

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

ŘÍZENÍ ZAPALOVÁNÍ A VSTŘIKOVÁNÍ PALIVA VE SPALOVACÍCH MOTORECH

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

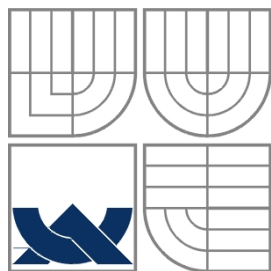
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

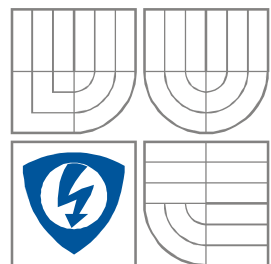
Martin Škrabal

BRNO 2009



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLGIÍ**

**ÚSTAV VÝKONOVÉ ELEKTROTECHNIKY
A ELEKTRONIKY**

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

ŘÍZENÍ ZAPALOVÁNÍ A VSTŘIKOVÁNÍ PALIVA VE SPALOVACÍCH MOTORECH

**THE POSSIBILITY OF COMPUTER GRAPHIC UTILIZATION AT POWER ELECTRICAL
ENGINEERING**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Martin Škrabal

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. Vítězslav Hájek, CSc.



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav výkonové elektrotechniky a elektroniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Silnoproudá elektrotechnika a výkonová elektronika

Student: Škrabal Martin

Ročník: 3

ID: 72865

Akademický rok: 2008/09

NÁZEV TÉMATU:

ŘÍZENÍ ZAPALOVÁNÍ A VSTŘIKOVÁNÍ PALIVA VE SPALOVACÍCH MOTORECH

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 doporučení vedoucího

Termín zadání: 1.10.2008

Termín odevzdání: 29.5.2009

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

doc. Ing. Čestmír Ondrůšek, CSc.
předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor semestrální práce nesmí při vytváření semestrální 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 § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

Abstrakt

Bezpochyby nejdůležitějším a naprosto nezbytným elektrickým systémem nacházejícím se ve vozidlech, která jsou poháněna spalovacím zážehovým motorem je zapalovací soustava jejich motoru. Bez této by motor, potažmo celé vozidlo nemohlo fungovat správným způsobem. Od počátku existence zážehových motorů vykonala zapalovací soustava dlouhý a složitý vývoj poháněný snahou o co nejlepší funkci motoru. Na rozdíl od zapalování, které muselo fungovat od samého počátku vývoje zážehových motorů došlo k počátkům využití vstřikování výrazněji až v 70. letech 20. století. Od jednoduchých řídicích systémů zapalování i vstřikování pracujících na mechanickém principu došel vývoj k elektronickým řídicím jednotkám. V nejmodernějších spalovacích motorech je řízení zapalování i vstřikování prováděno pomocí společné soustavy s jednou centrální řídicí jednotkou. Nejpoužívanější systém tohoto druhu-systém Motronic od firmy Bosch-dnes používá v různých obměnách velké množství výrobců automobilů.

V historii bylo hlavním cílem řídicí soustavy dosáhnout co možná nejvyššího výkonu motoru, v dnešní době přicházející ropné krize se dostávají do popředí požadavky na spotřebu paliva a rovněž plnění emisních norem (v ČR tzv. EURO normy).

Abstract

Undoubtedly the most important and absolutely essential electrical systems located in vehicles which are powered by internal combustion spark-ignition engine is the ignition system of the engine. Without this the engine, or the whole vehicle can not operate properly. Since the beginning of spark ignition engines ignition system executing a complex and long term development effort driven by the best function of the engine. Unlike the ignition, which had to work from the outset the development of spark ignition engines has been to introduce more to the use of injection in the 70 the 20th century. From simple control systems, ignition and injection on the mechanical principle of working out the development of electronic management units. In most modern combustion engines is the management of the ignition and injection is carried out using a common system with one central control unit. Most of this type of system-Motronic system from Bosch-used today in different variations large number of producers cars. In history was the main objective of the management system to achieve the highest possible power, now coming oil crisis be brought to the forefront of the fuel consumption and the implementation of emission standards (in the Czech Republic EURO standards).

Klíčová slova

Bateriové zapalování; magnetové zapalování; motronic; piezoelektrické zapalování; předstih; řídicí jednotka; řízení motoru; složení směsi; tvorba směsi; vstřikování, vstřikovací tryska; zapalovací cívka; zapalovací svíčka; zapalování

Keywords

Battery ignition; magnet ignition; motronic; piezo ignition; advanced; control unit, the engine management, the composition of the mixture, creating a mixture; injection, injector, ignition coil, spark plug, ignition

Bibliografická citace

[1] Šťastný, J., Elektronika pro automobily. ČVUT Praha 1982: 21 s

[2] Adler,U., Systém vstřikování paliva KE-Jetronic. Studdgart 1994: 30s

[3] Pik, M.: Mechatronika-JikPik.

<<http://mechatronika.wz.cz/index.php?z=zap> > 23.3.2009: 18s

[4] Lázňovský, V.: Zapalování.

<<http://lazo.czechian.net/elektrika/zapalovani.htm#ZAPALOVANI>> 2.4.2009: 13s

Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Řízení zapalování a vstřikování ve spalovacích motorech 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

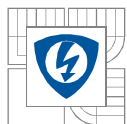
Podpis autora

Poděkování

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

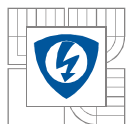
V Brně dne

Podpis autora



OBSAH

1 Úvod.....	9
2 Teorie spalování.....	10
2.1 Složení zápalné směsi.....	10
2.2 Vliv zapalování.....	11
3 Způsoby zapalování spalovacích motorů.....	12
3.1 Historický vývoj.....	12
3.2 Typy zapalování.....	13
3.2.1 Bateriové zapalování.....	13
3.2.2 Magnetové zapalování.....	18
3.2.3 Piezoelektrické zapalování.....	21
4 Tvorba směsi.....	22
4.1 Karburátor.....	22
4.2 Vstřikování paliva.....	23
4.2.1Centrální (jednobodové) vstřikování	23
4.2.2 Vícebodové vstřikování.....	25
4.2.2.1 Vstřikování paliva do sacích kanálů (nepřímé vstřikování).....	25
4.2.2.2 Vstřikování paliva do spalovacího prostoru	27
5 Systém řízení motoru Motronic.....	28
5.1 Způsob funkce systému.....	29
5.2 Struktura systému.....	30
5.2.1 Palivový systém.....	30
5.2.2 Vysokonapěťový obvod zapalování.....	32
5.2.3 Snímání provozních dat.....	32
5.2.4 Elektronická řídicí jednotka.....	36
6 Možnosti realizace cvičení z předmětu BAEB.....	39
6.1 Konstrukce měřícího přípravku.....	39
6.2 Praktické zpracování úlohy.....	41
7 Závěr.....	46
Použitá literatura.....	47



SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 2.1: Vliv součinitele přebytku vzduchu λ na výkon P a měrnou spotřebu paliva b_e

Obrázek 2.2: Vliv součinitele λ na složení emisí

Obrázek 3.1: Schéma bateriového zapalování

Obrázek 3.2: Průběh napětí na sekundárním vinutí cívky v závislosti na otáčkách

Obrázek 3.3: Průběhy proudu v primárním okruhu zapalování při různých otáčkách motoru

Obrázek 3.4: Průběhy primárního proudu a sekundárního napětí mezi dvěma sepnutími kontaktů přerušovače

Obrázek 3.5: Schéma magnetového zapalování

Obrázek 3.6: Závislost primárního proudu magnetového zapalování na úhlu sepnutí

Obrázek 3.7: Velikost magnetického odtrhu

Obrázek 3.8: Princip piezoelektrického zapalování

Obrázek 4.1: Venturiho trubice (základní část karburátoru)

Obrázek 4.2: Centrální vstřikování

Obrázek 4.3: Vícebodové vstřikování

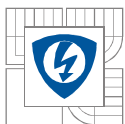
Obrázek 4.4: Vstřikovací tryska spojitého vstřikování

Obrázek 4.5: Přímé vstřikování

Obrázek 5.1: Schéma řízení motoru Motronic

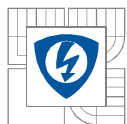
Obrázek 5.2: 3D zapalovací mapa

Obrázek 6.1: Schéma zapojení měřicí úlohy



SEZNAM TABULEK

Tabulka 6.1: Průběh maximální a efektivní hodnoty proudu primárního vinutí v závislosti na otáčkách

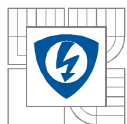


1 ÚVOD

Zapalovací soustava tvoří bezpochyby nejdůležitější část elektrické výbavy každého spalovacího motoru. Bez této by motor nemohl vykonávat svoji základní funkci-přeměnu energie chemicky vázané v palivu na mechanickou energii na jeho výstupní hřídeli. Tato soustava se stala nedílnou součástí spalovacího motoru a od jeho počátků prošla složitým vývojem od jednoduchých nažhavených trubek vkládaných do spalovacího prostoru až po dnešní výkonné a spolehlivé zapalovací soustavy řízené elektronickými obvody. K největšímu průlomu v zapalovacích systémech došlo roku 1902, kdy Robert Bosch přišel na trh s prvním magnetoinдуктивním zapalováním, na jehož základě se vyvinuly další zapalovací systémy, které můžeme rozdělit do 3 základních skupin: bateriové zapalování, magnetové zapalování a piezoelektrické zapalování.

S trochou nadsázky lze říci, že ke správné funkci spalovacího motoru musí být splněny 2 podmínky: je třeba mít ve spalovacím prostoru co zapálit a čím zapálit. Druhou podmínku máme zásluhou zapalovacího systému splněnu a zbývá zajistit dodávku směsi paliva se vzduchem. K tomuto účelu se v minulosti používaly karburátory, ale kvůli stále se zpříšňujícím požadavkům na kvalitu spalovacího procesu a s ním souvisejícího plnění emisních norem a požadavků na spotřebu paliva dochází v posledních deseti letech k obrovskému rozvoji systémů vstřikování paliva. Tyto lze rozdělit do několika kategorií, z nichž momentálně nejvyužívanější je vícebodové vstřikování před sací ventily. V blízké budoucnosti se počítá s výraznějším prosazením přímého vstřikování benzínu, které je schopno v režimech, kdy není třeba špičkový výkon dodávat velmi chudé směsi a tím výrazně snižuje spotřebu paliva.

Jelikož spalovací motor pracuje v širokém rozsahu otáček a zatížení, nelze pro nastavení zapalování a vstřikování použít konstantní hodnoty, nýbrž je nutno stanovit jeho pracovní podmínky a na jejich základě dodat přesné množství paliva určitého složení, které následně ve správný okamžik zapálíme. V minulosti většinou probíhalo pouze řízení velikosti předstihu a to pomocí mechanických či elektronických systémů. S příchodem vstřikování započalo řízení dodávky paliva. Každý systém v automobilech, ale i mimo ně se snažíme zkonstruovat tak, aby byl pokud možno co nejmenší s nízkými nároky na údržbu a opravy. Proto v současné době dochází ke spojování systémů řízení zapalování a vstřikování pomocí soustav s elektronickými řídicími jednotkami. Pravděpodobně nepoužívanější je systém řízení motoru Motronic od firmy Bosch, který pomocí snímačů vyhodnocuje provozní stav motoru, aby mohlo následně v řídicí jednotce dojít ke zvolení hodnot pro vstřikování i zapalování, na základě kterých bude motor následující otáčku fungovat.



2 TEORIE SPALOVÁNÍ

2.1 Složení zápalné směsi

Spalovací motory automobilů přeměňují energii chemicky vázanou v palivu na mechanickou práci. Výkon vytvářený motorem vzniká přeměnou chemické energie z paliva na teplo a přeměnou tohoto tepla na mechanickou práci. Přeměna chemické energie na teplo probíhá spalováním uhlovodíkového paliva. Je k tomu nezbytný kyslík, obvykle přiváděný se vzduchem nasávaným do spalovacího prostoru motoru.

U zážehových motorů je obvyklým palivem automobilový benzin, jehož směs se vzduchem se zapálí zážehem od elektrického vývoje přivedeného z vnějšího zdroje. Má-li se co nejvíce energie vázané v palivu přeměnit na teplo, je třeba, aby palivo co nejdokonaleji shořelo. Spalování směsi paliva se vzduchem začíná zapálením. Aby k tomu došlo, musí být složení směsi takové, aby byla zapálitelná.

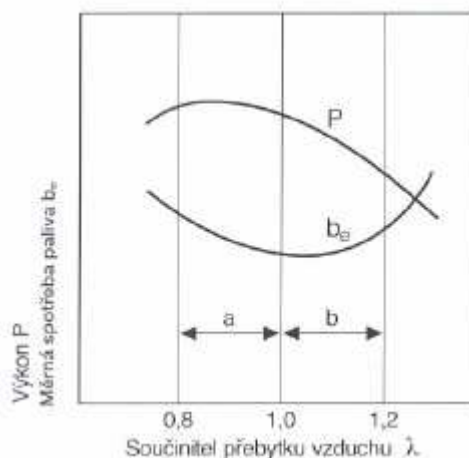
Množství vzduchu ve směsi potřebné k úplnému spálení paliva bylo stanoveno výpočtem a činí 14,7 kg vzduchu na 1 kg paliva. Směs takového složení se nazývá stechiometrická; neobsahuje ani přebytek paliva, ani přebytek kyslíku.

Složení směsi je charakterizováno vzduchovým číslem λ daným poměrem přivedeného množství vzduchu k teoretické potřebě. Pro stechiometrickou směs tedy platí $\lambda=1$. Bude-li směs obsahovat více vzduchu než je potřebné, nazývá se chudou a její $\lambda>1$. Bude-li naopak vzduchu méně, směs bude bohatá, tj. s přebytkem paliva a $\lambda<1$.

Zážehové motory používají jako paliva automobilového benzínu. Nejlepší podmínky zápalnosti jsou u směsi téměř stechiometrické, tj. při $0,95<\lambda<1$. V poslední době se rozšiřují zážehové motory pracující s velmi chudými směsmi, u kterých se λ blíží až ke 2,7. Většinou využívají vrstvení směsi spolu s řízením jejího pohybu ve válci.

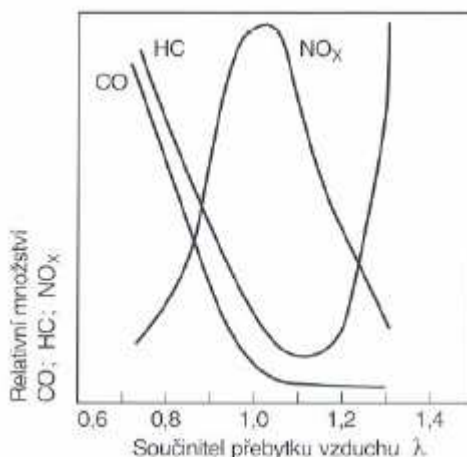
Na složení směsi je závislá i termodynamická účinnost přeměny energie obsažené v palivu na mechanickou práci při jejím shoření. Při bohaté směsi $\lambda<1$ je výkon motoru vyšší, avšak měrná spotřeba roste. U chudých směsí $\lambda>1$ je výkon nižší, ale měrná spotřeba klesá.

Vliv součinitele λ na běh motoru ilustrují obrázky 2.1 a 2.2



Obrázek 2.1: Vliv součinitele přebytku vzduchu λ na výkon P a měrnou spotřebu paliva b_e

Převzato z Bosch-systém vstřikování paliva KE – Jetronic



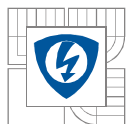
Obrázek 2.2: Vliv součinitele λ na složení emisí

Převzato z Bosch-systém vstřikování paliva KE – Jetronic

2.2 Vliv zapalování

Pro zapálení stlačené směsi je rozhodující, aby alespoň v jednom místě byla dosažena nebo překročena zápalná teplota. Kromě toho je nutné, aby se zapálil dostatečný objem směsi. Hoří-li její malý objem, jsou tepelné ztráty na ohřev okolní nezapálené směsi na zápalnou teplotu vyšší, než tepelná energie produkovaná hořícím objemem. Teplota tedy klesá a po poklesu pod bod hoření plamen zhasne.

Zážehové zapalování vyžaduje cizí zdroj energie, který dodá potřebnou energii a teplotu. Tato energie se přivádí do směsi elektrickou jiskrou mezi elektrodami zapalovací svíčky. Svíčka je vhodně umístěna ve spalovacím prostoru, kde je směs stlačována.



Jiskra mezi elektrodami může přeskóčit pouze tehdy, je-li na ně přivedeno dostatečně vysoké napětí. Napětí se tedy z nuly rychle zvýší na průrazné a po přeskoku jiskry klesne na napětí oblouku. Během trvání oblouku mezi elektrodami zapalovací svíčky má směs příležitost vzplanout. Průrazné napětí je závislé na vzdálenosti elektrod svíčky, kompresním tlaku ve válci při stlačení směsi a na jejím složení i teplotě.

Není-li zapálen dostatečně velký objem, klesá teplota spalování a dochází k nedokonalému nebo neúplnému shoření paliva a následným růstem emisí HC. Výkon motoru klesá, takže měrná spotřeba (vztahuje se k výkonu) roste. Nedokonalé hoření se projevuje i nerovnoměrným chodem motoru. Mimo velikost zažehnutého objemu směsi má na průběh jejího shoření vliv i teplota jiskry, která směs zažehne. Teplota je závislá na elektrické energii uvolněné do výboje. Zdrojem elektrické energie u automobilů a jiných dvoustopých vozidel je obvykle akumulátorová baterie. Je to zdroj nízkého stejnosměrného napětí. Jeho velikost nepostačuje pro přeskok jiskry a ani nemůže být jednoduše transformováno na vyšší hodnotu. Proto se provádí jeho přeměna v zapalovací soustavě, přičemž se pro nahromadění energie využívá buď indukčnost nebo kapacita. Pro elektronické zapalovací soustavy se používá označení zapalování tranzistorové nebo zapalování tyristorové, což souvisí se spínacím elektronickým prvkem, kterým je nahrazován mechanický přerušovač bateriového zapalování. Ten je jedním z dílů omezujících dosažení dokonalejšího průběhu spalování a tím i zlepšení termodynamické účinnosti motoru a snížení jeho emisí.

3 ZPŮSOBY ZAPALOVÁNÍ SPALOVACÍCH MOTORŮ

3.1 Historický vývoj

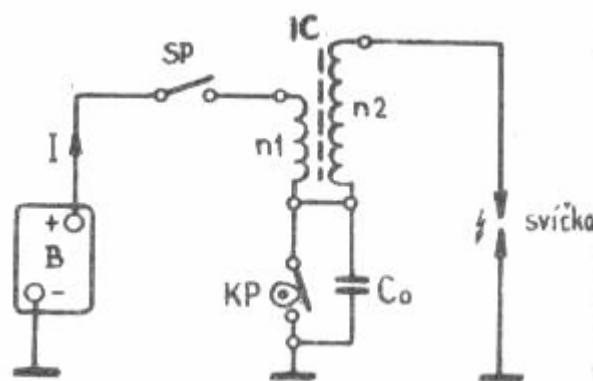
Historie zapalovacích soustav sahá až do předminulého století. Zapalování se skládalo z jednoduché trubky, která se rozžhavía, umístila do spalovacího prostoru válce motoru a po ručním roztočení motoru svým teplem zapalovala v nedefinovatelnou dobu nasátou směs. Rozžhavenost byla udržována spalovacím procesem tak dlouho, dokud směs proudila do válce. Motory tehdy nebyly schopné vysokých otáček, kompresní poměry se pohybovaly kolem 4-6:1 a tak tato metoda vyhovovala. Později se místo trubky používala žárová stěna, která se z vnějšku "letlampou" nažhavía. Odzvonilo jí s nástupem vysokotlakých vstřikovacích čerpadel. Tento systém se dodnes používá u modelářských motorků, ovšem namísto trubky je v hlavě motoru umístěna žhavicí svíčka. U těchto vysokootáčkových motorů nelze prakticky jiný způsob zapalování použít. Zapalovací soustava jiného typu je pro modely letadel příliš těžká a navíc spolehlivě zapalovat až do 36 000 ot/min je pro dostupné zapalovací systémy nemožné.

K revoluci v zapalování spalovacích motorů došlo v roce 1902, kdy Robert Bosch přišel na trh se zapalovací svíčkou a magnetoinduktivním zapalováním, jehož principu se používá dodnes. Přestože má tento systém velmi malou účinnost (příkon je více než tisíckrát větší než získaná energie jiskry), žádný jiný typ zapalování se tak dobře neosvědčil. První zapalovací svíčky byly složené z několika kusů a jejich životnost nepřesahovala 1 000 km. Již tehdy měla několik vnějších elektrod, které se dnes vydávají za vrchol Hi-Tech. Pro zimní podmínky se používaly svíčky jiné než pro letní období. Ve svíčkách se udělal snad největší pokrok s ohledem na jejich

tehdejší a dnešní vlastnosti. Bylo provedeno nespočet různých pokusů a měření vzhledem k vlivu zapalovacích soustav na činnost motoru, aby se stanovila hranice, pod kterou a přes kterou jít nelze (výkon zapalovací soustavy v přepočtu na energii jiskry atd.). Za tu dobu vzniklo množství různých konstrukcí od klasických, přes různé bzučákové prototypy až po dnešní výkonné a spolehlivé elektronické systémy.

3.2 Typy zapalování

3.2.1 Bateriové zapalování

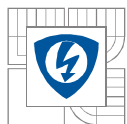


Obrázek 3.1: Schéma bateriového zapalování

Převzato z literatury [1]

Primární proudový okruh probíhá od kladného pólu baterie B - je-li kontakt ve spínací skřínce SP zapnutý - přes primární vinutí n_1 cívky IC přes kontakty přerušovače KP k nimž je paralelně zapojen kondenzátor C_o na záporný pól baterie připojený ke kostře. V okamžiku rozpojení kontaktu přerušovače KP přeskočí na svíčke jiskra. Kontakt KP je ovládán vačkou pevně spojenou s hřídelí klikového mechanismu.

Vysoké napětí pro zapalovací jiskru se získává indukci- rychlou změnou magnetického toku v zapalovací cívce. Dochází přitom k několika postupným transformacím energie. Při sepnutí kontaktů přerušovače prochází primárním vinutím cívky proud (4 až 6 A), který vytváří magnetické pole a předává tím energii do magnetického obvodu cívky. Při přerušení styku kontaktů a tedy při přerušení proudu v primárním okruhu (baterie - spínací skříňka - primární vinutí cívky - kontakt přerušovače baterie) zaniká na okamžik magnetické pole vyvolané průtokem proudu v primárním obvodu. Dochází tak k důležitému faktu - časové změně proudu a k přeměně elektrické energie.



Velikost indukovaného napětí v sekundárním vinutí cívky je úměrná:

a/ velikosti změny proudu v primárním obvodu $I_{MAX} = \frac{U}{R} = I$

b/ poměru počtu primárních a sekundárních závitů $p = \frac{n_2}{n_1}$

c/ součiniteli vazby k - vzájemné blízkosti obou vinutí indukční cívky

d/ energii, nahromaděné v magnetickém poli celého systému (v indukční cívce)

$$W_L = \frac{1}{2} \cdot L \cdot I^2$$

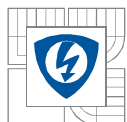
e/ rychlosti změny proudu v primárním vinutí cívky $\frac{\Delta I}{\Delta t}$

V podstatě své činnosti pracuje zapalovací cívka jako transformátor (je známo, že stejnosměrné napětí není možno transformovat) a na rozdíl od něho musí být její magnetický obvod upraven pro možnost akumulace energie pro jiskru i pro krytí všech průvodních ztrát. Po přerušení kontaktů nemůže se energie již doplňovat z akumulátoru a celý další průběh musí být zajištěn z energie dodané již při vytváření magnetického pole.

Fyzikální pochody ve skutečné zapalovací soustavě jsou složitější. Obvody nejsou jednoduché jako na schématu, část indukčnosti, kapacity i odporu je rozložena spojitě na přívodech i ve vinutí, není těsná vazba mezi primárním a sekundárním vinutím cívky apod.

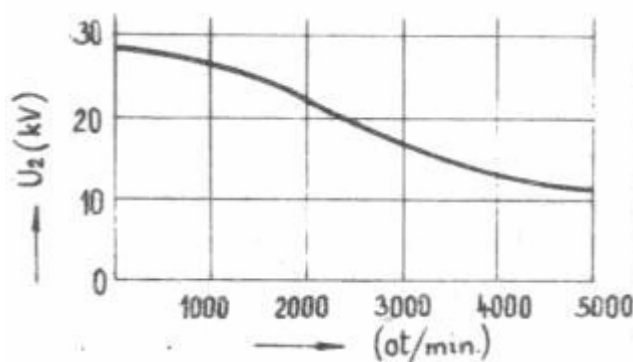
Sekundární strana tvoří kmitavý obvod vázaný na obvod primární. Při připojení napětí se indukuje napětí i na sekundární stranu a způsobuje tam tlumené elektrické kmity. Zakmitání je však zpravidla krátké a výrazněji se může projevit jen při mimořádných podmínkách, např. při příliš velkých sekundárních kapacitách, příliš malém sekundárním odporu nebo při velmi krátkých časech sepnutí kontaktů. Tato střídavá složka, která by překryla celou dobu sepnutí kontaktů, by mohla mít nepříznivý vliv i na podmínky při přerušení obvodu kontakty.

Napětí, které se indukuje do sekundárního vinutí při vytváření magnetického pole po sepnutí kontaktů, je transformované napětí akumulátoru a jeho velikost je určena transformačním poměrem cívky. Při transformačním poměru 1 : 90 (obvyklý u bateriových cívek), může být např. při akumulátoru s napětím 6 V nejvýše 540 V, a to je pro průraz na svíčke v pracovních podmínkách málo. Teoreticky, pokud se transformační poměr zvětšil tak, aby se indukovalo do sekundárního vinutí již přímo zapalovací napětí, mohli bychom získat zapalovací soustavu, která by měla proti běžnému bateriovému zapalování mnoho výhod, nebylo by např. nutné omezovat indukčnost, krátké doby sepnutí kontaktů by byly naopak výhodné, mohlo by se dosáhnout vysokého počtu jisker za minutu, nebyla by nutná akumulace energie do magnetického pole cívky a místo zapalovací cívky by se používal zapalovací transformátor. S kontaktním přerušovačem



není však tato soustava řešitelná, protože potřebuje velmi krátké časy spínání a vypínání velkých proudů. Obdoba této soustavy se používá u některých moderních soustav, je však řešena elektronicky.

Pro činnost bateriového zapalování má rychlost zvětšování proudu a velikost akumulované energie základní význam. Doba mezi dvěma po sobě následujícími výboji se zkracuje při zvyšování rychlosti otáčení motoru a kromě toho jen část tohoto intervalu může být využita k sepnutí kontaktů. Je proto důležité, aby i při největším potřebném počtu jisker za vteřinu byla doba sepnutí kontaktů dostatečná pro akumulaci dostatečného množství energie do magnetického pole. To tedy znamená, že indukované napětí na sekundární straně cívky závisí na otáčkách motoru. Jeho průběh je schematicky znázorněn na obrázku 3.2. S narůstajícími otáčkami motoru se sekundární napětí podstatně zmenšuje, při maximálních otáčkách motoru to bude přibližně polovina napětí při volnoběhu. Prakticky to znamená, že při velmi vysokých otáčkách motoru může nastávat porucha v zapalování.

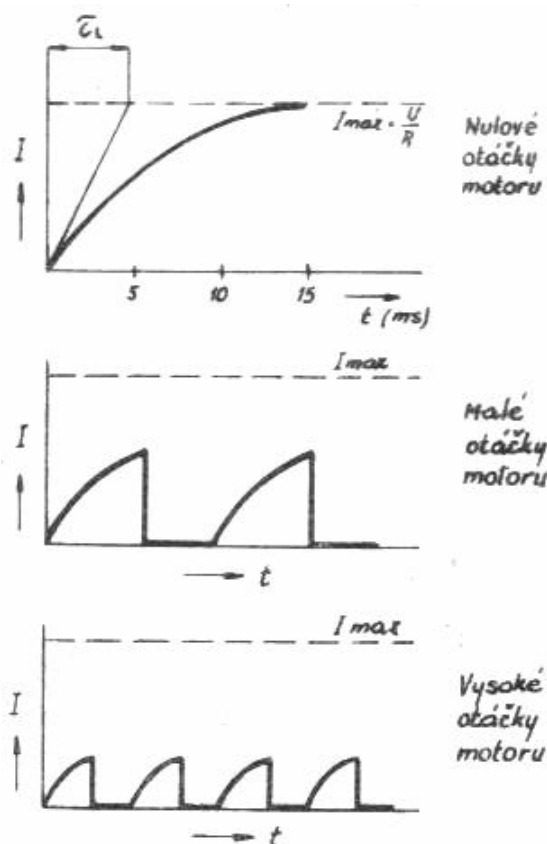


Obrázek 3.2: Průběh napětí na sekundárním vinutí cívky v závislosti na otáčkách

Převzato z literatury [1]

Vysvětlení je poměrně jednoduché. Indukční cívku je třeba chápat jako akumulátor energie, který se za jistý čas (asi 1/3 pracovního cyklu, když jsou kontakty přerušovače sepnuty) "nabíjí". Poměrně značná indukčnost L_1 primárního vinutí indukční cívky klade však stejnosměrnému proudu podstatně větší odpor, než by vyplývalo z činného odporu (stejnosměrného) jejího vodiče - vinutí.

Proud I přes primární vinutí narůstá ne skokem v okamžiku sepnutí kontaktů přerušovače. Důsledek toho všeho vidíme na obrázku 3.3, který znázorňuje průběh proudu protékajícího cívkou a jeho maximální velikost, kterou za uvedený čas (při uvažovaných otáčkách motoru) vůbec může dosáhnout.

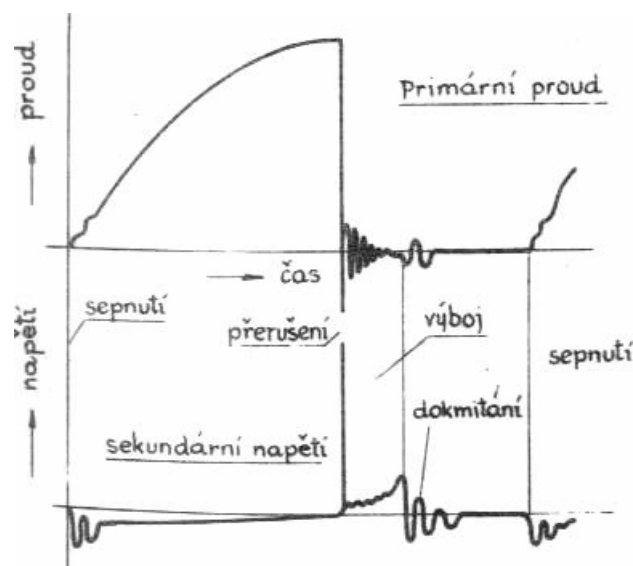


Obrázek 3.3: Průběhy proudu v primárním okruhu zapalování při různých otáčkách motoru

Převzato z literatury [1]

Zvětšování počtu zážehů za sekundu můžeme dosáhnout snížením potřebného množství energie (např. omezením různých průvodních ztrát) nebo zkrácením časové konstanty primárního obvodu. Oba způsoby mají však omezené možnosti. Ačkoliv množství energie pro vlastní zapalovací jiskru je vzhledem k energii dodané do magnetického pole téměř zanedbatelné (je menší než 1/1000), je jen energie potřebná k nabití sekundárních kapacit zapalovací cívky na nutné průrazové napětí velmi značná a sekundární kapacity lze z konstrukčních i technologických důvodů jen velmi obtížně zmenšit. Z uvedeného je zřejmá jedna ze základních vlastností bateriového zapalování, totiž velmi dobrý výkon při malé rychlosti otáčení motoru, ale rychlé ubývání energie při velké rychlosti otáčení.

Ve věcech energetické bilance hrají důležitou úlohu též kontakty přerušovače. Značné proudy při poměrně malé ploše kontaktů způsobují opalování kontaktů, změnu jejich vzdálenosti, což při konstantním tvaru vačky způsobuje pozdější uzavření kontaktů (čímž se zkracuje celkový čas sepnutí a tedy se opět zmenšuje nahromaděná energie W_L) a mění předstih.



Obrázek 3.4: Průběhy primárního proudu a sekundárního napětí mezi dvěma sepnutími kontaktů přerušovače

Převzato z literatury [1]

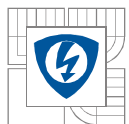
Po rozpojení kontaktů přerušovače je obvod proudu přerušen, přemost'uje jej kondenzátor zapojený paralelně ke kontaktům přerušovače. Ten je ale pro stejnosměrný proud nevodivý. Nebrání to však tomu, aby se celá energie WL nashromážděná v magnetickém obvodu indukční cívky nepřemístila do kondenzátoru C_0 a nenabíla jej tak na poměrně vysoké napětí.

Přelévání energií z indukční cívky do kondenzátoru a zpět probíhá vícenásobně. Důsledkem toho je, že obvodem indukční cívky teď protéká střídavý proud neharmonického průběhu, který v sekundárním vinutí indukuje napětí, potřebné pro výboj na svíčke. Toto vysoké sekundární napětí je úměrné převodu indukční cívky, tedy poměru počtu sekundárních a primárních závitů.

Při každém "přelévání se" energie z indukční cívky do kondenzátoru a naopak, tedy při každé změně magnetického pole cívky na elektrický náboj kondenzátoru, se v sekundárním vinutí naindukuje vysoké napětí. Jeho velikost postupně klesá, protože celý obvod není beze ztrát (činná složka odporu vodiče indukční cívky, svod kondenzátoru a jiné). V důsledku zmenšování sekundárního napětí se stává, že indukované napětí v druhé nebo třetí periodě tlumeného kmitu soustavy nepostačí na proražení mezery na zapalovací svíčke. Mechanismus vzniku vysokého sekundárního napětí je patrný z obrázku 3.4.

Indukované sekundární napětí nezávisí jen na vlastnostech indukční cívky (indukčnosti L_1 a převodu p), ale i na kapacitě použitého kondenzátoru.

Kondenzátor však v obvodu plní ještě jednu funkci, která se mu z neznalosti problematiky často připisuje jako hlavní důvod, proč v obvodě zapalování vlastně kondenzátor je. Při rozpojení kontaktů přerušovače možno pozorovat oblouk mezi kontakty. Oblouk je elektricky vodivý a ačkoliv je obvod zdánlivě rozpojený (kontakty jsou oddálené), protéká primárním obvodem ještě stále proud přes oblouk a navenek se tedy jeví obvod jako uzavřený. Protože víme, že právě při rozpojení kontaktů přerušovače (přesněji řečeno při přerušení proudu v primárním obvodu, tedy po likvidaci oblouku) dochází k časové změně proudu a tak dochází k indukci vysokého napětí v



sekundárním vinutí cívky, vidíme, že likvidace a zamezení oblouku je otázka, která není zanedbatelná. Kondenzátor má tedy zkrátit čas rozpojení (skutečného přerušení) kontaktů, urychlit tak časovou změnu proudu a zlepšit tak indukci napětí na sekundární straně indukční cívky.

Z uvedených poznatků vyplývají protichůdné požadavky na kapacitu kondenzátoru:

a/ aby zhášení oblouku bylo co nejrychlejší, měla by být kapacita kondenzátoru co největší. Tak by se zamezilo oblouku a časová změna proudu by byla zdánlivě nejrychlejší a podmínky pro indukci sekundárního napětí nejpříznivější. Fyzikálně totiž kondenzátor o velké kapacitě zabrání rychlému vzrůstu sekundárního napětí, což protichůdný a nežádoucí vliv.

b/ aby kmitání celé soustavy bylo co nejrychlejší a přeměna magnetického pole na elektrický proud co nejkratší, musí být rezonanční kmitočet soustavy co nejvyšší, čas kmitání a vzájemné výměny energie velmi krátké a rychlé. Tomu ale odpovídá při konstantní indukčnosti cívky L co nejmenší kapacita kondenzátoru.

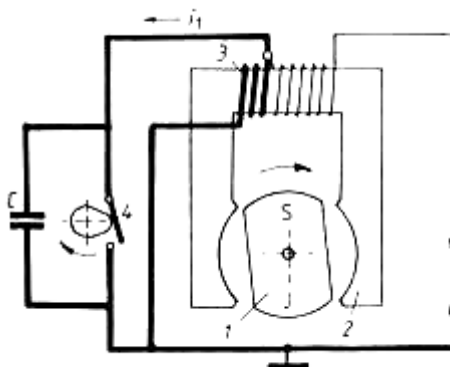
Ve skutečnosti se potom volí kompromis a protože mechanické vlastnosti přerušovačů i proudy přerušované kontakty se obvykle volí blízko k technickým mezím, které se u různých konstrukčních úprav příliš neliší, je i kapacita kondenzátoru poměrně málo odlišná, bývá okolo 0,3mF.

Výše uvedené je důvodem, proč při poruše na kondenzátoru nepracuje zapalování. Když je kondenzátor proražený - zkratovaný, protéká přes něj neustále proud a rozpínání kontaktů přerušovače je naprosto neúčinné, takže nedochází k časové změně proudu. Naopak je-li kondenzátor přerušený - např. utržený přívodní kablík, nedochází, jak jsme si již řekli, k oscilacím proudu ve vinutích indukční cívky a na sekundární straně indukční cívky se proto indukuje mnohem menší napětí, které nestačí k průrazu na svíče.

3.2.2 Magnetové zapalování

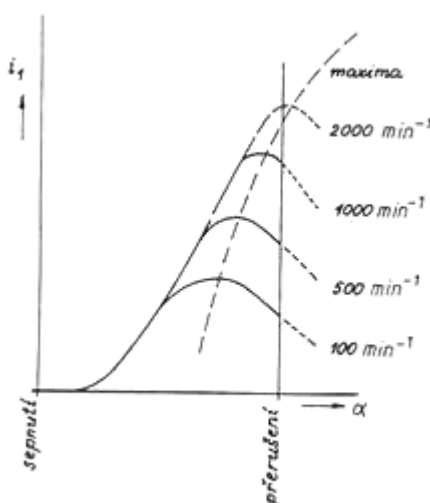
Je principiálně obdobné zapalování akumulátorovému, avšak v magnetovém zapalování se energie pro jiskru získává ze zvláštního točivého stroje buzeného permanentními magnety, zvaného magneto. Vysoké napětí se však nezískává pohybovým napětím indukovaným ve vodičích jako u běžných točivých generátorů. Podobně jako u bateriového zapalování využívá se i u magneta akumulování energie do magnetického pole a jejího náhlého uvolnění přerušením primárního proudu. Základní schéma zapojení a princip činnosti je na obrázku 3.5. Rotor magneta je tvořen permanentním magnetem 1. Na statoru 2 je navinuta zapalovací cívka, jejíž primární vinutí 3 je spojováno přerušovačem 4 dokrátka. Otáčením permanentního magnetu se mění velikost i směr magnetického toku v magnetickém obvodu statoru a ve vinutí zapalovací cívky se indukuje střídavé napětí. Toto napětí není ale dostatečně velké, aby mohla přeskočit jiskra na zapalovací svíče a i kdyby bylo dost velké, tak by se dal obtížně nastavit okamžik, kdy má k přeskoku dojít. Napětí, které se indukuje v primárním vinutí zapalovací cívky, způsobí, že cívkou přes sepnuté kontakty prochází proud i_1 . Tento proud vyvolává magnetický tok statoru, který se sčítá s magnetickým tokem rotoru. To způsobí, že v části otáčky se zvýší magnetické síly, které

působí proti pohybu magnetu. 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 indukuje napětí stejně jako tomu bylo u zapalování bateriového.



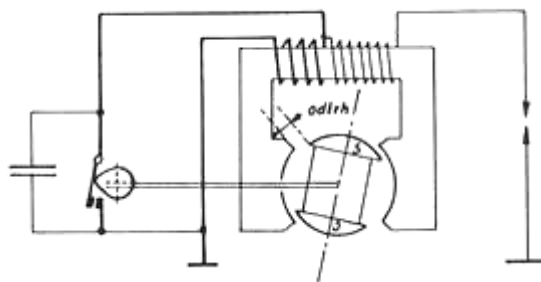
Obrázek 3.5: Schéma magnetového zapalování

Proud se přerušuje přerušovačem pomocí vačky, obdobně jako u zapalování bateriového. Rovněž kondenzátor, paralelně připojený ke kontaktům přerušovače, má stejnou funkci jako u zapalování bateriového. Protože se počítá magnetický tok permanentního magnetu (rotoru) a magnetický tok, který vytváří cívka statoru, mělo by rozepnutí kontaktů přerušovače nastat v okamžiku, kdy při přerušení proudu dojde k největší změně magnetického toku. Vlivem odporu vinutí nejsou však optimální polohy sepnutí ani rozepnutí stejné v celém rozsahu otáček a u pevně nastaveného přerušovače vznikají podmínky naznačené na obrázku 3.6. Přerušovač se seřizuje podle toho, zda se žádá optimální výkon při malých nebo velkých otáčkách. Zpravidla se přerušovače nastavují na optimální výkon při malých provozních rychlostech, protože při větších rychlostech bývá energie dostatek. Neplatí to však pro každé zapalovací magneto a pro každé podmínky.



Obrázek 3.6: Závislost primárního proudu magnetového zapalování na úhlu sepnutí

K přeskoku jiskry na zapalovací svíčke dojde v okamžiku rozpojení kontaktů přerušovače. Protože vačka, která kontakty rozpojuje, je obvykle na jednom hřídeli s rotorem magneta, je nutné, aby k rozpojení kontaktů došlo těsně po oddálení pólových nástavců, kdy má magnetické pole největší energii. Aby tato poloha mohla být snadno a bez nákladných měřicích zařízení vizuálně kontrolována, používá se míry, zvané magnetický odtrh, jejíž význam je patrný z obrázku 3.7. Je to vlastně vzdálenost mezi jednou pevnou hranou statoru a jednou otáčející se hranou rotoru. Odchylky od optimálních poloh znamenají vždy zmenšení výkonu a regulace tímto způsobem je v omezeném rozsahu možná jen u magnet s dostatečným přebytkem výkonu. Bez vlivu na výkon je možno seřadit okamžik zážehu jen otáčením celé soustavy magneta. Pokud je magnetové zapalování vybaveno odstředivým regulátorem musí být jeho konstrukce podstatně robustnější, protože musí přenášet momenty větších setrvačných sil. V průběhu otáčky se mění kromě toho směr sil magnetického pole působících na rotor a zejména při menších otáčkách mohou vznikat torzní vibrace a rázy v pohonu.



Obrázek 3.7: Velikost magnetického odtrhu

Z konstrukčního hlediska jsou v podstatě tři základní druhy magnetového zapalování:

1. S rotující cívkou a pevným permanentním magnetem.
2. S rotujícím permanentním magnetem a stojící cívkou.
3. S rotujícím magnetickým můstkem a se stojícím permanentním magnetem i cívkou.

První typ se již nepoužívá pro přílišnou složitost konstrukce, kde se otáčel přerušovač i s kondenzátorem. Druhý typ je nejběžnější. Jeho konstrukce je na obrázku níže. Nejčastěji se používá jako setrvačnickové magneto u jednostopých motorových vozidel. Třetí typ se používá pro mnohoválcové letecké motory.

Setrvačnickové magneto plní kromě své základní funkce ještě jiné úkoly. Je konstruováno tak, aby jeho otáčivé části měly co největší moment setrvačnosti a tak zmenšovaly nerovnoměrný chod motoru.

Magnetové zapalování se používá u malých jednostopých vozidel, u lodních motorů, motorových pil a všude tam, kde není k dispozici akumulátor.

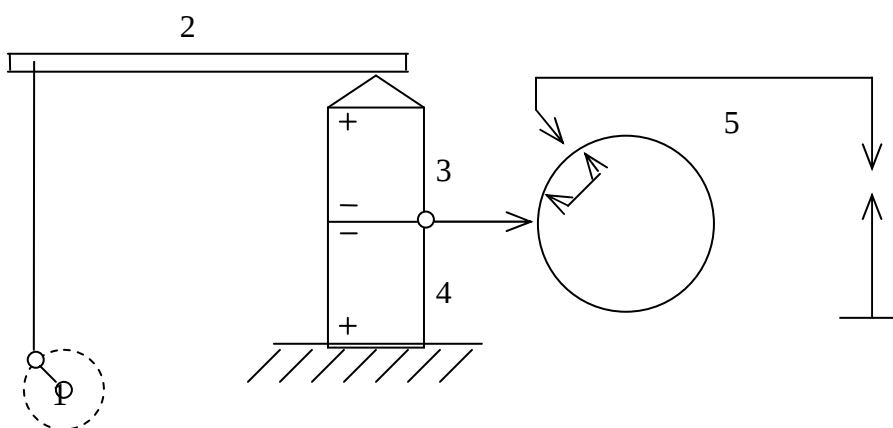
3.2.3 Piezoelektrické zapalování

Piezoelektrické zapalování se dosti liší od ostatních zapalovacích soustav- vysoké napětí se v něm získává tlakem na piezoelektrický materiál. Po druhé světové válce byly vyvinuty nové keramické materiály, které jsou směsí krystalů a jsou orientovány v silném stejnosměrném poli tak, že se stávají piezoelektrickými a chovají se jako jediný krystal. V porovnání se staršími materiály mají silnější piezoelektrický účinek, podstatně lepší mechanické vlastnosti, mají vysokou dielektrickou konstantu a velmi dobré izolační vlastnosti.

Působíme-li na materiál tlakem ve směru piezoelektrického účinku, nastává polarizace projevující se v materiálu jako elektrické pole ve směru namáhání. Materiál se tedy dostává do podobného stavu jako dielektrikum v nabitěm kondenzátoru. Mají-li obě koncové plochy krystalu vodivé vrstvy, lze tuto vzniklou energii dovést. Napětí na koncových plochách je úměrné deformaci materiálu, tj. v podstatě délce materiálu a velikosti mechanického namáhání. Jestliže na náboj neodvede, vrátí se materiál po ukončení mechanického namáhání do původního stavu a náboj zmizí. Jestliže náboj odvedeme, pak při uvolnění mechanického namáhání se na koncových plochách objeví náboj opačné polarity.

Jakost piezoelektrického materiálu závisí na tom, jaké mechanické namáhání snese bez mechanického poškození, jaké elektrické napětí snese bez průrazu, jaká je jeho izolační schopnost k udržení elektrického náboje a jakou část využitě mechanické práce je možno změnit v uživatelskou energii.

Princip piezoelektrického zapalování znázorňuje obrázek 3.8.



Obrázek 3.8: Princip piezoelektrického zapalování

Stlačením dvou válečků 3 a 4 dochází k vytvoření vysokého napětí. Poněvadž u zapalování je třeba rychlý vzrůst napětí a mechanické namáhání nelze vyvozovat úderem, ale pákovým ústrojím 2 s excentrem 1, je nutno zařadit do obvodu ještě mechanický spínač 5 podobný rozdělovači. Ten umožňuje snadné řízení předstihu i vybití nežádoucího náboje na elektrodách po pominutí síly.

K rozvoji tohoto zapalování nedošlo především z důvodu nízké spolehlivosti a velkých rozměrů mechanické části.

4 TVORBA SMĚSI

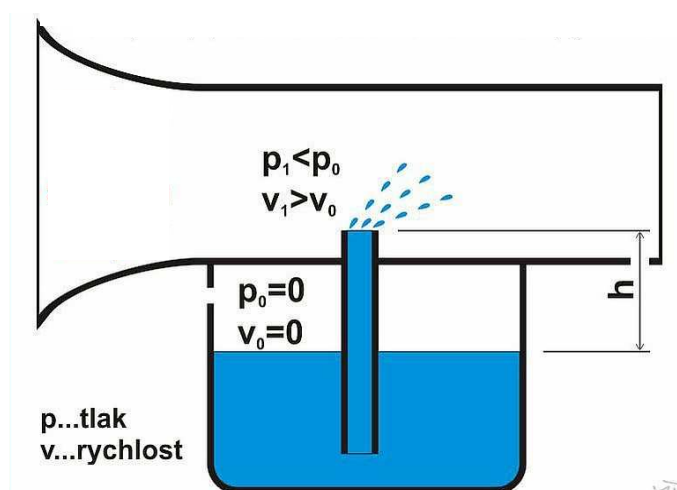
Jak již bylo v předešlých kapitolách popsáno, je pro správnou funkci spalovacího motoru dodat do jeho pracovního prostoru směs pohonné hmoty (nejčastěji benzínu) se vzduchem v předem daném poměru.

Pro tyto účely je každý motor vybaven systémem pro tvorbu směsi, které můžeme rozdělit do dvou základních skupin:

- karburátor
- vstříkování

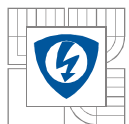
4.1 Karburátor

Jedná se o poměrně jednoduché mechanické zařízení, které je schopno dodávat palivo v daném poměru se vzduchem při různých otáčkách a různém zatížení motoru. U motoru vzniká při sacím zdvihu v sacím potrubí podtlak. Tlak v sacím potrubí je tak nižší než tlak okolní čímž dochází k proudění vzduchu z airboxu směrem do motoru. Pokud je v sacím kanále zúžení je zřejmé, že v užším místě musí plyn (dle rovnice kontinuity) proudit rychleji a zvýší se jeho kinetická energie. Tento nárůst musí být kompenzován úbytkem energie jiné formy – v tomto případě jde o pokles energie tlakové a tudíž v zúžení dojde ke snížení tlaku vzduchu.



Obrázek 4.1: Venturiho trubice (základní část karburátoru)

Tuto skutečnost popisuje Bernoulliho rovnice. Pokud v místě zúžení je umístěno vyústění z plovákové komory dochází k nasátí paliva do sacího kanálu a smíchání s proudícím vzduchem. Tento jev se nazývá Venturiho princip a trubice se zúžením Venturiho trubicí – viz obrázek 4.1. Aby palivo stoupalo směrem vzhůru musí být zajištěn nižší tlak u horního okraje než je tlak na



hladinu kapaliny. Tlak na hladinu je tlak atmosférický (u nepřepřehovaných motorů) a tudíž musí být plováková komora odvětrána (spojena s okolím). Plováková komora je zásobárna paliva v dolní části karburátoru, zajišťující během provozu konstantní výšku kapaliny a tím pádem i konstantní podtlak, nutný pro nasátí potřebného množství paliva do motoru při daném zatížení. V plovákové komoře je umístěn plovák opatřený ventilkem umožňující zavření přívodu paliva na nastavenou výšku hladiny.

S neustále se zpřísnujícími nároky na objem škodlivých látek produkovaných motorem a spotřebu paliva se od karburátorů upouští a plnění většiny dnešních motorů již zajišťuje vstřikování paliva.

4.2 Vstřikování paliva

V minulosti docházelo ke zdokonalování karburátorů na hranici svých možností pomocí elektronických systémů a postupně se vytrácel smysl karburátoru jakožto levného prostředku pro tvorbu směsi. Proto započal přechod k systémům vstřikování paliva. U vozů vyšší třídy nastoupily první systémy vstřikování v 70. letech a postupně docházelo k nárůstu vlivu elektroniky.

S postupem času se vyvinulo několik základních uspořádání vstřikovacího systému:

-Centrální (jednobodové) vstřikování

-Vícebodové vstřikování

Možnosti konstrukce vícebodového vstřikování: a) přímé vstřikování (vždy spojitě)

b) nepřímé vstřikování -spojité

-časované

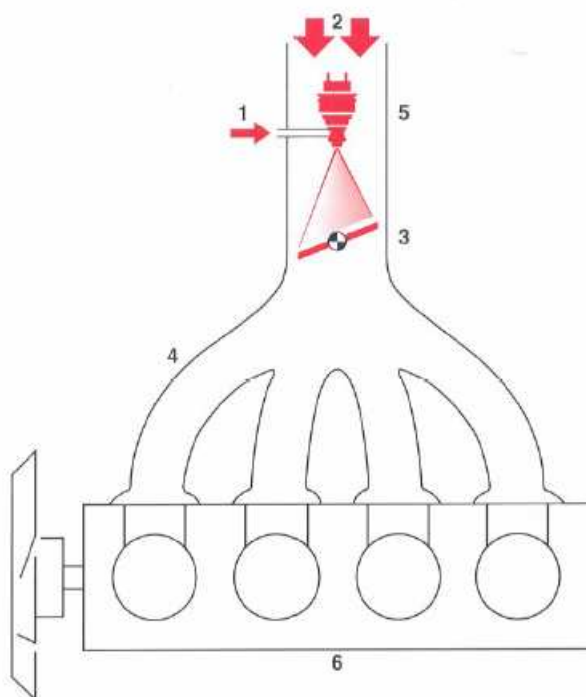
4.2.1 Centrální (jednobodové) vstřikování

Nejjednodušší způsob vstřikování paliva zážehových motorů do jediného místa společné komory sacího potrubí, proto se také nazývá jednobodovým vstřikováním.

V místě na sacím potrubí motoru, kde býval zpravidla umístěn karburátor, je jediná tryska ovládaná elektromagnetem, která zajišťuje vstřikování paliva do sání. Množství směsi je pak řízeno škrticí klapkou pod vstřikovacím ventilem. Schéma centrálního vstřikování je na obrázku 4.2. Ovládání klapky je přímé neboli mechanické u jednoduchých systémů, u složitějších a tudíž dokonalejších systémů je ovládání klapky nepřímé neboli elektromechanické.

Tryska centrálního vstřikování je uložena na tělese škrticí klapky, kde není teplota příliš vysoká. Palivo není příliš ohříváno, tudíž dostačuje tlak paliva kolem 0.1 MPa i méně. Konstrukce vstřikovací trysky je pak jednodušší.

1 palivo, 2 vzduch, 3 škrťací klapka, 4 sací potrubí, 5 vstřikovací ventil, 6 motor.



Obrázek 4.2: Centrální vstřikování

Převzato z Bosch-systém vstřikování paliva KE – Jetronic

Aby se dosáhlo homogenního složení směsi a jejího rovnoměrného přísunu k jednotlivým válcům, musí tryska vstřikovat do proudu nasávaného vzduchu, tedy do mezery mezi stěnou sacího potrubí a škrťací klapku. Tryska má malé rozměry a značnou rychlost spínání. Kuželový svazek vstřikované dávky paliva je vytvářen několika radiálně uspořádanými otvory, které jsou vedeny šikmo. Úhel je zvolen tak, aby palivo z výstupu trysky směřovalo do zmíněné mezery. Množství vstřikovaného paliva a z něj plynoucí složení směsi je dáno délkou doby otevření trysky.

Některé motory s větším obsahem používají dvojité vstřikovací trysky nebo dvojice jednoduchých trysek.

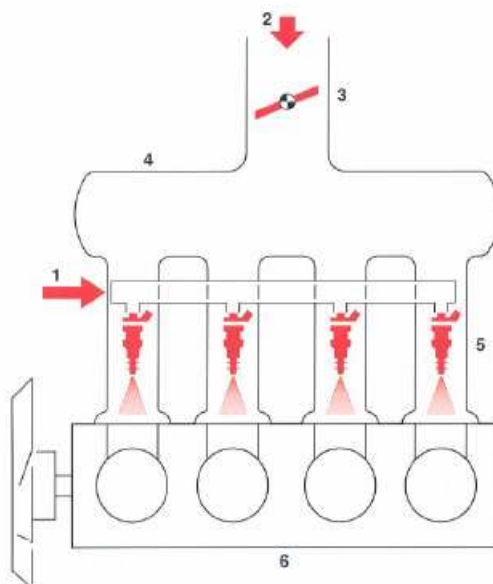
Centrální vstřikování se vyznačuje jednoduchou konstrukcí, avšak má několik nedostatků, které se nepříznivě podepisují na chodu motoru. Mezi ně patří zejména nerovnoměrnost rozdělení paliva mezi jednotlivé válce daná aerodynamickými vlastnostmi sacího potrubí a tvorba palivového filmu na stěnách sacích kanálů, který nepříznivě ovlivňuje chod motoru zejména v přechodových stavech.

4.2.2 Vícebodové vstřikování

4.2.2.1 Vstřikování paliva do sacích kanálů (nepřímé vstřikování)

Jak vyplývá z obrázku 4.3, jsou vstřikovací trysky vícebodového vstřikování umístěny bezprostředněji k motoru. Proto je tlak paliva k nim větší. Pohybuje od 0.25 do 0.6 MPa.

1 palivo, 2 vzduch, 3 škrtková klapka, 4 sací potrubí, 5 vstřikovací ventily, 6 motor.



Obrázek 4.3: Vícebodové vstřikování

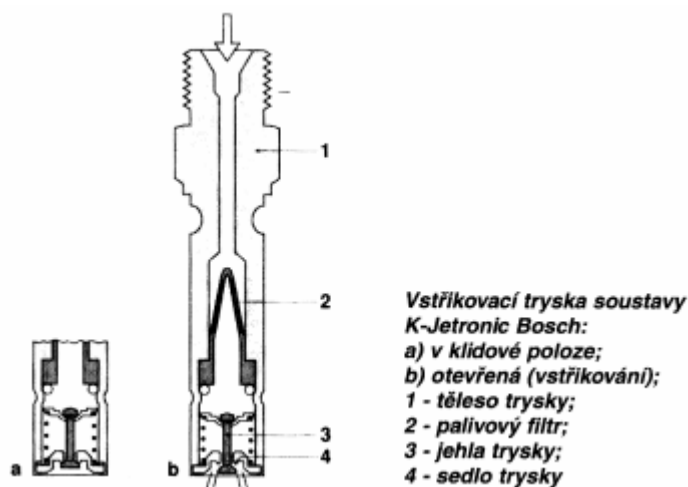
Převzato z Bosch-systém vstřikování paliva KE – Jetronic

Vícebodové vstřikování se dělí na spojitě a časované. Otevření vstřikovací trysky spojitěho vstřikování je ovládáno mechanicky, tlakem paliva, časovaného vstřikování pak elektromagneticky impulsem z řídicí jednotky.

Spojitě vstřikování

Tryska se otevře jakmile tlak přiváděného paliva převýší odpor pružiny, která je spojena s kolíkem uzavírajícím vstřikovací otvor. Trysky spojitěho vstřikování bývají umístěny poněkud dále od motoru než elektromagneticky ovládané trysky vstřikování časovaného. Schéma vstřikovací trysky spojitěho vstřikování ilustruje obrázek 4.4.

Nejrozšířenější soustavou spojitěho vstřikování je systém K-Jetronic firmy Bosch. Všechny trysky se otvírají současně v okamžiku, kdy tlak paliva přesáhne 0,33 Mpa, což znamená, že zůstávají otevřené po celou dobu chodu motoru a množství paliva je řízeno změnou průřezu palivového potrubí. Výchozí veličinou dávkování množství paliva je hmotnost nasávaného vzduchu určovaná měřičem v sacím potrubí před škrtkovou klapkou.



Obrázek 4.4: Vstříkovací tryska spojitého vstříkování

Převzato z Bosch-systém vstříkování paliva KE – Jetronic

Časované vstříkování

Ke vstříkování paliva dochází v přesně určených okamžicích. Vstříkovací tryska je umístěna těsně u sacího ventilu a dochází k minimálnímu srážení směsi na stěnách sacího potrubí. Příprava směsi tudíž probíhá převážně ve spalovacím prostoru, čímž lze zlepšit rovnoměrnost rozložení směsi.

Každému válci je přiřazena jedna vstříkovací tryska otevíraná elektrickým impulsem z řídicí jednotky. Elektrický impuls otevírající trysku se vede k vinutí elektromagnetu. Přivedením proudu se vtáhne kotva elektromagnetu do vinutí, zvedne se ventilová jehla a tím se otevře vstříkování paliva. Po skončení impulsu se tryska uzavře silou vratné pružiny. Pružina tlačí v klidovém stavu ventilovou jehlu shora do sedla provedeného v tělese trysky a průchod paliva do sacího kanálu se uzavře.

Z konstrukčního hlediska lze trysky rozdělit do dvou hlavních skupin:

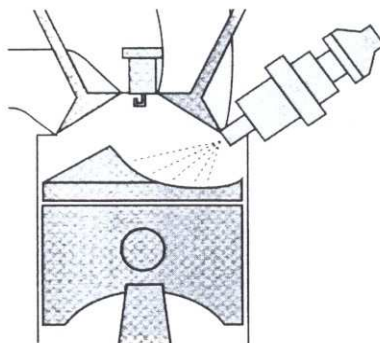
- a) trysky s horním přívodem paliva označované **Top-Feed**
- b) trysky se stranovým přívodem paliva označované **Bottom-Feed**

Z hlediska řízení se jednotlivé typy časovaného vstříkování liší počtem současně zapínaných trysek:

- a) **simultánní vstříkování**- trysky všech válců jsou otevírány současně
- b) **sekvenční vstříkování**- vstříkovací trysky jsou otevírány postupně
- c) **skupinové vstříkování**- během jednoho pracovního cyklu se otevírá skupina dvou nebo tří trysek současně

4.2.2.2 Vstřikování paliva do spalovacího prostoru (přímé vstřikování)

V případě přímého vstřikování jsou trysky umístěny bezprostředně na motorovém bloku, tedy v místech s poměrně vysokou teplotou (viz obrázek 4.5)



Obrázek 4.5: přímé vstřikování

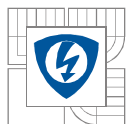
Tlak přiváděného paliva je proto v porovnání se vstřikováním do sacího kanálu o řád vyšší a pohybuje se od 5 do 15 MPa, aby bylo palivo rozprášené na menší kapičky, které se rychleji odpařují. Vstřík přitom musí být v souladu s pohybem vzduchu a polohou zapalovací svíčky. Při takových tlacích není reálné otevírat vstřikovací trysky elektromagnetem, jako je tomu u časovaného vstřikování. Jako vstřikovací zařízení složí mechanické rotační čerpadlo s jedno-otvorovou vstřikovací dýzou.

V zásadě můžeme říci, že tyto systémy pracují ve dvou fázích. Při částečném zatížení vytvářejí vrstvenou směs, kdy se palivo vstřikuje při kompresním zdvihu. Celkově je směs extrémně chudá, avšak v místě zážehu bohatá. Dosahuje se tak nízká spotřeba a nízký obsah škodlivin ve výfukových plynech. Kritickým se však stává množství oxidů dusíku, které se musí v redukčním katalyzátoru dodatečně zpracovávat. Při vyšším zatížení vytvářejí tyto systémy kvůli dosažení co nejvyššího výkonu homogenní, mírně bohatou směs. Vstřikuje se ve fázi nasávání, aby se palivo se vzduchem co nejlépe promíchalo a vytvořilo tak homogenní směs.

U zážehových motorů s přímým vstřikováním benzínu lze ve srovnání s obvyklým vstřikováním paliva do sacího potrubí dosáhnout - v závislosti na otáčkách a zatížení - snížení spotřeby paliva o 5 až 40 % při trvalém snížení emisí CO₂. Vztaheno na evropský jízdní cyklus tak lze ušetřit až 20 % paliva.

Aby bylo umožněno přímé vstřikování benzínu, je během provozu třeba zajistit přesně vyladěné střídání režimu s vrstvenou směsí u částečného zatížení motoru a režimu s homogenní směsí při plném zatížení.

Problémy, které až doposud bránily realizaci tohoto způsobu vstřikování, např. omezení výkonu motoru v provozu s vrstvenou směsí nebo chybějící možnost katalytického zpracování



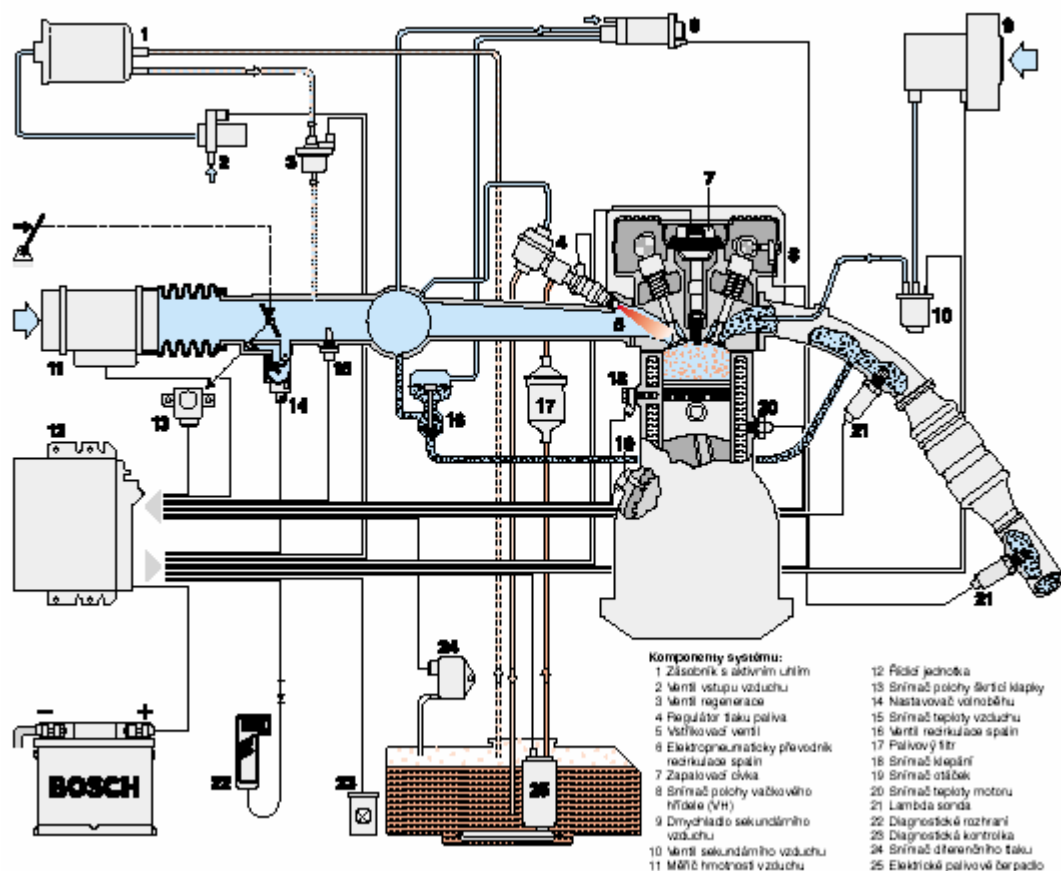
emisí NO_x v režimech s velmi chudou směsí, byly odstraněny technickým pokrokem při vývoji řízení motoru a katalyzátorové techniky. Přímé vstřikování benzínu tak získalo velmi dobré předpoklady pro široké využití v moderních zážehových motorech.

5 SYSTÉM ŘÍZENÍ MOTORU MOTRONIC

Díky rostoucím nárokům na výkon, spotřebu a zpřísňující se emisní normy motoru, ale i spolehlivost a neposlední řadě jednoduchost a kompaktnost elektrického příslušenství byl vyvinut systém řízení motoru Motronic firmy Bosch, který je v současnosti jedním z nejpoužívanějších v automobilovém průmyslu. Tento systém, který se vyvinul ze staršího systému L Jetronic, se vyrábí od roku 1979 ve velkém množství verzí.

Motronic spojuje v jedné řídicí jednotce kompletní elektroniku motoru, která vykonává všechny potřebné řídicí zásahy. Dále je schopna spolupracovat s dalšími elektronickými systémy ve vozidle a zajišťovat v kooperaci s nimi bezpečnost a komfort jízdy.

Provozní data jsou získávána pomocí snímačů a vstupní obvody v řídicí jednotce upravují tato data pro mikroprocesor. Ten zpracovává upravená data, rozpoznává z nich provozní stav motoru a vypočítává potřebné ovládací signály. Koncové stupně zesilují tyto signály, ovládající posléze akční členy, které řídí provozní stavy motoru. Tím je dosaženo optimální přípravy směsi a její zapálení ve správný okamžik při různých provozních stavech. Celou soustavu Motronic popisuje obrázek 5.1.



Obrázek 5.1: Schéma řízení motoru Motronic

Převzato z Formule Plakát 2004-Bosch

5.1 Funkce systému Motronic

Základní funkce

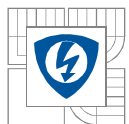
Jádro systému Motronic tvoří řízení vstřikování i zapalování..

Přídavné funkce

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

Patří sem :

- regulace volnoběžných otáček
- lambda regulace
- řízení systému odvětrání palivové nádrže
- regulace klepání



- recirkulace spalín ke snížení obsahu NO_x
- řízení vstřikování sekundárního vzduchu ke snížení obsahu HC

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

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

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

5.2. Struktura systému Motronic

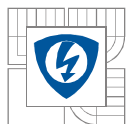
5.2.1 Palivový systém

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

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

Palivový filtr

Nečistoty v palivu mohou ovlivnit správnou funkci vstřikovacích ventilů a regulátoru tlaku paliva. Za elektrické palivové čerpadlo je proto vřazen palivový filtr. Papírová vložka filtru je fixována v kovovém pouzdru pomocí opěrné desky. Interval výměny filtru je závislý na objemu filtru a znečištění paliva.



Rozdělovač paliva – palivová lišta

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

Regulátor tlaku paliva

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

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

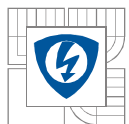
Regulátor tlaku paliva je membránový s přepadem. Membrána z pogumované tkaniny rozděluje regulátor tlaku na palivovou a pružinovou komoru. Pružina tlačí přes na membráně integrovaný ventilový nosič na ventilové sedlo. Když tlak paliva působící zespoda na membránu překročí protitlak pružiny, otevře se ventil a odpustí se takové množství paliva zpět do palivové nádrže, aby bylo dosaženo rovnovážného stavu.

Tlumič tlaku paliva

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

Vstřikování paliva

Používáno nepřímé vstřikování paliva před sací ventil. Podrobněji popsáno v kapitole 3.2.2.1



5.2.2 Vysokonapět'ový obvod zapalování

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

Vysokonapět'ový obvod Motronic může být rozdílného provedení:

- Vysokonapět'ový obvod s jednou zapalovací cívkou, jedním koncovým stupněm a jedním rozdělovačem vysokého napětí pro všechny válce (zapalování s rotačním rozdělovačem).

- Vysokonapět'ový obvod s jednou jednojiskrovou zapalovací cívkou a jedním koncovým stupněm pro každý válec (bezrozdělovačové neboli elektronické zapalování). Každému válci je přidělena jedna zapalovací cívka a jeden koncový stupeň, ovládané v pořadí zapalování řídicí jednotkou Motronic.

- Vysokonapět'ový obvod s jednou dvoujiskrovou zapalovací cívkou a jedním koncovým stupněm pro každé dva válce (bezrozdělovačové neboli elektronické zapalování). Jedné zapalovací cívkou s jedním koncovým stupněm jsou přiřazeny dva válce motoru. Na konce sekundárního vinutí jsou napojeny po jedné zapalovací svíčke příslušného válce. Válce jsou zvoleny tak, aby v horní úvratí byl vždy jeden z páru ve fázi komprese a druhý ve fázi výfuku. V době zápalu přeskóčí jiskra na obou zapalovacích svíčkách.

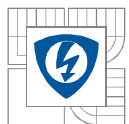
5.2.3 Snímání provozních dat

Pro správný a bezproblémový běh motoru je velice důležité stanovení přesného okamžiku zápalu a množství vstřikované směsi. Hodnoty těchto parametrů nejsou v moderních spalovacích motorech konstantní, nýbrž jsou závislé na mnoha parametrech motoru a jeho okolí. Z potřeby realizovat složité průběhy předstihových charakteristik vyplývá nutnost co nejpřesnějšího určení hodnot parametrů motoru a jeho okolí, zejména polohy klikové hřídele, otáček a zatížení motoru. Hodnoty těchto (případně i dalších) veličin následně zpracovává řídicí jednotka.

Zatížení motoru

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

- měřič množství vzduchu
- měřič hmotnosti vzduchu se žhaveným drátem
- měřič hmotnosti vzduchu s vyhřívaným filmem
- snímač tlaku v sacím potrubí
- snímač polohy škrtící klapky



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

Měřič množství vzduchu

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

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

Měřič množství vzduchu byl používán u starších vývojových verzí.

Měřič hmotnosti vzduchu

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

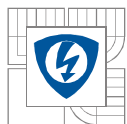
V proudu nasávaného vzduchu se nachází elektricky vyhřívané tělísko, které je proudem vzduchu ochlazováno. Regulační obvod přivádí vyhřívací proud o takové velikosti, aby rozdíl teploty tohoto tělíska vůči teplotě nasávaného vzduchu byl konstantní. Velikost vyhřívacího proudu je pak úměrná hmotnosti proudu vzduchu. Hustota vzduchu je u tohoto systému zohledněna, protože je spoluurčena velikostí přenosu tepla z vyhřívaného tělíska.

Snímač tlaku v sacím potrubí

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

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

Měřicí element je tvořen membránou ve tvaru zvonu, která uzavírá komoru s konstantním referenčním tlakem. Podle velikosti tlaku v sacím potrubí se mění velikost prohnutí membrány. Na membráně jsou naneseny piezorezistentní odpory, které mění svůj odpor v závislosti na mechanickém napětí. Tyto odpory jsou zapojeny do můstku, takže vychýlení membrány způsobí nerovnováhu můstku. Napětí na můstku je pak úměrné velikosti tlaku v sacím potrubí. Úkolem vyhodnocovacího obvodu je zesílit napětí na můstku, kompenzovat vliv teploty a linearizovat



tlakovou charakteristiku. Výstupní signál vyhodnocovacího obvodu je přiváděn do řídicí jednotky motoru.

Snímač polohy škrtkové klapky

Snímač polohy škrtkové klapky snímá úhel natočení škrtkové klapky pro zjištění vedlejšího signálu zatížení. Vedlejší signál zatížení je společně s dalšími signály, použit jako přídavná informace pro dynamické funkce, zjištění provozního stavu motoru (volnoběh, částečný výkon, plný výkon) a je použit jako nouzový signál při výpadku hlavních snímačů.

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

Snímač otáček a polohy klikového hřídele

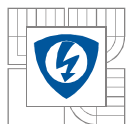
Pro stanovení okamžiku zážehu je použita jako měřicí veličina poloha pístu jednoho válce a tím přes ojnice s klikovým hřídelem i pístů všech válců. Jeden snímač na klikovém hřídeli tak udává informaci o poloze pístů ve všech válcích.

Rychlost, se kterou se poloha klikového hřídele mění, nazýváme otáčkami a je dána počtem otočení klikového hřídele za minutu. Tato důležitá vstupní veličina je vypočítávána ze signálu polohy klikového hřídele.

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

Snímač polohy vačkového hřídele

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



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

Na rozdíl od těchto zapalování s rotačním rozdělováním vysokého napětí potřebují systémy Motronic s bezrozdělovačovými zapalovacími systémy a s jednojiskrovými zapalovacími cívkami přídavné informace. Řídicí jednotka totiž musí rozhodnout, kterou zapalovací cívku, s příslušnou zapalovací svíčkou, má ovládat. K tomu potřebuje informaci o poloze vačkového hřídele. Tuto informaci potřebuje také u sekvenčního vstřikování paliva pro určení správného okamžiku vstříknutí paliva do příslušného válce.

Poloha vačkového hřídele je nejčastěji snímána Hallovým snímačem. Ten je tvořen prvkem, jehož polovodičovou destičkou protéká elektrický proud. Tento prvek je řízen clonkou, která se otáčí spolu s vačkovým hřídelem. Clonka je zhotovena z feromagnetického materiálu a během jejího otáčení dochází k přerušování permanentního magnetického pole a v Hallově prvku se tak vytváří napětí, které je kolmé vůči směru magnetického toku.

Speciálně tvarované clonky dovolují získat ze signálu vačkového hřídele signál pro nouzový běh motoru při výpadku snímače otáček. Použití snímače polohy vačkového hřídele jako hlavního snímače otáček i v normálním provozu však znemožňuje jeho malá přesnost.

Lambda sonda (skoková)

Lambda sonda měří součinitel přebytku vzduchu lambda (λ). Při $\lambda = 1$ pracuje katalyzátor optimálně.

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

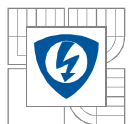
Spolehlivá regulace je zajištěna od 350°C (nevyhřívaná sonda) popř. od 200°C (vyhřívaná sonda).

Snímače klepání - detonačního spalování

U zážehových motorů se může za určitých abnormálních podmínek vyskytovat typické "klepání" omezující nárůst výkonu a účinnosti motoru. Tento nežádoucí spalovací proces se nazývá detonační spalování nebo-li klepání a je následkem samozápalů částic směsi, které se nestačily zapálit od postupně prohořívající směsi zapálené jiskrou svíčky.

Při tomto nárazovém spalování dochází lokálně v koncových plynech k prudkému zvýšení tlaku. Tím vzniklé tlakové vlny se rozpínají a narážejí na stěny spalovacího prostoru. Při déle působícím klepání mohou tlakové vlny a zvýšené tepelné zatížení způsobit mechanická poškození těsnění pod hlavou, pístů a v oblasti ventilů v hlavě válců.

Charakteristické vibrace detonačního spalování jsou snímány senzory klepání, převedeny na elektrické signály a vedeny do řídicí jednotky Motronic.



Počet a umístění snímačů klepání musí být pečlivě zvoleno. Spolehlivé rozpoznávání klepání musí být zajištěno u všech válců a za všech provozních stavů motoru, zejména při vysokých otáčkách a výkonech. Zpravidla bývají 4-válcové řadové motory osazeny jedním, 5- a 6-válcové motory dvěma a 8-a 12-válcové motory dvěma nebo více snímači klepání.

Snímače teploty motoru a nasávaného vzduchu

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

Stejným způsobem získá snímač v sacím potrubí teplotu nasávaného vzduchu.

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

V řídicí jednotce je uložena tabulka, ve které každé hodnotě napětí odpovídá určitá teplota a tím je kompenzována nelineární charakteristika mezi napětím a teplotou.

Napětí akumulátoru

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

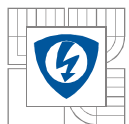
5.2.4 Elektronická řídicí jednotka

Zpracování provozních dat probíhá v řídicí jednotce, v níž je ze signálů zatížení a otáček motoru vypočítána hodnota zatížení, která odpovídá hmotnosti nasátého vzduchu za jeden zdvih motoru. Tato hodnota zatížení je brána jako základ pro výpočet doby vstřiku a pro pole charakteristik určujícího úhel předstihu zážehu.

Řídicí jednotka sestává z následujících bloků

- **Permanентní paměť ROM**- zóna paměti určená funkčnímu programu řídicí jednotky. Je proto konstruována tak, že instrukce v ní uložené mohou být čteny pouze ze strany řídicí jednotky a nemohou být vymazány ani po přerušení napájení.

- **Paměť s přímým výběrem RAM**- zóna paměti určená pro uložení dat přicházejících od snímačů pro jejich další zpracování v mikroprocesoru. Dále zaznamenává poruchové signály, které mohou být následně čteny v diagnostickém režimu. Při přerušení napájení se všechna uložená data ztrácejí.



- **Paměť EPROM**- zóna paměti podobná ve všem první zóně ROM, tudíž je pouze ke čtení. Obsahuje údaje ve vztahu k specifickým předem stanoveným hodnotám pro určitý model motoru potřebné pro kontroly ve zkušebnách.

- **Mikroprocesor**- elektronický počítač určený k porovnávání, vyhodnocení a zpracování dat.

- **Převodníky údajů**- obvody zajišťující převod analogových elektrických signálů ze snímačů na číslicové signály zpracováváné řídicí jednotkou a naopak.

- **Řídicí programy**- jsou uloženy v paměti řídicí jednotky a ovládají prostřednictvím akčních členů různá výkonová zařízení. Děje se tak na základě mikroprocesorem zpracovaných údajů přijatých od jednotlivých snímačů.

- **Konektor**- zajišťuje vstupy a výstupy signálů z a do řídicí jednotky.

Výpočet doby vstřiku

Základní doba vstřiku

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

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

Efektivní doba vstřiku

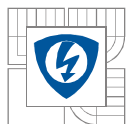
Efektivní doba vstřiku je k dispozici po dodatečném propočítání korekčních veličin. Tyto jsou vypočítávány ve zvláštních funkcích a zohledňují rozličné provozní rozsahy a provozní stavy motoru. Během startu probíhá oddělený výpočet doby vstřiku, který je nezávislý na hodnotě zatížení.

Okamžik vstřikování

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

Řízení úhlu sepnutí

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



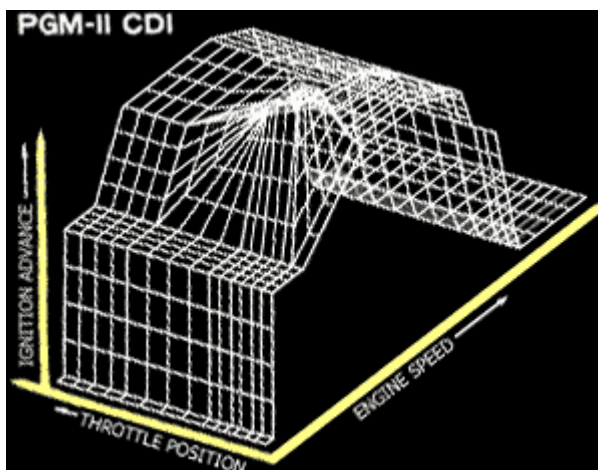
Doba sepnutí vychází z doby nabíjení zapalovací cívky, která je závislá na velikosti napětí akumulátoru. Dodatečná dynamická rychlost umožňuje dostatečně rychle pokrýt potřebu proudu také při velmi rychlém zvýšení otáček.

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

Řízení úhlu zážehu

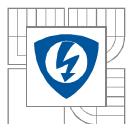
V řídicí jednotce je uloženo pole charakteristik se základním úhlem zážehu v závislosti na zatížení motoru a jeho otáčkách –viz obrázek 4.2. Tento úhel zážehu je optimalizován vzhledem ke spotřebě paliva a emisím ve výfukových plynech. Vyhodnocováním teploty motoru a teploty nasávaného vzduchu (převzatými ze snímačů teploty motoru a nasávaného vzduchu) jsou zohledněny změny teplot.

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



Obrázek 5.2: 3D zapalovací mapa

Převzato z Motocykly Honda NSR



6. MOŽNOSTI REALIZACE CVIČENÍ Z PŘEDMĚTU BAEB

Pro seznámení studentů s funkcí zapalování by byla nejvýhodnější instalace kompletního spalovacího motoru do prostoru učebny. Studenti by pak mohli získat přehled o funkci kompletního zapalování. Pomocí snímače kroutícího momentu umístěného na hřídeli motoru by bylo možno měřit vliv předstihu na chod motoru a stanovit ideální hodnotu předstihu pro určité otáčky a zatížení. Toto řešení by ale bylo poměrně dosti komplikované z hlediska montáže (kompletní motor, odvod výfukových plynů, palivo atd.). Z hlediska právních norem by byla instalace takového zařízení do školní učebny prakticky nemožná.

Zjednodušenou alternativou měření kompletního spalovacího motoru by mohl být využit jednoduchý model bateriového zapalování jednoválcového motoru s mechanickým přerušovačem, který by ovládala vačková hřídel připojená přímo (popř. přes převodovou skříň) k jednoduchému stejnosměrnému motorku.

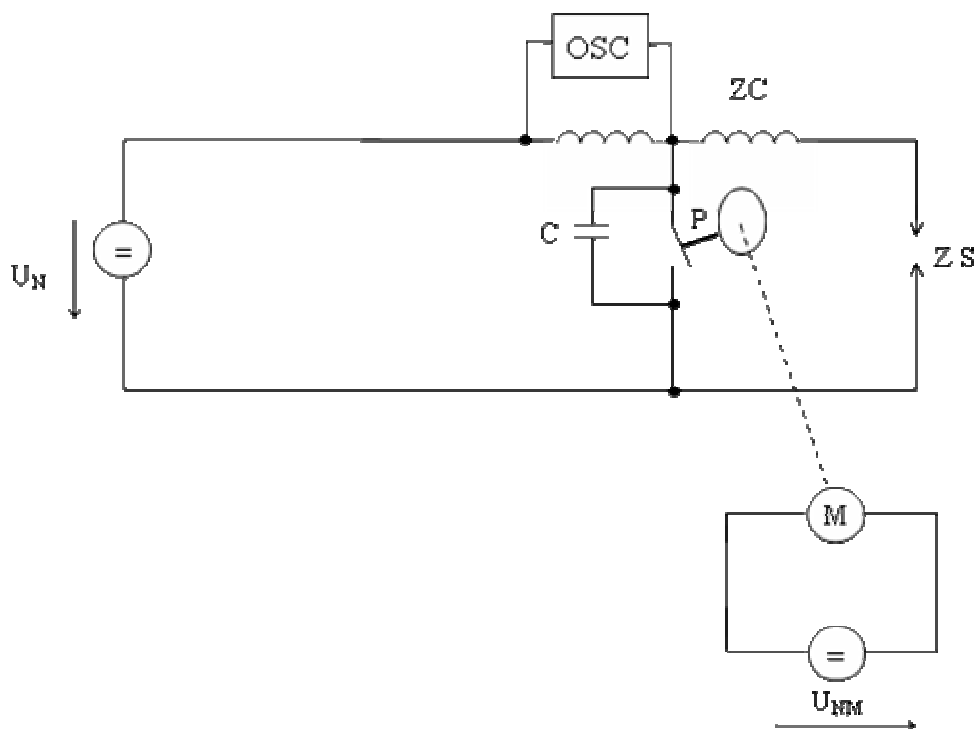
Studenti by z modelu názorně pochopili činnost jednoduchého zapalovacího systému-pokud bychom připojili i zapalovací svíčku, mohli bychom pozorovat při stojícím modelu jiskru mezi jejími kontakty při rozepnutí přerušovače. Dále by bylo možno měřit závislosti intenzity jiskry (případně velikosti indukovaného napětí na primárním a sekundárním vinutí zapalovací cívky) na otáčkách modelu a to ideálně s využitím osciloskopu (popř. by bylo možno využít voltmetr s funkcí měření vrcholové hodnoty napětí).

6.1 Konstrukce měřícího přípravku

Po konzultaci s vedoucím projektu jsem zkonstruoval přípravek, jehož parametry byly následně změřeny v laboratoři VUT. Přípravek je jednoduchým modelem bateriového zapalování a simuluje zapalovací soustavu klasického jednoválcového motoru s mechanickým přerušovačem.

Sestavený model zapalování pracuje s napájecím napětím 6V, které může dodávat akumulátor, případně stejnosměrný zdroj. Torzo modelu je vlastní výroby a skládá se z dřevěné podkladové desky, na kterou je připevněn vlastní měřící přípravek včetně stejnosměrného elektromotoru, který slouží jako zdroj točivého pohybu a nahrazuje tak osu klikové hřídele, která je zdrojem mechanické energie pro zapalování u reálného motoru. Elektrický obvod je tvořen zdrojem elektrické energie, zapalovací cívkou, "zhášecím" kondenzátorem, přerušovačem a zapalovací svíčkou. Většina základních dílů-elektrických i mechanických-je použita z malého motocyklu Jawa 20. Pro pohon je použit stejnosměrný motor ATAS RH480. Použitá zapalovací svíčka NGK D9EA. Zbylé díly jsou vyrobeny svépomocí z normalizovaných součástí.

Schéma zapojení:



Obrázek 6.1: Schéma zapojení měřicí úlohy

Význam použitých zkratk:

U_N ...napájecí napětí (autobaterie, popř. stejnosměrný zdroj 6V)

ZC... zapalovací cívka

C...kondenzátor

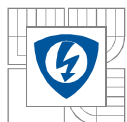
P...přerušovač

M... stejnosměrný motor

U_{NM} ...napájecí napětí motoru

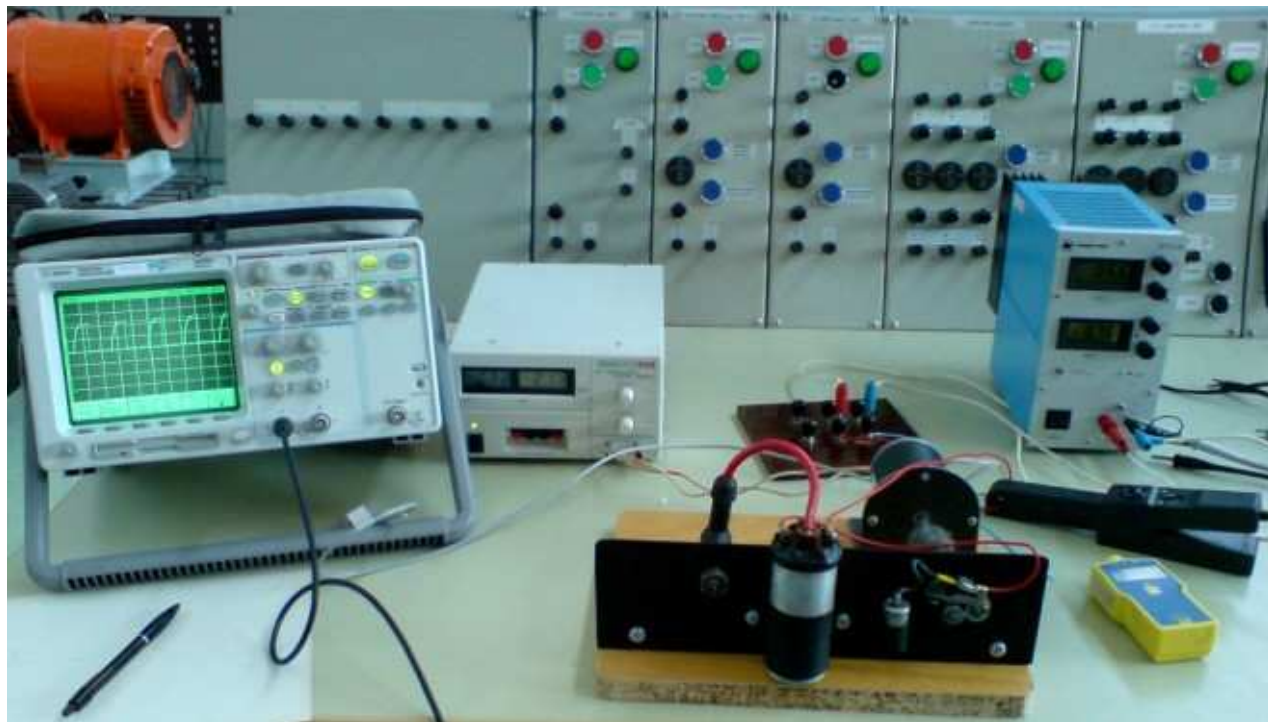
ZS... zapalovací svíčka

OSC...osciloskop



6.2 Praktické zpracování úlohy

Měřicí přípravek byl proměřen v laboratoři UVEE za spolupráce ing. Ondřeje Vítka, kterému bych tímto rád poděkoval.

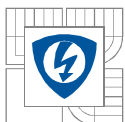


V laboratoři byly proměřeny základní průběhy proudu a napětí na primární straně zapalovací cívky. Měření parametrů na sekundární straně cívky nebylo možno z důvodu vysokého napětí (přibližně 20kV) z hlediska bezpečnostních a technologických podmínek provést.

Naměřené hodnoty

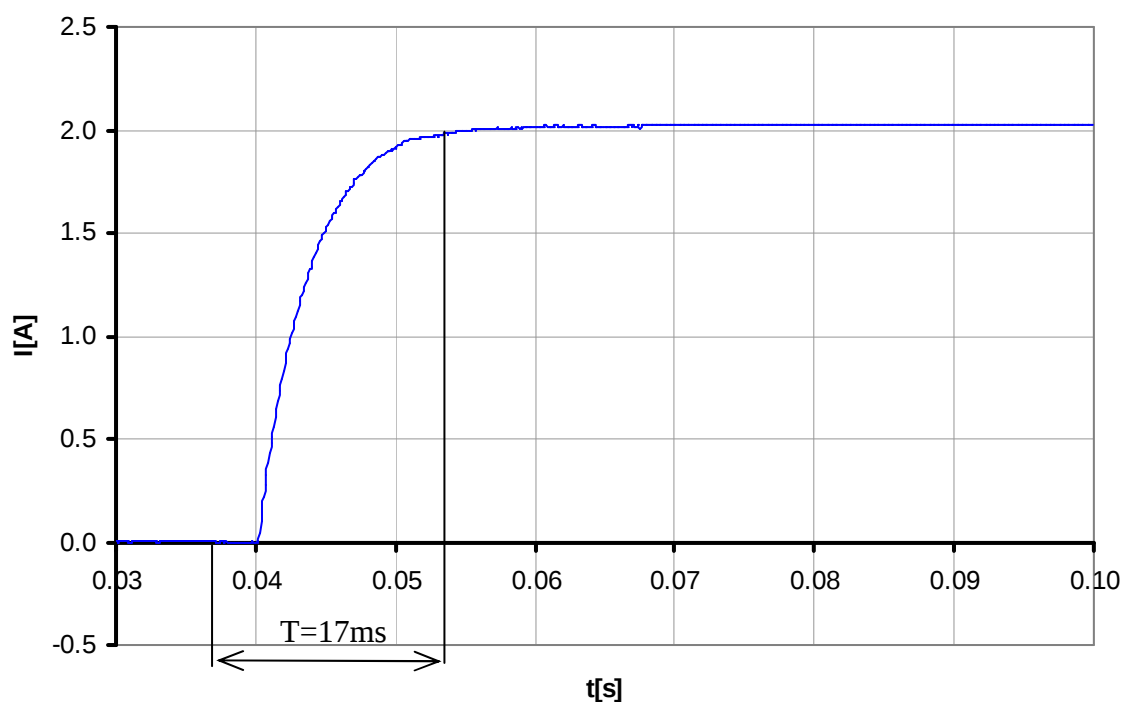
Otáčková charakteristika, $U_{NAP}=6.5V$		
n	I_{EF}	I_{MAX}
[ot/min]	[A]	[A]
500	1.35	2.25
800	1.30	2.25
1000	1.26	2.25
1300	1.20	2.19
1600	1.14	2.19
2000	1.08	2.14
2300	1.02	2.10
2600	0.98	2.05
2800	0.95	2.01
3000	0.94	1.98
4000	0.82	1.71

Tabulka 6.1: Průběh maximální a efektivní hodnoty proudu primárního vinutí v závislosti na otáčkách

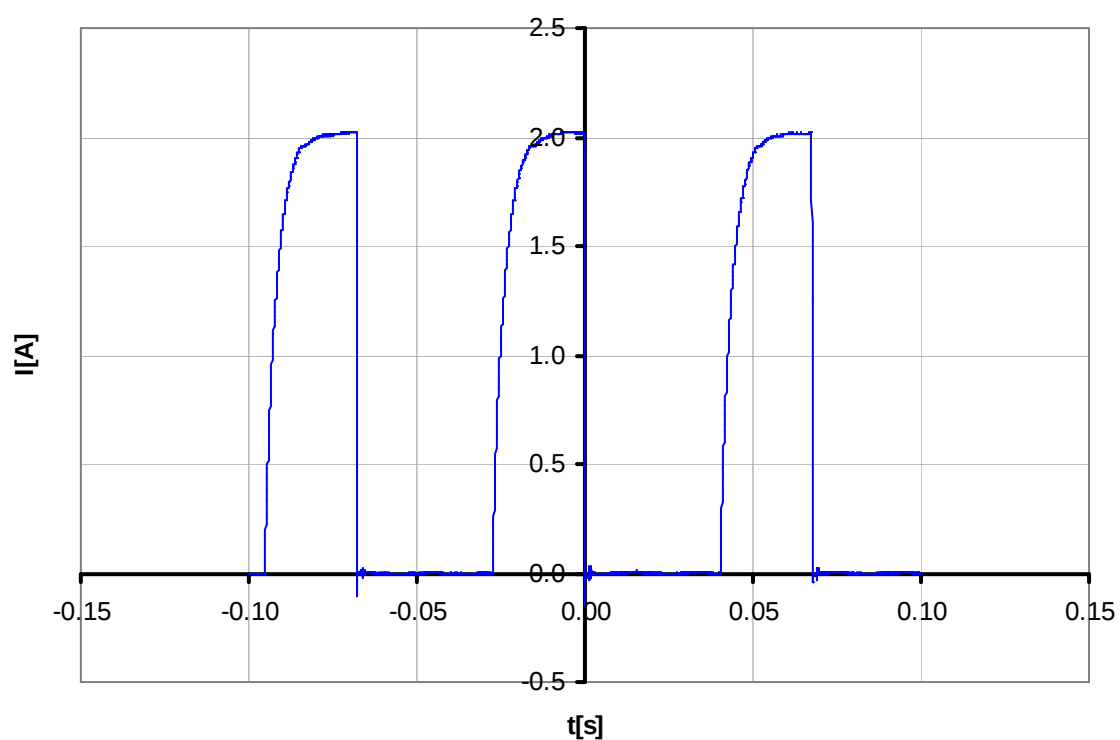


Grafické zpracování

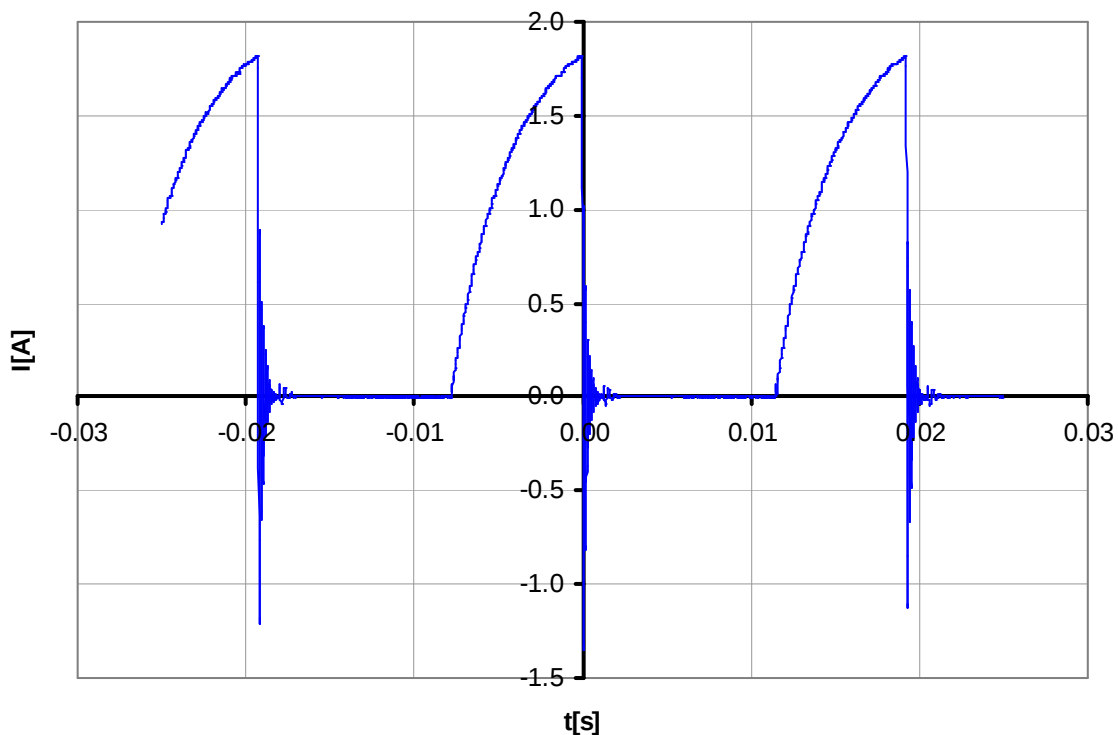
Průběh proudu v primárním okruhu zapalování (při sepnutí kontaktů přerušovače)



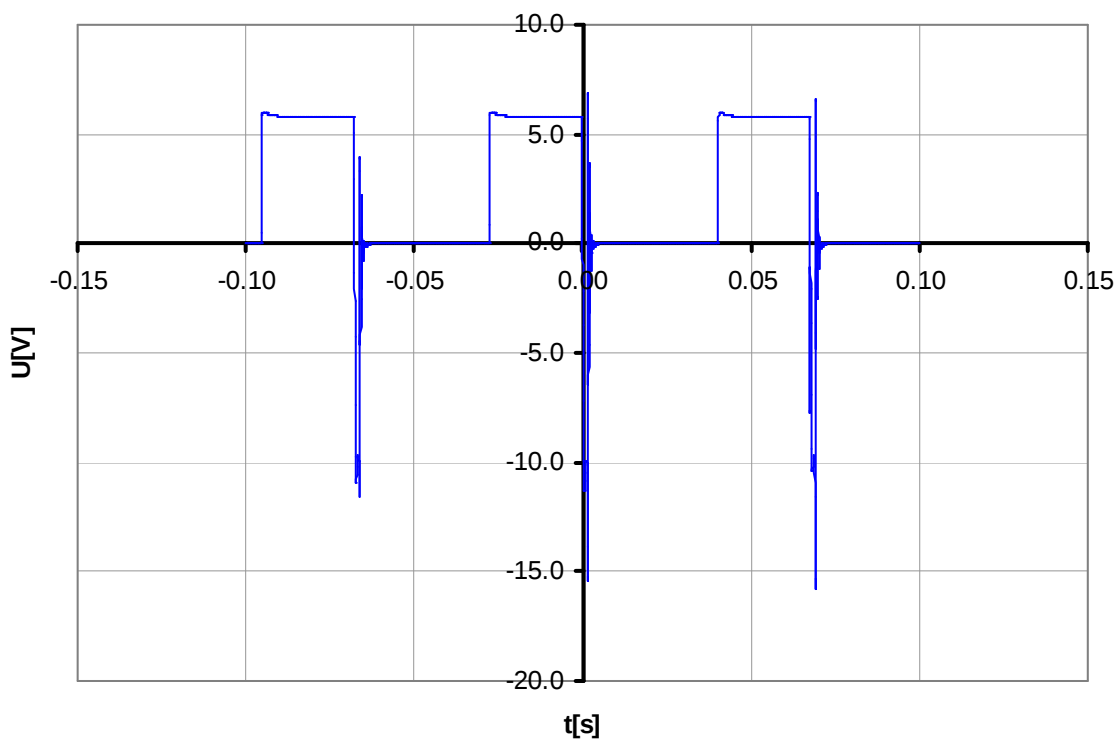
Průběh proudu v primárním okruhu zapalování ($n=900$ ot/min)

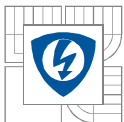


Průběh proudu v primárním okruhu zapalování ($n=3000$ ot/min)

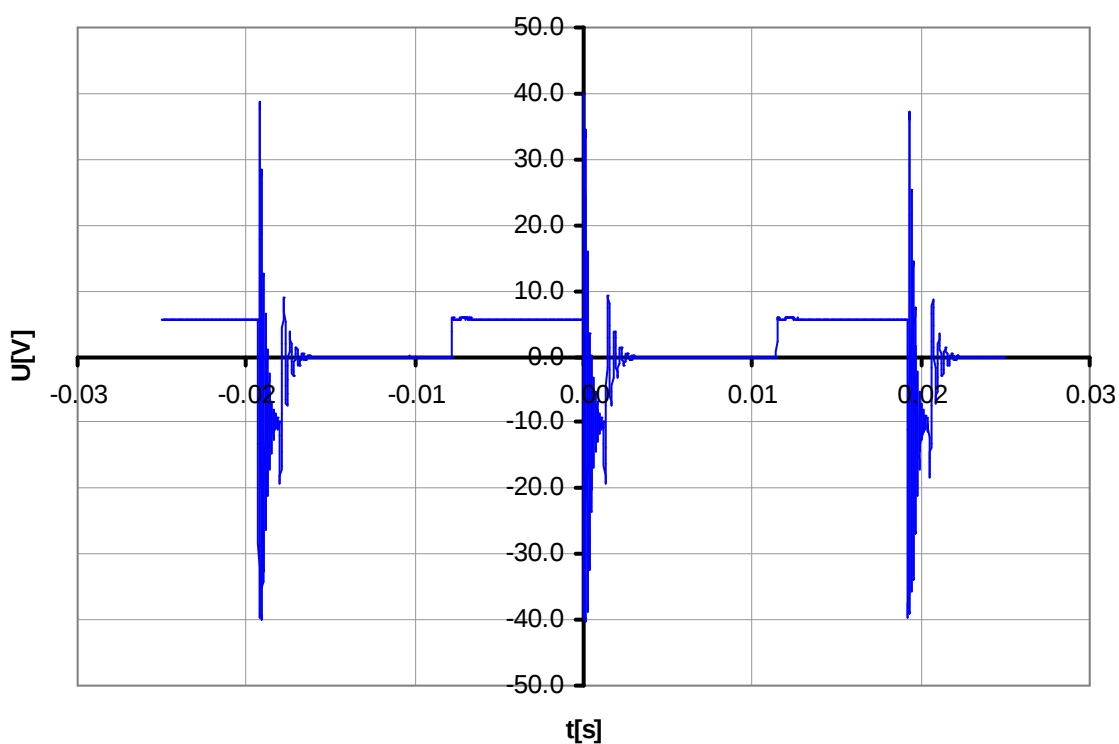


Průběh napětí v primárním okruhu zapalování ($n=900$ ot/min)

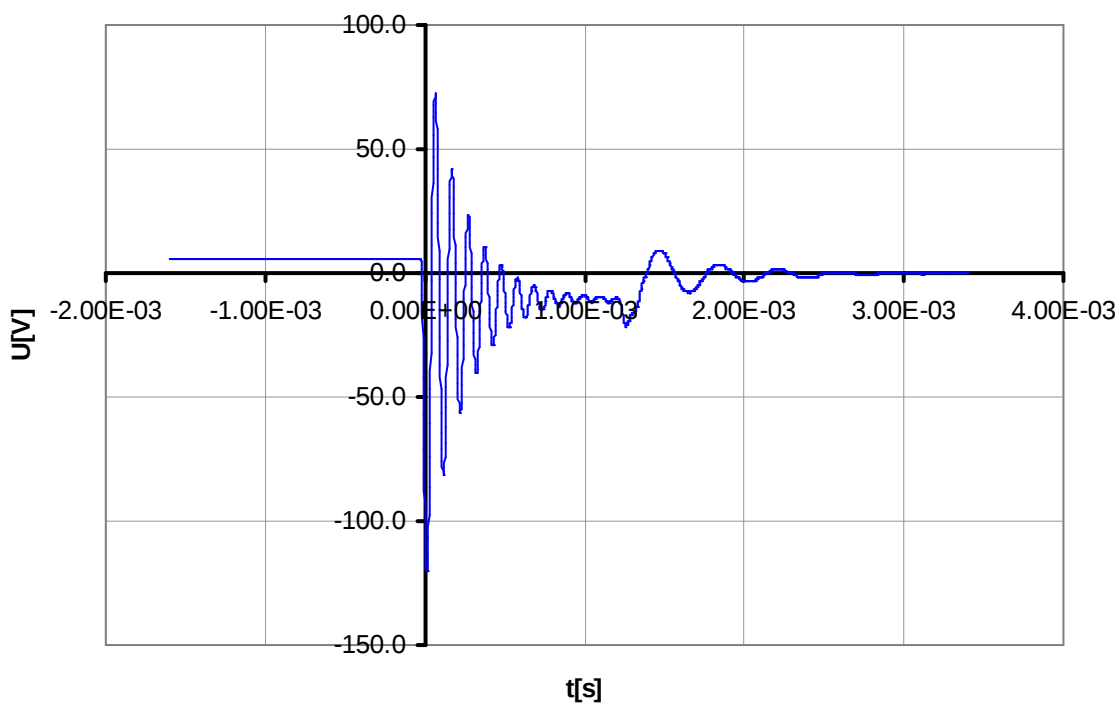


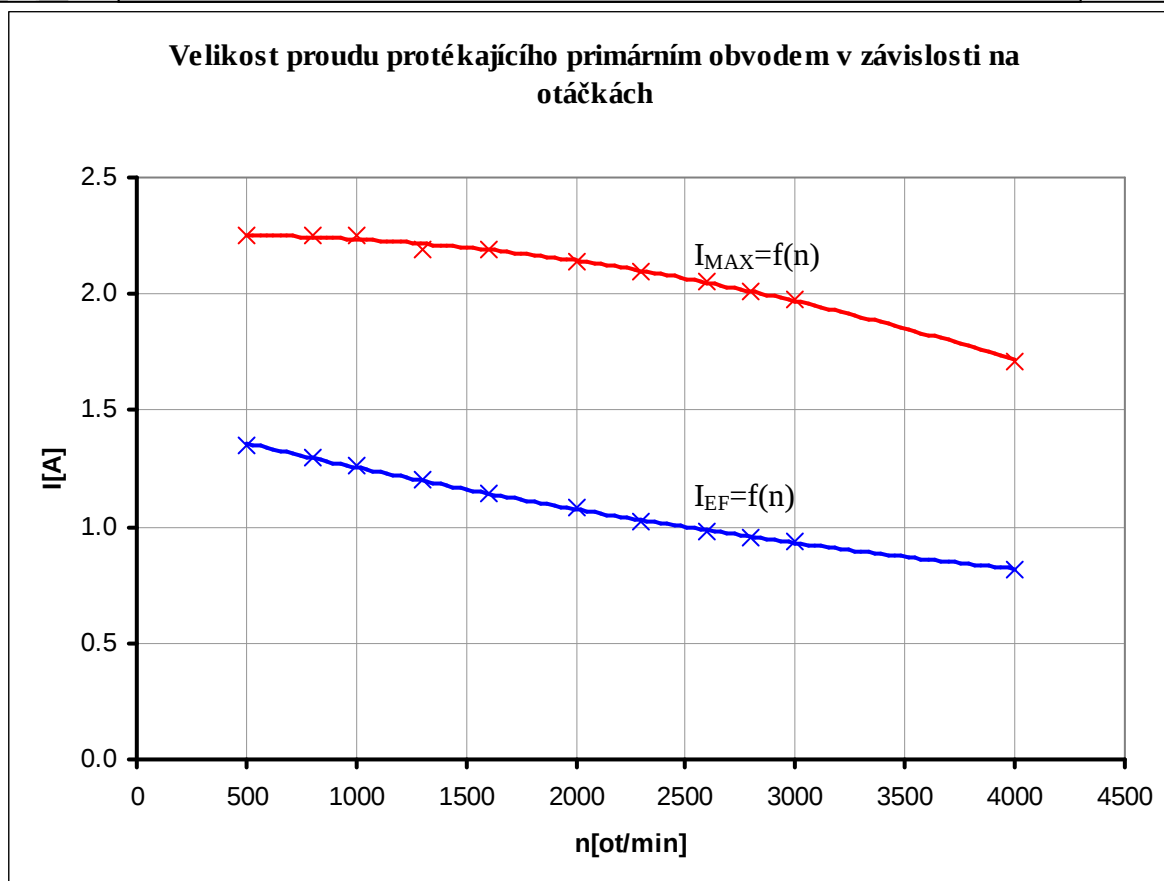


Průběh napětí v primárním okruhu zapalování ($n=3000$ ot/min)



**Detail průběhu napětí v primárním okruhu zapalování při rozeptnutí
přerušovače ($n=3000$ ot/min)**





Vyhodnocení měření

Při měření jsem si ověřil poznatky a průběhy uvedené v teorii v kapitole 2.2.1. Změřil jsem časovou nabíjecí konstantu zapalovací cívky, která má hodnotu 17ms a udává čas, za který dojde k akumulaci maximálního magnetického pole primárního vinutí zapalovací cívky. Z tabulky 5.1 je vidět, že k maximální možné akumulaci pole dochází pouze v nejnižších otáčkách (přibližně do 1100 ot/min – což představuje mírně zvýšené volnoběžné otáčky). V běžných provozních stavech motoru se začíná projevovat největší nevýhoda bateriového zapalování a to pokles energie (pokles napětí na zapalovací svíčke) při vzrůstajících otáčkách. Tento fakt je vidět na posledním uvedeném grafu, který zobrazuje pokles efektivní a maximální hodnoty proudu v závislosti na otáčkách. Vzhledem ke skutečnosti, že indukované napětí na sekundární straně cívky závisí na velikosti změny proudu protékajícím obvodem ΔI_{MAX} a na velikosti magnetického pole cívky, které se vytvoří během sepnutí kontaktů přerušovače ($W_L = \frac{1}{2} \cdot L \cdot I^2$), je zřejmé, že hodnota napětí mezi kontakty zapalovací svíčky bude se vzrůstajícími otáčkami klesat, což může při vysokých otáčkách vést až k poruchám zapalování.

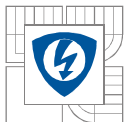
Použité přístroje

Měřicí přípravek

Zdroj Station 32V/6,4A

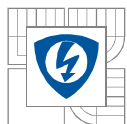
DC regulovatelný zdroj Manson NP-9615

Osciloskop Agilent 54622A, evidenční číslo 308057



6 ZÁVĚR

Zapalovací soustava zážehových motorů je bezpochyby jejich nejdůležitějším elektrickým vybavením, bez něhož by nebyly schopny požadované funkce. Proto také provází motory od jejich vzniku a neustále se s jejich vývojem zdokonaluje. Na moderní spalovací motory jsou kladeny nemalé požadavky na oblasti výkonu, spotřeby, spolehlivosti, kultury chodu, emisí atd. Všechny tyto požadavky jsou přímo ovlivňovány činností zapalování, které by mělo být v dnešní době schopné správné funkce po celou dobu životnosti motoru i při jeho minimální údržbě. Z těchto důvodů je nutno činnosti zapalování přikládat dostatek pozornosti a neustále se snažit o jejich efektivní modernizaci.



LITERATURA

- [1] LÁZŇOVSKÝ, V., Zapalování, [on line]. 2001
<http://lazo.czechian.net/elektrika/zapalovani.htm#ZAPALOVANI>
- [2] FERENC, B., Směs a její spalování, [on line]. 2000
http://www.mjauto.cz/newdocs/ferenc/fer_mo01/fer_mo01.htm
- [3] FERENC, B., Elektronické tvarování charakteristik, [on line]. 2000
http://www.mjauto.cz/newdocs/ferenc/fer_mo02/fer_mo02.htm
- [4] FERENC, B., Elektronika a zážehové motory, [on line]. 1999
<http://www.mjauto.cz/newdocs/ferenc/om/om.htm>
- [5] FERENC, B., Elektronika a zážehové motory, [on line]. 1999
<http://www.mjauto.cz/newdocs/ferenc/om/om.htm>
- [6] ČECH, J., Zapalování, [on line]. 2002
<http://skoda.panda.cz/clanek.php3?id=384>
- [7] ČECH, J., Zapalování II, [on line]. 2002
<http://skoda.panda.cz/clanek.php3?id=385>
- [8] PIK, M., Zapalování , [on line]. 2004
<http://mechatronika.wz.cz/index.php?z=zap>
- [9] <http://www.bosch.cz>
- [10] ŠŤASTNÝ, J., Elektronika pro automobily. ČVUT Praha 1982
- [11] ADLER, U., Systém vstřikování paliva KE-Jetronic. Studdgart 1994