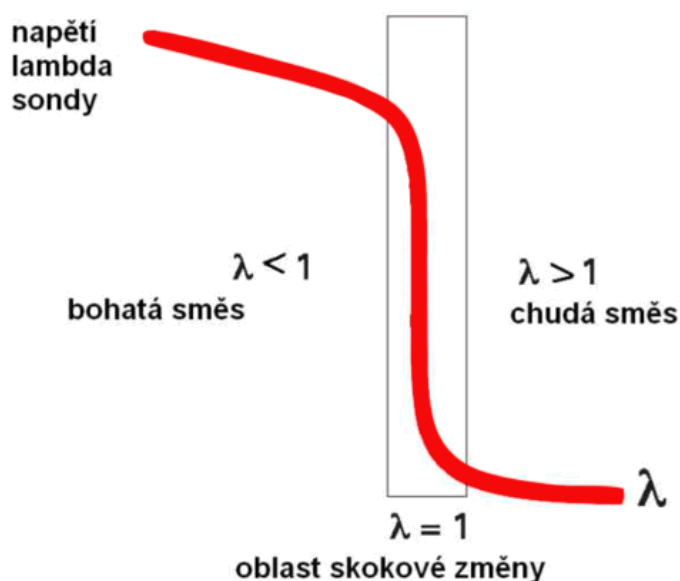
Aby bylo možno v katalyzačním tlumiči odstranit z výfukových plynů oxidy dusíku, tj. provést redukci NO_x , je nutno zabezpečit, aby výfukové plyny vstupující do katalyzačního tlumiče neobsahovaly žádný kyslík. Tomu odpovídá spalování přivedeného paliva ve válci motoru při stechiometrickém poměru paliva k množství nasátého vzduchu, tedy při vzdušném součiniteli $\lambda = 1$. Zbytkový obsah kyslíku ve výfukových plynech měří λ sonda. Schéma λ sondy je uvedeno na obrázku 31.



Obr. 31 – Principiální schéma lambda sondy [19]

Keramika, která je při vysokých teplotách vodivá pro kyslíkové ionty, je pokryta porézními platinovými elektrodami, a umístěna do proudu spalin. Pokud je koncentrace kyslíkových iontů na obou stranách keramiky stejná, tj. na vnitřní straně se nachází kyslík ze vzduchu v okolním prostředí a na vnější straně nespálený kyslík v proudu spalin, je napětí mezi porézními elektrodami prakticky nulové, viz obrázek 32. Údaj sondy pro hodnotu $\lambda > 1$ (spalování s přebytkem vzduchu tzv. *chudá* směs). V okamžiku, kdy dojde k obohacení směsi palivem tak, že ve spalinách se nenachází žádný kyslík, objeví se na elektrodách λ sondy napětí asi 950 mV. Skoková změna napětí při $\lambda = 1$ umožňuje velmi přesnou regulaci vstřikovaného množství paliva.

Rychlost reakce λ sondy na změnu obsahu kyslíku ve výfukových plynech je však dostatečně rychlá teprve po ohřátí keramiky na teplotu přibližně 300 °C. Proto je keramika λ sondy vyhřívána elektrickým topným tělískem, což výrazně zkrátí dobu potřebnou pro ohřátí sondy po nastartování studeného motoru na teplotu umožňující rychlou regulaci složení směsi paliva se vzduchem. [15]



Obr. 32 – Skoková změna napětí na lambda sondě [20]

9.3 Přizpůsobení provozním stavům

V některých případech se potřeba paliva výsoce odlišuje od stacionární potřeby zahřátého motoru. Potom je zapotřebí zásahu do přípravy směsi. V této části práce se zaměříme na jednotlivé stavy motoru a druhu zásahu do tvorby směsi.

9.3.1 Studený start

Při studeném startu je nasávaná směs ochuzována nedostatečným promícháním studeného vzduchu a studeného paliva, které se vlivem nízkých teplot odpařuje a usazuje na stěnách potrubí. Aby se tyto rozdíly vyrovnaly a dosáhlo se nastartování studeného motoru, je zapotřebí, aby směs byla bohatší na palivo ($\lambda < 1$). Musí být tedy přivedeno více paliva.

9.3.2 Fáze po startu

Po startu za nízkých teplot je potřeba, aby byla směs krátkodobě bohatší na palivo, než dojde k částečnému zahřátí motoru a zvýšení teploty ve spalovacím prostoru. Tím pádem se zlepší příprava směsi a dosáhne se vyššího točivého momentu a tím i lehčího přechodu do volnoběžných otáček.

9.3.3 Fáze zahřívání

V této fázi potřebuje motor bohatší směs, protože dochází ke srážení kapiček paliva na vnitřku válců, které jsou ještě studené.

9.3.4 Částečné zatížení motoru

Při tomto zatížení je důležité správné naladění složení směsi na minimální spotřebu paliva. Pro splnění přísných emisních limitů je důležité dosáhnout $\lambda = 1$.

9.3.5 Plné zatížení

Při tomto zatížení má motor odevzdat co možná nejvyšší točivý moment (nejvyšší výkon). Jak je vidět na obrázku 28, musí být tedy směs vzduchu a paliva obohacena na $\lambda = 0,85 - 0,95$

9.3.6 Zrychlení

Při rychlém otevření škrticí klapky dochází k dočasnému ochuzení směsi vlivem částečné neschopnosti paliva se odpařovat při vyšším tlaku v sacím potrubí. V této fázi je třeba směs obohatit v závislosti na teplotě motoru a tím zlepšit chování motoru v tomto přechodném stavu.

9.3.7 Decelerace

Při deceleraci je puštěním plynového pedálu přerušena dodávka paliva do spalovacího prostoru, tímto způsobem se dá snížit spotřeba paliva, buďto při jízdě z kopce nebo při každém brzdění. Při deceleraci nedochází k vytváření škodlivin ve spalínách.

9.3.8 Přizpůsobení směsi ve vyšších polohách

Ve vyšších nadmořských výškách klesá hustota nasávaného vzduchu, tím pádem klesá hmotnost nasávaného vzduchu. Kdyby nedošlo k zásahu do obohacení směsi, směs by byla více obohacována palivem a docházelo by ke zvyšování spotřeby paliva a k většímu vzniku zplodin.

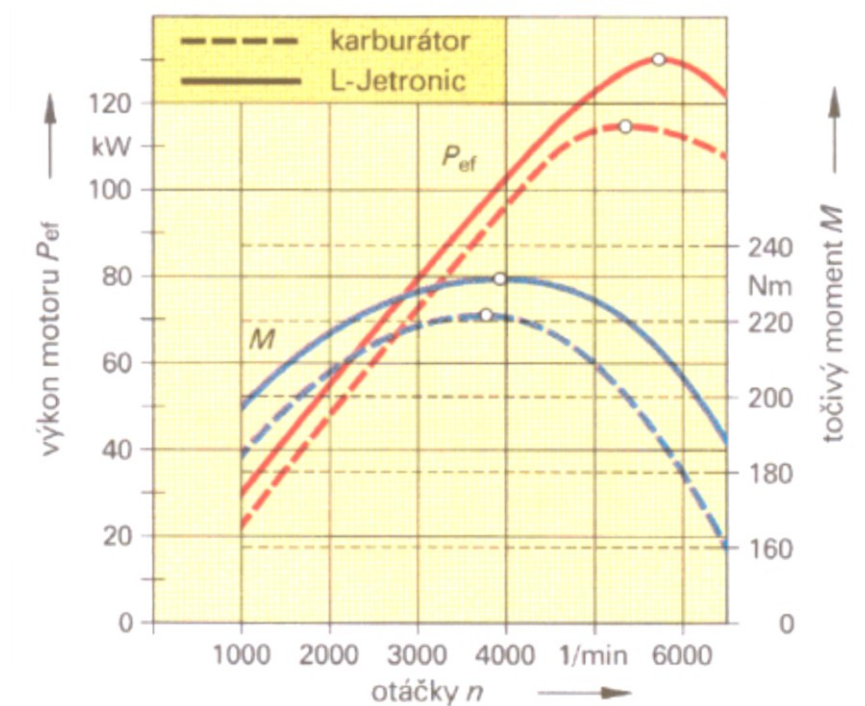
9.4 Základní principy vstřikování paliva

9.4.1 Úkol vstřikovacích zařízení

Vstřikovat jemně rozprášené palivo v optimálním směšovací poměru za jakéhokoli pracovního stavu spalovacího motoru a udržovat nízkou hladinu škodlivých zplodin ve výfukových plynech.

9.4.2 Výhody motorů se vstřikovacím zařízením (oproti karburátoru)

- optimální tvorba směsi za všech provozních stavů (přesné odměření)
- vstřikování probíhá větším rozdílem tlaků (tlak čerpadla)
- jemnější rozptýlení paliva
- krátké vzdálenosti a časy dopravy paliva do spalovacího prostoru
- u více bodového vstřikování rovnoměrné rozdělení paliva do jednotlivých válců
- snížení spotřeby paliva
- redukce obsahu škodlivin ve spalínách
- lepší výkon a moment motoru (viz. Obrázek 33)



Obr. 33 – Závislost výkonu motoru a točivého momentu na otáčkách [11]

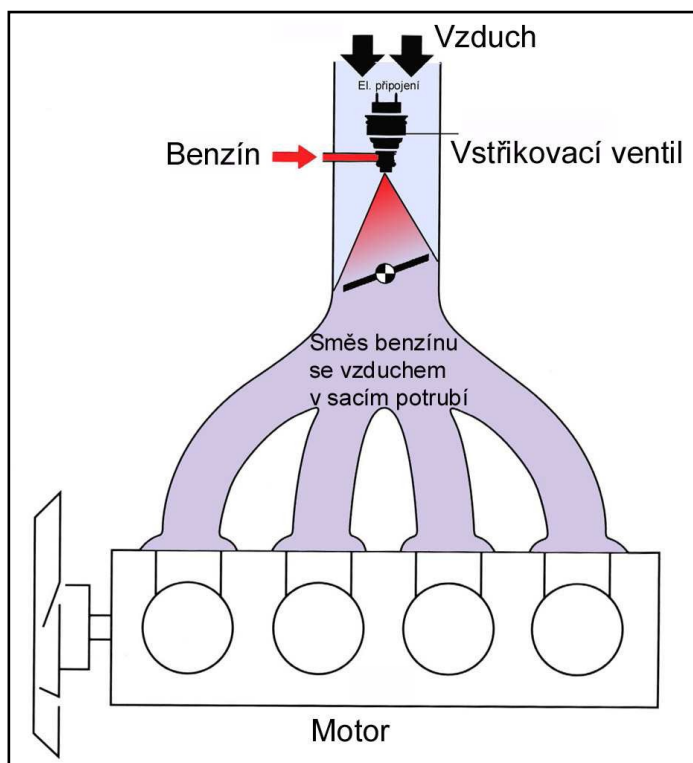
9.5 Rozdělení vstřikovacích systémů benzínu

9.5.1 Podle způsobu vstřikování

9.5.1.1 Nepřímé vstřikování

Směs paliva a vzduchu se tvoří mimo spalovací prostor.

a) Jednobodové vstřikování (SPI - Single Point Injection)



- palivo se vstřikuje centrálně do komory škrtkové klapky

Výhody:

- rozptýlení v zúžení u škrtkové klapky
- odpařování na horkých stěnách sacího potrubí

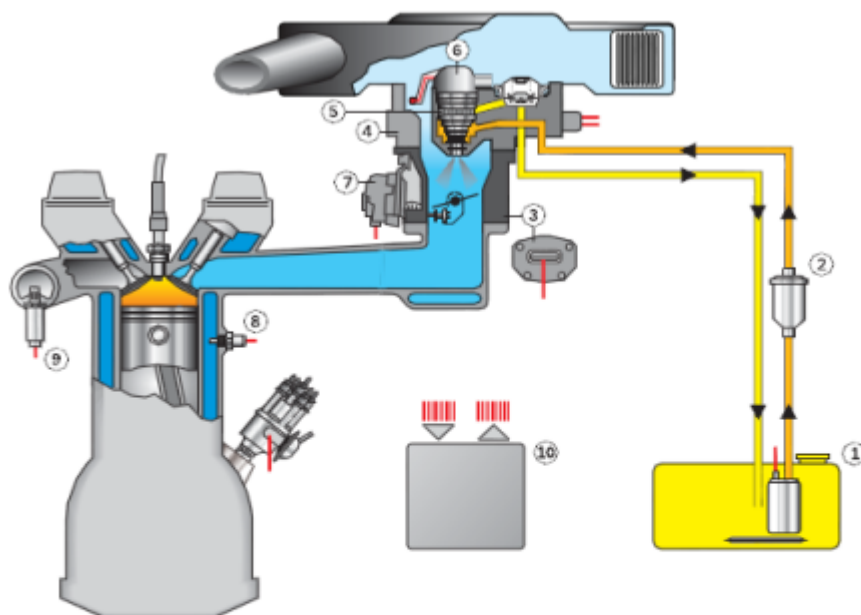
Nevýhody:

- různě dlouhé dráhy a rozvětvení sacího potrubí nestejnoměrně rozdělují palivo
- okrajové víry a srážení paliva na stěnách sacího potrubí (studený motor) způsobují nerovnoměrné rozdělení paliva

Obr. 34 – Jednobodové vstřikování SPI [12]

Je vhodné pro motory do výkonu asi 80 kW, které mají nejvýše čtyři válce. U tohoto vstřikování se palivo vstřikuje v jednom místě sacího potrubí společného pro všechny válce motoru. Umístění vstřikovacího ventilu odpovídá umístění karburátoru. Palivový paprsek trysky je nasměrován ke škrtkové klapce. Díky elektronické regulaci je potřebné množství paliva přesně dávkováno v kterémkoliv režimu motoru. Neustále je vyhodnocováno množství nasávaného vzduchu a stav motoru (otáčky motoru, poloha škrtkové klapky, teplota motoru apod.). Na základě těchto údajů řídicí jednotka určí množství paliva změnou doby vstřiku (ventil vstřikuje přerušovaně a synchronně s otáčkami motoru). [15]

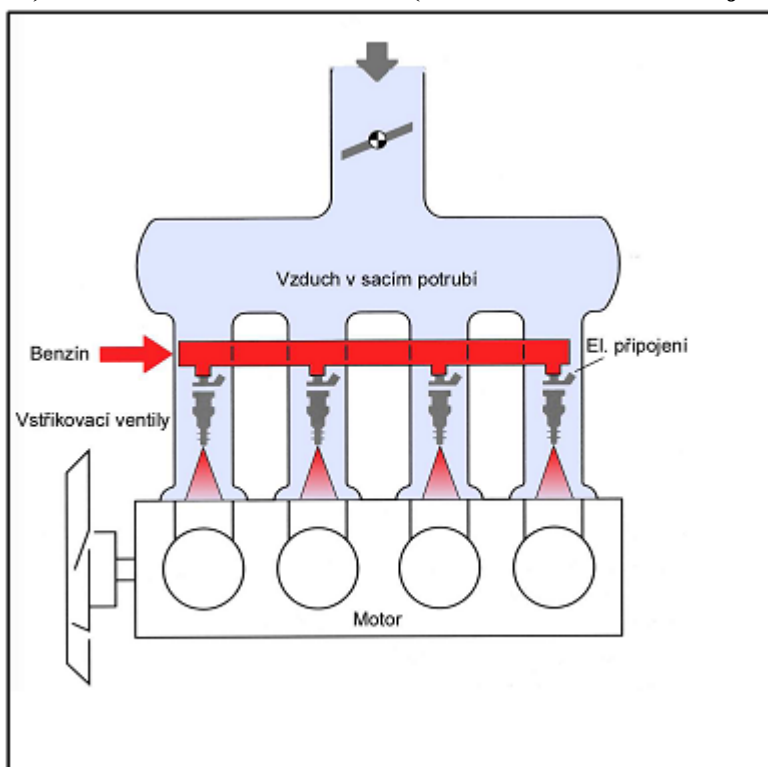
Hlavním představitelem tohoto typu vstřikování je vstřikovací jednotka Bosch Mono-Jetronic, která tvoří hlavní část systému Mono-Motronic. Tento systém se používal na vozidlech koncernu VW, především u první řady vozidel Felicia.



- | | |
|--|---|
| ① Elektrické palivové čerpadlo | ⑥ Zařízení se senzorem teploty nasávaného vzduchu |
| ② Palivový filtr | ⑦ Nastavovač škrticí klapky |
| ③ Potenciometr škrticí klapky | ⑧ Senzor teploty motoru |
| ④ Regulátor tlaku | ⑨ Lambda sonda |
| ⑤ Elektromagnetický vstřikovací ventil | ⑩ Elektronická řídicí jednotka |

Obr. 35 – Vstřikovací systém Mono – Jetronic [13]

b) Vícebodové vstřikování (MPI - Multi Point Injection)



- každému válci přiřazen jeden vstřikovací ventil

Výhody:

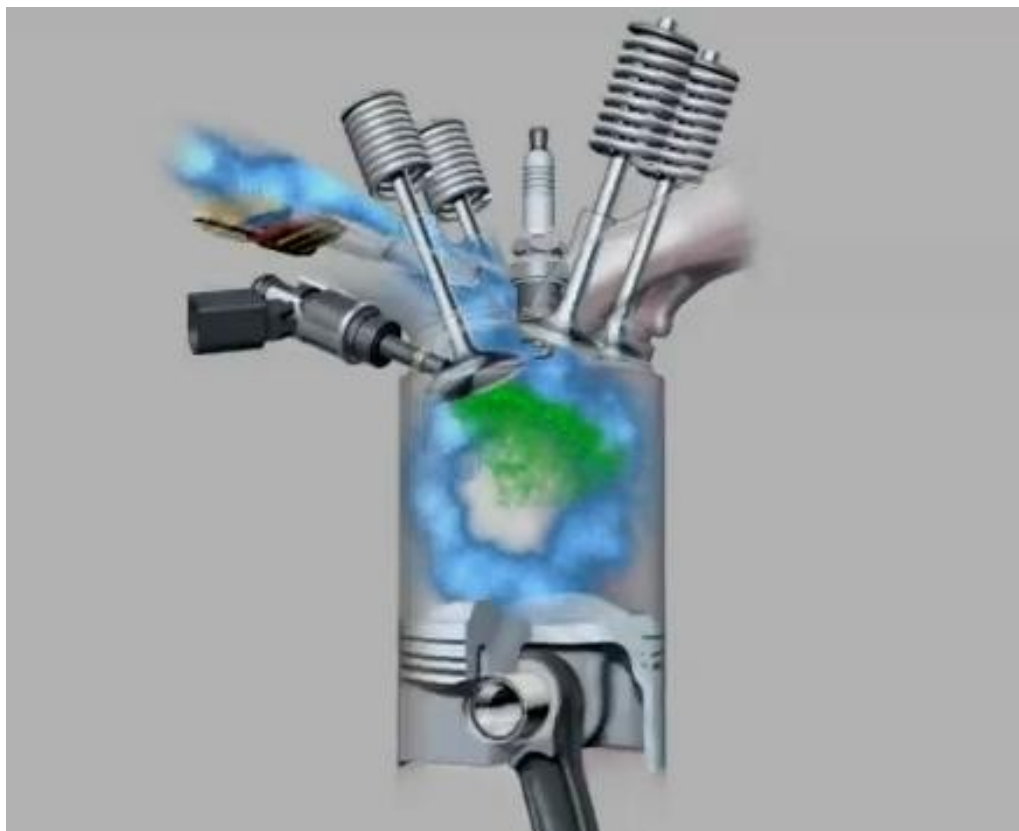
- stejně dlouhé dráhy směsi
- rovnoměrné rozdělení směsi
- menší srážlivost paliva na stěnách u studeného motoru

Obr. 36 – Vícebodové vstřikování MPI [12]

Vstřikování paliva před sací ventil (ke každému válci). Sacím potrubím proudí pouze čistý vzduch. Až před sacím ventilem se směs promísí díky jemně rozprášenému palivu, které je vstřikováno na talíř sacího ventilu. Směs tak neulpívá na stěnách sacího potrubí a proto může být délka potrubí větší. Protože se toto vstřikování benzínu vyrábí už od konce 60. let existuje mnoho konstrukčních variant. Motory s tímto systémem vstřikování byly osazovány do automobilů značky VW a Škoda přibližně od roku 1995, tyto motory byly o obsahu 1300 cm³ a 1600 cm³.

9.5.1.2 Přímé vstřikování FSI

Bývá označováno jako FSI (Fuel Stratified Injection) nebo GDI (Gasoline Direct Injection), nebo také jenom DI (Direct Injection). U tohoto vstřikování je palivo vstřikováno v průběhu sacího a kompresního zdvihu přímo do vzduchového prostoru válce. Je vždy vícebodové a palivo je vstřikováno do válců pod vysokým tlakem (až 12 MPa).



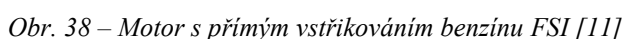
Obr. 37 – Princip přímého vstřikování (sání vzduchu + vstřikování paliva) [16]

Výhody:

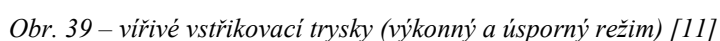
- odpadá nerovnoměrné rozložení paliva

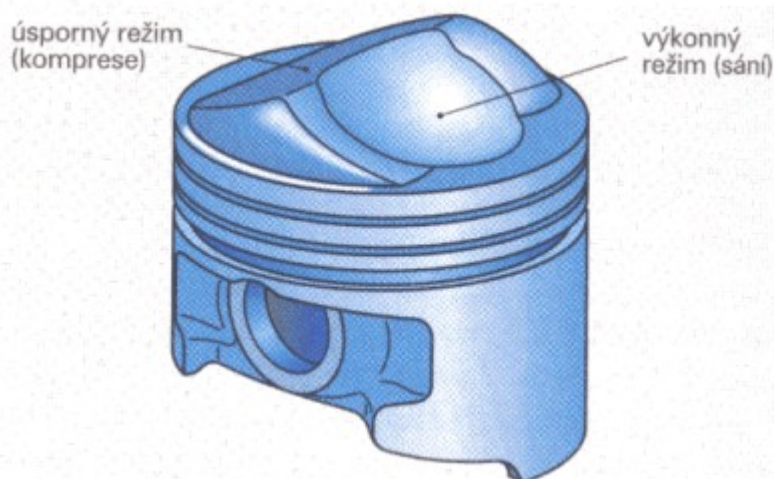
Nevýhody:

- velké nároky na elektronické řízení



- sací kanály téměř svislé, aby se při sání dosáhlo co možná nejprímějšího a žádaného směru proudění vzduchu
- použití vysokotlakého čerpadla
- vysokotlaké vířivé vstřikovací trysky (Obrázek 39), u kterých se mění charakter a obraz vstřiku paliva podle provozní oblasti motoru (úsporný nebo výkonný režim)
- tvarové píсты (deflektor s prohloubením – Obrázek 40) pro usměrnění pohybu vzduchu a směsi paliva se vzduchem ve spalovacím prostoru válce pro různé pracovní stavy motoru





Obr. 40 – Tvarová hlava pístu [11]

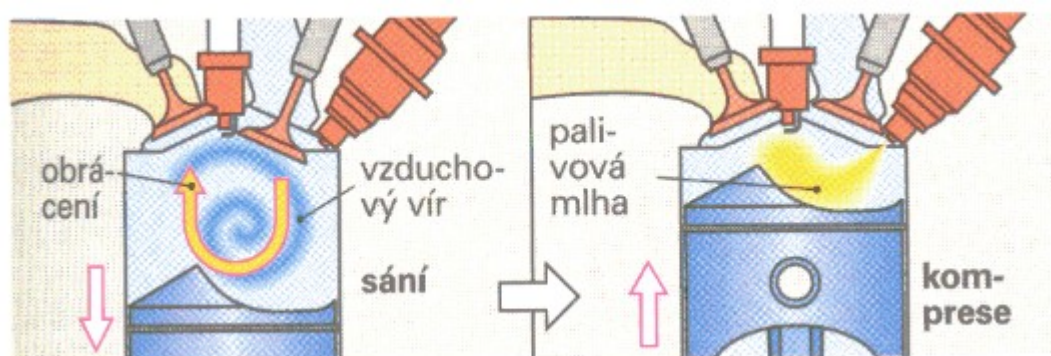
Palivový systém

Palivový systém se skládá ze dvou částí. Z části nízkotlaké a části vysokotlaké. Vysoký tlak je vytvářen vysokotlakým čerpadlem, které je poháněno většinou vloženou hřídelí od vačkové hřídele. Vysokotlaké čerpadlo je zásobováno palivem od nízkotlakého čerpadla, které je umístěno přímo v palivové nádrži. Maximální tlak paliva v nízko a vysokotlakém oběhu je udržován pomocí regulačních ventilů.

Způsob práce v úsporném režimu

V oblasti částečného zatížení se spalovací motor pohybuje nejčastěji. V tomto stavu pracuje motor s velmi chudou směsí paliva a vzduchu, přibližně $\lambda = 2,7 - 3,4$ (1 : 40 až 1 : 50). Takovýto poměr vede k velmi nízké spotřebě paliva, ale se vzrůstajícím zatížením rychle ve směsi klesá přebytek vzduchu a směs se stává bohatší na palivo ($\lambda = 1,0$), popřípadě až na $\lambda < 1$, např. při předjíždění (prudká akcelerace). Nasávaný vzduch proudí přes tzv. by – pass (obtok), takže obtéká škrtkací klapku.

Při tomto stavu motoru se pracuje se směsí, která má poměr vzduchu a paliva pod hranicí zápalnosti (při uvažování homogenní směsi). Proto se při sání uvádí vzduch do točivého proudění. V době stlačování se tento vzduch uvádí do točivého proudění pomocí deflektoru s prohloubením (Obrázek 39). Do takto rozvířeného vzduchu je potom těsně před horní úvratí pístu, vstříknuto potřebné malé množství paliva, vznikne tzv. palivová mlha. Ve válci vzniknou vrstvy s různými směšovacími poměry (vrstvené plnění). Do okolí svíčky je pomocí deflektoru vtlačována bohatá směs, zatímco ostatní prostory válce jsou vyplněny chudou směsí. Bohatá směs se v okolí svíčky bezpečně zapálí a také bezpečně zapálí kolem sebe rozprostřenou chudou směs.



Obr. 41 Způsob práce v úsporném režimu [11]

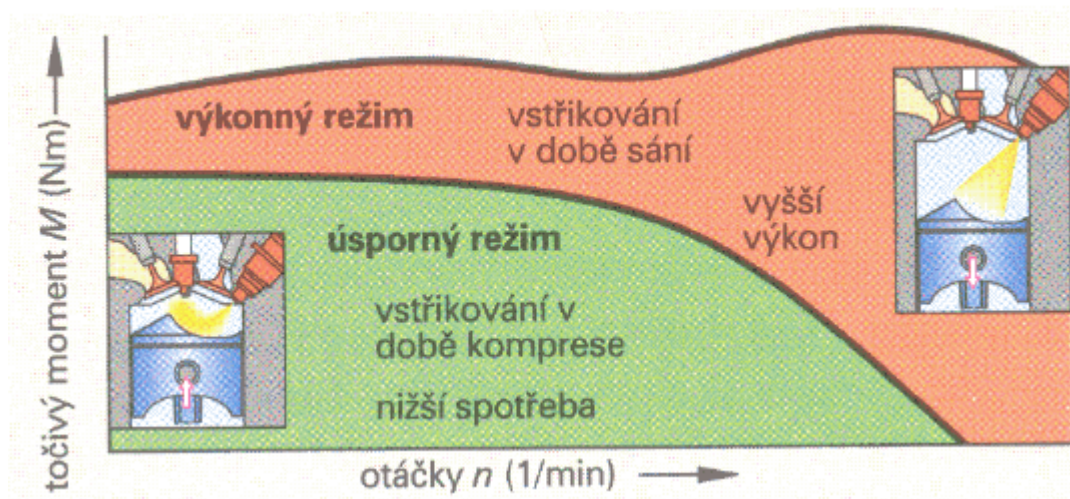
Způsob práce ve výkonném režimu

Nasávané množství je určováno pouze pomocí polohy škrticí klapky (by – pass je uzavřen). Palivo je vstřikováno v době sání do prostoru válce, vstřikovací tryska vstříkne kužel paliva. Při kompresi těsně před horní úvratí je směs tlačena tvarovým pístem do prostoru k svíčke, kde je následně zapáleno (Obrázek 40).



Obr. 42 – Způsob práce ve výkonném režimu [11]

Elektronická regulace zapalování a FSI vstřikování zaručují plynulý přechod z režimu provozu s chudou směsí do režimu plného zatížení bez vynechání zážehů. [11] Na obrázku 43 je vidět, v jakých oblastech využívá motor buď vstřikování v době komprese, nebo vstřikování v době sání. O využití těchto dvou režimů rozhodují buď otáčky, nebo zatížení motoru.



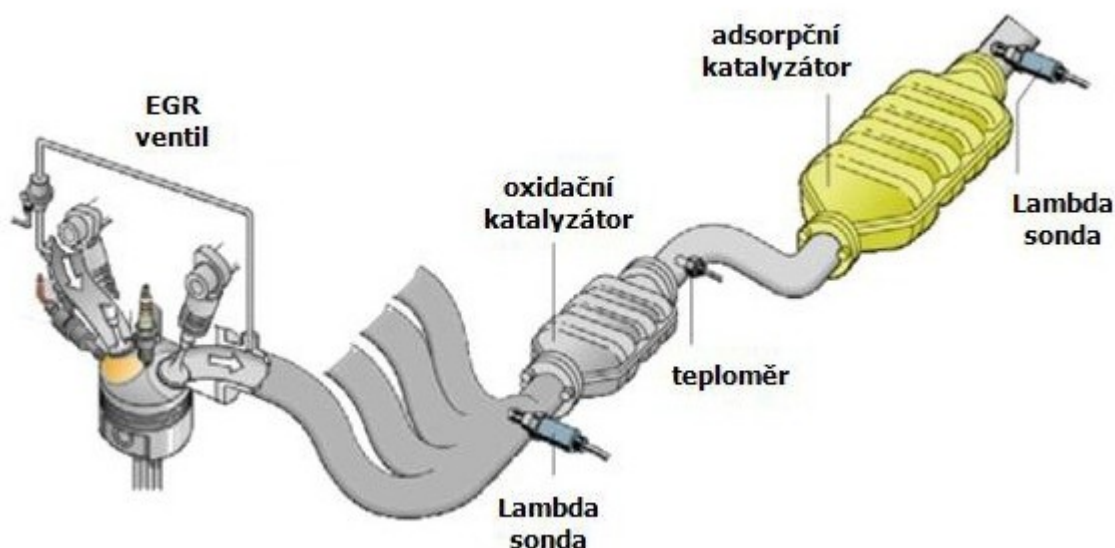
Obr. 43 – Oblasti zatížení u motoru se vstřikovacím systémem FSI [11]

Výhody motorů FSI:

- až o 20 % nižší spotřeba paliva
- vyšší měrný výkon
- až o 20 % nižší emise CO₂

Nevýhody

- větší množství oxidů dusíku (NO_x) => nutnost adsorpčního katalyzátoru (Obrázek 44)



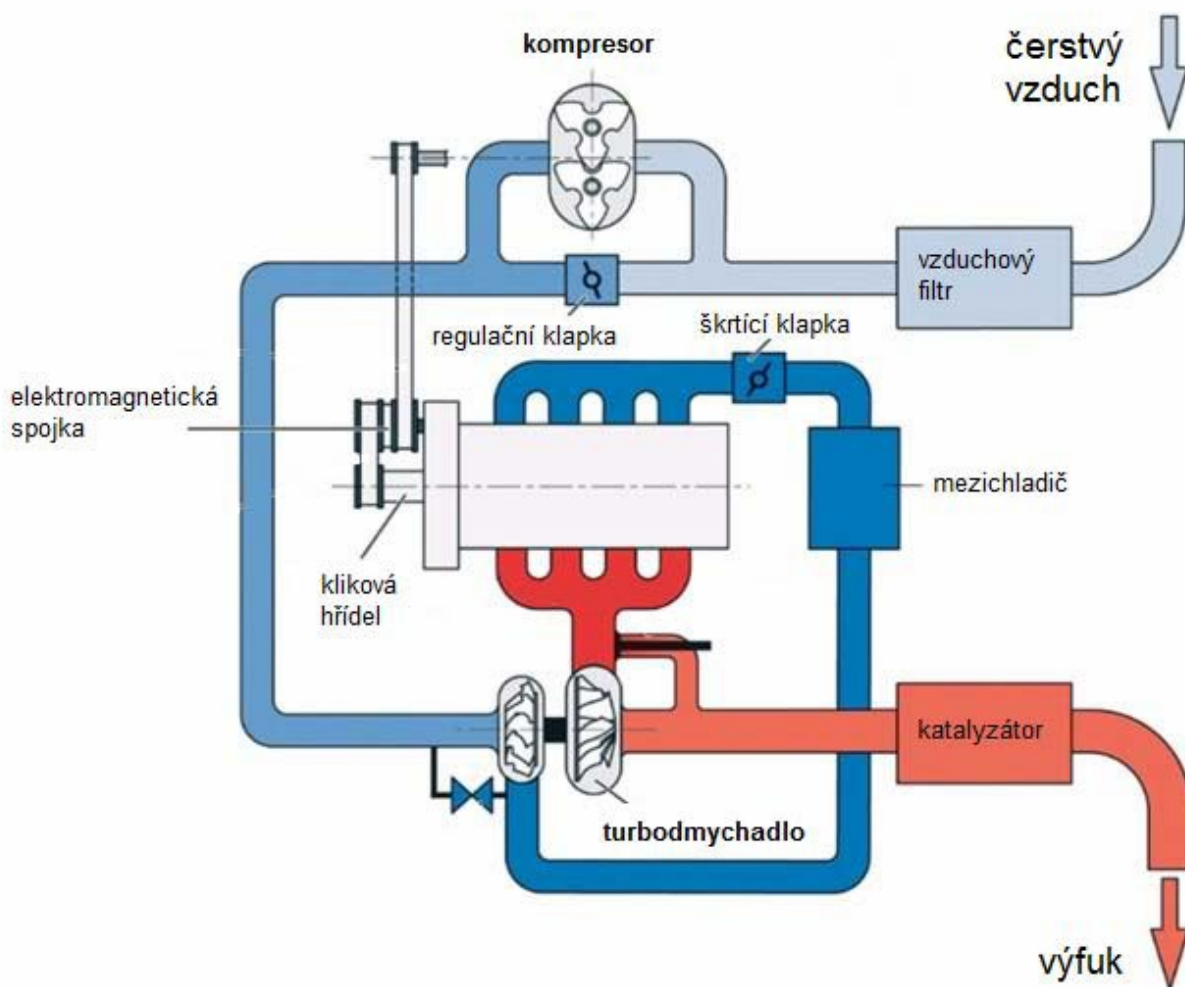
Obr. 44 – Průběh výfukových plynů u motoru FSI [16]

Z důvodů, že výfukové plyny obsahují větší množství oxidu dusíku, byl vyvinut nový adsorpční katalyzátor se senzorem oxidů dusíku. Nadbytečné oxidy dusíku, které vznikají při spalování chudé směsi (směs s velkým poměrem vzduchu), jsou dočasně podrženy v adsorpčním katalyzátoru a později v průběhu konvenčního spalování jsou přeměněny na dusík.

9.5.1.3 Přímé vstřikování s dvojitým přepřlňováním TSI

Nástup nových zážehových motorů TSI od automobilky Volkswagen způsobil menší revoluci ve vývoji automobilových motorů. Hlavním rysem motorů TSI se stal dvojitý systém plnění válců vzduchem, který je zajištěn kombinací funkce mechanicky poháněného kompresoru spolu s turbodmychadlem. Systém zajišťuje dokonalé zásobování motoru vzduchem za každého jízdního režimu, čímž dochází k dokonalému prohoření zápalné směsi ve válcích. Proto jsou motory TSI nejen velmi dynamické ale i hospodárné a ekologické. Pro plnění válců v nízkých otáčkách je motor vybaven mechanicky poháněným (šroubovým) kompresorem. Kompresor funguje do max. otáček motoru 2400 min^{-1} , poté je odpojen a jeho funkci přebírá klasické turbodmychadlo.

Kompresor i turbodmychadlo jsou řazeny sériově. Regulaci chodu kompresoru zajišťuje elektromagnetická spínací spojka, pro ovládání turbodmychadla slouží zase obtoková kontrolní klapka. V případě, že turbodmychadlo pracuje, je klapka otevřená a vzduch proudí od dmychadla přes mezichladič přímo do sacího potrubí a do válců. Pokud kompresor pracuje, je klapka turbodmychadla uzavřená a naopak. Maximální přetlak v sacím potrubí motoru může být až 2,5 bar při 1500 ot/min. Turbodmychadlo je navrženo tak, aby své největší účinnosti dosahovalo ve středním výkonovém spektru, tedy při středních otáčkách motoru. [17]



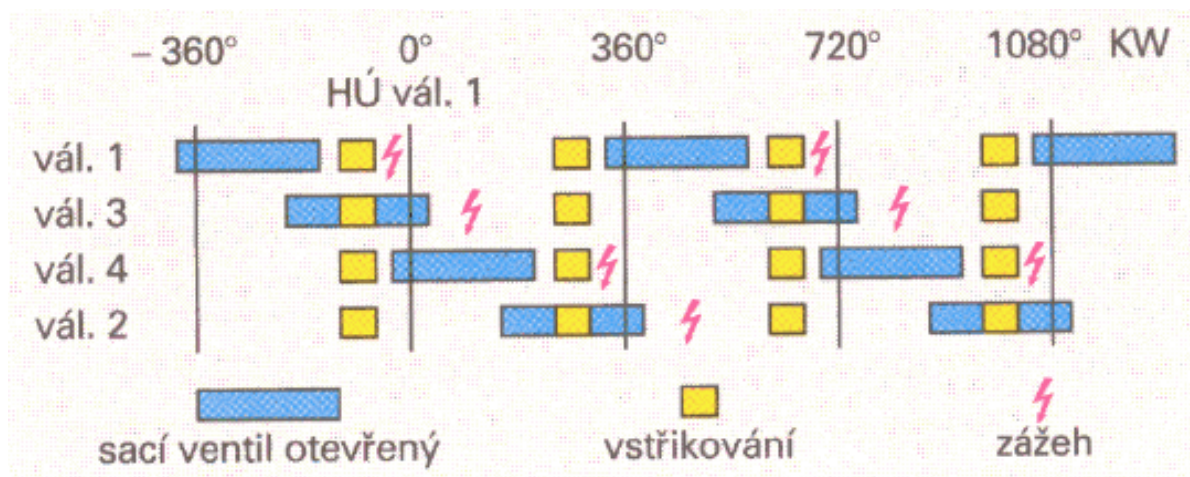
Obr. 45 – Princip činnosti motoru TSI [19]

První obrovskou výhodou tohoto motoru je, že získáme z malého objemu válců (konstrukční zmenšení motoru) maximální výkon při minimální spotřebě. Díky zkrácení zdvihu bylo dosaženo lepší účinnosti motoru, protože dochází k menším ztrátám vlivem tření. Navíc mají menší motory ještě další přednost a to nižší hmotnost. To znamená zároveň i nižší hmotnost celého vozidla, které motor musí uvádět do pohybu. Tyto motory mají také větší dynamiku oproti motorům, které využívají atmosférického plnění a také vyprodukují méně emisí CO_2 . Ale pro dnešní dobu má asi největší význam, že tyto motory mají nižší spotřebu pohonných hmot.

9.5.2 Podle časového průběhu (u vícebodového vstřikování)

9.5.2.1 Simultánní (současné) vstřikování

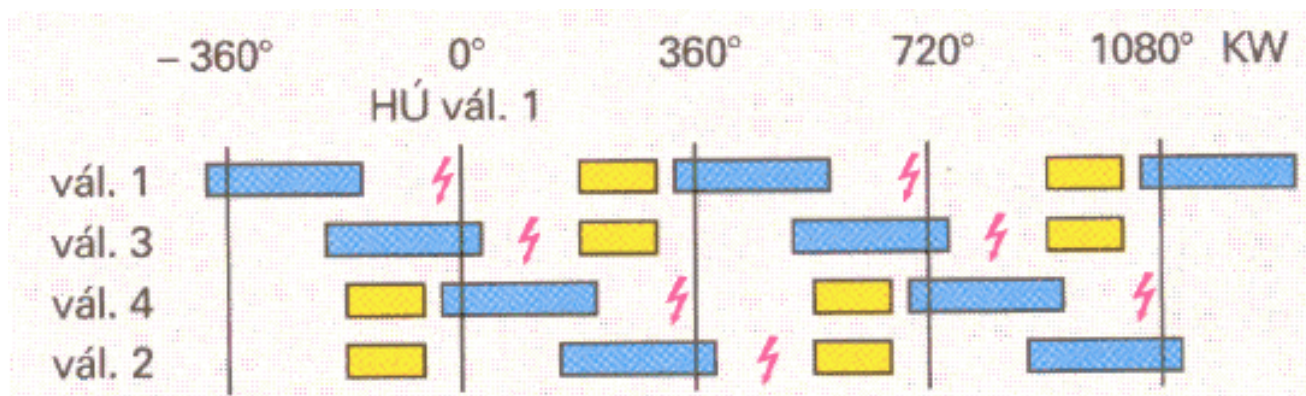
U tohoto vstřikování jsou ovládány všechny vstřikovací ventily současně bez ohledu na aktuální zdvih ve válci. Aby se dosáhlo možná co nejrovnoměrnějšího rozložení směsi, je do válců vstřikována pouze polovina paliva na jedno otočení klikové hřídele. Nevýhodou je, že potřebný čas pro odpaření paliva v jednotlivých válcích je velice rozdílný.



Obr. 46 – Simultánní vstřikování [11]

9.5.2.2 Skupinové (sdružené) vstřikování

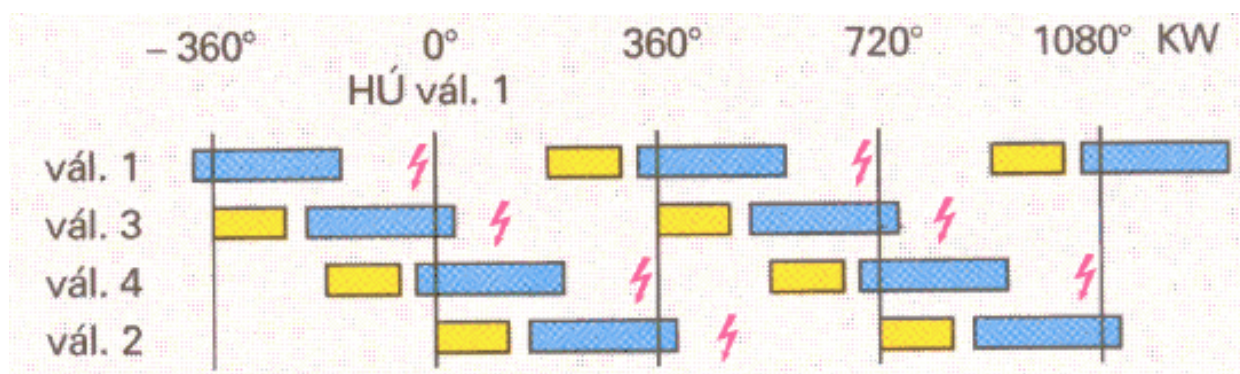
Jak je vidět na obrázku 47, tak u čtyřdobého motoru je palivo vstřikováno zároveň před sací ventily válce 2 a 4 na jedno otočení klikové hřídele. Při druhém otočení hřídele je palivo vstřikováno zároveň před sací ventily válců 1 a 3. Je vstřikováno celé množství paliva, což opět způsobí, že časy pro odpaření paliva jsou různé (stejně vždy jenom pro dva válce).



Obr. 47 – Skupinové vstřikování [11]

9.5.2.3 Sekvenční (po sobě) vstřikování

Vstřikovací ventily vstřikují celé množství paliva jednotlivě po sobě, v pořadí zapalování, těsně před sáním. Tím se dosáhne lepší přípravy směsi vzduchu s palivem a tím pádem se dosáhne vyšších výkonů.



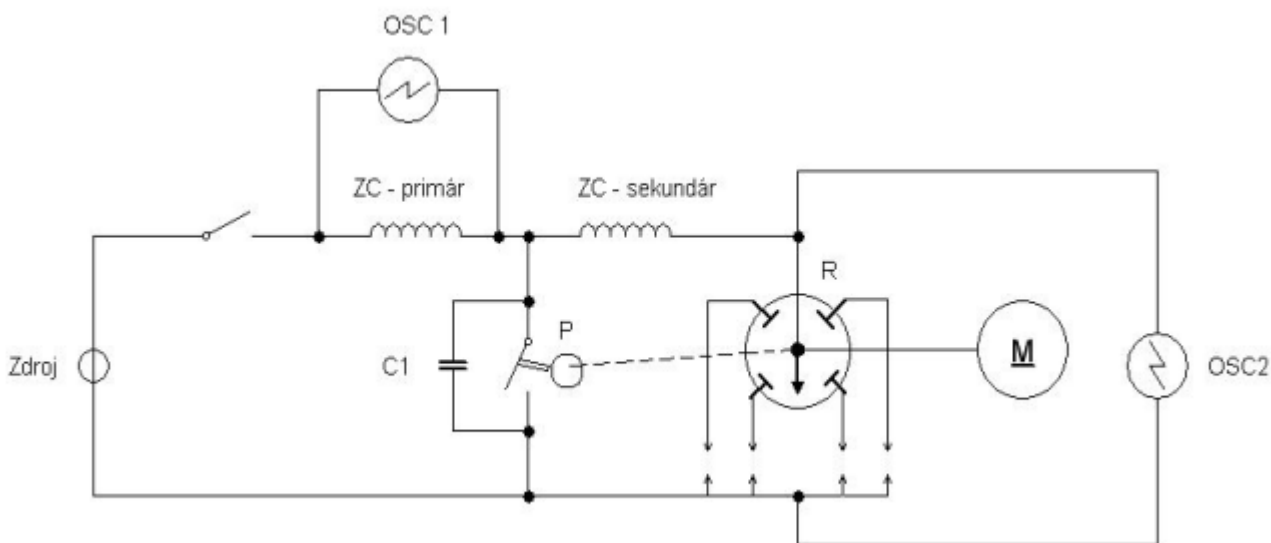
Obr. 48 – Sekvenční vstřikování [11]

10 REALIZACE V PŘEDMĚTU BAEB

Realizace pro předmět BAEB se dá uskutečnit více způsoby, nejvíce názorný a naučný by byl stacionární spalovací motor a vše potřebné k řízení předstihu a zapalování. Dalo by se demonstrovat klasické zapalování pomocí rozdělovače a jednodušších regulátorů předstihu nebo by se použily některé snímače (polohy klikové hřídele, klepání motoru, otáček, ...) a ty by dávaly signály pro řídicí jednotku, která by řídila zážeh paliva. Do programu řídicí jednotky by se dalo vstupovat a měnit charakteristiky předstihu. Také by šlo realizovat různé stavy zatížení motoru nebo různých poruch. Ale tento způsob by byl velice nákladný a byl by problém s odvodem zplodin, atd.

Složitější a dražší způsob by byl s využitím snímačů otáček, polohy hřídele, teploty nebo klepání motoru, bylo by třeba vytvořit měřicí podmínky jako v normálním motoru (ozubená kola pro snímání, určitou teplotu motoru, klepání motoru, atd.). Musela by se využít řídicí jednotka s určitým programem pro řízení zápalu. Opět by se dal měřit signál od řídicí jednotky k zapalovací cívce v závislosti průběhů různých signálů do řídicí jednotky od jednotlivých snímačů. Do měření by se mohlo zahrnout měření jednotlivých signálů ze snímačů.

Další způsob by mohl být proveden s menšími náklady a využitím elektromotoru místo stacionárního spalovacího motoru. Elektromotor by byl připojen k rozdělovači, kterým by otáčel. Na rozdělovač by byly připojeny zapalovací svíčky. Na zdroj by se připojila zapalovací cívka, která by dodávala elektrickou energii do rozdělovače, která by byla rozdělována na svíčky. Na zapalovací cívce by se dal měřit nabíjecí a vybíjecí cyklus podle rychlosti spínání přerušovače a demonstrovat důsledek ztráty energie při vysokých otáčkách motoru.



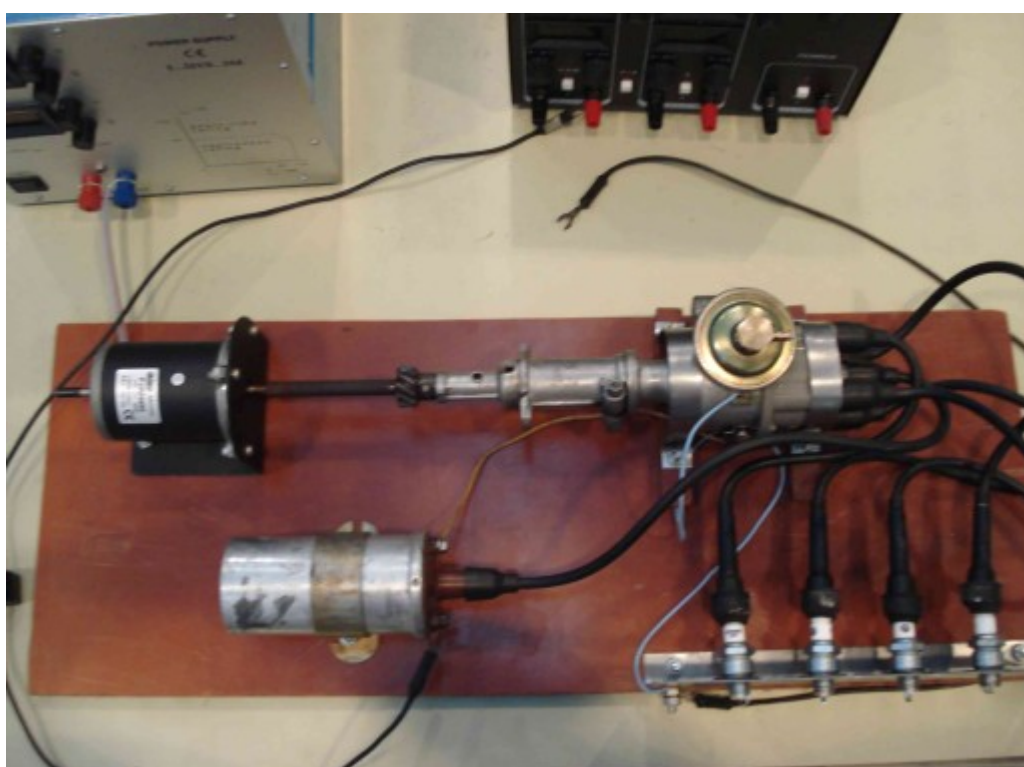
Obr. 49 – Schéma možného zapojení měřicí úlohy

10.1 Vlastní způsob realizace modelu zapalovací soustavy

Pro realizaci do cvičení z předmětu Automobilová elektrotechnika jsem si vybral poslední způsob uvedený v předchozím odstavci. Tedy model sestavený ze zdroje stejnosměrného napětí a proudu, zapalovací cívky, rozdělovače s motorkem a zapalovacími svíčkami. Stejnosměrný motorek plní funkci motoru, který by točil přes hřídel s rozdělovačem.



Obr. 50 – Měřicí pracoviště

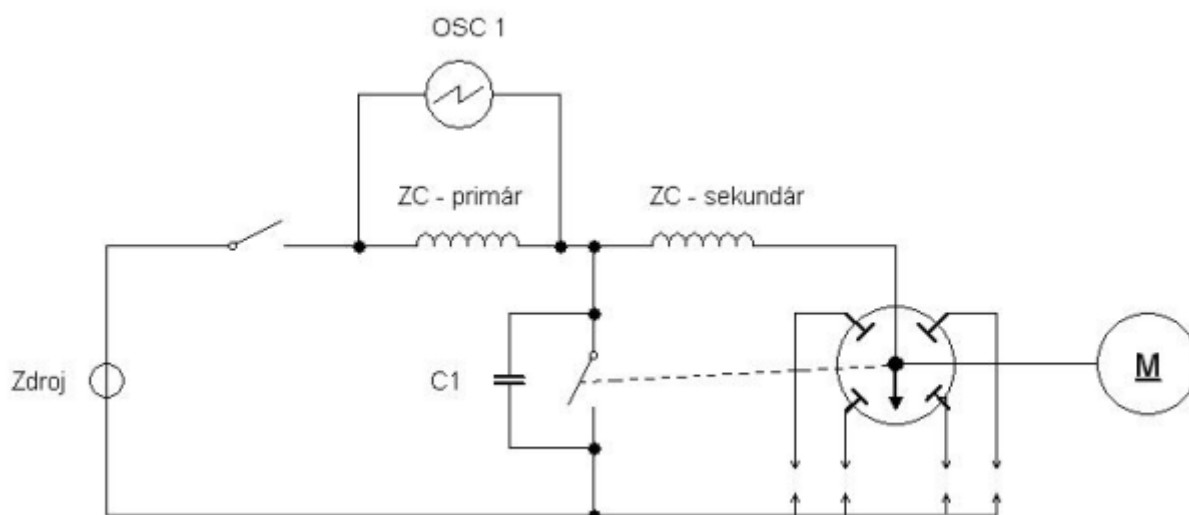


Obr. 51 – Vlastní model zapalovací soustavy

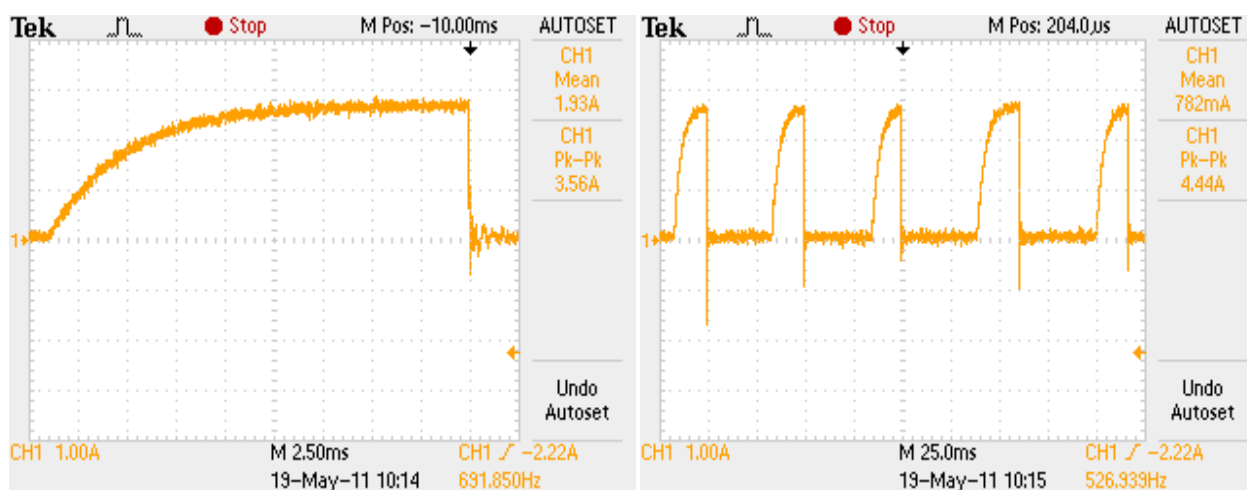
Pro realizaci jsem si vybral právě toto řešení, protože je podle mě nejjednodušší a nejvíce názorné pro pochopení pochodů v jednoduché zapalovací soustavě. Víčko rozdělovače se dá oddělat a lze se podívat na činnost rozdělovače při chodu naprázdno. Na to, jak funguje vačka s kontaktem přerušovače a lze si prohlédnout táhlo od podtlakového regulátoru, které natáčí kotevní destičku.

10.1.1 Měření na modelu

Na tomto modelu bylo provedeno měření, nejdříve byl změřen odpor primární cívky zapalovací cívky. Hodnota odporu byla určena na $R = 4 \Omega$. To znamenalo, že zapalovací cívka je schopna při napájení ze zdroje 12 V dosáhnout hodnoty ustáleného nabíjecího proudu asi 3 A (Obrázek 53). Také je vidět, jak funguje kontakt přerušovače a přerušovaně určuje distribuci vysokého napětí na svíčky přerušováním primárního proudu na cívce. Na těchto průbězích je vidět, že při menších otáčkách motoru dosáhne primární proud své ustálené hodnoty. Toto měření muselo proběhnout pouze na primární straně zapalování, protože nebyla k dispozici sonda k osciloskopu, která by zvládla napětí v řádech kV. Další měření by mohlo obsahovat změření napětí na primární a sekundární straně.

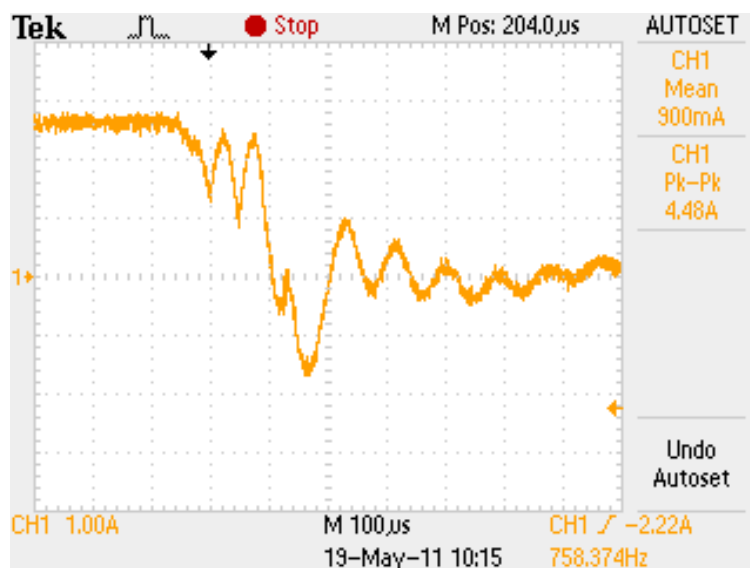


Obr. 52 – Schéma zapojení měřeného modelu zapalování



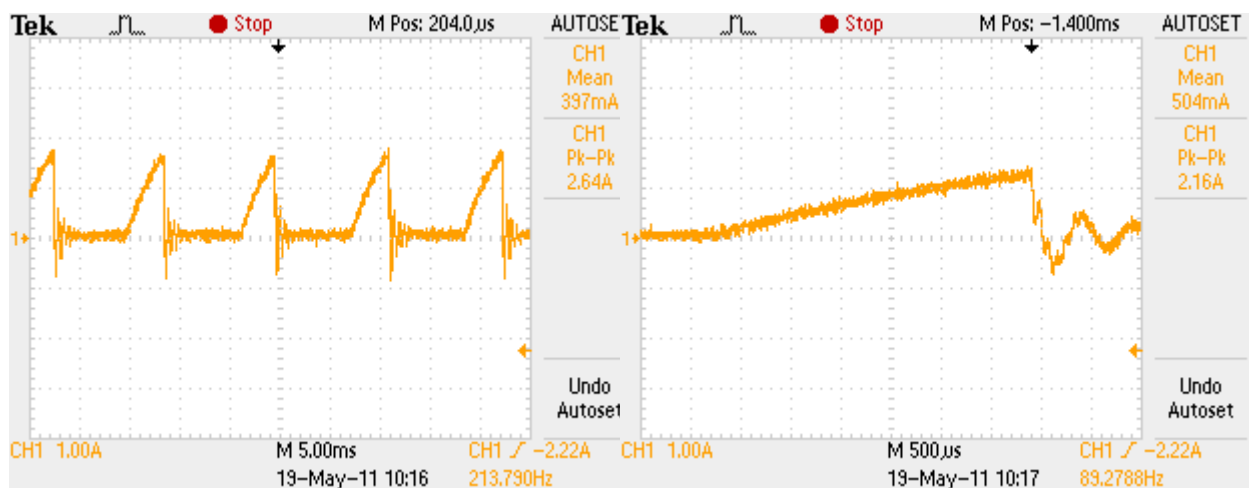
Obr. 53 – Průběh ustáleného nabíjecího proudu zapalovací cívky

Na obrázku 54 je zobrazen doběh nabíjecího proudu zapalovací cívky, ke kterému dojde, je-li přerušen kontakt přerušovače. Toto zakmitání a následný průběh proudu je dán RC členem, který představuje kontakt přerušovače a zážecí kondenzátor.



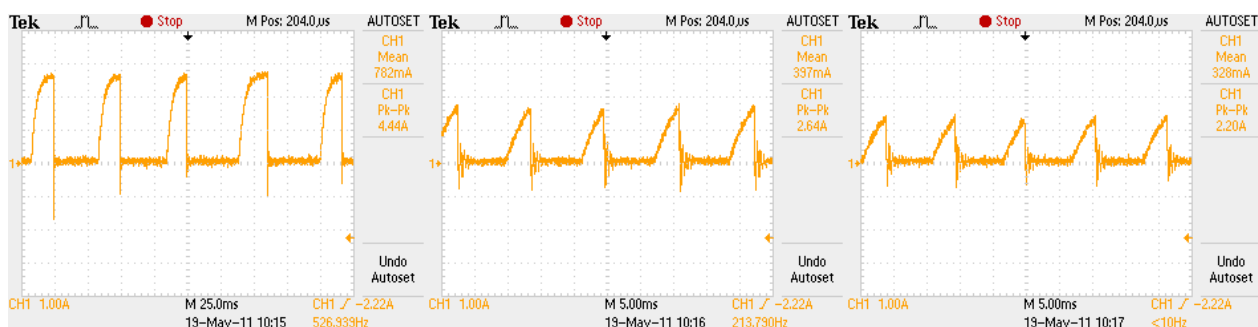
Obr. 54 – Doběh nabíjecího proudu při rozepnutí kontaktu přerušovače

Na obrázku 55 je vidět opět průběhy nabíjecího proudu, ale zde jsou zachyceny při vyšších otáčkách motoru. Je patrné, že při vyšších otáčkách motoru nestačí nabíjecí proud dosáhnout své ustálené hodnoty a přerušen ještě, před tímto vrcholem. Tím pádem také klesá energie na sekundární straně cívky a klesá také energie pro zapalovací svíčky.



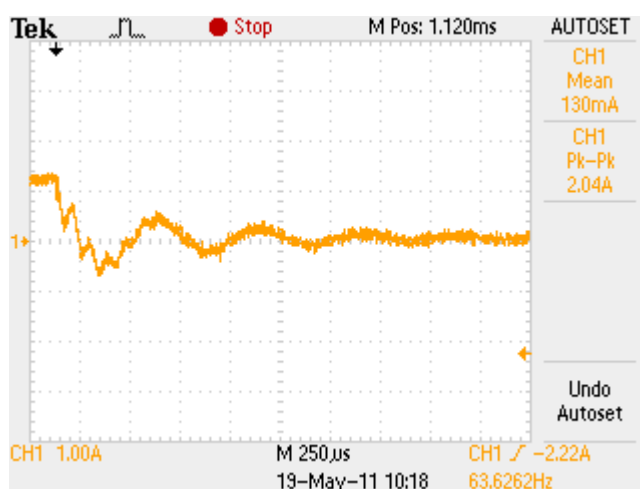
Obr. 55 - Průběh nabíjecího proudu zapalovací cívky při vyšších otáčkách

Z obrázku 56 je patrné to, co bylo řečeno v předchozím odstavci – se zvyšujícími se otáčkami motoru nestihne nabíjecí proud dosáhnout ustálené hodnoty a tím klesá energie pro zapálení paliva zapalovací svíčkou. Toto je jedna z největších nevýhod elektromechanického zapalování.



Obr. 56 – Porovnání nabíjecích proudů při různých otáčkách motoru

Průběh na obrázku 57 znázorňuje doběh nabíjecího proudu při rozepnutí kontaktu přerušovače při vyšších otáčkách motoru. Tento průběh už není tolik kmitavý, jak při nízkých otáčkách, je to způsobeno tím, že proud nedosáhne tak vysoké hodnoty a tím pádem i přechodný děj není tak prudký.



Obr. 57 – Kmitavý doběh nabíjecího proudu při rozepnutí kontaktu přerušovače při vyšších otáčkách motoru

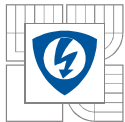
Tímto bych především chtěl poděkovat panu ing. Martinu Machovi, který mi velice pomohl se sestavením a proměřením tohoto modelu zapalovací soustavy a velice mi v tomto ohledu poradil a pomohl.

10.1.2 Další možné vylepšení modelu

Tento model je sestaven jenom ze základních prvků elektromechanické zapalovací soustavy, tedy z rozdělovače, zapalovací cívky, a zapalovacích svíček. Model lze vylepšit vytvořením podtlaku v podtlakovém regulátoru a na osciloskopu sledovat změnu řízení zápalu na svíčkách. Měření by muselo být vylepšeno o měření na sekundární straně, kde se vyskytuje napětí v řádech kV, pro toto měření by musela být na osciloskop připojena sonda pro měření vysokého napětí.

11 ZÁVĚR

Řešení zapalovacích a vstřikovacích systémů se vyvíjí stejně rychle jako ostatní elektronické systémy v automobilech. Cílem je, co nejlépe využít energii paliva a tím snížit spotřebu a emise. Emisím je v dnešní době přikládán veliký význam a všichni výrobci automobilů se předhánějí, kdo sníží emise na co nejnižší emisní hodnotu. Některá evropská velkoměsta vyžadují pro vjezd do centra města určité hodnoty emisí (podle norem EURO). Tyto EURO normy se Evropská unie snaží rozšířit do celé Evropy a tím tlačit na výrobce automobilů, aby snižovali emisní normy. Dalším, v poslední době velice diskutovaným problémem je spotřeba automobilu. Moderní vstřikovací systémy umožňují, snížit spotřebu paliva a zachovat motoru vysoký výkon i při malém objemu válců, s využitím turbodmychadel a kompresorů. Dá se předpokládat, že vývoj bude pokračovat i s nástupem jiných alternativních pohonů a paliv.



LITERATURA

- [1] PIK, M. *Mechatronika* [online]. 2004. Zapalování. Dostupné z WWW: <http://mechatronika.wz.cz/index.php?z=zap>
- [2] NAVRÁTIL, Jiří. *Elektrotechnika* [online]. 2005. Zapalování. Dostupné z WWW: <http://intranet.ssinte-karvina.cz/download/navratil/Elektrotechnika/05/>
- [3] HÁJEK, Vítězslav. *Automobilová elektrotechnika a elektronika: Elektronická prezentace*. Brno: VUT, 2005. 187 s.
- [4] ČECH, Jiří. *ŠKODA techweb* [online]. 14. 11. 2002. Zapalování. Dostupné z WWW: <http://skoda.panda.cz/clanek.php?id=384>
- [5] REICHEL, J. *Encyklopedie fyziky* [online]. 2008. Čtyřdobý zážehový motor. Dostupné z WWW: <http://fyzika.jreichl.com/index.php?sekce=browse&page=615>
- [6] FERENC, Bohumil. *Tvorba a rozvod vysokého napětí* [online]. 2000. MjAuto. Dostupné z WWW: http://www.mjauto.cz/newdocs/ferenc/fer_mo05/fer_mo05.htm
- [7] ROLLINGER, Miroslav. *Technika motocyklu - Zapalování* [online]. 2006. Motorkari.cz. Dostupné z WWW: <http://www.motorkari.cz/clanky/jak-na-to/technika-motocyklu-12.-cast-zapalovani-3576.html?kid=1068>
- [8] Brisk [online]. Technické informace - řez zapalovací svíčkou. Dostupné z WWW: <http://www.brisk.cz/page.php?page=2022>
- [9] LEMBKE, Manfred, et al. *Systém vstřikování Mono-Jetronic*. Praha: Robert Bosch, 1999. 57 s. ISBN 80-902585-4-9.
- [10] Websnadno [online]. 2010. Palivová soustava zážehových motorů. Dostupné z WWW: http://mechmes.websnadno.cz/dokumenty/pri-teo-201_palivovasoustavazazehovychmotoru.pdf
- [11] Spalovací motor. Praha, 2004. Vstřikování benzínu, s. 288-308.
- [12] Nepřímé vstřikování benzínu. In *Palivová soustava zážehového motoru* [online]. Kyjov, 2007. Dostupné z WWW: www.sossoukyjov.cz/.../Vstřikování%20benzínu%20-%20úvod%20a%20rozdělení.doc
- [13] Informace o automobilové technice: Benzínové systémy. Praha: Robert Bosch, 2008. 60 s.
- [14] Penguins lab [online]. 2010. Ignition coils. Dostupné z WWW: <http://www.penguinslab.com/ignitioncoil.htm>
- [15] RAUSCHER, Jaroslav. *Spalovací motory*. Brno, 2005. 235 s.
- [16] *Autolexicon* [online]. 26. 2. 2009. FSI (Fuel Stratified Injection). Dostupné z WWW: <http://cs.autolexicon.net/articles/fsi-fuel-stratified-injection>
- [17] Třetí přírůstek do rodiny motorů TSI. *Technický deník* [online]. 2008, 10, [cit. 2011-05-24]. Dostupný z WWW: <http://www.techtydenik.cz/detail.php?action=show&id=2685>



-
- [18] *Volkswagen* [online]. 2006. Dostupné z WWW: <http://www.volkswagen.cz/>.
- [19] *Subaru fanclub* [online]. 2010. Lambda sonda. Dostupné z WWW: http://subarufanclub.cz/wiki/technika/lambda_sonda.
- [20] *SuperVag* [online]. 2008. Obecný popis systému EOBD. Dostupné z WWW: http://www.carsoft.cz/index.php?id_document=1203456575.