

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA ELEKTROMECHANIKY A VÝKONOVÉ ELEKTRONIKY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Regulátor předstihu s otáčkoměrem pro motocykl

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Petr FAZEKAŠ**
Osobní číslo: **E10B0205P**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Elektrotechnika**
Název tématu: **Regulátor předstihu s otáčkoměrem pro motocykl**
Zadávající katedra: **Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Cílem práce je vytvořit jednotku pro regulaci předstihu motocyklu. Výsledné zařízení by mělo být schopné regulovat 1 až 4válcový 4 i 2taktní zážehový motor a zároveň zobrazovat jeho aktuální otáčky. Jako vstup by měl vyhovovat indukční snímač polohy klikového/vačkového hřídele i kontaktní snímač. Součástí práce je i tvorba ovládacího softwaru pro PC.

1. Prostudujte potřebnou literaturu a navrhnete koncepci zařízení.
2. Prostudujte nabídku dobře dostupných součástek a konkretizujte zapojení zařízení. Při volbě procesoru se zaměřte na nabídku firmy Microchip. Při návrhu zohledněte fakt, že bude navržené zařízení pracovat za zvýšených vibrací a za zvýšeného namáhání z hlediska vlivů počasí a tepla generovaného spalovacím motorem.
3. Fyzicky realizujte funkční vzorek a napište obslužný software pro PC.
4. Prověřte činnost zařízení na přípravku dodaném vedoucím práce.
5. Volitelný úkol: Nainstalujte jednotku do motocyklu a prověřte činnost v provozním režimu.



Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího
Rozsah pracovní zprávy: 20 - 30 stran
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická
Seznam odborné literatury:


Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Matouš Bartl**
Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací

Datum zadání bakalářské práce: **17. října 2011**
Termín odevzdání bakalářské práce: **3. června 2012**


Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
děkan




Prof. Ing. Václav Kůs, CSc.
vedoucí katedry

V Plzni dne 17. října 2011

Abstrakt

Tato bakalářská práce je zaměřena na koncepci elektronického zapalování s řízením předstihu pomocí mikroprocesoru pro motocykl. Zařízení je navrhováno pro 2-taktní i 4-taktní a pro 1 – 4 válcový motor. Jsou zde také rozděleny jednotlivé systémy zapalování a popsány principy jejich funkce.

Klíčová slova

Elektronické zapalování, regulace předstihu, měření rychlosti otáčení, indukční snímače, Hallův snímač, přerušovač, mikrokontrolér

Abstract

The bachelor thesis presents the conception of electronic ignition for motorcycles with regulation of ignition advance by an microcontroller. The device is designed for 2-stroke and 4-stroke as well as for 1 to 4 cylinder engine. There are various ignition systems divided and described the principles of their function.

Key words

Electronic ignition, regulation of ignition advance, measurement of rotational speed, inductive sensors, Hall-effect sensors, interrupter, microcontroller

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.

V Plzni dne 8.6.2012

Petr Fazekaš

.....

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské práce ing. *Matouši Bartlovi* za cenné rady, připomínky a metodické vedení práce.

Obsah

OBSAH.....	8
ÚVOD.....	9
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	10
ÚČEL ZAPALOVÁNÍ.....	11
ZÁKLADNÍ POJMY A ROZDĚLENÍ ZAPALOVÁNÍ.....	11
1.1 ROZDĚLENÍ SYSTÉMŮ ZAPALOVÁNÍ.....	11
1.2 ZAPALOVACÍ NAPĚTÍ.....	16
1.3 SNÍMAČE OTÁČEK.....	18
1.3.1 Induktivní snímače.....	19
1.3.2 Magnetostatické snímače.....	20
NÁVRH REGULÁTORU PŘEDSTIHU.....	23
2.1 BLOKOVÉ SCHÉMA ZAŘÍZENÍ.....	23
2.2 VOLBA MIKROPOČÍTAČE.....	23
2.3 SCHÉMA ZAPOJENÍ ZAŘÍZENÍ.....	24
2.4 POPIS ČÁSTÍ ZAŘÍZENÍ.....	24
2.5 KŘIVKA PŘEDSTIHU.....	27
2.6 PROGRAMOVÉ ŘEŠENÍ.....	29
ZÁVĚR	32
SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ.....	33
PŘÍLOHY.....	1

Úvod

Předkládaná práce je zaměřena na návrh konstrukce elektronického zapalování s funkcí řízení předstihu a možností sledovat otáčky motoru.

Práci je možné rozdělit do dvou částí - první se zabývá rozdělením a vlastnostmi různých druhů zapalovacích soustav zážehových motorů, druhá část popisuje konstrukci navrhovaného zařízení.

Seznam symbolů a zkratek

B	magnetická indukce; [T]
EEPROM	<i>Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory</i> – elektricky mazatelná paměť určená pouze pro čtení
EZ	<i>ElektronischeZündung</i> – elektronické zapalování
FLASH	elektricky programovatelná paměť s libovolným přístupem
HÚ	horní úvrat' pístu
I/O port	<i>Input/Output</i> – vstupně-výstupní brána
RAM	<i>Random Access Memory</i> – paměť s libovolným přístupem, ztrácí obsah po odpojení napájení
RISC	<i>Reduced Instruction Set Computer</i> – procesor s redukovanou instrukční sadou
SZ	<i>SpulenZündung</i> – klasické zapalování
TZ	<i>TransistorZündung</i> – tranzistorové zapalování
U	elektrické napětí; [V]
USART	<i>Universal Synchronous/Asynchronous Receiver and Transmitter</i> – zařízení pro synchronní/asynchronní sériovou komunikaci
USB	<i>Universal Serial Bus</i> – univerzální sériová sběrnice pro připojení periférií k PC
VN	vysoké napětí
VZ	<i>VollelektronischeZündung</i> – plně elektronické zapalování
d	délka; [m]
p	tlak; [Pa]
Φ	magnetický tok; [Wb]
λ	Lambda signál, součinitel přebytku vzduchu ve výfukových plynech; [-]
φ	úhel; [°]

Účel zapalování

Zapalovací soustava má u zážehových motorů za úkol vygenerovat elektrický výboj mezi elektrodami zapalovacích svíček. Tento výboj musí být vhodně načasován, a současně musí mít dostatečnou energii k zapálení směsi pohonné hmoty a vzduchu ve válci. Tyto parametry (vhodný čas - předstih i energie) jsou ovšem závislé na velkém množství proměnných veličin, kvůli kterému je obtížné optimální parametry zážehu stanovit.

Mezi veličiny nejvíce ovlivňující předstih zážehu patří:

- *otáčky motoru*
- *složení směsi ve válci*
- *teplota motoru*

Základní pojmy a rozdělení zapalování

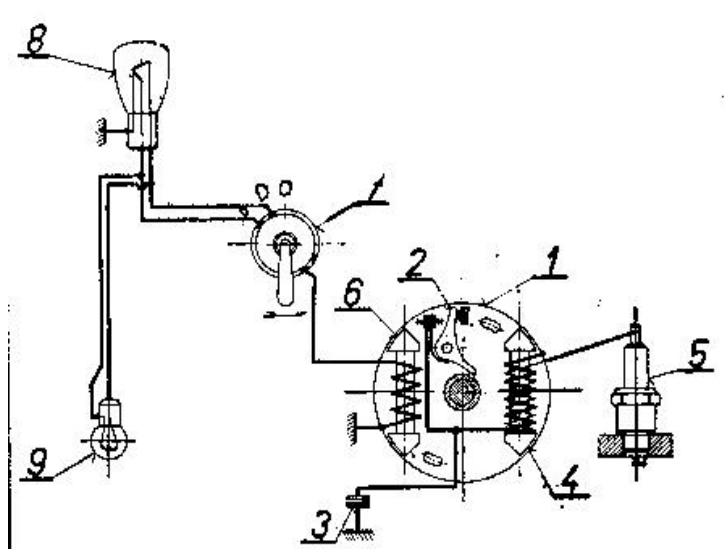
1.1 Rozdělení systémů zapalování

- *Magnetoelektrické zapalování*

Tento systém je založen na získání elektrické energie přímo z chodu spalovacího motoru – pomocí magnetu. Magneto je druh elektrického generátoru podobný alternátoru s permanentními magnety. Na statoru má navinutou cívku (nebo více cívek – pro napájení dalších elektrických zařízení vozidla). Vlivem otáčení motoru se v magnetickém poli (cívce) magnetu akumuluje indukovaná energie, není proto potřeba žádného vnějšího zdroje. Vinutí zapalovací cívky je přes kontakty přerušovače zkratováno, takže v ní nedochází ke změnám magnetického pole. Pokud se tyto kontakty rozeznou, energie nahromaděná v cívce je převedena do vysokonapěťového obvodu a na zapalovací svíčke může vzniknout jiskra.

Absence vnějšího zdroje energie je současně výhodou i nevýhodou magnetoelektrických zapalování. Při nižších otáčkách motoru, zejména při startování, je proud (a tím i akumulovaná energie) indukovaný v cívce dosti malý a může vlivem nenulového odporu vinutí zaniknout dřív, než se kontakty přerušovače rozeznou – tím může být zážeh znemožněn. Naopak při vysokých otáčkách motoru je k dispozici energie dostatek, elektrický odpor vinutí je v tomto případě nepodstatný, mohou být pouze větší ztráty v železném jádře cívky. Více zde záleží právě na kontaktech přerušovače, respektive mechanických

vlastnostech celého systému přerušovače. Regulace předstihu zapalování je u těchto systémů těžko řešitelná (a tedy i neúměrně nákladná), proto se používá hlavně u malých dvoudobých spalovacích motorů, kde je nastaven jeden konstantní předstih.



Obr. 1: Schéma magnetoel. zapalování mopedu Stadion 11.

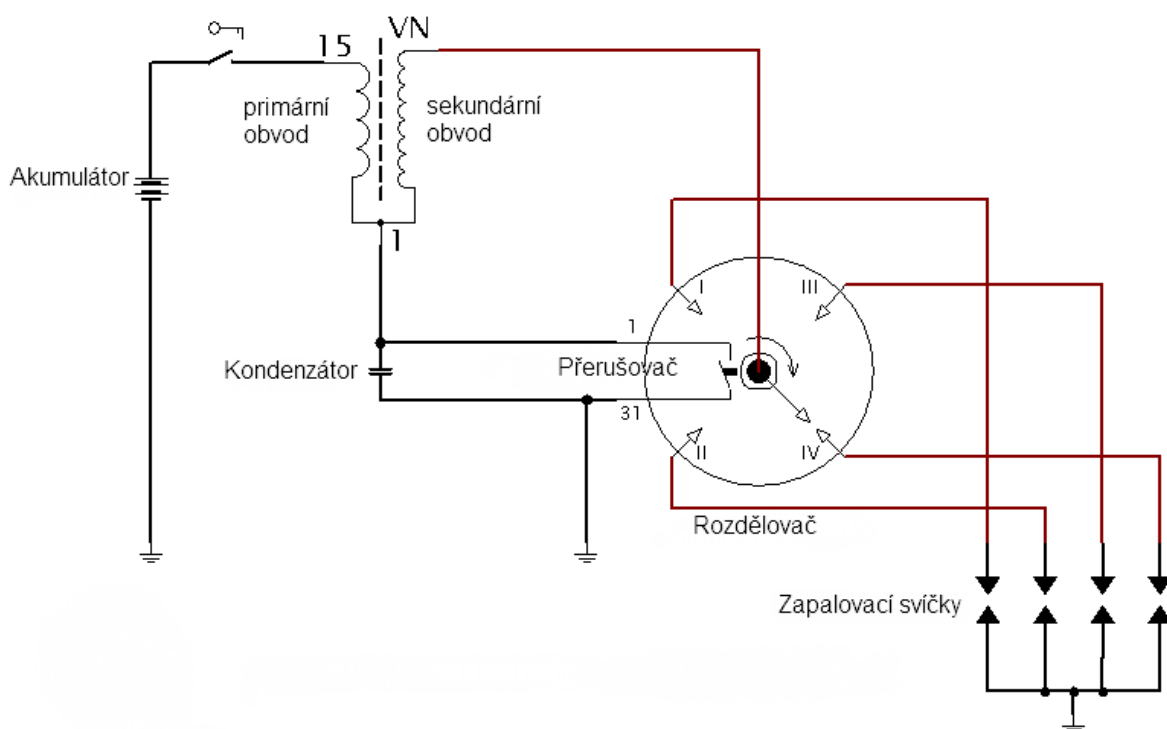
- (1) Setrvačnickové magneto PAL
- (2) mechanický přerušovač
- (3) kondenzátor
- (4) zapalovací cívka
- (5) zapalovací svíčka
- (6) cívka pro osvětlení
- (7) otočný přepínač
- (8) žárovka světlometu
- (9) žárovka koncového světla

- **Bateriové zapalování**

Energie je do zapalování dodávána z akumulátoru. Díky tomu je odstraněna nevýhoda nedostatku energie magnetoelektrického systému při malých otáčkách motoru. Je to v současné době nejpoužívanější princip zapalování. Vysoké napětí pro zápal se získává buď

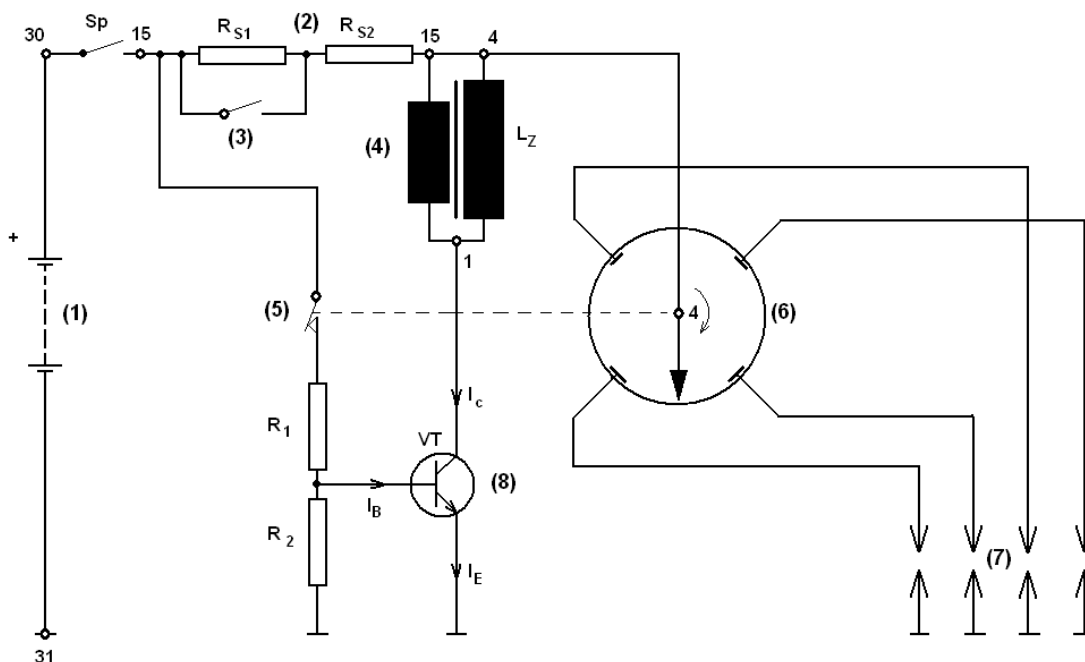
indukcí v zapalovací cívce nebo vybíjením kondenzátoru nabitého na vysoké napětí přes zapalovací transformátor (méně časté). Bateriové zapalování lze dále rozdělit na:

- **klasické zapalování (SZ)** – proud protékající obvodem primárního vinutí cívky je přerušován kontakty mechanického přerušovače, který je ovládán vačkou umístěnou na ose spalovacího motoru nebo v tělese rozdělovače. Při rozpojení kontaktů (přerušení obvodu s cívkou) se indukuje vysoké napětí v primárním i sekundárním vinutí. Protože by mezi kontakty přerušovače vznikl při rozpojování elektrický oblouk, který by je opaloval, přemostňuje se přerušovač kondenzátorem s kapacitou cca $0,25 \mu\text{F}$ ([1], str. 142). Tím se obvod v první chvíli rozpojení uzavře přes tento kondenzátor a k opalování kontaktů nedochází. Regulace předstihu je mechanická. V tělese rozdělovače jsou na ose symetricky zavěšena závaží, jejichž odstředivý pohyb při zvýšení otáček je přenášen na tzv. kulisu, která svým natáčením mění polohu vačky přerušovače o jistý úhel α proti základní poloze, a tím i předstih. Závaží jsou do výchozí polohy vracena pružinami s přesnou tuhostí. Vysoké napětí se pro jednotlivé válce rozděluje mechanicko-elektrickým způsobem – přeskokem z rozdělovacího raménka (palce) rozdělovače na příslušný kontakt umístěný ve víčku rozdělovače.



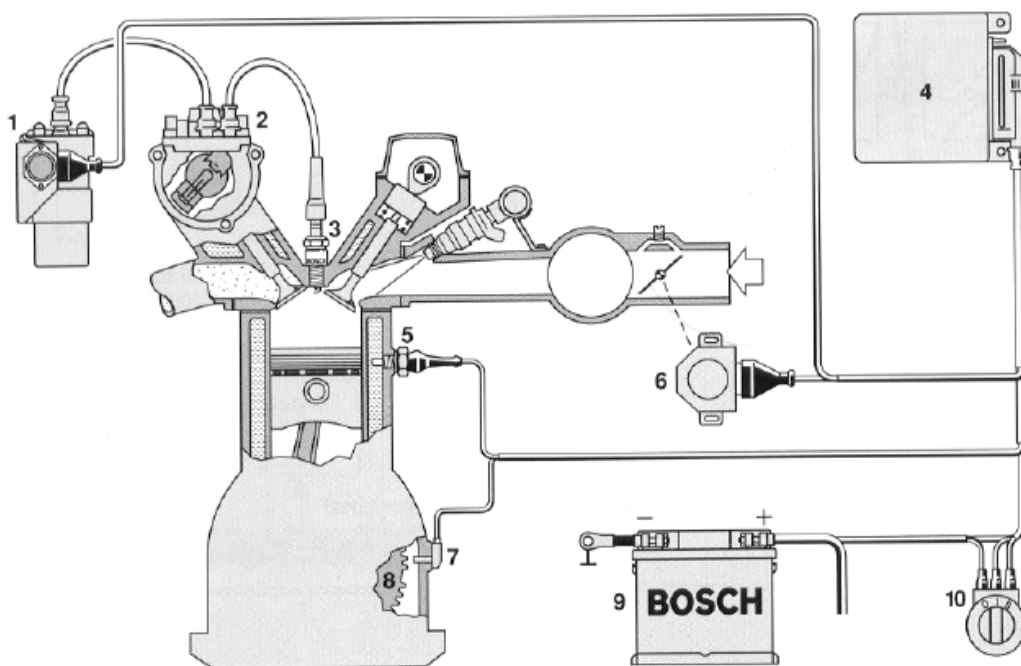
Obr. 2: Klasické zapalování

- **tranzistorové zapalování (TZ)** – proti klasickému systému je zdroj zapalovacích impulsů, mechanický přerušovač, nahrazen tranzistorem. Mechanický přerušovač může být ještě použit pro ovládání (spínání) tranzistoru, ale z tohoto řešení se rychle přešlo na ovládání pomocí elektronických spínačů – indukční snímač nebo snímač s Hallovým členem. Výhodou tranzistorového zapalování je nepřítomnost mechanických kontaktů ve vysokonapěťovém obvodu, tedy nehrozí jejich opalování. Současné je možné pracovat s větším proudem v primárním obvodu cívky, snížením její indukčnosti a el. odporu. Tím lze dosáhnout větší energie pro zápal nebo v důsledku zkrácení časové konstanty obvodu, vyšší maximální počet zápalů za otáčku. Kvůli sníženému odporu primárního vinutí cívky je ovšem nutné omezovat maximální proud cívkou, případně řídit čas buzení cívky tak, aby nedošlo k jejímu přetížení. Předstih zážehu je regulován obdobně jako v předchozím případě klasického zapalování mechanickým regulátorem v rozdělovači. Rozdělovač se opět stará i o rozvedení vysokého napětí k příslušným válcům.



Obr. 3: Tranzistorové zapalování se spínáním tranzistoru mechanickým přerušovačem.
 (1) Akumulátor, (2) předradné rezistory, (3) spínač pro vyřazení rezistoru R_{S1} při startu, (4) zapalovací cívka, (5) přerušovač, (6) rozdělovač, (7) zapalovací svíčky, (8) spínací tranzistor

- **elektronické zapalování (EZ)** – tranzistorové zapalovací systémy mají mechanický rozdělovač, jehož součástí se provozem opotřebovávají (například náhon ozubeným soukolím, vůle v uložení apod.) a mohou měnit časování zážehu, je tedy potřeba čas od času zapalování seřadit. Tento nedostatek TZ odstraňuje elektronické zapalování, kde je funkce mechanického rozdělovače omezena jen na rozdělování vysokého napětí k příslušným válcům. O správné načasování a další parametry zážehu, se stará řídicí jednotka, která je tvořena mikroprocesorem a obvody pro úpravu signálů z různých snímačů. Řídicí jednotka prostřednictvím těchto signálů zjišťuje podrobné informace o aktuálním provozním stavu motoru, jako jsou například aktuální otáčky motoru, jeho teplota, teplota nasávaného vzduchu, úhel otevření škrtkové klapky, napětí akumulátoru, složení výfukových plynů (signál λ) a další signály využívané i pro systémy vstřikování paliva. Pro regulaci předstihu zážehu jsou nejpodstatnějšími veličinami aktuální otáčky motoru a zatížení motoru. V paměti typu ROM mikroprocesoru je uloženo třírozměrné datové pole, ze kterého je po vyhodnocení vstupních signálů optimální čas zážehu přiřazen. Kromě toho jsou v dalším třírozměrném poli uloženy informace o optimálním úhlu (předstihu) sepnutí buzení cívky v primárním obvodu. Tento úhel je závislý na otáčkách motoru a aktuálního napětí akumulátoru.



Obr. 4: Elektronické zapalování Bosch – rozdělování pomocí mech. rozdělovače. [10]

(1) zapalovací cívka s koncovým stupněm zapalování, (2) rozdělovač VN, (3) zapalovací svíčka, (4) řídicí jednotka, (5) snímač teploty motoru, (6) spínač škrtkové klapky, (7) snímač otáček a polohy, (8) ozubený kotouč, (9) akumulátor, (10) spínací skříňka

- ***plně elektronické zapalování (VZ)*** – nevýhodou elektronického zapalování zůstává rozdělování vysokého napětí rotačním raménkem rozdělovače a jeho následné vedení vysokonapěťovými kabely k zapalovacím svíčkám. Vzhledem k vysokému napětí (VN) musí být raménko i víčko rozdělovače vyrobeny z dobrých elektroizolačních materiálů, navíc s povrchem omezujícím usazování prachu a dalších nečistot. Tyto díly, stejně jako izolace vysokonapěťových kabelů, jsou dále vystaveny výrazným změnám teplot. Znečištění a degradace izolantů vlivem teploty se potom projevuje poruchami zapalování, protože VN si může prorazit cestu například po povrchu víčka rozdělovače nebo přes izolaci VN kabelů na kostru motoru. Tyto negativní dopady odstraňuje plně elektronické zapalování tím, že nahrazuje mechanický rozdělovač elektronickým rozdělováním. Elektronické rozdělování pracuje na straně nízkého napětí. Je řízeno logickým členem nebo přímo mikroprocesorem řídicí jednotky a ovládá koncový stupeň tvořený tranzistory. Transformace na vysoké napětí probíhá v zapalovací liště, kde jsou umístěny vinutí cívek. Sekundární vinutí cívek je připojeno bezprostředně na zapalovací svíčky.

- ***Piezoelektrické zapalování***

U tohoto typu zapalování se získává energie mechanickým tlakem na piezoelektrické krystaly. Nevýhodou těchto systémů je hlavně nepřesné dodržování okamžiku zážehu a také nespolehlivost zapalování v přechodových režimech motoru. Proto se dnes piezoelektrické zapalování ve spalovacích motorech prakticky nepoužívá.

1.2 Zapalovací napětí

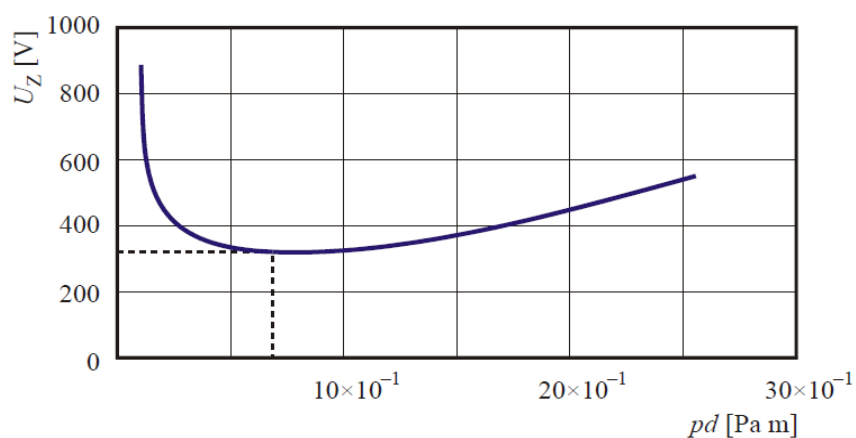
Velikost napětí potřebná pro vznik elektrického výboje v plynu závisí na několika faktorech, zejména na:

- ***tlaku plynu p***
- ***vzdálenosti a tvaru elektrod d***
- ***strmosti růstu napětí na elektrodách***

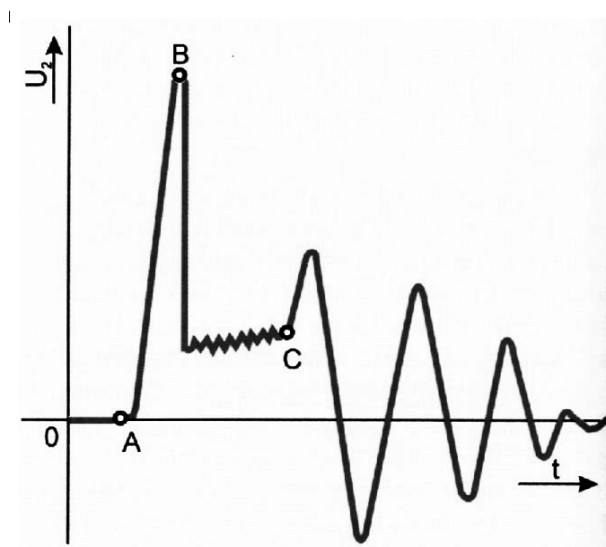
Vliv tlaku plynu a vzdálenosti elektrod na velikost přeskokového napětí popisuje *Paschenův zákon* ([3], str. 16) :

$$U_p = f(p \cdot d) \quad 1$$

Složení směsi vzduchu s palivem nemá na velikost přeskokového napětí velký vliv, proto je možné jej zanedbat.



Obr. 5: Paschenova křivka pro vzduch [3]



Obr. 6: Průběh napětí na zapalovací svíčce [1]

V praxi je pro přeskok jiskry na elektrodách zapalovacích svíček ve válci spalovacího motoru potřeba napětí v řádu několika desítek kilovoltů ([1], str. 131). Průběh napětí na zapalovací svíčce při rozpojení kontaktů přerušovače vypadá přibližně jako na obrázku 6.

Popis průběhu napětí na svíčce lze rozdělit do několika úseků. V úseku *A* až *B* po přerušení proudu v primárním vinutí, narůstá napětí v sekundárním vinutí cívky (tedy i na zapalovací svíčce). Tento děj trvá přibližně 1 ms. V bodě *B* dosáhne napětí průrazné hodnoty a mezi elektrodami zapalovací svíčky přeskóčí jiskra. Do této jiskry se vybije energie z kapacity zapalovací svíčky, která bývá přibližně 5 – 15 pF. Vybití malé kapacity je velmi rychlé, proto je okamžitý výkon odevzdaný do jiskry poměrně velký a má největší vliv na zapálení směsi. Napětí na elektrodách přitom výrazně poklesne. Poté přebírá úlohu „živení“ jiskry energie uvolňující se z magnetického pole zapalovací cívky. Po vyčerpání většiny této energie jiskra zhasne (bod *C*) a následně jen doznívá přechodný jev bez dalších průrazů. Do dalšího cyklu zapalování musí přechodný jev odeznít.

1.3 Snímače otáček

Ke snímání otáček a polohy spalovacích motorů se využívají elektricky pasivní nebo aktivní snímače. Elektricky pasivní typy většinou neobsahují další elektroniku a fungují zpravidla na indukčním principu. Aktivní snímače otáček měří méně výrazné elektromagnetické efekty (jako je například Hallův), a proto mají integrováno různé množství podpůrné elektroniky, již je získaný signál zesilován a podle potřeby dále upravován.

Pro spalovací motory dopravních prostředků se příliš nevyužívají snímače založené na optoelektrickém (optozávory) a kapacitním principu, a to kvůli velmi náročným provozním podmínkám – prašné prostředí, velké změny teplot, vlhkost...

Podle počtu značek snímaných po obvodu rotoru je možné rozdělit snímače otáček na:

- **Inkrementální snímač** – jemné dělení značek, umožňuje rozlišení i malých změn úhlu/rychlosti;
- **Segmentový snímač** – snímá několik málo značek, používá se například pro rozlišení jednotlivých válců motoru;
- **Jednoduchý snímač** – snímá pouze jednu značku za jednu otáčku hřídele, měří tedy průměrnou rychlost a není možné zjistit podrobnější průběh rychlosti v průběhu jedné otáčky.

1.3.1 Induktivní snímače

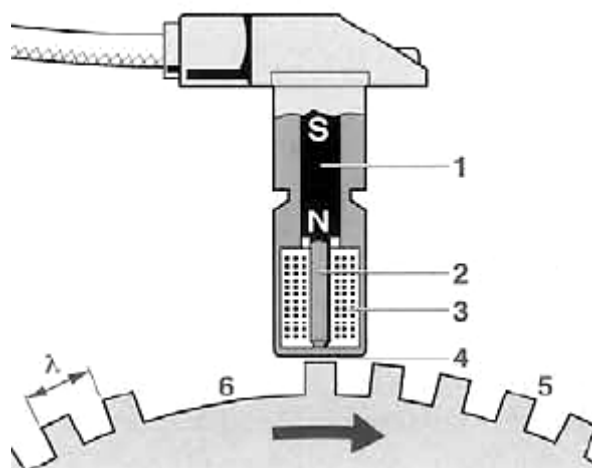
Využívají k měření rychlosti otáčení indukční zákon. Na dvou pólovém výstupu se indukuje napětí U_A , úměrné časové změně magnetického toku Φ ([2], str. 43):

$$U_A = U_{ind.} = \omega \cdot \frac{\delta \Phi}{\delta x} \cdot \frac{d x}{d t} \quad 2$$

kde ω je počet otáček, x je proměnná poloha při otáčení.

Velikost indukovaného napětí tedy závisí na rychlosti otáčení motoru. Při malých otáčkách je tedy signál z takového snímače slabý, proto se používá pouze v dynamických aplikacích. U spalovacích motorů by mohl nastat problém jen při rozběhu. Na výstupu snímače je získáván signál přibližně sinusového průběhu.

Moderní indukční snímače jsou vyráběny většinou v tyčovém pouzdře, které obsahuje tyčový magnet s pólovým nástavcem z magneticky měkkého materiálu na němž je navinuta indukční cívka. Při otáčení ozubeného kola z feromagnetického materiálu pod indukčním snímačem se do snímací cívky indukuje v důsledku změny magnetického pole napětí úměrné změně pole.



Obr. 7: Indukční snímač [2]

- (1) Tyčový magnet, (2) pólový nástavec, (3) indukční cívka, (4) vzduchová mezera, (5) ozubený rotor, (6) vzažná značka

Výhodami indukčních snímačů jsou například nízké výrobní náklady, dobrá odolnost proti elektromagnetickému rušení nebo funkčnost bez napájení a přídavné elektroniky ve snímači.

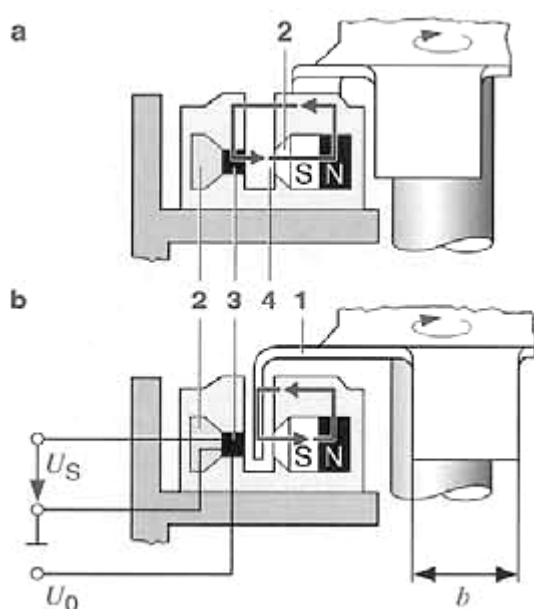
Nevýhodami naopak mohou být určité limity při miniaturizaci takového snímače, dané zejména běžnou technologií výroby cívek, nebo závislost velikosti výstupního signálu snímače na rychlosti otáčení, kvůli které se signál hůře zpracovává (při vysokých otáčkách může mít signál amplitudu kolem 100 V). Snímač, respektive jím získaný signál, je také ovlivňován nestálou velikostí vzduchové mezery. Proto je důležité vhodnou a dostatečně tuhou konstrukcí zajistit vzájemně neměnnou pozici snímače vůči snímanému rotoru se značkami.

1.3.2 Magnetostatické snímače

Pro měření otáček ve spalovacích motorech se používají především snímače s Hallovým prvkem. Hallův člen je polovodičová destička reagující na proměnné magnetické pole napětovým rozdílem na svém výstupu. Velikost výstupního signálu není závislá na rychlosti otáčení, snímač reaguje pouze na změnu magnetického pole. Jsou to snímače aktivní, mají tedy integrovány elektronické prvky, například zesilovač signálu a tvarovací obvod. Na výstupu snímače je tedy signál s konstantní amplitudou a zpravidla obdélníkovým tvarem, který může být dále zpracován mikropočítačem v řídicí jednotce. Pro zajištění jednoznačného rozlišení průchodu značek rotoru je potřeba změny magnetické indukce B přibližně 40 – 50 mT. Hallové snímače bývají konstruovány jako:

- Hallové závory – (obr. 8) snímač tvoří téměř uzavřený magnetický obvod. Je přerušen vzduchovou mezerou, kterou probíhá clonka rotoru z magneticky měkkého materiálu. Průchodem clonky vzduchovou mezerou se magnetický obvod uzavírá přes tuto clonku a odklání tak magnetický tok od snímače. Mezera mezi clonkami rotoru naopak umožní uzavření magnetického obvodu přes vzduchovou mezeru a snímač.
- Tyčové Hallové snímače – (obr. 9) používají se ke snímání magneticky aktivního rotoru, složeného z pólových nástavců se střídající se orientací „sever-jih“. Ke snímání magneticky pasivních rotorů se nehodí kvůli nutnosti integrovat ve snímači magnet pro nastavení pracovního bodu. Ten se ale velmi mění s velikostí vzduchové mezery a bylo by nutné kvůli tomu neustále přestavovat spínací úrovně integrovaného komparátoru napětí.

- Gradientní snímače – (obr. 10) pro snímání magneticky pasivních rotorů jsou vhodnější než jednoduché tyčové snímače. Jsou tvořeny magnetem s tenkou feromagnetickou destičkou, na níž jsou umístěny dva Hallovy prvky tak, že jeden prvek je postaven proti zubu na rotoru a druhý současně proti mezeře mezi zuby. Signál získaný při tomto uspořádání je roven přibližně derivaci intenzity magnetického pole podle obvodového úhlu a jeho polarita se nemění s velikostí vzduchové mezery.
- Tangenciální snímače – (obr. 11) reagují na polaritu a tangenciální složku intenzity magnetického pole vzhledem k obvodu rotoru. Tvar těchto snímačů není nutné, na rozdíl od gradientních typů, přizpůsobovat tvaru snímaných zubů.



Obr. 8: Hallova závora [2];

a) Magnetický tok bez clonky

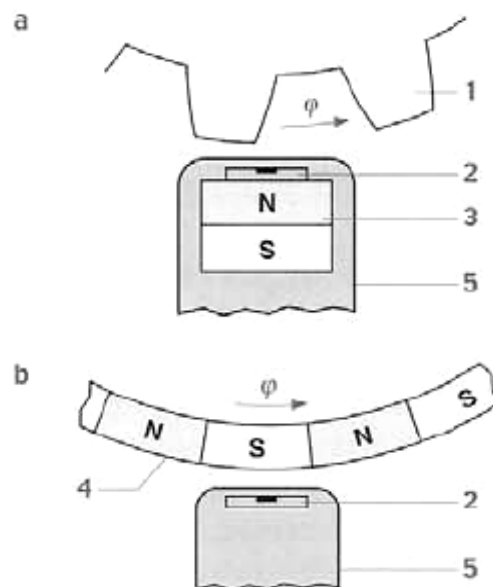
b) mag. tok při průchodu clonky;

(1) clonka

(2) mag. měkké materiály pro vedení mag. toku

(3) Hallův člen (integr. obvod)

(4) vzduchová mezera

 U_S – napětí snímače U_0 – napájecí napětí

Obr. 9: Hallovy tyčové snímače [2];

a) Pasivní rotor

b) aktivní rotor;

(1) Inkrementační rotor

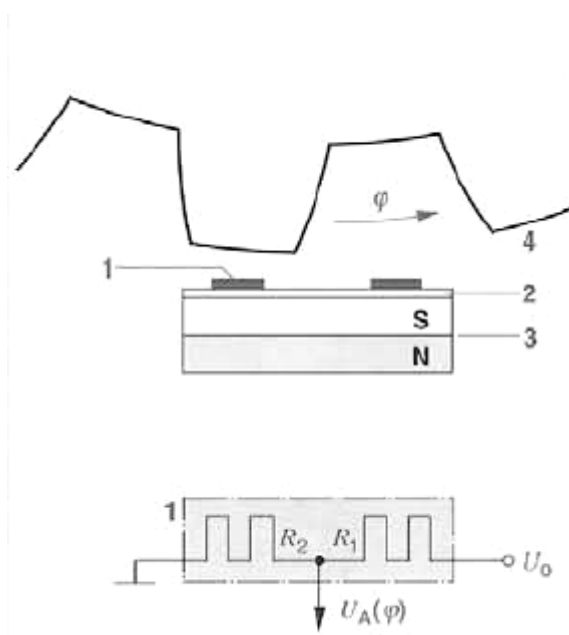
(2) Hallův člen

(3) permanentní magnet

(4) pólové kolo

(5) pouzdro

 ϕ – úhel natočení rotoru

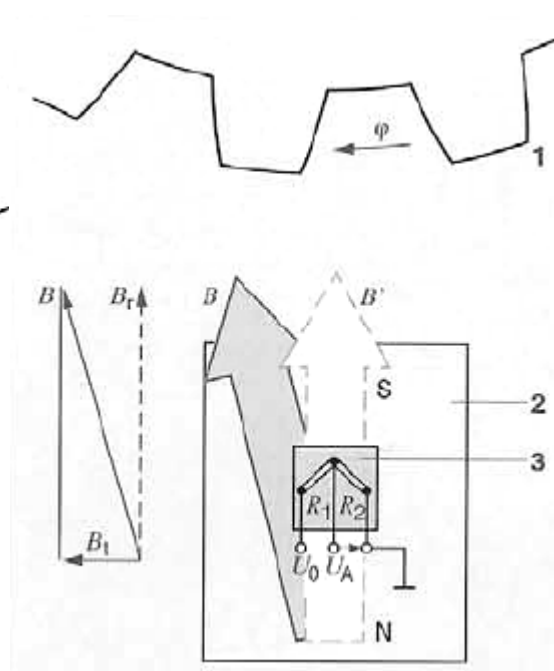


Obr. 10: Gradientní snímač [2];

- (1) Magnetorezistory nebo Hallovy prvky R_1 a R_2
- (2) magneticky měkký substrát
- (3) permanentní magnet
- (4) ozubené kolo

U_0 – napájecí napětí

$U_A(\varphi)$ – měřené napětí při úhlu otočení φ



Obr. 11: Tangenciální snímač [2];

- (1) Ozubené kolo (Fe)
- (2) permanentní magnet
- (3) snímač

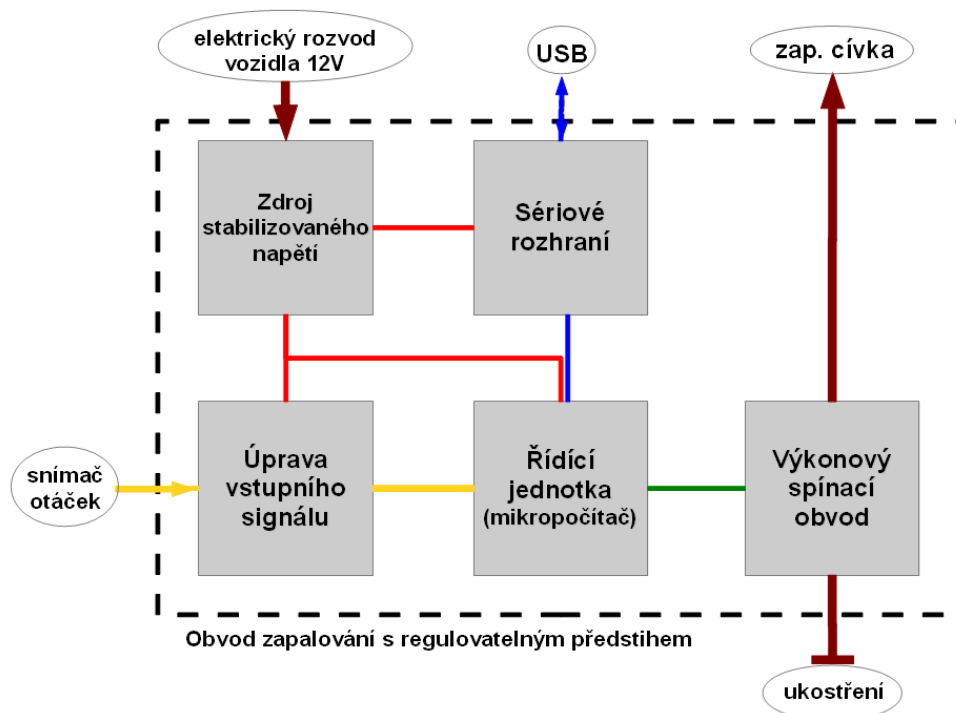
B – intenzita řídicího pole s tangenciální složkou B_t a radiální složkou B_r (B' je klidová poloha – $B_t = 0$)

φ – úhel natočení

Výhodami magnetostatických snímačů proti snímačům indukčním jsou zejména schopnost snímat i pomalé rychlosti otáčení, díky absenci cívek dobré možnosti miniaturizace snímačů a také nezávislost velikosti výstupního signálu na měřených otáčkách. Výhodou, ale zároveň největší nevýhodou, je přítomnost integrovaných obvodů. Je možné díky nim získat signál požadovaných tvarů a velikostí, ale také mohou pracovat při maximální teplotě „pouze“ kolem 150° C. Tato teplota omezuje možnosti využití těchto snímačů v teplotně náročnějších aplikacích.

Návrh regulátoru předstihu

2.1 Blokové schéma zařízení



Obr. 12: Blokové schéma navrhovaného zařízení

2.2 Volba mikropočítače

Při výběru jednočipového mikropočítače bylo přihlédnuto především k dobré dostupnosti, nízké ceně a snadné použitelnosti s malým množstvím okolních součástek.

Zvolen byl osmibitový mikroprocesor řady PIC16, typu PIC16F628A. Tento procesor je založen na Harvardské architektuře s oddělenými sběrnicemi pro instrukce a data. Data mají šířku 8 bitů, zatímco instrukční slovo je 14 bitů široké. Díky tomu je počet instrukcí redukován na 35 (RISC). Mikropočítač obsahuje 3,5 kB paměti typu FLASH, 128 B EEPROM paměti dat a 224 B paměti RAM. Kromě toho je vybaven třemi hardwarovými čítači/časovači a rozhraním pro sériovou komunikaci. Může pracovat v širokém teplotním rozpětí od -40°C do 125°C a napájen napětím v rozsahu 2 – 5,5 V.

2.3 Schéma zapojení zařízení

Schéma zapojení regulátoru předstihu bylo vytvořeno v návrhovém programu Eagle 5.11, stejně jako předlohy pro výrobu desky plošných spojů.

Schéma zapojení je v příloze A, předloha plošného spoje v příloze B a osazovací výkres v příloze C.

2.4 Popis částí zařízení

- **Zdroj stabilizovaného napětí**

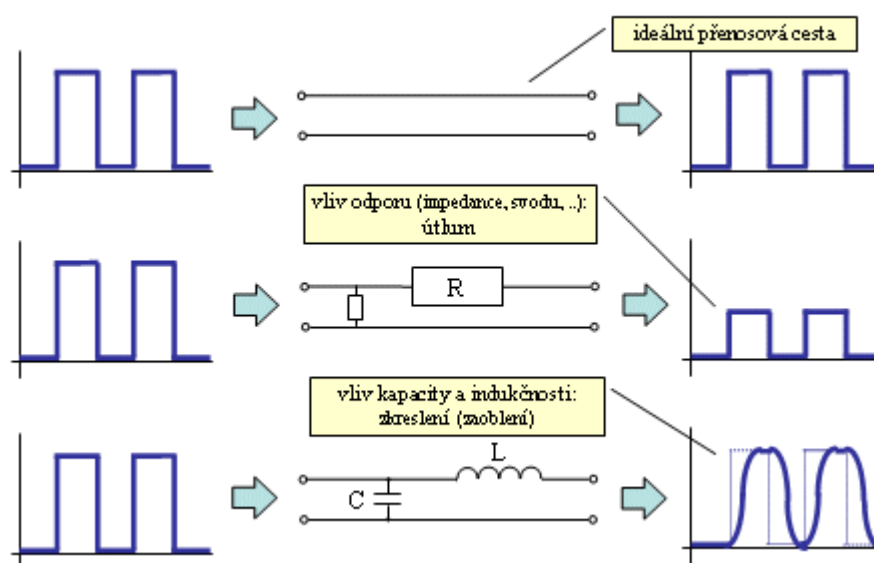
Vzhledem k tomu, že není předpoklad příliš velkého proudového odběru „logické“ části zařízení, je zdroj napětí řešen stabilizační Zenerovou diodou se zenerovým napětím 5,1 V. Použitá dioda vyžaduje pro zaručení Zenerova napětí závěrný proud 5 mA, nejvýše však 98mA (0,5W). Rezistorem R1 = 220 Ω je zvolen proud:

$$(U_0 - U_z) / R_1 = (12 - 5,1) / 220 = 31,2 \text{ mA} \quad 3$$

Napětí je dále vyhlazeno elektrolytickým kondenzátorem C1 a vř rušení filtrováno RC filtrem tvořeným rezistorem R1 a kondenzátorem C2. Napájení je osazeno křemíkovou usměrňovací diodou ve funkci ochrany zařízení proti přepólování.

- **Úprava vstupního signálu**

Signál ze snímače otáčení může na vodiči vlivem impedance, kapacity a indukčnosti, ztratit potřebnou strmost náběhu, případně vlivem odskakování kontaktů (při použití kontaktního přerušovače), obsahovat zakmitání na hranách (obr. 13). Tyto vlastnosti signálu by mohly mít rozhodující vliv na správné rozlišení polohy nebo rychlosti motoru na vstupu mikroprocesoru. Proto je zařazen na cestě signálu integrovaný obvod se čtyřmi Schmittovými klopnými obvody s hysterezí, který má za úkol odstranit ze signálu zákmity, a také obnovit strmost jednotlivých impulsů. Na tento obvod jsou připojeny další dva vstupy, které je možné po úpravě firmwaru řídicí jednotky použít například k několika stupňovému snímání polohy škrtící klapky nebo plynové rukojeti motocyklu a rozšířit tak datové pole předstihu o druhý rozměr.



Obr. 13: Vliv přenosové cesty na tvar signálu [4]

- **Výkonový spínací obvod**

Přerušování proudu v obvodu zapalovacích cívek je řešeno výkonovými spínacími tranzistory typu MOSFET ve funkci spínače. Jejich výhodou je skutečnost, že jsou ovládány napětím přiloženým na řídicí elektrodu *gate* (hradlo) $[G]$ a ovládání je tedy méně energeticky náročné, než v případě bipolárních tranzistorů ovládaných proudem do báze. Spínací vlastnosti těchto tranzistorů jsou obdobné jako v případě bipolárních typů. I když je sepnutí/vypnutí tranzistoru po přiložení napětí na *gate* velmi rychlé, není okamžité – postupně se uvádí do vodivého nebo nevodivého stavu. U tranzistorů MOSFET je tato doba ještě nepříznivě ovlivněna přítomností parazitních kapacit mezi elektrodami *gate* – *source* $[S]$ a *gate* – *drain* $[D]$, které svým nabíjením zpomalují nárůst napětí na řídicí elektrodě. Tím se prodlužuje doba přechodu tranzistoru z vodivého stavu do nevodivého a naopak. To pro něj může být při použití ve výkonových obvodech nebezpečné. Při otevřeném – vodivém – stavu je mezi vývody *D* a *S* velmi malý elektrický odpor, takže i poměrně velké proudy, procházející primárním vinutím cívky, nezpůsobují na tranzistoru velkou výkonovou ztrátu. Při zavírání tranzistoru se elektrický odpor mezi *D-S* zvyšuje, což má za následek zvyšování napětí na *D*. Parazitní kapacita mezi *G* a *D* (tzv. Millerova kapacita, [6]) má snahu zvýšit napětí i na *G* a tím zavírající-se tranzistor znovu pootevřít. Průchod proudu pootevřeným tranzistorem při zvýšeném napětí potom znamená velkou výkonovou ztrátu, která tranzistor může zničit. Proto je důležité zajistit co nejrychlejší přechod tranzistoru z vodivého stavu do

nevodivého. To je v zařízení řešeno budiči s komplementárními bipolárními tranzistory v SMD provedení ([6], str. 13).

Pro použití ve vysokonapěťovém obvodu zapalování byl zvolen spínací tranzistor typu IRF-740, který je schopen spínat napětí až 400 V a přenášet trvale proud až 10 A (krátkodobě 40 A). V obvodu buzení spínacích MOSFETů jsou osazeny RC členy, které omezují špičkový proud vznikající, zvláště při rozepínání, na parazitní kapacitě hradla. Proti přepětí je tranzistor chráněn transily. Tranzistory budou na desce osazeny malými chladiči, při správné funkci by jejich ztrátový výkon neměl být vyšší než 3 W. Pro zlepšení vlastností jiskry je mezi D a S umístěn kondenzátor o kapacitě 33 nF dimenzovaný na napětí 1000 V. [8]

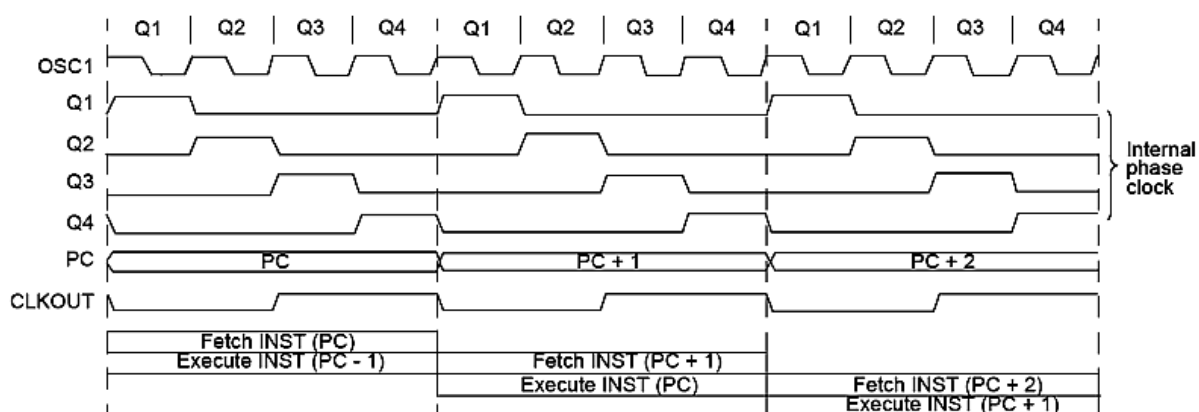
- **Sériové rozhraní**

Komunikace mikroprocesoru řízeného zapalování s osobním počítačem je řešena prostřednictvím sériového rozhraní USART (Universal Synchronous/Asynchronous Receiver and Transmitter) v asynchronním režimu. Na sériové lince je využit integrovaný obvod FT232-RL pro převod USART rozhraní používané mikroprocesorem na rozhraní typu USB (Universal Serial Bus) snadno použitelném v PC. Výhoda obvodu FT232-RL je například v automatické obsluze protokolu USB, takže není nutné vyvíjet zvláštní firmware pro jeho obsluhu. Obvod také může být napájen přímo z USB linky, a tím v případě momentálního nevyužití možnosti propojení zařízení s PC, neodebírá žádnou energii. Linka je pomocí optočlenů galvanicky oddělena. Softwarově není funkčnost sériového rozhraní v této práci řešena.

- **Řídící jednotka**

Řídící jednotkou tohoto zařízení pro regulaci předstihu zapalování je mikroprocesor PIC 16F628A. Pracovní kmitočet mikroprocesoru je dán použitým krystalem laděným na kmitočet 20 MHz. Při tomto kmitočtu trvá jeden instrukční cyklus $1 / (f_{osc} / 4) = 200 \text{ ns}$ (obr. 14). Mikroprocesor je vybaven jedním vstupem externího přerušení (RB0/INT). Na tento vstup je přiveden signál z jednoduchého snímače otáček (1 značka na 1 otáčku motoru).

Mikroprocesor měří časový odstup mezi impulsy, danými jednotlivými průchody značky. Na základě tohoto údaje, který odpovídá aktuálním otáčkám motoru, je z paměti dat mikroprocesoru přiřazena odpovídající časová prodleva do přerušení proudu primárním vinutím zapalovací cívky (cívek). Tato prodleva je následně odměřena a změnou stavu na pinech RA0 nebo RA1 (podle toho, která z maximálně dvou cívek má v příštím okamžiku generovat jiskru) ovládán příslušný koncový stupeň k odpojení příslušné cívky.

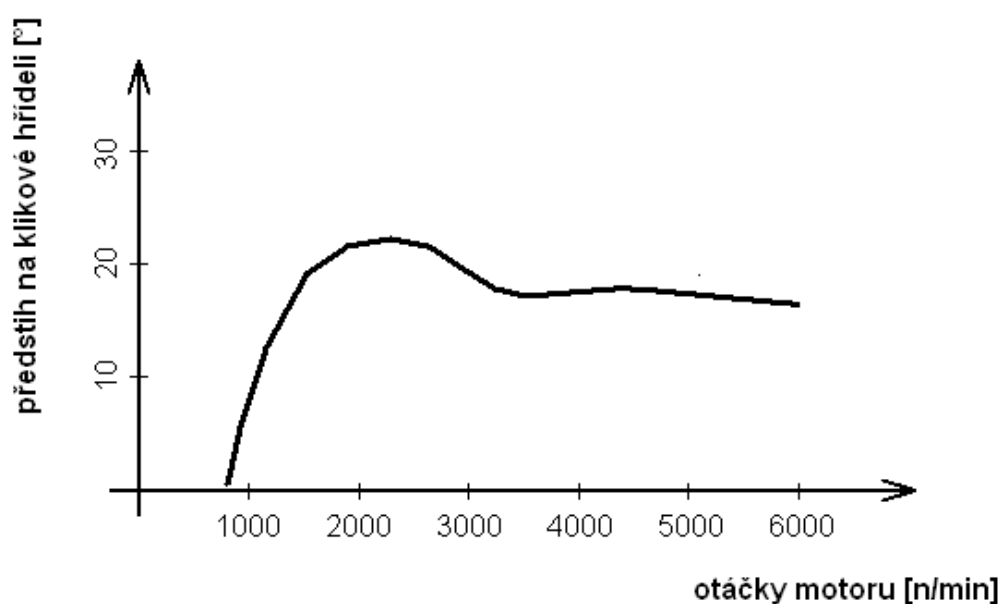


Obr. 14: Instrukční cyklus mikroprocesoru PIC16F628A [7]

2.5 Křivka předstihu

- *Křivka předstihu*

Protože vypočítávání doby zpoždění přímo v mikroprocesoru by bylo vzhledem k relativně velkému počtu operací, a zároveň požadavku rychlé odezvy, časově příliš náročné, jsou tyto doby zpoždění, tvořící křivku předstihu, spočítány napřed a uloženy v paměti mikroprocesoru. Je to v podstatě dvourozměrné (v případě navrhovaného zařízení) datové pole obsahující informace o požadovaném předstihu pro různé hodnoty otáček motoru. Pro nízké otáčky a okolí volnoběhu je dělení otáček jemnější, jelikož v této oblasti se předstih s otáčkami motoru nejvíce mění (obr. 15).



Obr. 15: Příklad křivky předstihu motoru

Protože pro zjištění správných hodnot by bylo potřeba měřit vlastnosti konkrétního motoru na motorové brzdě, jsou hodnoty v datovém poli pouze přibližně odhadnuty.

- **Výpočet doby zpoždění**

Doba zpoždění $T_{zpož}$ je doba, za kterou se hřídel motoru pootočí o definovaný úhel při definovaných otáčkách. Proměnnou velikostí tohoto zpoždění, po jehož odměření následuje přeskok jiskry, se tedy ovlivňuje úhel předstihu zápalu před horní úvratí (HÚ) pístu. K době zpoždění můžeme dojít následujícím postupem: [9]

Přepočítání ot./min. na ot./s (tedy Hz):

$$N_s[ot./s] = \frac{N_m[ot./min.]}{60} \quad 4$$

Doba trvání 1 otáčky v [s]:

$$T_s[s] = \frac{1}{N_s[ot./s]} \quad 5$$

Úhel zpoždění $\varphi_{zpož}$:

$$\varphi_{zpož} = \varphi_{max} - \varphi_{před} \quad 6$$

kde φ_{max} [°] je maximální úhel předstihu daný umístěním značky na snímači otáčení a $\varphi_{před}$ [°] je požadovaný úhel předstihu pro aktuální otáčky motoru.

Podíl úhlu zpoždění $\varphi_{zpož}$ na 1 otáčce motoru:

$$K = \frac{\varphi_{zpož}}{360} \quad 7$$

A konečně požadovaná doba zpoždění $T_{zpož}$:

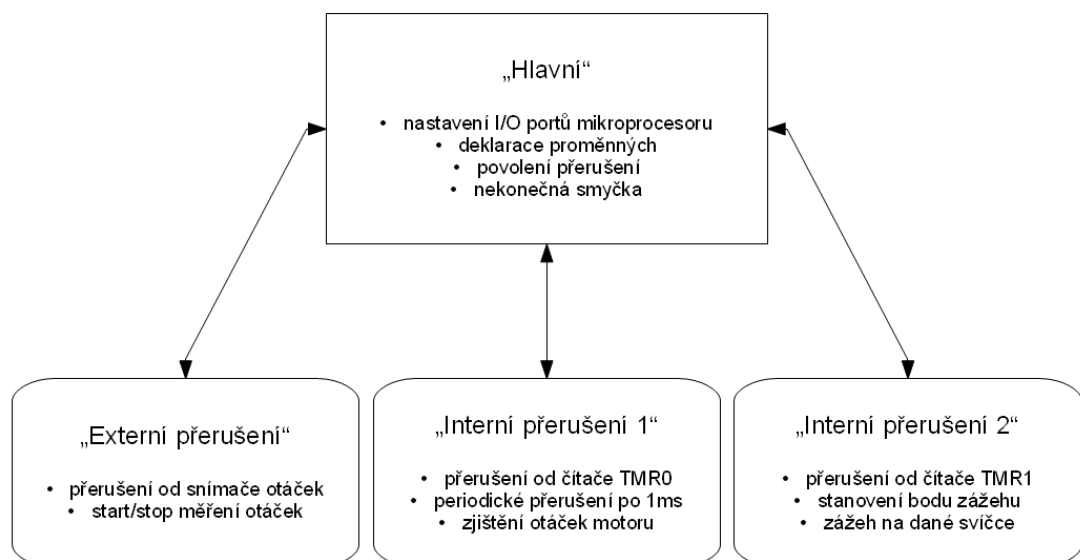
$$T_{zpož}[s] = T_s \cdot K = \frac{\varphi_{max} - \varphi_{před}}{60 \cdot N_m}$$

8

2.6 Programové řešení

Ovládací program – firmware – pro řídicí jednotku, je vytvořen ve vývojovém prostředí MPLAB IDE, vyvíjeném výrobcem mikročítačů Microchip.

Program je napsán v programovacím jazyce C. Základní částí programu je „main“, která obsahuje deklarace proměnných, nastavení použitých I/O portů, základní nastavení mikroprocesoru, respektive jeho registrů, a povoluje přerušení. Další části programu slouží k obsluze přerušení vyvolaných vnějším zdrojem (tj. přerušovač, snímač otáček) nebo vnitřními zdroji, což jsou přerušení od čítačů/časovačů. Celý program běží v uzavřené smyčce.



Obr. 16: Vývojový diagram programu

- **Měření otáček**

Otáčky jsou měřeny z doby uplynulé mezi dvěma impulsy příchozími na port RB0/INT mikroprocesoru. Nejdříve je s využitím 8-bitového hardwarového čítače TMR0 vytvořena smyčka přerušení. Toto přerušení je generováno každou 1 ms a vytváří časovou základnu programu. Současně je čítač TMR0 využit pro zjištění otáček motoru. Po vzniku externího přerušení (průchod značky snímačem) TMR0 odpočítává čas 1 ms. Při každém jeho přetečení a následném přerušení je inkrementován registr počítadla otáček. Hodnota tohoto registru se tedy zvyšuje po milisekundách. Při vzniku dalšího přerušení od externího zdroje má hodnota registru počítadla otáček spolu s aktuální hodnotou přečtenou z TMR0 význam času jedné otáčky motoru. Převrácená hodnota této doby jsou otáčky motoru za sekundu.

- **Přiřazení předstihu**

Na základě takto zjištěné doby jedné otáčky motoru probíhá porovnávání této hodnoty s časy uloženými v programu a tvořícími rozhodovací úrovně pro přidělení hodnoty předstihu. Těchto rozhodovacích úrovní je několik desítek a popisují rozsah otáček motoru od 500 ot./min do 10 000 ot./min. Rozhoduje se pomocí operátorů porovnání typu „menší než“ a „větší než“. Pokud jsou současně splněny obě podmínky, je z odpovídající adresy v paměti dat načtena do registru hodnota, příslušná předstihu pro interval otáček vyhovující těmto podmínkám.

- **Bod zápalu**

Určení bodu zápalu je provedeno pomocí 16-bitového čítače TMR1, který je naplněn hodnotou registru zjištěnou v předchozím kroku. Hodnotu X_{TMR1} , jakou je potřeba naplnit čítač TMR1, aby bylo dosaženo požadované doby zpoždění, je možné vypočítat následovně:

$$X_{TMR1} = 2^{16} - \frac{T_{zpož} \cdot f_{OSC} / 4}{p_{TMR1}} \quad 9$$

kde $T_{zpož}$ je doba zpoždění a p_{TMR1} je hodnota předděličky čítače TMR1.

Čítač od této hodnoty inkrementuje až do svého maxima, následné přetečení vyvolá přerušení od čítače TMR1. V obsluze tohoto přerušení je poté změněn stav na pinu mikroprocesoru RA0 nebo RA1 podle toho, která z cívek (v případě použití zařízení na

víceválcovém motoru) má generovat jiskru. Protože se rychlost otáčení motoru může v průběhu otáčky měnit, může být skutečný bod zápalu v určitém rozmezí úhlově posunut proti zadanému předstihu. Předpokládá se ale, že tato změna v rámci otáčky není příliš velká a vzniklou nepřesnost lze zanedbat.

Závěr

V úvodu práce byly popsány různé systémy zapalování pro spalovací motory, tak jak šel chronologicky jejich vývoj a používání. Z jejich vzájemného porovnání vycházejí najevo výhody používání mikroprocesorem řízených systémů zapalování. Jsou jimi hlavně přesné nastavení správného předstihu zápalu ve všech pracovních otáčkách, dosahování vysokých sekundárních napětí zaručujících zapálení směsi i při nepříznivých okolnostech ve válci, anebo schopnost udržovat energii jiskry téměř konstantní, nezávislou na napětí akumulátoru či otáčkách motoru. Zvláštní část je věnována různým druhům snímačů otáčení.

Ve druhé části textu je navrženo blokové schéma zařízení pro regulaci předstihu zážehu a popsána konstrukce a funkce jednotlivých bloků. Na základě blokového schématu bylo sestaveno schéma elektrického zapojení zařízení. Součástky pro jeho realizaci byly vybírány zvláště s ohledem na jejich teplotní odolnost, a v případě součástek spínacích a optočlenů, také na jejich vysokofrekvenční či spínací vlastnosti. Při následném návrhu desky plošných spojů bylo přihlédnuto nejen ke správnému elektrickému propojení součástek, ale i k ostatním požadavkům na návrh, týkajícím se například rozmístění součástek, rozvodu napájení a dalším, uváděným zejména v [5]. Funkce programu pro řízení předstihu je zvolena tak, aby bylo možné použít jeden snímač pro zjišťování otáček a zároveň i polohy (například původní mechanický přerušovač), a nebylo nutné provádět rozsáhlé úpravy na původním systému motocyklu.

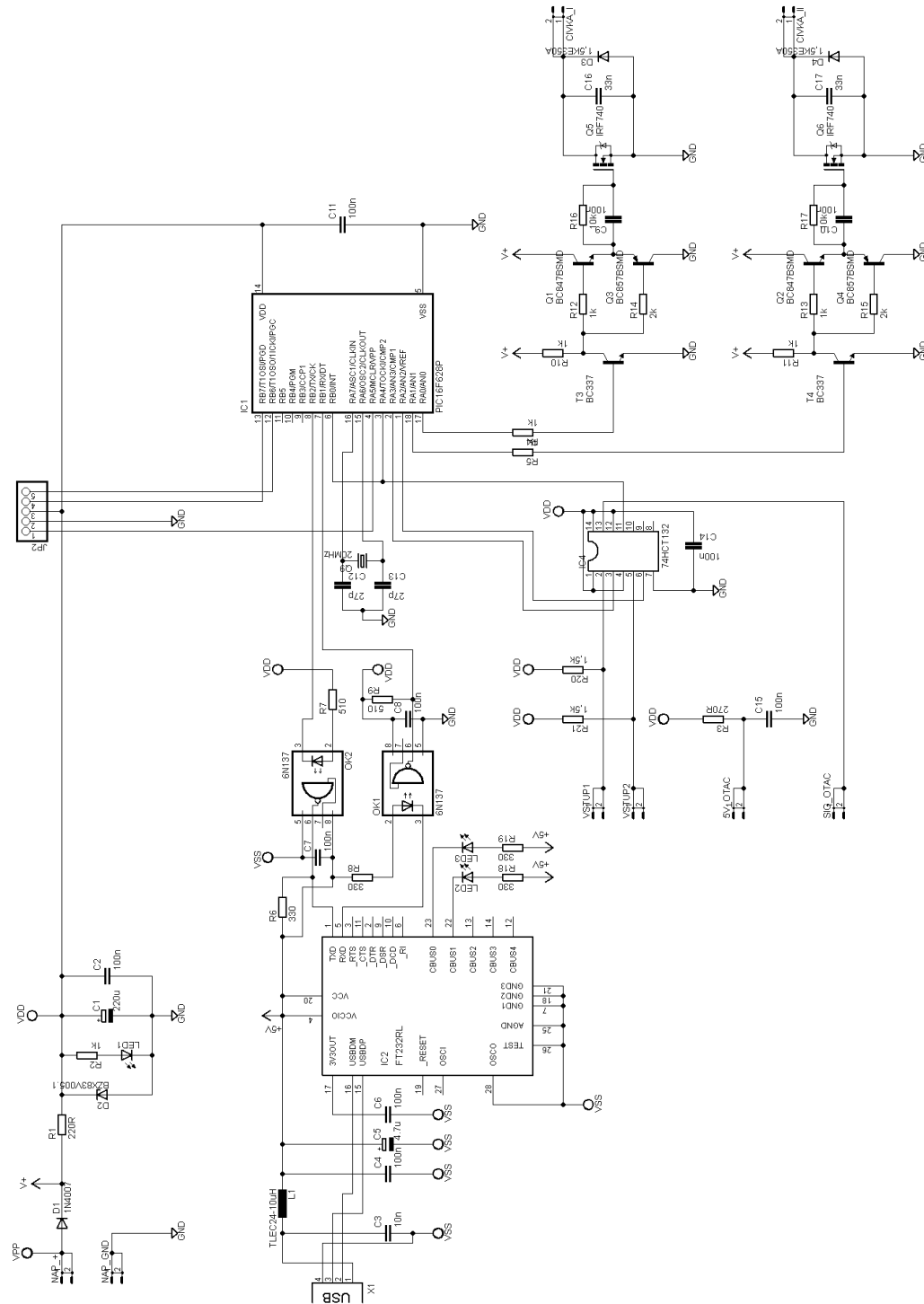
Zařízení navrhované v této práci by mohlo být přínosem především pro motocykly, které nejsou od výrobce vybaveny žádným systémem automaticky regulovaného předstihu zapalování. Po odladění správné křivky předstihu na konkrétním motocyklu by bylo možné dosáhnout hlavně zlepšení přechodu motoru do vyšších otáček, a také stabilizaci jeho chodu ve volnoběžných otáčkách.

Seznam literatury a informačních zdrojů

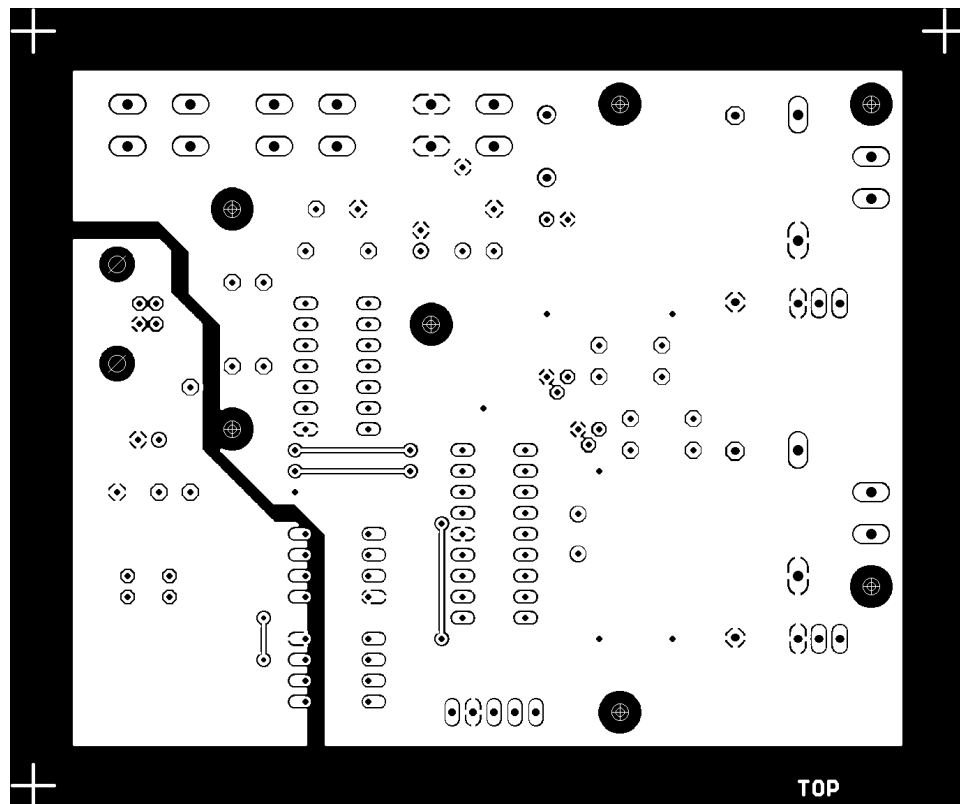
- [1] Jan, Z., Kubát, J., Žďánský, B. *Elektrotechnika motorových vozidel 1*, 1. vydání, Avid s.r.o. Brno, 2001
- [2] Zabler, E. *Snímače v motorových vozidlech*, přeložil T. Kampán, 1. české vydání, Robert Bosch Praha, 2003
- [3] Kubeš, P., *Impulsní silnoproudé výboje a jejich diagnostika*, FEL ČVUT, Praha 2004 [cit. 20. 5. 2012], <<http://www.aldebaran.cz/studium/vyboje.pdf>>
- [4] Peterka, J., *Báječný svět počítačových sítí, část 5. - Základy datových komunikací*, eArchiv.cz, 7. 1. 2005 [cit. 21. 5. 2012], <<http://www.earchiv.cz/b05/b0700001.php3>>
- [5] Záhlava, V., *Návrh a konstrukce desek plošných spojů*, Česká technika - nakl. ČVUT, Praha 2005
- [6] Mindl, P., *Spínače s tranzistory řízenými elektrickým polem*, ČVUT 8. 12. 2009 [cit. 21. 5. 2012], <<http://motor.feld.cvut.cz/www/materialy/X14BSP/Predn-FETY.ppt>>
- [7] Microchip, technické listy k mikroprocesoru PIC16F628A, 30. 10. 2009 [cit. 14. 3. 2012], <<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/40044G.pdf>>
- [8] Čech, J., *Zapalování*, Škoda techweb, 14. 11. 2002 [cit. 19. 4. 2012], <<http://skoda.panda.cz/clanek.php3?id=384>>
- [9] Taraba, R., *Elektronické zapalování s řízením předstihu pro motocykly*, Praktická elektronika – Amatérské Radio, č. vyd. 7/2003, str. 7, 8
- [10] Robert Bosch GmbH, *Řízení zážehového motoru - Zapalování*, přeložil Ing. Antonín Růžička, 1. české vydání, Robert Bosch odbytová spol. s r.o., 1999

Přílohy

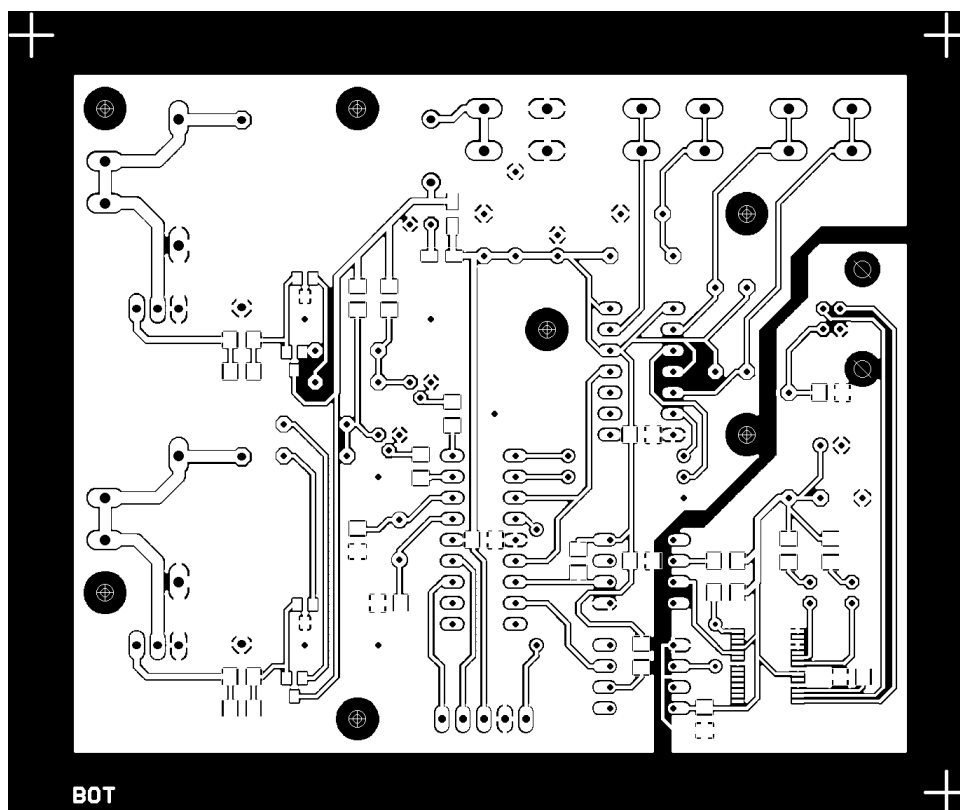
Příloha A – Schéma zapojení regulátoru předstihu zapalování



Příloha B – Předloha desky plošných spojů

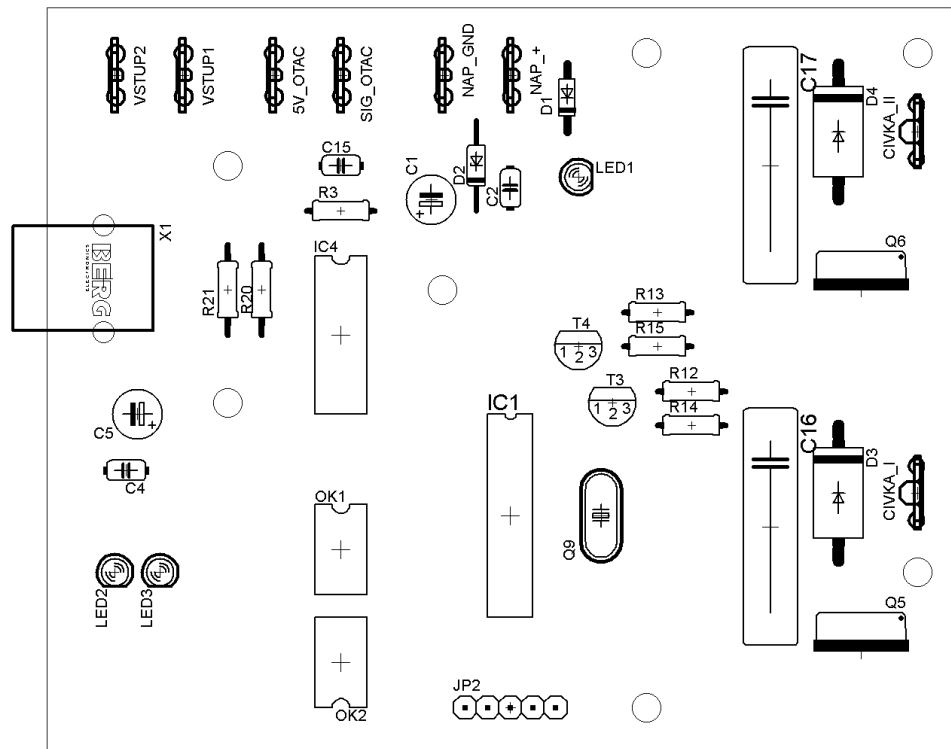


Strana součástek

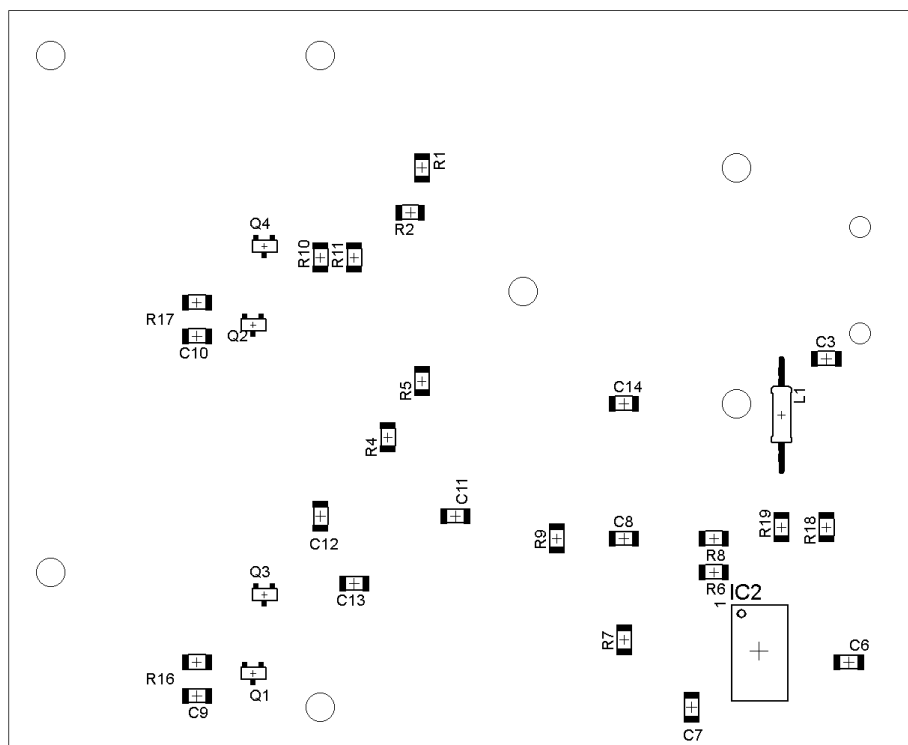


Strana spojů

Příloha C – Osazovací výkres



Strana součástek



Strana spojů