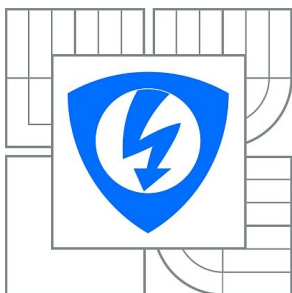


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

PROGRAMOVATELNÝ ZAPALOVACÍ SYSTÉM ZÁŽEHOVÉHO MOTORU

PROGRAMMABLE IGNITION SYSTEM FOR SPARK-IGNITION ENGINE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

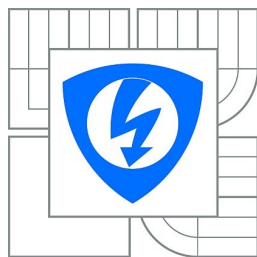
DANIEL FRIEDEL

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. PETR TOŠOVSKÝ

BRNO 2010



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav radioelektroniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Elektronika a sdělovací technika

Student: Daniel Friedel

ID: 106436

Ročník: 3

Akademický rok: 2009/2010

NÁZEV TÉMATU:

Programovatelný zapalovací systém zážehového motoru

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Vyhledejte a navrhněte vhodné metody snímání a řízení zapalovacího systému pro běžné zážehové motory. Při návrhu se zaměřte především na možnost změny parametrů zapalování pomocí programu. Vytvořte přehled nutných zásahů do stávajících zapalovacích systémů běžných motorů bez zásahu do VN části.

Proveďte realizaci navrženého systému a vytvořte software generující odpovídající zapalovací pulzy. Vypracujte metodiku kalibrace snímače a prakticky ověřte vliv změny parametrů na výkon a spotřebu motoru.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] BEJČEK, L. Měření neelektrických veličin. Elektronické skriptum. Brno: FEKT VUT v Brně, 2005.

[2] MANN, B. C pro mikrokontroléry. Praha: BEN - technická literatura, 2004.

Termín zadání: 8.2.2010

Termín odevzdání: 28.5.2010

Vedoucí práce: Ing. Petr Tošovský

prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

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

LICENÍ SMLOUVA POSKYTOVANÁ K VÝKONU PRÁVA UŽÍT ŠKOLNÍ DÍLO

uzavřená mezi smluvními stranami:

1. Pan/paní

Jméno a příjmení: Daniel Friedel
Bytem: Dalimilova 67 Ostrava Radvanice 716 00
Narozen/a (datum a místo): 15. července 1987 v Ostravě

(dále jen „autor“)

a

2. Vysoké učení technické v Brně

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
se sídlem Údolní 53, Brno, 602 00
jejímž jménem jedná na základě písemného pověření děkanem fakulty:
prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida, předseda rady oboru Elektronika a sdělovací technika
(dále jen „nabyvatel“)

1. 1

Specifikace školního díla

1. Předmětem této smlouvy je vysokoškolská kvalifikační práce (VŠKP):

- disertační práce
 - diplomová práce
 - bakalářská práce
 - jiná práce, jejíž druh je specifikován jako
- (dále jen VŠKP nebo dílo)

Název VŠKP: Programovatelný zapalovací systém zážehového motoru

Vedoucí/ školitel VŠKP: Ing. Petr Tošovský

Ústav: Ústav radioelektroniky

Datum obhajoby VŠKP: _____

VŠKP odevzdal autor nabyvateli*:

- v tištné formě – počet exemplářů : 2
- v elektronické formě – počet exemplářů : 2

2. Autor prohlašuje, že vytvořil samostatnou vlastní tvorbu díla shora popsané a specifikované. Autor dále prohlašuje, že při zpracovávání díla se sám nedostal do rozporu s autorským zákonem a předpisy souvisejícími a že je dílo dílem původním.

3. Dílo je chráněno jako dílo dle autorského zákona v platném znění.

4. Autor potvrzuje, že listinná a elektronická verze díla je identická.

* hodící se zaškrtněte

lánek 2

Ud lení licen ního oprávn ní

1. Autor touto smlouvou poskytuje nabyvateli oprávn ní (licenci) k výkonu práva uvedené dílo nevýd le n užit, archivovat a zp ístupnit ke studijním, výukovým a výzkumným ú el m v etn po izování výpis , opis a rozmnoženin.
2. Licence je poskytována celosv tov , pro celou dobu trvání autorských a majetkových práv k dílu.
3. Autor souhlasí se zve ejn ním díla v databázi p ístupné v mezinárodní síti
 - ihned po uzav ení této smlouvy
 - 1 rok po uzav ení této smlouvy
 - 3 roky po uzav ení této smlouvy
 - 5 let po uzav ení této smlouvy
 - 10 let po uzav ení této smlouvy(z d vodu utajení v n m obsažených informací)
4. Nevýd le né zve ej ování díla nabyvatelem v souladu s ustanovením § 47b zákona . 111/ 1998 Sb., v platném zn ní, nevyžaduje licenci a nabyvatel je k n mu povinen a oprávn n ze zákona.

lánek 3

Záv re ná ustanovení

1. Smlouva je sepsána ve t ech vyhotoveních s platností originálu, p í emž po jednom vyhotovení obdrží autor a nabyvatel, další vyhotovení je vloženo do VŠKP.
2. Vztahy mezi smluvními stranami vzniklé a neupravené touto smlouvou se ídí autorským zákonem, ob anským zákoníkem, vysokoškolským zákonem, zákonem o archivnictví, v platném zn ní a pop . dalšími právními p edpisy.
3. Licen ní smlouva byla uzav ena na základ svobodné a pravé v le smluvních stran, s plným porozum ním jejímu textu i d sledk m, nikoliv v tísní a za nápadn nevýhodných podmínek.
4. Licen ní smlouva nabývá platnosti a ú innosti dnem jejího podpisu ob ma smluvními stranami.

V Brn dne: 28. kv tna 2010

.....
Nabyvatel

.....
Autor

ABSTRAKT

Práce se zabývá návrhem a realizací programovatelného kapacitního zapalování napájeného z palubní sítě. Při návrhu byl kladen důraz na co největší univerzálnost celého systému, zejména možnosti měnit hodnoty předstihu změnou programu v mikroprocesoru, Ten je řídicím prvkem zapalování. V práci jsou dále rozebrány používané metody pro snímání otáček motoru a řízení zapalování. Rovněž tak je představena realizace hardwarové a softwarové části a vypracovaná metodika kalibrace snímače otáček. Zapalování je koncipováno tak, aby nebylo nutné zasahovat do vysokonapěťové (dále VN) části zapalovací soustavy.

KLÍČOVÁ SLOVA

CDI, DC-CDI, horní úvrat', mikroprocesor, programovatelné kapacitní zapalování, předstih, snímač otáček, zapalování

ABSTRACT

This thesis is concerned with design of programmable capacitive ignition, powered from board grid. Universality of the system, especially possibility to change values of timing of early spark via changes of programme in microcontroller was taken as major goal. Microcontroller is used as the operative element of ignition. Commonly used methods for sensing of engine speed and managing of ignition are defined and explained at the beginning of the thesis. Also is presented realisation of hardware and software part and draw up the methodology calibration of the speed sensorThe ignition is designed to avoid the need to intervene in the high voltage ignition system.

KEYWORDS

CDI, DC-CDI, TDC, microprocessor, programmable capacitive ignition, advance, speed sensor, ignition

FRIEDEL, D. *Programovatelný zapalovací systém zážehového motoru*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav radioelektroniky, 2010. 35 s., 8 s. příloh. Bakalářská práce. Vedoucí práce: ing. Petr Tošovský.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Programovatelný zapalovací systém zážehového motoru 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 ing. Petrovi Tošovskému za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

OBSAH

Seznam obrázků	vi
Seznam tabulek	vii
Úvod	1
1 Historie zapalovacích soustav	2
2 Typy zapalovacích soustav	3
2.1 Magnetové zapalování	3
2.2 Akumulátorové zapalování	4
2.3 Elektronická zapalování	4
2.4 Kapacitní zapalování	5
2.5 Bzučákové zapalování	5
2.6 Vysokofrekvenční zapalování	5
3 Snímače otáček	7
3.1 Optické snímače	7
3.2 Indukční snímače	7
3.3 Magnetické snímače	8
4 Návrh	9
4.1 Předstih	9
4.2 Blokové schéma	12
4.3 Schéma zapojení	13
4.3.1 Popis obvodu	13
4.3.2 Popis návrhu	14
4.3.3 Popis funkce	14
4.4 Požadované parametry	14
4.5 Návrh transformátoru a výběr jádra	16
4.5.1 Výpočet parametrů pro výrobu transformátoru	17
5 Realizace	18
5.1 Softwarová část	18
5.2 Hardwarová část	23
5.3 Měřicí část	25

6	Technická příprava	29
6.1	Metodika kalibrace snímače	29
6.1.1	Kalibrace pomocí úhloměru.....	29
6.1.2	Kalibrace za použití druhého snímače	30
6.2	Přehled nutných zásahů do elektroinstalace vozidla.....	31
7	Závěr	32
	Literatura	33
	Seznam použitých zkratk	34
	Seznam příloh	35

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1.1	Na snímku vlevo je vidět traktor Lanz Bulldog D8506 s dvoudobým jednoválcovým vznětovým motorem využívající k zapalování žárovou stěnu. Vpravo je zobrazen detail žhavení žárové stěny. Převzato z [11].	2
Obr. 2.1	Magneto. Převzato z [13].	3
Obr. 2.2	Ukázka rozdílu funkce kapacitního zapalování (CDI) a akumulátorového zapalování (TCI). Převzato z [12].	6
Obr. 3.1	Způsob řešení infračerveného snímače Převzato z [7].	7
Obr. 3.2	Indukční snímač. Převzato z [4].	8
Obr. 3.3	Hallův snímač. Převzato z [7].	8
Obr. 4.1	Ukázka vlivu předstihu na chod motoru. Převzato z [8].	9
Obr. 4.2	Blokové schéma DC-CDI	12
Obr. 4.3	Obvodové schéma zapojení DC-CDI	13
Obr. 4.4	Tabulka parametrů zvoleného jádra	17
Obr. 5.1	Vzhled navržené DPS v programu Eagle	23
Obr. 5.2	Plně osazená DPS	24
Obr. 5.3	Obdélníkový průběh výstupního signálu integrovaného obvodu SG3525	26
Obr. 5.4	Výstupní průběh spínacích tranzistorů MOSFET	26
Obr. 5.5	Nabíjecí a vybíjecí křivka kondenzátoru	27
Obr. 5.6	Testování funkčnosti DC-CDI s připojenou indukční cívkou a svíčkou	28
Obr. 5.7	Detail přeskočení jiskry	28
Obr. 6.1	Ukázka měření úhlu pomocí úhlooměru	29
Obr. 6.2	Ukázka realizace kalibrace pomocí druhého snímače	30
Obr. 6.3	Originální zapojení zapalovací soustavy s použitím CDI.	31
Obr. 6.4	Zapojení zapalovací soustavy pro DC-CDI.	32

SEZNAM TABULEK

Tab. 5.1 Naměřené hodnoty spínání budících tranzistorů	25
Tab. 5.2 Hodnoty proudového odběru při různých typech zatížení.....	25

ÚVOD

Tato práce je zaměřena na návrh programovatelného kapacitního zapalování napájeného z palubní sítě. Cílem je tedy navrhnout takový zapalovací systém, jenž bude možno používat pro mnoho různých motorů bez větších zásahů do originální elektroinstalace.

K zážehového motoru neodmyslitelně patří i zapalovací systém. Je to zařízení, které zapaluje palivo ve válci. Tento zapalovací systém musí být velmi přesný, aby k zapálení došlo v požadovaný okamžik. Existuje mnoho způsobů jak lze tuto problematiku řešit. Všechny mají své výhody i nevýhody. Jeden pojem je však společný všem. Tím pojmem je předstih. Předstih do značné míry ovlivňuje výkon motoru a jeho životnost. Nastavení správného předstihu lze dosáhnout několika způsoby, které jsou závislé na konstrukci zapalovacího systému. Díky snadné dostupnosti mikroprocesorů je nyní možné tento problém řešit právě jeho pomocí. To přináší značnou univerzálnost, jelikož řízení předstihu obstarává mikroprocesor a ten je možné podle potřeby přeprogramovat.

1 HISTORIE ZAPALOVACÍCH SOUSTAV

Historie vývoje zapalovacích soustav sahá do předminulého století, kdy se v Německu začal rozvíjet Ottův spalovací motor. Tehdy se zapalování skládalo z nízkonapěťových pohyblivých kontaktů ve spalovacím prostoru, kde při jejich odtržení vznikla jiskra. Tento způsob však fungoval pouze do 400ot/m. Zapalování nafty a petroleje se řešilo použitím rozžhavené trubky umístěné do spalovacího prostoru, která po roztočení motoru zapalovala nasátou směs v nedefinovatelných okamžicích a její rozžhavenost byla udržována spalovacím procesem do té doby, dokud do válce proudila směs. Tehdejší motory byly nízkootáčkové a tak tento způsob vyhovoval. Později se začala využívat žárová stěna (obr.1.1), která se zvnějšku nažhavlila hořákem. V roce 1902 představila firma Bosch zapalovací svíčku a magnetoelektrické zapalování, jehož principu se využívá dodnes. Toto zapalování je sice velmi neúčinné (příkon je až tisíckrát větší než energie jiskry), ale žádný jiný typ se tak dobře neosvědčil. Od té doby se pracovalo na rozvoji tohoto zapalování za účelem větší spolehlivosti a životnosti. Vzniklo množství různých konstrukcí od klasických přes bzučákové až po dnešní moderní zapalovací systémy, které budou popsány v následující kapitole.



Obr. 1.1 Na snímku vlevo je vidět traktor Lanz Bulldog D8506 s dvoudobým jednoválcovým vznětovým motorem využívající k zapalování žárovou stěnu. Vpravo je zobrazen detail žhavení žárové stěny. Převzato z [11].

2 TYPY ZAPALOVACÍCH SOUSTAV

2.1 Magnetové zapalování

Jde o zapalování indukční, u kterého se energie pro jiskru odebírá přímo z mechanické práce motoru, není tak zapotřebí vnější zdroj energie. Potřebná energie se naakumuluje v magnetickém poli magneta, nebo odděleného magnetického obvodu zapalovací cívky, což je z energetického hlediska méně výhodné. Zážeh je určen rozepnutím kontaktů jako u akumulátorového zapalování. Magneto (obr.2.1) je vlastně alternátor s permanentními magnety, upraven pro potřeby zapalování. Na statoru je navinuta cívka, která může mít i VN část, jinak se používá zapalovací cívka oddělená. Při otáčení rotoru magneta, se indukuje stejně jako u alternátoru napětí přímo do primárního vinutí. Rozdíl je ten, že toto vinutí je zkratováno sepnutými kontakty, indukovaný proud v cívce tím brání změnám magnetického pole v cívce. Tím se zvětšuje energie, kterou je nutné dodat do soustavy. Tento přírůstek energie lze přerušением proudu (rozpojením kontaktů) převést do obvodu s vysokým napětím, stejně jako u akumulátorového zapalování. U akumulátorového zapalování kryje ztráty v zapalovací cívce akumulátor a tak můžeme rozepnutím kontaktů bez ohledu na rychlost otáčení motoru vždy získat maximální možnou energii. U magneta nemá ale co doplňovat ztrátu energie, a tak v nízkých otáčkách nemá magneto dostatek výkonu. Naopak se vzrůstajícími otáčkami dochází k jevu téměř opačnému. Zúžitkovatelná energie neklesá. proto horní limit otáček pro magneto je dán pouze mechanickými vlastnostmi kontaktů přerušovače. Problémem ovšem zůstává regulace předstihu. Na to, aby mohla být energie využita co nejlépe, musí nastat sepnutí a rozepnutí kontaktů v přesně určený okamžik. Ve chvíli kdy je rotor vůči statoru v optimální poloze a tím i proud primárním vinutím cívky a získatelná energie na maximu. Proto se při regulaci musí otáčet celým magnetem, což vnáší do konstrukce značné komplikace. Z těchto důvodů se magneta používají jen u motocyklů. Jedním z důvodů je skutečnost, že vozidlo k provozu nepotřebuje akumulátor.



Obr. 2.1 Magneto. Převzato z [13].

2.2 Akumulátorové zapalování

Akumulátorové zapalování patří mezi indukční zapalovací soustavy. Skládá se ze zapalovací cívky, kontaktů a kondenzátoru. Akumulátor není přímou součástí soustavy, ale je k činnosti zapalování nezbytný, jelikož ji dodává energii. Funkce akumulátorového zapalování je následující. Při sepnutí kontaktů se začne zvyšovat proud procházející primárním vinutím cívky. Indukčnost vinutí klade skokovému nárůstu odpor, který postupně klesá k nulové hodnotě. Průběh nárůstu proudu není lineární. Nejdříve narůstá rychle a později se zpomalí. Křivka má tedy exponenciální průběh. Doba k dosažení maximálního proudu je téměř 15 ms. Za tuto dobu dojde k maximálnímu naakumulování energie do magnetického pole cívky. Při delším napájení se celý procházející proud mění na odporu primárního vinutí v teplo. Ve chvíli kdy má dojít k zapálení jsou prudce rozpojeny kontakty. Protože rychlost rozepnutí má konečnou hodnotu, proud začne zanikat s určitou rychlostí. Zvýšení rychlosti zániku proudu brání kapacita kondenzátoru. Pokud má kondenzátor příliš malou kapacitu, napětí roste rychleji, než jsou kontakty schopny zvládnout a dochází k nadměrnému jiskření a snižování dosažitelné energie. Při zvětšení kapacity se sníží rychlost nárůstu napětí, tím klesá samoindukční napětí a také výsledné napětí na sekundárním vinutí. Při rychlém zániku proudu vznikne na primárním vinutí cívky samoindukcí napěťový impulz o hodnotě zhruba 200-300V, který se transformuje na sekundární napětí okolo 20kV. Minimální doba výboje je 300 μ s. Při kratší době trvání výboje není jistota spolehlivého zážehu. Poté systém dokmitává a je třeba ponechat dostatek času na jeho dokončení. Cívka se musí zcela vybit. Což je limitující parametr pro toto zapalování. Na obrázku níže vpravo (Obr 2.2) je znázorněn průběh napětí na zapalovací cívce.

2.3 Elektronická zapalování

Prvopočátky elektronických zapalovacích systémů zasahují do 60. let minulého století, kdy se podařilo vyrobit tranzistory s dostatečně vysokým průrazným napětím. Prvním známým pokusem bylo použití jednotranzistorového zapalování s tranzistorem, který měl závěrné napětí pouze 60 V. Cívka měla převodový poměr 1:400. Celé zapalování mělo 6 součástek. Kontakty nebyly přemostěny kondenzátorem. Další zapalování, už dvoutranzistorové používalo speciálně vyvinutý tranzistor na 500 V. Používaná byla cívka se sníženou indukčností a s předřadným odporem. Firma Bosch použila Darlingtonovo zapojení a zapalování mělo 17 součástek. Velmi prudký rozvoj elektronických zapalovacích soustav nastal po roce 1973, kdy po celosvětové energetické krizi a hlavně tlaku ze strany ekologie v USA museli všichni výrobci automobilů snížit spotřebu a přejít na používání bezolovnatého paliva a později také katalyzátorů, kde bylo nutné omezit pokud možno na nulu vynechávání zážehů, protože nespálené palivo ohrožuje životnost katalyzátoru. A tak začaly vznikat první konstrukce bezkontaktních elektronických zapalování. Celý problém indukčního zapalování spočívá pouze v protichůdných požadavcích na hodnotu odporu a velikost indukčnosti primárního vinutí, vynucené použitím kontaktů jako ovládacího prvku. Kontakty můžeme nahradit tranzistorem. Avšak tranzistor má v otevřeném stavu úbytek napětí i když je v saturaci. Tento úbytek může podle typu dosáhnout až 3,5 V a toto napětí se odečte od napájecího, takže místo 14 V máme jen 10,5 V. Pokud použijeme původní zapalovací cívku, spočítanou pro kontakty a přepočteme proud primárním vinutím

zjistíme, že zapalování je vlastně ještě horší než původní kontaktní. Z tohoto důvodu byly vyvinuty speciální tranzistory pro elektronická zapalování, kde je saturační napětí výrazně nižší. Aby se využily všechny vlastnosti tranzistoru, je zapotřebí ho dostat ze saturace do lineárního režimu. Což však zvýší úbytek napětí na tranzistoru a to je pro nás nežádoucí. Všechna tranzistorová zapalování, která byla zapojena jako klasická a používala klasickou zapalovací cívku, jsou z důvodu vlastností tranzistoru energeticky horší, než kontaktní. Rozhodujícím faktorem je indukčnost, která by měla být co nejmenší.

2.4 Kapacitní zapalování

Kapacitní zapalování vzniklo v době, kdy nebyly dostupné vysokonapěťové tranzistory. Tyristory tehdy nebyl problém vyrobit se závěrným napětím přes 500 V a tak se vše řešilo následovně. Použil se kondenzátor 1 μF / 350 V, generátor, feritový zvyšovací transformátor 12 V / 300V, usměrňovač a tyristor. Po zapnutí napájení generátor přes transformátor a usměrňovač nabije kondenzátor na napětí přibližně 300 V. V momentě rozepnutí kontaktů nebo impulsu ze snímače tyristor připojí kondenzátor na primární vinutí klasické zapalovací cívky. Protože cívka neslouží k akumulování energie, ale jen jako transformátor, kondenzátor se velmi rychle vybití a tím způsobí vysokonapěťový impuls na sekundárním vinutí s velmi ostrým nárůstem napětí. Tyristor se automaticky zavře po vybití kondenzátoru. Energie je sice dostatečná, ale vybití se velmi rychle, takže v případě značně nehomogenní směsi v okolí elektrod cívky nemusí dojít při prvním přeskočení a rychlém vybití kondenzátoru k zapálení a následně už není žádná energie k zapálení dostupná. Jinak má toto zapalování konstantní energii, malou spotřebu a dobrou spolehlivost. Příliš se však nerozšířilo, protože je výrobně dražší kvůli výrobě transformátoru. Průběh napětí na kondenzátoru je znázorněn na (Obr 2.2) vlevo.

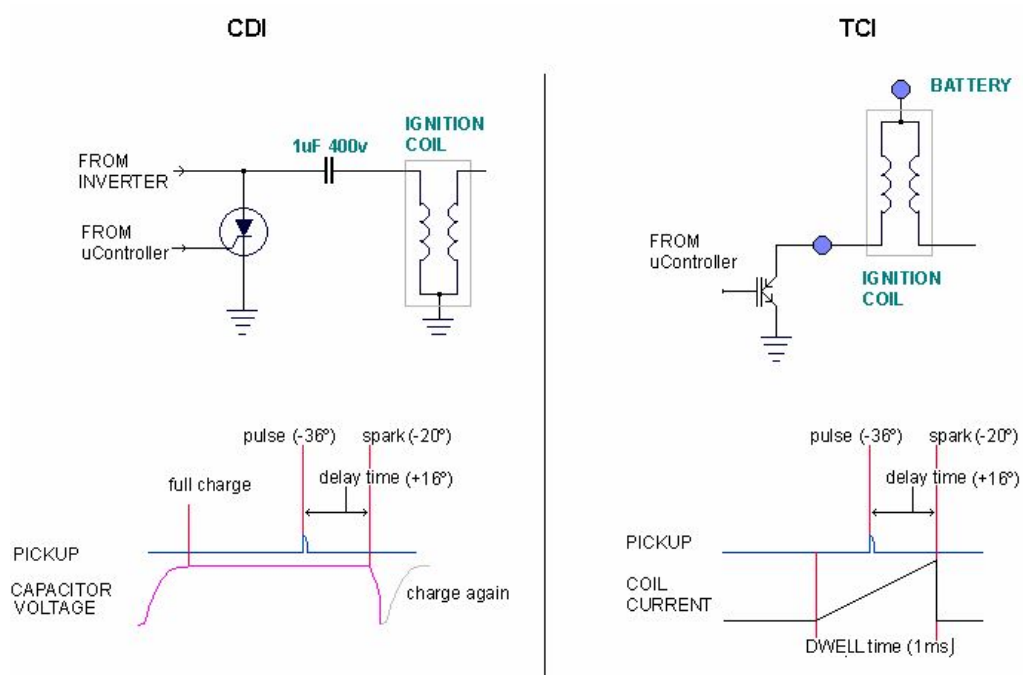
2.5 Bzučákové zapalování

Jde o indukční zapalování, kdy je místo kontaktů použit bzučák (rychle spínající kontakt). Tento způsob řešení však nedokázal zvládat vysoké otáčky motoru, protože opakované spínání nebylo dostatečně rychlé a navíc při tak rychlém spínání není možné dostatečně nabití zapalovací cívky. Pokud první impuls nezapálil směs tak ostatní způsobovaly opožděný zážeh. Toto zapalování se velmi rychle přestalo používat.

2.6 Vysokofrekvenční zapalování

Principem je bzučákové zapalování, ale u tohoto typu se neindukuje napětí díky rychlému zániku proudu jako u indukčních zapalování, ale napětí akumulátoru se přímo transformuje na cca 20 kV. Tento systém se dnes používá u průmyslových kotlů na zapalování plynových nebo mazutových hořáků. Používaný kmitočet 50 Hz je však z pohledu motoru nevyhovující, proto se používá minimálně 200 kHz. Protože není zapotřebí žádná doba k akumulaci energie, místo zapalovací cívky se používá zapalovací transformátor bez vzduchové mezery. Použitý kmitočet určuje maximální

otáčky motoru. Systém funguje tak, že se trvale rozkmitaný generátor připojí v pravý okamžik na dobu asi $350\mu\text{s}$ až $0,01\text{ms}$ k primárnímu vinutí zapalovacího transformátoru. Tento transformátor má plný převodový poměr cca 1:1700. Na sekundárním vinutí vznikne „trs jisker“ o napětí asi 20 kV. Energie takového výboje zapálí veškeré palivo ve válci. Jeho další výhodou je vysoký počet zapalovacích impulzů. Vysoké frekvence však působí jako rušička radiových signálů a proto je nezbytné důkladné elektromagnetické odstínění. Toto zapalování je však značně předimenzované a problémy s odstíněním jej velmi prodražují.



Obr. 2.2 Ukázka rozdílu funkce kapacitního zapalování (CDI) a akumulátorového zapalování (TCI). Převzato z [12].

3 SNÍMAČE OTÁČEK

Jako první bezkontaktní snímače polohy byly využívány snímače známy z regulační techniky, které byly upraveny pro těžké provozní podmínky ve spalovacích motorech. Ačkoliv je snímačů velké množství, využívají se pro účely snímání polohy klikové hřídele jen některé typy. Jsou to snímače optické, snímače indukční a snímače magnetické.

3.1 Optické snímače

Optické snímače (Obr. 3.1) byly používány jen krátce z důvodu zanášení a tedy nutné častější kontroly a údržby, jelikož pracují na principu snímání světla, které v patřičném okamžiku zakryje neprůsvitná clona (nebo naopak). Jako zdroje světla byla používaná miniaturní žárovka a později LED dioda. Snímacím prvkem byl fototranzistor. Problémy se znečišťováním neodstranilo ani použití LED diod s infračerveným zářením. Ty nebyly sice na znečištění tak citlivé, ale problém malé teplotní odolnosti (do cca 85°C) přetrvával. Výhodou byla rychlost a přesnost spínání a jednoduché nastavení.



Obr. 3.1 Způsob řešení infračerveného snímače Převzato z [7].

3.2 Indukční snímače

Indukční snímače (Obr. 3.2) tvoří rozsáhlou skupinu snímačů, které jsou vhodné především pro měření mechanických veličin. Principiálně se však jedná o spojení cívky a magnetického obvodu ve kterém je vytvořen magnetický tok pomocí stálého magnetu, nebo budícího obvodu. Změna magnetického toku potřebná k vytváření výstupního napětí je způsobována otáčením ozubeného kola, nebo výstupkem na rotoru. V cívce se poté indukuje změnou magnetického toku střídavé napětí přibližně sinusového průběhu. Indukované napětí v cívce je úměrné změně magnetického toku podle Faradayova zákona. Velikost signálu je přímo úměrná otáčkám ozubeného kola či rotoru s výstupky. Výstupní napětí snímače tvaruje Schmittův obvod na obdélníkový průběh.



Obr. 3.2 Indukční snímač. Převzato z [4].

3.3 Magnetické snímače

Magnetické snímače jsou tvořeny uzavřeným magnetickým obvodem a využívají ke své funkci změnu permeability feromagnetika měřenou feromagnetickou veličinou. To mění impedanci magnetického obvodu a indukčnost cívky. Tyto snímače jsou ze všech používaných bezkontaktních a bezdotykových snímačů nejvíce robustní a odolné proti rušení. To platí obzvláště při měření založeném na střídavém proudu, tedy magnetické indukci. Mezi magnetické snímače hojně využívané v automobilovém průmyslu patří Hallův snímač (Obr. 3.3). Jde o součástku na principu Hallova jevu, kdy se při průchodu magnetického pole kolmo na snímač vytvoří na výstupu napětí v mV přímo úměrné magnetickému toku. Největšího rozšíření se tento snímač dočkal, když firma Philips sloučila na jeden čip Hallův generátor, zesilovač a vyhodnocovací obvod, který dvoustavově (1/0) reaguje na přítomnost magnetického pole.

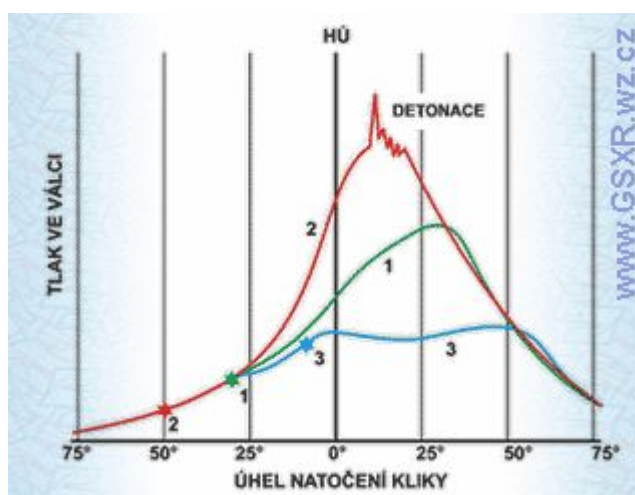


Obr. 3.3 Hallův snímač. Převzato z [7].

4 NÁVRH

4.1 Předstih

Zážehové spalovací motory spalují směs vzduchu a benzínu, která je v určitém okamžiku před dosažením horní úvratě zapálena. Tento okamžik se nazývá předstih. Předstih by měl být takový, aby při dosažení horní úvratě bylo palivo již spáleno. Doba, za kterou urazí píst stejnou vzdálenost se mění v závislosti na otáčkách motoru. Doba hoření však zůstává téměř stejná a je závislá na mnoha faktorech jako např. složení směsi, typu paliva, tlaku, teplotě atd. Z toho vyplývá, že nelze dosáhnout ideálního předstihu v celém rozsahu otáček bez jeho řízení. Nejvyšší předstih je vyžadován pro nejvyšší otáčky motoru a nejmenší naopak pro nejnižší otáčky. Vliv předstihu na chod motoru je znázorněn na (Obr 4.1).



Obr. 4.1 Ukázka vlivu předstihu na chod motoru. Převzato z [8].

Na (Obr 4.1) jsou znázorněny tři křivky, které představují vliv předstihu na tlak ve válci. Zelená křivka znázorňuje správně zapálenou směs (zažehnuto v bodě 1-zelená hvězda). Při moc brzkém zážehu, který představuje červená křivka dojde k rozhoření před horní úvratí (dále HÚ) a vzniklý tlak působí proti pohybu pístu. Tlak ve válci se zvedne na hodnotu, kdy nejvzdálenější místa směsi jsou tak stlačeny, že explodují a dojde ke klepání motoru což jej poškozuje a snižuje výkon. Druhým extrémem je pozdní zapálení, které je prezentováno modrou křivkou v tomto případě dojde k rozhoření směsi až daleko za HÚ a pokud se plyn roztahuje ve velkém objemu není již možno dosáhnout velkého tlaku a tím klesá i výkon motoru.

Vztahy pro výpočet požadovaného úhlu, který urazí kliková hřídel za jednotku času.

$$N_s = \frac{N_m}{60} \quad [ot/s; ot/m] \quad (4.1)$$

$$N_{ms} = \frac{N_s}{1000} \quad [ot/ms; ot/s] \quad (4.2)$$

$$\varphi = 360 * N_{ms} \quad [^\circ; ^\circ, ot/ms] \quad (4.3)$$

N_s - počet otáček za sekundu

N_m - počet otáček za minutu

N_{ms} - počet otáček za milisekundu

φ - úhel který urazí kliková hřídel za jednu milisekundu

Pro snazší pochopení uvedu příklad z něhož bude zřejmé, proč je nutno řídit předstih:

Předpokládejme dobu hoření směsi 1ms.

Podle vztahů (4.1),(4.2),(4.3) vypočteme úhel jaký urazí klikový hřídel za tuto dobu při 6000 ot/m

$$N_s = \frac{N_m}{60} = \frac{6000}{60} = 100ot/s$$

$$N_{ms} = \frac{N_s}{1000} = \frac{100}{1000} = 0,1ot/ms$$

$$\varphi = 360 * N_{ms} = 360 * 0,1 = 36^\circ$$

A stejně tak pro 1000ot/m.

$$N_s = \frac{N_m}{60} = \frac{1000}{60} = 16,66ot/s$$

$$N_{ms} = \frac{N_s}{1000} = \frac{16,66}{1000} = 0,0166ot/ms$$

$$\varphi = 360 * N_{ms} = 360 * 0,0166 = 6^\circ$$

Z výše uvedených výpočtu vyplývá, že za dobu 1ms urazí klikový hřídel při 6000 ot/m 36° .

Při 1000 ot/m urazí klikový hřídel jen 6° .

Pokud bychom uvažovali konstantní předstih například na hodnotě 21° bude při 6000ot/min o 15° opožděn a při 1000ot/min o 15° urychlen. Pro optimální řízení předstihu musíme pro maximální otáčky (v tomto případě 6000ot/min 36°) nastavit na snímači právě tento úhel a pro otáčky nižší (například 1000ot/min 6°) musíme zpozdít zážeh tj. $36^\circ - 6^\circ = 30^\circ$ Tím dostaneme požadovaný předstih 6°.

Abychom mohli řídit předstih pomocí mikroprocesoru musíme znát ještě čas, při kterém se klikový hřídel nachází v námi požadované poloze. Tuto hodnotu dostaneme dosazením do vztahů (4.1),(4.4)-(4.7).

Převod ot/m na ot/s. Vypočteme podle vztahu (4.1).

Převod ot/s na dobu otáčky v sekundách.

$$T_s = \frac{1}{N_s} \quad [s; ot / s] \quad (4.4)$$

Výpočet výsledného úhlu zpoždění.

$$\varphi_{zpož} = \varphi_{max} - \varphi_{pož} \quad [^\circ; ^\circ; ^\circ] \quad (4.5)$$

Podíl úhlu ze vztahu (4.5) na jedné otáčce.

$$K_{pod} = \frac{\varphi_{zpož}}{360} \quad [-; ^\circ; ^\circ] \quad (4.6)$$

Výpočet času, při kterém je kliková hřídel v požadovaném úhlu.

$$T_{zpož} = T_s * K_{pod} \quad [s; s, -] \quad (4.7)$$

T_s - doba otáčky

$\varphi_{zpož}$ - výsledný úhel

φ_{max} - maximální hodnota předstihu

$\varphi_{pož}$ - požadovaný úhel předstihu

K_{pod} - podíl výsledného úhlu na jedné otáčce

$T_{zpož}$ - výsledný čas pro požadovaný předstih

Příklad výpočtu pro 1000 ot/m a úhel předstihu 6°:

$$N_s = \frac{N_m}{60} = \frac{1000}{60} = 16.67 \text{ ot/s}$$

$$T_s = \frac{1}{N_s} = \frac{1}{16.67} = 0.06 \text{ s}$$

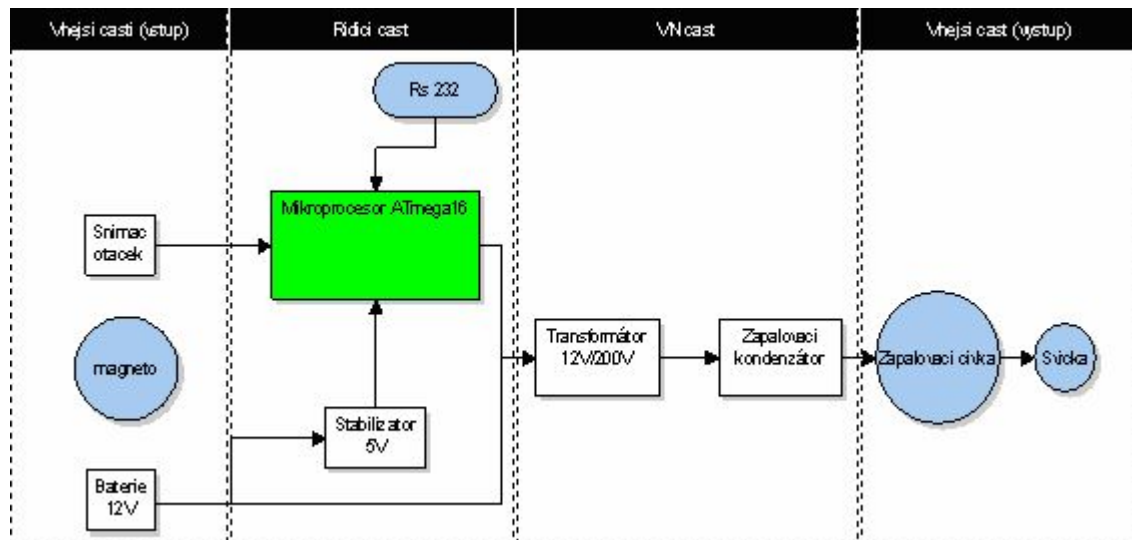
$$\varphi_{zpož} = \varphi_{\max} - \varphi_{pož} = 36 - 6 = 30^\circ$$

$$K_{pod} = \frac{\varphi_{zpož}}{360} = \frac{30}{360} = 0.083$$

$$T_{zpož} = T_s * K_{pod} = 0.06 * 0.083 = 0.00498 \text{ s} = 4.98 \text{ ms}$$

4.2 Blokové schéma

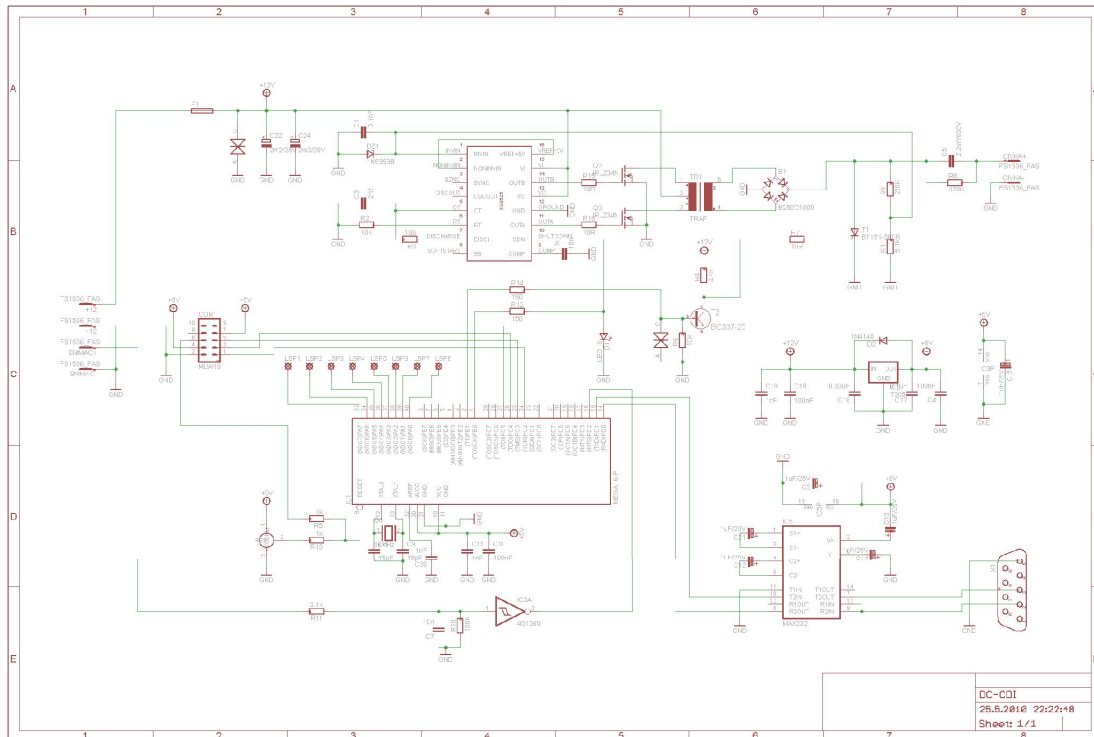
V následujícím blokovém schématu (Obr.4.2) je znázorněna celá zapalovací soustava. Tedy nejenom samotné zapalování ale i všechny vnější periferie, které tuto soustavu tvoří.



Obr. 4.2 Blokové schéma DC-CDI

Vstupní část vnějších obvodů tvoří Snímač otáček, magneto a baterie. Jak je zřejmé z blokového schématu magneto není pro funkci zapalování využito jelikož navrhované zapalování je DC-CDI. Napájení je realizováno akumulátorem 12V. Toto napětí je v jednotce zapalování stabilizováno na 5V z důvodu napájení mikroprocesoru. Ten vyhodnocuje impulzy ze snímače otáček a po výpočtu jim přiřazuje hodnotu předstihu z tabulky. Ta je uložena v paměti mikroprocesoru a může být měněna přes sériovou linku pro účely změny parametrů předstihu. Toto je žádoucí pro ladění křivky předstihu a také z hlediska univerzálnosti zapalování. Zapalování je tak možno nastavit pro jakýkoliv motor se stejným řešením zapalovací soustavy. Vysokonapěťová část je tvořena transformátorem, který převádí vstupní napětí 12V na napětí 200V. Tímto napětím je nabíjen zapalovací kondenzátor. Vnější výstupní část pak tvoří zapalovací cívka a zapalovací svíčka.

4.3 Schéma zapojení



Obr. 4.3 Obvodové schéma zapojení DC-CDI

4.3.1 Popis obvodu

Řídící část tvoří mikroprocesor Atmega16. Ten přijímá a vyhodnocuje impulzy ze snímače otáček. V zapojení je dále použit obvod SG3525, na jehož výstupy jsou připojeny tranzistory MOSFET, které jsou připojeny k primárnímu vinutí transformátoru. Ten je zapojen jako dvojčinný s můstkovým usměrňovačem a středním vývodem na primárním vinutí. V zapojení je realizováno dvojí blokování měniče. Jedno stabilizuje převodní napětí na 200V a snižuje spotřebu zařízení při nízkých otáčkách nebo při zapnutém zapalování a vypnutém motoru (odebraný proud zajišťuje pouze udržení napětí 200V na zapalovacím kondenzátoru).

Druhým je blokování transformátoru po dobu výboje. Jestliže by blokován nebyl, nedošlo by k uzavření tyristoru a tím pádem by již díky "zkratu" nenastalo opětovné nabití zapalovacího kondenzátoru pro další výboj. Došlo by k výkonovému přetížení. To by poškodilo primární vinutí. Za transformátorem je zapojen tyristor a nakonec zapalovací kondenzátor. Zapojení je chráněno proti přepětí při poruše použitím transilů a pojistky. Obvod je vybaven programovacím rozhraním JTAG a sériovou komunikací, která najde uplatnění při změně hodnot předstihu. Mikroprocesor má připraveny vývody jednoho portu pro případné připojení dalších periférií.

4.3.2 Popis návrhu

V literatuře a na internetu je uváděno mnoho rozličných řešení jednotky CDI. Bývá to řešení jak pomocí mikroprocesoru tak analogové. Všechny CDI zapalování mají však jednu společnou část a to je obvod pro nabíjení a vybíjení zapalovacího kondenzátoru. Proto jsem jako výchozí bod svého návrhu zvolil právě tuto část a k ní poté volil ostatní prvky. Zajímavým řešením se dále jevílo použití integrovaného obvodu SG3525, používaného především pro spínané zdroje. Na jeho výstupy byly zvoleny tranzistory MOSFET, které jsou připojeny k primárnímu vinutí transformátoru ve dvojčinném zapojení s usměrňovacím můstkem a středním vývodem na primárním vinutí. Obvod SG3525 je zapojen se zpětnou vazbou, díky které je napětí, jímž je nabíjen zapalovací kondenzátor, stále konstantní. Zároveň je využito možnosti „uspání“ obvodu a tím v okamžiku vybíjení kondenzátoru odpojit řídicí část od VN části. Poté bylo třeba vyřešit řízení obvodu pomocí mikroprocesoru. Jako řídicí prvek jsem zvolil mikroprocesor Atmega16, jehož jeden výstupní pin ovládá tranzistor NPN. Otevřením tranzistoru je přivedeno napětí na řídicí elektrodu tyristoru a ten se otevře. Druhý výstupní pin mikroprocesoru řídí „uspání“ integrovaného obvodu SG3525. Na vstup mikroprocesoru je přiveden napěťový impulz ze snímače otáček.

4.3.3 Popis funkce

V okamžiku příchozího impulzu ze snímače otáček vypočte mikroprocesor otáčky motoru a podle tabulky předstihů uložené v jeho paměti vybere správnou hodnotu a v ten okamžik vyšle signál obvodu zapalování. Signál „uspí“ obvod SG3525 a dojde díky tranzistorům MOSFET k odpojení vysokonapěťové části od zbytku obvodu. Ve stejný okamžik je otevřen tranzistor NPN a sepnut tyristor. Sepnutím tyristoru dojde k uzavření obvodu přes zem a kondenzátor se velmi rychle vybije do zapalovací cívky. Po vybití kondenzátoru je tyristor i tranzistor opět uzavřen a obvod SG 3525 již není nadále „uspán“. Zapalovací kondenzátor je opět nabit a cyklus se opakuje.

4.4 Požadované parametry

Důležitým bodem pro návrh a realizaci kapacitního zapalování je stanovení požadovaných parametrů. Tyto parametry je nutné znát obzvlášť pro volbu vhodného napěťového měniče. Právě ten je nejdůležitějším prvkem celého zapalování, jelikož převádí vstupní napětí z baterie na napětí 200-300V. Pokud námi zvolené požadavky odpovídají některému z běžně dostupných měničů, celá situace se značně zjednodušuje. V opačném případě slouží tyto parametry k návrhu a následné výrobě vhodného měniče.

Základními parametry, které musíme zvolit jsou vstupní napětí a proud a výstupní napětí a proud.

Vstupní napětí je palubní napětí 12V.

Výstupní požadované napětí volím 200V.

Jelikož kladu v tomto návrhu důraz na co největší univerzálnost je nutné parametry naddimenzovat aby splnily požadavky co možná největšího počtu motorů.

Dalším bodem bude tedy určení vstupního a výstupního proudu. Ty určím ze známých napětí a požadovaného výkonu. Požadovaný výkon zapalování zvolím podle příkonu zapalovací cívky. Ten převážně nepřesahuje 20VA. To je výkon, na který musí být měnič dimenzován. Pro jistotu však tuto hodnotu zvýším na 30VA.

$$U_{vst} = 12V$$

$$U_{výst} = 200V$$

$$P_{pož} = 30VA$$

$$I_{vst} = \frac{30}{12} = 2.5A$$

$$I_{výst} = \frac{30}{200} = 0.150A = 150mA$$

Z výše uvedeného výpočtu plyne, že zapalování bude dimenzováno na odběr 2.5A. Této hodnoty by však nemělo být dosaženo ani pro nejvyšší otáčky, jelikož Výkon zapalování je značně naddimenzovaný. V praxi to znamená, že pro indukční cívku s příkonem např. 20VA bude vstupní i výstupní proud nižší.

Dalším bodem je kmitočet měniče. Ten je důležité vhodně zvolit z několika důvodů. Kmitočet měniče ovlivňuje rychlost s jakou je dostupné napětí pro nabíjení kondenzátoru. Toto je úzce spjato s maximálními otáčkami, kterých je možné dosáhnout. Maximální dosažitelné otáčky můžeme určit podle vztahu (4.8). Dosazením zjistíme, že stačí relativně nízký kmitočet pro vysoké otáčky.

$$N_m = f * 60 \quad [ot / m; Hz] \tag{4.8}$$

Pro zvolený kmitočet 360Hz dostaneme:

$$N_m = 360 * 60 = 21600ot / m \approx 22000ot / m$$

Z výpočtu je zřejmé, že pro kmitočet 360Hz dosáhneme maximálních otáček pro jednoválcový motor přibližně 22000ot/m. Pro motor dvouválcový je nutné tuto hodnotu vydělit dvěma. U dvouválcového motoru tudíž při stejném kmitočtu dosáhneme maximálních otáček 11000ot/m.

Dalším parametrem, který je ovlivněn kmitočtem je velikost měniče. Z teorie transformátorů je známo, že pro vysoké kmitočty je možné dosáhnout požadovaných hodnot i s menším počtem závitů primárního a sekundárního vinutí. Což umožňuje velmi značně minimalizovat měnič. Je tedy vhodné volit kmitočet měniče v řádu desítek kHz.

4.5 Návrh transformátoru a výběr jádra

Pro správnou funkci kapacitního zapalování je třeba navrhnout a navinout transformátor splňující požadavky, které byly definovány výše. Je tedy nutné zvolit jádro transformátoru, počet závitů a průměr drátu jak primárního tak sekundárního vinutí.

Transformační poměr.

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad (4.9)$$

Výpočet závitů primárního vinutí.

$$N_1 = \frac{U_1}{2 * f * B_{\max} * S} \quad [\text{závit}] \quad (4.10)$$

Výpočet průměru vodičů pro vinutí.

$$d = \sqrt{\frac{4 * I}{J * \pi}} \quad [mm] \quad (4.11)$$

Výpočet průřezu vodičů pro vinutí.

$$S_{\text{vodičo}} = \frac{I}{J} \quad [mm^2] \quad (4.12)$$

Pomocí online kalkulátoru [14] pro výpočty transformátorů bylo zvoleno jádro E20/10/6 s vhodnými rozměry pro výše uvedené požadavky. V následujícím kroku je nutné vlastními výpočty ověřit správnost funkce online kalkulátoru a zároveň získat všechny potřebné hodnoty.

CORE SETS

Effective core parameters

SYMBOL	PARAMETER	VALUE	UNIT
$\Sigma(l/A)$	core factor (C1)	1.45	mm ⁻¹
V_e	effective volume	1490	mm ³
l_e	effective length	46.0	mm
A_e	effective area	32.0	mm ²
A_{min}	minimum area	32.0	mm ²
m	mass of core half	≈ 3.7	g

Obr. 4.4 Tabulka parametrů zvoleného jádra

4.5.1 Výpočet parametrů pro výrobu transformátoru

Sycení jádra B[T] se pro ferity volí v rozmezí 0,1-0,3 T. Doporučuje se volit hodnotu co nejvyšší z tohoto intervalu. Pro tento výpočet byla zvolena hodnota sycení B = 0,2 T. Pracovní kmitočet transformátoru byl zvolen 100kHz.

Transformační poměr.

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{24}{200} = 0,12$$

Výpočet závitů vinutí.

$$N_1 = \frac{2 * 12}{2 * 100 * 10^3 * 0,2 * 32 * 10^{-6}} = 19 \text{ závitů}$$

$$N_2 = \frac{N_1}{0,12} = 159 \text{ závitů}$$

Výpočet průměru vodičů pro vinutí.

$$d_1 = \sqrt{\frac{4 * 2,5}{5 * \pi}} = 0,8 \text{ mm}$$

$$d_2 = \sqrt{\frac{4 * 0,15}{3 * \pi}} = 0,25 \text{ mm}$$

Výpočet průřezu vodičů pro vinutí.

$$S_1 = \frac{2,5}{5} = 0,5 \text{ mm}^2$$

$$S_2 = \frac{0,15}{3} = 0,05 \text{ mm}^2$$

5 REALIZACE

5.1 Softwarová část

Řízení předstihu, tedy doby zapálení je řízeno mikroprocesorem Atmega16. Ta musí být naprogramována vhodným řídicím programem. Tento program vyhodnocuje vstupní obdélníkový impulz. A na jeho základě dopočte dobu do zápalu. Program mimo jiné řídí komunikaci po sériové lince a práci s interní pamětí EEPROM, kterou je mikroprocesor vybaven.

První část programu tvoří funkce jež jsou volány při příjmu dat přes seriovou linku USART, zápis a čtení z EEPROM.

```
#include <inttypes.h>
#include <avr/interrupt.h>
#include <avr/io.h>
#include <util/delay.h>
//-----Definition of variables-----

Int EEPROMwrIndex=0,GlitchIncrement=1,RAMwrIndex=0,
IgnitionAdvance=0,Aux=0;
Int tabulka[500];
unsigned char baud =59;
//-----Initialization USART-----
void USART_Init( unsigned int baud )
{
UBRRH = (unsigned char) (baud>>8); // nastaveni seriove linky
UBRRL = (unsigned char)baud;
UCSRB = (1<<RXEN) | (1<<TXEN) | (1<<RXCIE); // povoleni prijimace a
vysilace
UCSRC = (1<<URSEL) | (1<<USBS) | (3<<UCSZ0); // nastaveni formatu
}
```

```

//-----USART receive-----
unsigned char USART_Receive( void ) // funkce pro prijem dat
{
while ( !(UCSRA & (1<<RXC)) ); // cekani na dokonceni prijmu
return UDR;
}

//-----EEPROM write-----
void EEPROM_write(unsigned int uiAddress, unsigned char ucData)
{

while(EECR & (1<<EWE))// cekani na dokonceni predchoziho zapisu

EEAR = uiAddress;
EEDR = ucData;
EECR |= (1<<EEMWE); // nastaveni registru
EECR |= (1<<EWE); // zacatek zapisu do eeprom
}
//-----EEPROM read-----
unsigned char EEPROM_read(unsigned int uiAddress)
{

EEAR = uiAddress; // nastaveni registru pro cteni
EECR |= (1<<EERE); // zacatek zapisu
return EEDR;
}

```

Druhou část programu tvoří hlavní program (main) .Zde je nastaven vstupní a výstupní port. Je aktivováno externí přerušení na pinech INT0 a INT1 a je nastaveno na jakou část obdélníkového signálu mají reagovat. Dále je aktivován čítač1, který je využíván pro měření otáček. Poté se program dostává do nekonečné smyčky a od této chvíle jsou vykonávány pouze patřičná přerušení

```

//-----Main program-----
-----
int main() {
    tabulka_predstihu();// volání funkce pro načtení EEPROM do RAM
    TCNT1=0; // nastavení počáteční hodnoty TCNT1
    DDRD = 0b00000000; // nastavení vstupního portu
    DDRB = 0b00000011; // nastavení výstupního portu
    GICR = 0b11000000; // aktivace externího preruseni INT0 a INT1
    MCUCR = 0b00001011;// aktivace preruseni INT0 na nabeznou hranu
    a INT1 na sestupnou hranu
    TCCR1B=0b00000101; // spuštění timeru1
    USART_Init(baud); // inicializace USART
    sei();

while(1) {
        PORTA=1;
        PORTA=0;
    }

return 0;
}

```

Třetí část programu tvoří soubor přerušení, který pro přehlednost rozdělím na dílčí přerušení a každé opatřím popisem.

Externí přerušení INT0: Toto přerušení je vykonáno v okamžiku náběžné hrany obdélníkového pulzu. Hodnota které dosáhl čítačl za dobu mezi dvěmi náběžnými hranami je přepočítána na otáčky a podle nich je z tabulky předstihu zvolena doba k zapálení.

Externí přerušení INT1: Toto přerušení je vyvoláno sestupnou hranou a během něho se vydělí dvěma hodnota čítače0 který je spuštěn zároveň s náběžnou hranou. Tímto postupem získáme dobu poloviny obdélníkového impulzu, kterou využijeme k ošetření případného zákmitu.

Ošetření zákmitu: Kontrola zákmitu je realizována pomocí Output capture registru. Ten je nastaven na přerušení při shodě s čítačem2. To nastane v hodnotě čítače2 zvýšené o hodnotu čítače0 (v polovině obdélníkového impulzu). V přerušení se poté kontroluje hodnota na příslušném vstupním pinu.

```
//-----External interrupts-----

ISR (INT0_vect){// obsluha externiho preruseni (od snimace otacek)

    TCNT0=0b00000000; // Pocatecni hodnota timeru0 (mereni delky
                       pulzu pro osetreni zakmitu)

    TCCR0=0b00000100; // Nastaveni preddelicky timeru0

        if    (TCNT1>500) // Osetřeni maximální hodnoty
                           tabulky
    TCNT1=500; // nastavni TCNT1 na max povolenou hodnotu
    IgnitionAdvance =tabulka[TCNT1] ; // hodnota citace 1 v dobe
                                       preruseni slouzi jako urceni
                                       pozice v EEPROM
                                       odkud je nactena hodnota
                                       predstihu do promenne otacky
    Aux = TCNT1;// Ulozeni hodnoty TCNT1 do pomocné promenne
    TCNT1=0; // nulovani citace 1
    OCR2=IgnitionAdvance+GlitchIncrement;// nastaveni porovnávací
                                             hodnoty pro kontrolu
                                             zakmitu

    TCNT2 = IgnitionAdvance;// pocatecni hodnota timeru2 (doba
                           pretecení= doba do zapalu)
    TCCR2 = 0b10000110; // nastaveni preddelicky timeru 2 na 256
    PORTB = 0b00000001; // vypnuti sg 3525
    TIMSK = 0b11000000; // nastaveni preruseni po pretecení
    GICR = 0b00000000; // zakazani externiho preruseni

}

ISR (INT1_vect)
{
    GlitchIncrement=TCNT0>>2; // ulozeni hodnoty poloviny pulzu ke
    kontrole zakmitu
}
```

Dalším přerušením je realizována kontrola zákmitu. V tomto bodě se kontroluje, zda šlo opravdu o skutečný impulz ze snímače otáček či pouze o zákmit. Toto přerušení probíhá právě v polovině obdélníkového impulzu přicházejícího na vstupní pin mikroprocesoru. V tento okamžik se kontroluje hodnota pinu. Pokud je na pinu logická 1 je vše v pořádku a program pokračuje dále v dopočtu doby k zapálení. V opačném případě je vyhodnocen zákmit. Proveďte se zastavení dopočtu doby k zapálení a povolí se opět přerušení ze snímače otáček. Jelikož se jednalo o zákmit neodpovídala hodnota vyzvednutá z čítače 1 skutečným otáčkám. Proto je aktuální hodnota navýšena o hodnotu v okamžiku zákmitu.

```
//-----Interupt of OCR2-----

ISR (TIMER2_COMP_vect){ //Obsluha preruseni timeru2 pri shode s
                        ocr
GIFR = _BV(INTF0); // zapsani log. 1 do bitu INTF0 v registru
                        GIFR
if (!bit_is_set (PIND,2)){ // Pokud bit neni nastaven na 1 ve
                        chvili kontroly jedna se o zakmit
TCR2 = 0b00000000; // Zastavi se Timer2
GICR = 0b11000000; // Povolí se externí preruseni
TCNT1+=Aux;} // K dosavadni hodnote timeru1 se přičte hodnota
                        pomocne promenne jelikož se jednalo o zakmit a
                        timer1 byl vynulovan i když neslo o skutecnou
                        otacku)

else;
}
```

V okamžiku, kdy nastane přerušení vyvolané přetečením čítače2, je nutné aby došlo k zapálení směsi ve válci. V rámci tohoto přerušení je na port B poslána logická 1 což nastaví zapalovací jednotku do stavu jenž vyvolá přeskok jiskry. Aby se po vybití kondenzátoru stihly řídicí prvky vrátit do původního stavu je vyslání logické 1 na port B velmi krátké. Ve chvíli kdy je zajištěn výchozí stav všech prvků jednotky je vyslání logické 0 na pin portu B jenž řídí aktivaci a deaktivaci obvodu sg3525 tento obvod aktivován. Přerušení od čítače2 je v tuto chvíli zakázáno. Externí přerušení ze snímače otáček je povoleno.

```
//-----Interupt of TIMER2-----

ISR (TIMER2_OVF_vect){ // obsluha pretečení timeru
PORTB = 0b00000010; // Poslani logicke 1 na port B (otevreni
                        tranzistoru
delay_us(1); // zpozdeni
PORTB = 0b00000001; // vyslani logicke 0 na port B uzavreni
                        tranzistoru

delay_us(3);
PORTB = 0b00000000; // aktivace sg3525
TCR2 = 0b00000000; // zakazani preruseni po pretečení timeru 2
GICR = 0b11000000; // povolení externího preruseni
}
```

Pokud probíhá příjem dat po sériové lince je v okamžiku dokončení příjmu vyvoláno přerušování během kterého se příchozí hodnoty uloží do interní EEPROM na pozici 0-500. Po dosažení této hodnoty již není dále možné zapisovat hodnoty předstihu do EEPROM.

```
//-----Interrupt of USART receive-----  
  
ISR (USART_RXC_vect){// preruseni po ukonceni prijmu na seriove  
    lince  
    EEPROM_write(EEPROMwrIndex,UDR);// zapis hodnot do eeprom  
    EEPROMwrIndex++;// inkrementace promenne EEPROMwrIndex=>dalsi  
        data se zapisi na dalsi pozici  
if      (EEPROMwrIndex>500)// ochrana proti pretečení  
        UCSRB = (0<<RXEN);  
}
```

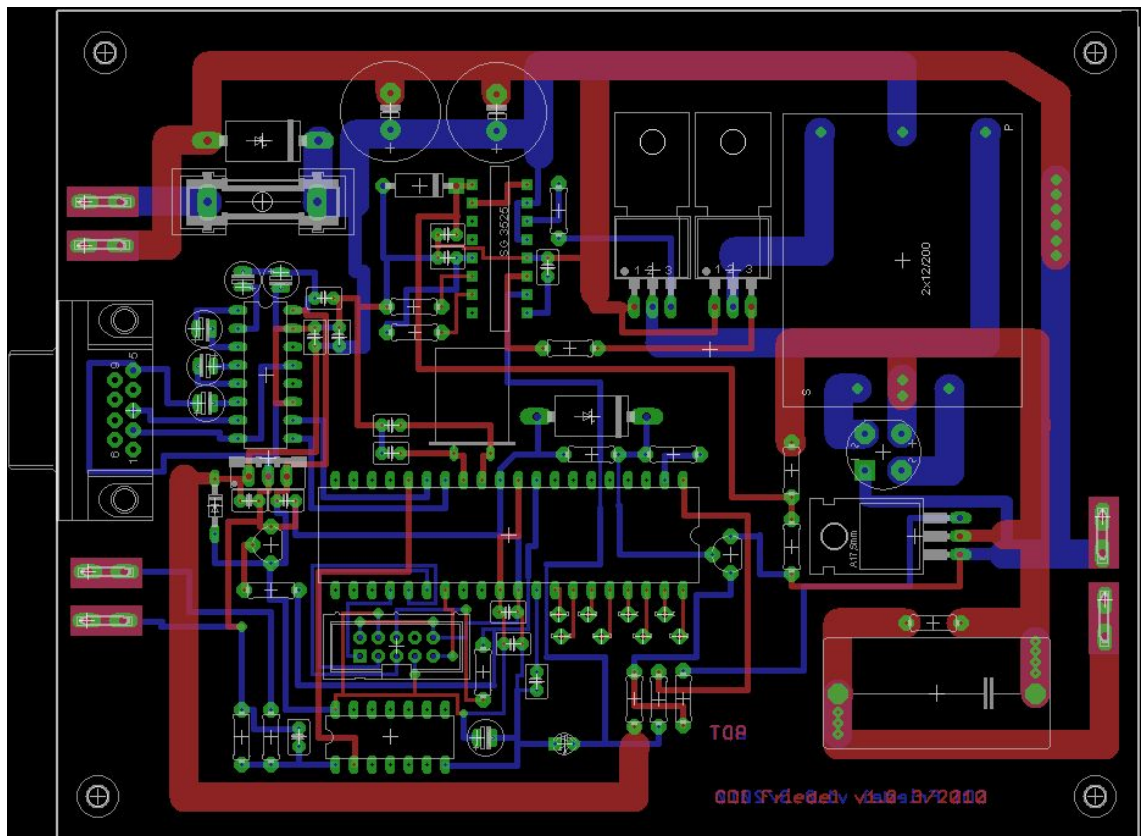
Funkce `tabulka_predstihu` obstarává uložení dat z EEPROM do paměti RAM při zapnutí zapalování z důvodu vyšší spolehlivosti a menší časové náročnosti při přístupu k hodnotám předstihu.

```
//-----Copy EEPROM to RAM-----  
void tabulka_predstihu (void)// funkce pro nacteni EEPROM do ram  
{  
for      (RAMwrIndex=0; RAMwrIndex<=500;RAMwrIndex++) // for  
        cyklus pro nacteni 500  
        hodnot z EEPROM do RAM  
  
    tabulka[RAMwrIndex]=EEPROM_read(RAMwrIndex);  
  
}
```

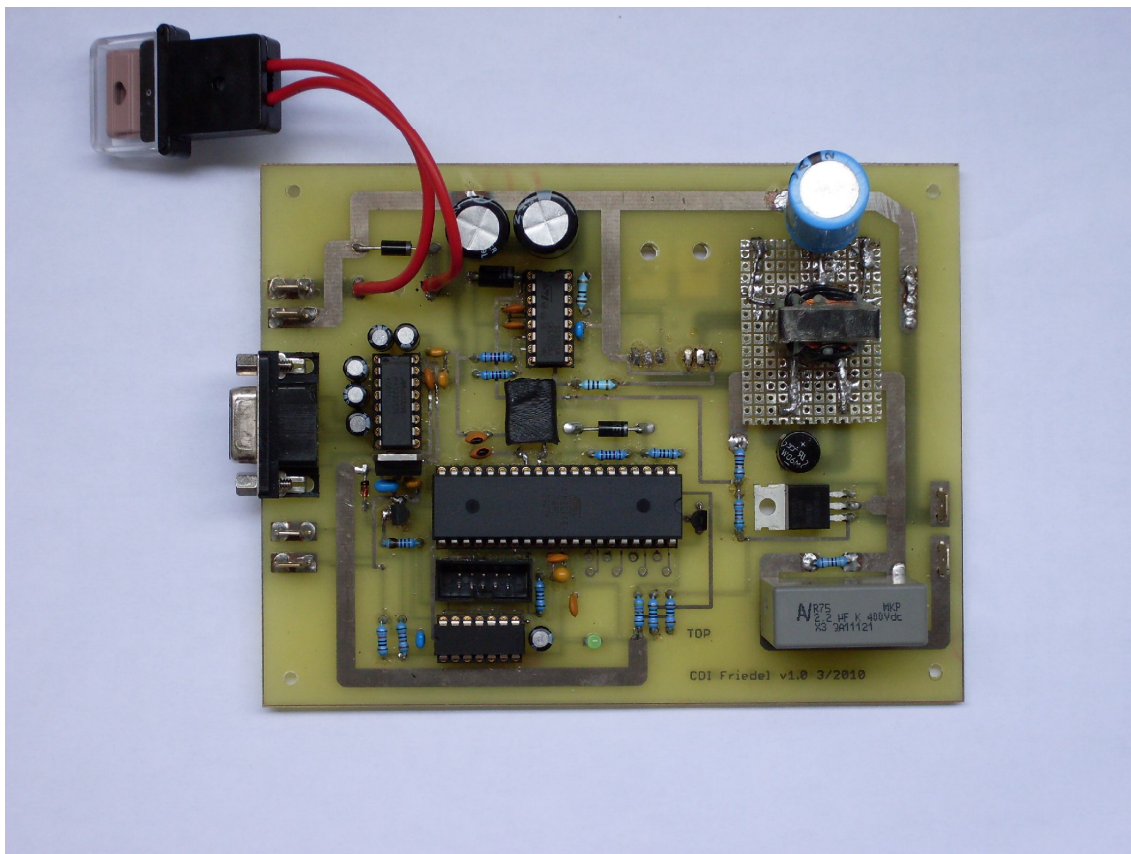
5.2 Hardwarová část

Deska plošných spojů (dále jen DPS) byla navržena v návrhovém programu Eagle. Při jejím návrhu bylo dbáno na dodržování pravidel návrhu DPS. Na základě předpokládaných proudů a napětí byly zvoleny patřičné šířky vodivých cest a odpovídající mezery mezi jednotlivými cestami. To však vedlo k celkovému nárůstu rozměrů DPS. Zapalování obsahuje několik integrovaných obvodů umístěných v precizních patičkách. Pro připojení vstupních a výstupních vodičů je zařízení osazeno vidlicemi Faston.

Vzhledem k náročným podmínkám ve kterých bude zapalování využíváno je nutné jej po umístění do krabičky zalít pryskyřicí aby nedošlo k poškození součástek vlivem vibrací. K tomuto kroku by se mělo však přistoupit až po řádném otestování abychom si neznemožnili případnou následnou opravu či úpravu.



Obr. 5.1 Vzhled navržené DPS v programu Eagle



Obr. 5.2 Plně osazená DPS

5.3 Měřicí část

Zapalování začíná pracovat od vstupního napětí 7,5V kdy začne pracovat integrovaný obvod SG3525 který s pomocí tranzistorů MOSFET budí transformátor. Odběr nezátíženého zapalování (tedy při nulových otáčkách) je přibližně 100mA. V dalším kroku byly měřeny průběhy náběžných a sestupných hran na vstupu a výstupu budících tranzistorů. Tyto jsou uvedeny v tabulce níže.

Tab. 5.1 Naměřené hodnoty spínání budících tranzistorů

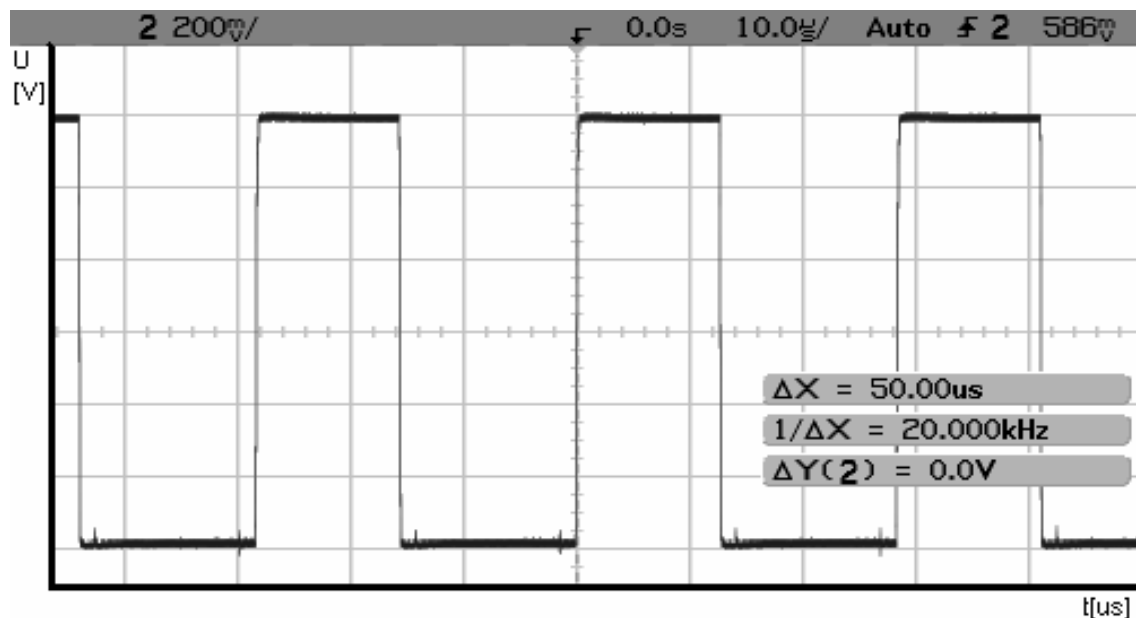
	MOSFET 1				MOSFET 2			
	Gate		Drain		Gate		Drain	
Deadtime	Rise time	Fall time	Rise time	Fall time	Rise time	Fall time	Rise time	Fall time
1,3us	175ns	100ns	28ns	120ns	130ns	70ns	30ns	120ns

Následující tabulka představuje naměřený proudový odběr při různých druzích zatížení. Bylo provedeno několik měření při rozličných stavech zatížení. Nezátížené zapalování bylo měřeno bez připojené zapalovací cívky a svíčky při sepnutém tyristoru. Další hodnota odběru byla změřena připojením indukční cívky a svíčky na výstup zapalovacího systému. Poté byla připojena posuvná zátěž 2 K Ω jejíž regulací bylo možné ověřit nárůst spotřeby při zvyšování otáček. Poslední měření probíhalo při zablokovaném tyristoru a byl měřen odběr v době mezi dvěma zápaly.

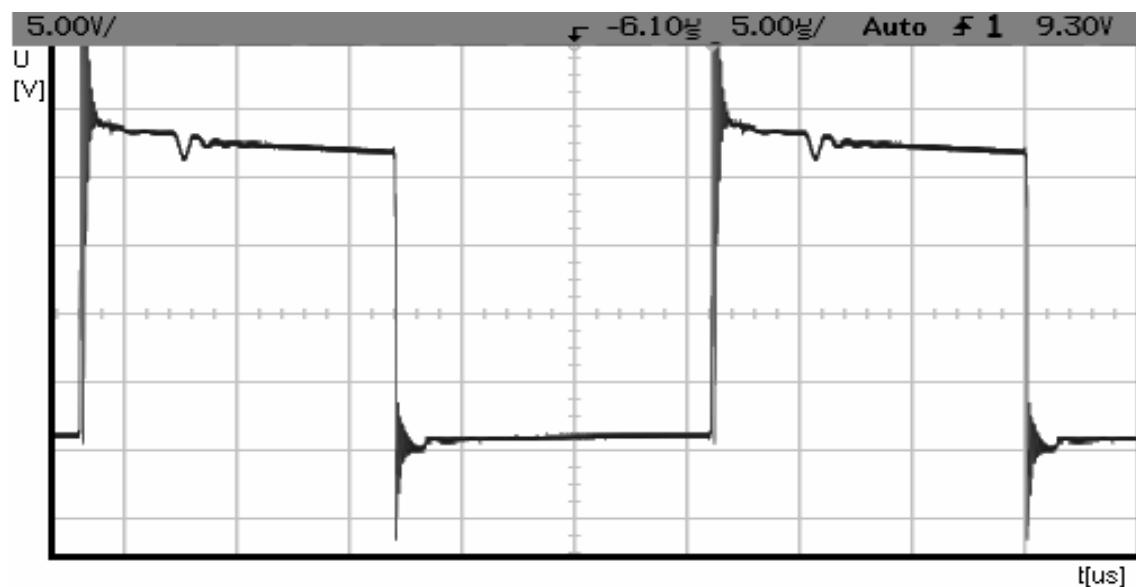
Tab. 5.2 Hodnoty proudového odběru při různých typech zatížení

Zátěž	I _{vst} [mA]
0 Ω (naprázdno)	90
Indukční cívka+svíčka	360
2K Ω	720
Nabíjení kondenzátoru	1560

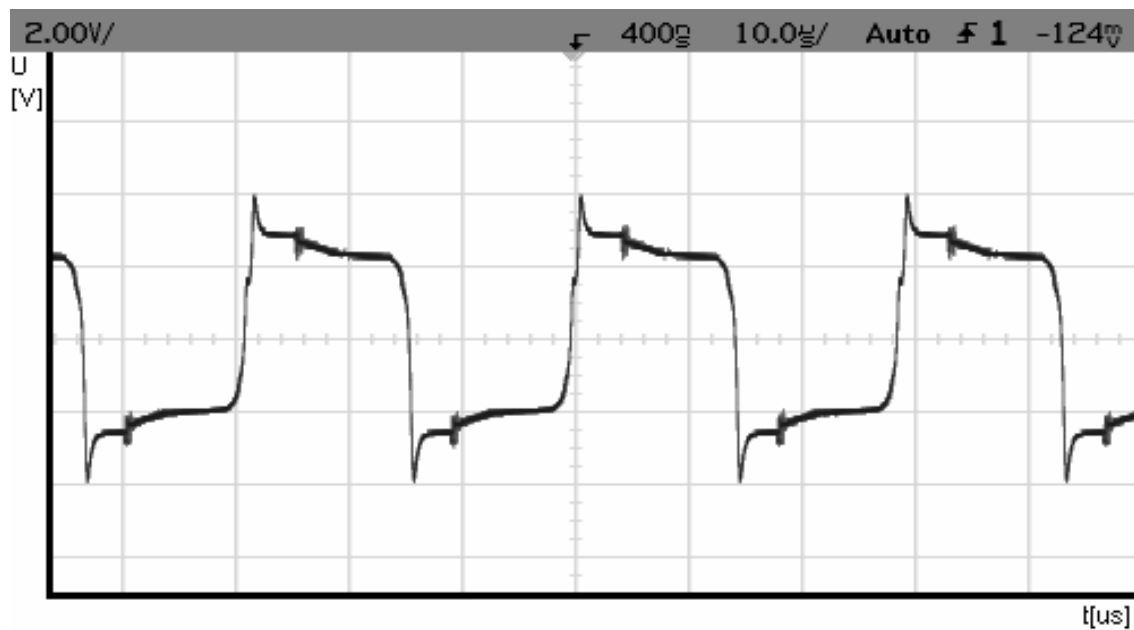
V dalším kroku byly za pomoci osciloskopu kontrolovány průběhy signálu na hlavních řídicích prvcích. Níže vložené oscilogramy představují průběhy výstupního signálu obvodu SG3525, průběhy výstupního signálu spínacích tranzistorů MOSFET a průběh nabíjecí a vybíjecí křivky zapalovacího kondenzátoru.



Obr. 5.3 Obdélníkový průběh výstupního signálu integrovaného obvodu SG3525



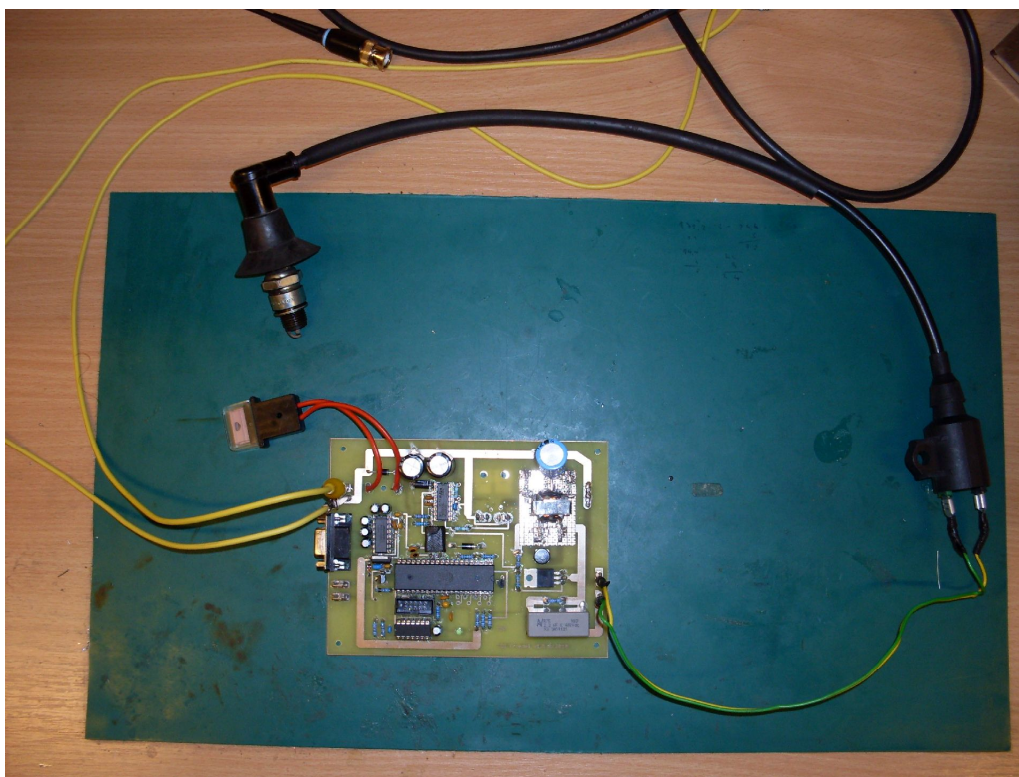
Obr. 5.4 Výstupní průběh spínacích tranzistorů MOSFET



Obr. 5.5 Nabíjecí a vybíjecí křivka kondenzátoru

Na výše uvedených oscilogramech je patrné rušení, které se i přes veškerou snahu nepodařilo vyhladit. Toto může být způsobeno například dlouhými přívodními cestami, které slouží jako parazitní indukce. Toto rušení může také způsobovat navržený zvyšovací transformátor. Zdroj tohoto rušení musí být před testováním na motocyklu odhalen a eliminován, jelikož na zvyšovacím transformátoru vytváří vysoké špičkové napětí, které by mohlo vést k poškození systému.

Zapalovací systém byl z tohoto důvodu měřen pouze ve školní laboratoři a byla testována pouze principiální funkčnost. Tedy schopnost adekvátně generovat jiskru.



Obr. 5.6 Testování funkčnosti DC-CDI s připojenou indukční cívkou a svíčkou



Obr. 5.7 Detail přeskočení jiskry

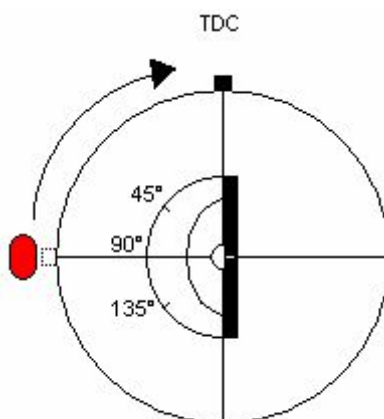
6 TECHNICKÁ PŘÍPRAVA

6.1 Metodika kalibrace snímače

Řídicí program navrženého zapalování generuje patřičné zapalovací pulzy na základě matematických výpočtů uvedených v kapitole 4.1. Pro správný výpočet doby předstihu musíme znát úhel před horní úvratí, v němž je namontován snímač otáček. Tuto hodnotu je možno dohledat v dokumentaci vozidla a přímo ji použít k výpočtu hodnot předstihu pro náš motor. V případě, že výrobce tento úhel neuvádí nebo nemáme přístup k dokumentaci konkrétního motoru musíme tento úhel změřit. Vždy budeme vycházet z toho, že známe polohu klikové hřídele v horní úvratí.

6.1.1 Kalibrace pomocí úhloměru

Tímto způsobem lze poměrně nenáročně určit úhel před horní úvratí v němž je umístěn snímač otáček. Jedná se o přiložení úhloměru na klikovou hřídel při nastavené horní úvratí tak aby na rysce značící horní úvrat' bylo 0° . Potom úhel, kterému odpovídá střed snímače otáček je námi hledaným úhlem. Je však důležité upozornit, že touto metodou jsme schopni dosáhnout jen přibližné přesnosti, jelikož vygenerování impulsu snímačem otáček právě při průchodu jeho středem je pouze teoretický předpoklad. V reálné situaci může být impuls vygenerován o několik stupňů dříve a může dojít k nepřesnostem. Tento problém řeší následující metoda kalibrace.



Obr. 6.1 Ukázka měření úhlu pomocí úhloměru

6.1.2 Kalibrace za použití druhého snímače

Tato metoda je založena na umístění stejného snímače do horní úvrati. Pokud umístíme totožný snímač otáček do horní úvrati můžeme po připojení k osciloskopu při známých stabilních otáčkách sledovat průběh impulzů z obou snímačů a měřit dobu mezi jejich náběžnými hranami. Z této doby poté jednoduše spočteme výsledný úhel.

Nyní uvedu příklad výpočtu úhlu ve kterém je snímač umístěn před horní úvrati.

Mějme měřící otáčky 6000 ot/min. Při těchto otáčkách jsme naměřili dobu mezi dvěma náběžnými hranami 1ms.

Ze známých otáček vypočteme čas, který trvá jedna otáčka

$$t = \frac{1}{\frac{RPM}{60000}} = 10ms$$

Z výpočtu vyplývá, že $10ms=360^\circ$.

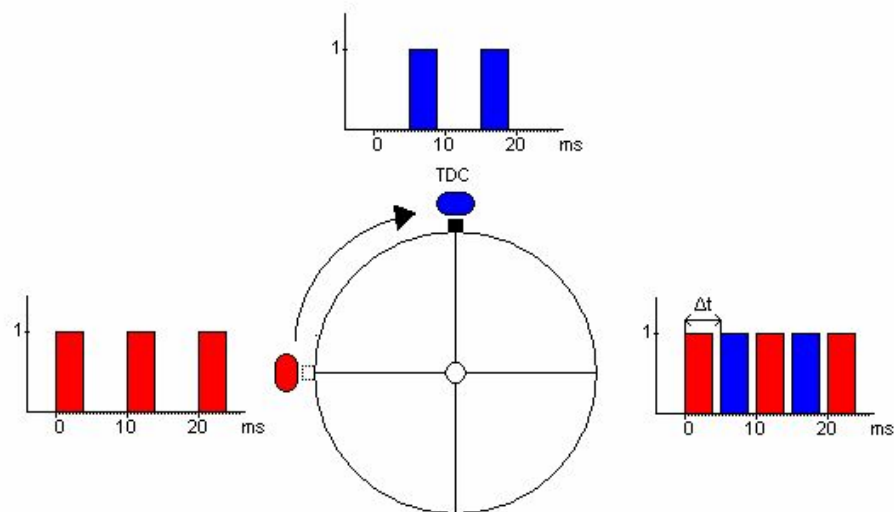
Dobu mezi dvěma náběžnými hranami jsme naměřili 1ms.

Výsledný úhel můžeme určit například pomocí trojčlenky.

$$\frac{X^\circ}{360^\circ} = \frac{1ms}{10ms} = 36^\circ$$

Vypočetli jsme, že snímač otáček je umístěn 36° před horní úvrati.

Tuto hodnotu můžeme tedy přímo dosadit do tabulky pro výpočet předstihu.

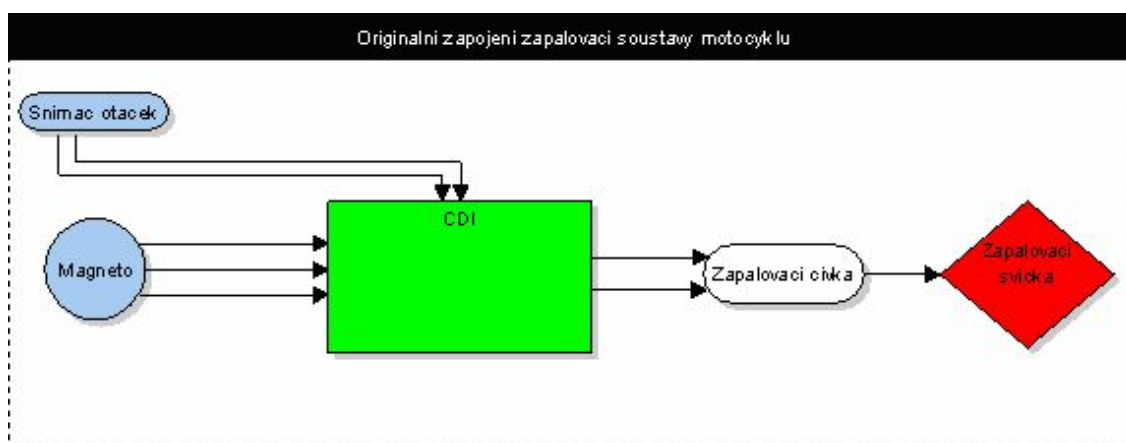


Obr. 6.2 Ukázka realizace kalibrace pomocí druhého snímače

6.2 Přehled nutných zásahů do elektroinstalace vozidla

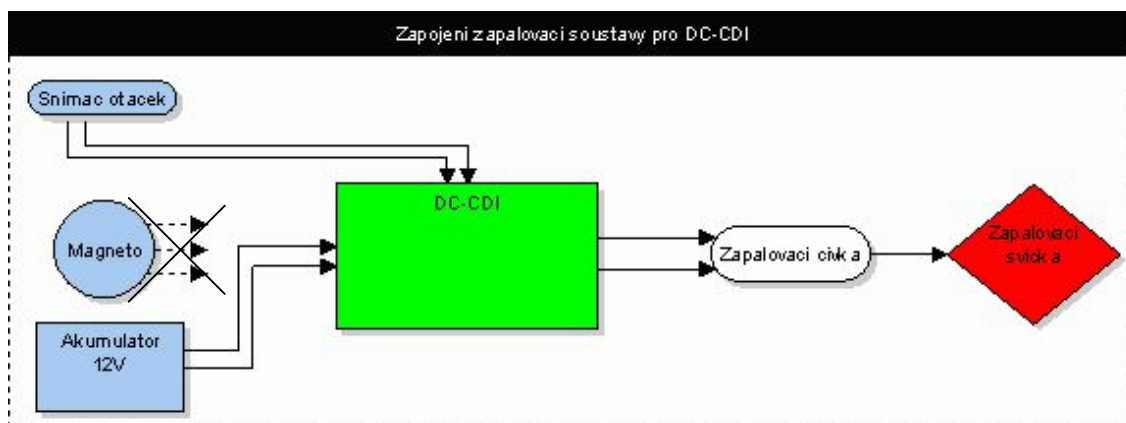
Při změně zapalování CDI na zapalování DC-CDI je nutné provést v elektroinstalaci vozidla drobné úpravy. Tyto úpravy se týkají napájení jednotky zapalování. Vozidlo využívající CDI nepotřebuje k chodu motoru baterii, jelikož jednotka zapalování CDI je napájena střídavým napětím, které vytváří magneto.

Na (obr.4.4) je znázorněno blokové schéma zapojení zapalovací soustavy s jednotkou CDI.



Obr. 6.3 Originální zapojení zapalovací soustavy s použitím CDI.

Na (obr.4.5) je zobrazeno blokové schéma zapalovací soustavy využívající jednotku DC-CDI. Je zde patrné oproti předchozímu obrázku (obr.4.4), že přibyl akumulátor a magneto je nepřipojeno. Je to z důvodů napájení jednotky stejnosměrným napětím z akumulátoru. Zde je tedy nutné připravit elektroinstalaci vozidla pro montáž DC-CDI. Za předpokladu použití originálních konektorů je zde jedinou úpravou zaizolování vývodů magneta, které již nebude nadále využito a připravení vývodů s konektory z akumulátoru. Ostatní periferie zapalovací soustavy mohou být připojeny a provozovány bez jakýchkoliv dalších úprav.



Obr. 6.4 Zapojení zapalovací soustavy pro DC-CDI.

7 ZÁVĚR

V této bakalářské práci byly rozebrány používané systémy zapalovacích soustav a snímačů otáček. Pro návrh jsem zvolil kapacitní zapalování. Byl tedy navržen a zkonstruován obvod řízený mikroprocesorem. Zapojení jsem vybavil přepětovými ochranami pro případ poruchy a pojistkou. Nejproblematictější bodem jak návrhu, tak realizace shledávám návrh a výběr vhodného jádra transformátoru. Dalším stěžejním bodem bylo seznámit se s problematikou řízení předstihu a jeho výpočtem. Tuto část práce osobně hodnotím jako nejzajímavější, jelikož je na základě výpočtů názorně vidět, proč je nutné řídit předstih. Zkonstruované zapalování bylo proměřeno a oživeno ve školní laboratoři. Během tohoto měření bylo však odhaleno rušení, které za transformátorem dělalo velké napětové špičky. K mírnému zlepšení došlo po připojení dalšího elektrolytického kondenzátoru před napájení transformátoru. Bohužel se však z časových důvodů nepodařilo analyzovat přesnou příčinu tohoto rušení a tak došlo k otestování funkčnosti pouze v laboratorních podmínkách. Věřím však, že po odhalení této chyby bude navržené zapalování plně použitelné v reálném provozu. Při tvorbě softwaru řídicího předstihu jsem se snažil o zajištění co možná největší spolehlivosti. Díky tomuto softwaru by měl být program odolný vůči zákmitům jelikož kontroluje při každé otáčce hodnotu vstupního signálu v jeho předpokládané polovině. Aby bylo nastavení celého systému co nejkvalitnější, byla vypracována metodika kalibrace snímače s jejíž pomocí získáme správné umístění snímače otáček potřebné pro dosažení do tabulky předstihu. V závěru je uveden seznam nutných zásahů do elektroinstalace vozidla.

LITERATURA

- [1] FAKTOR, Z., Transformátory a tlumivky pro spínané zdroje, BEN-technická literatura, Praha 2002.
- [2] BEJČEK, L., Měření neelektrických veličin. Elektronické skriptum. Brno: FEKT VUT v Brně, 2005.
- [3] FERENC, B., Spalovací motory Karburátory a vstřikování paliva, Computer press, Praha 2004
- [4] IgniTech [online]. 2004 [cit. 2009-12-27]. Dostupný z WWW: <www.ignitech.cz>.
- [5] ČECH, Jiří. Zapalování. Škoda techweb : vše o Škodovkách [online]. 2002 [cit. 2009-12-27]. Dostupný z WWW: <www.skoda.panda.cz/clanek.php?id=385>.
- [6] TARABA, R., Elektronické zapalování s řízením předstihu pro motocykly, Amatérské Rádio, 07/2003.
- [7] IMFsoft, s.r.o. [online]. 2006 [cit. 2009-12-27]. Dostupný z WWW: <www.imfsoft.cz>.
- [8] GSX-Roll. Suzuki GSX-R 1100 [online]. 2002 [cit. 2009-12-27]. Dostupný z WWW: <www.gsxr.wz.cz>.
- [9] Styleshout. Fabriques votre CDI pour XT600 [online]. 2001 , 11.9.2009 [cit. 2009-12-28]. Dostupný z WWW: <www.transmic.net>.
- [10] BT Elektronik [online]. 2008 [cit. 2009-12-28]. Dostupný z WWW: <www.btelectronic.sweb.cz>.
- [11] Hot bulb engine. *Wikipedia, the free encyclopedia* [online]. 2006 [cit. 2010-01-02]. Dostupný z WWW: <http://en.wikipedia.org/wiki/Hot_bulb_engine>.
- [12] Programmable Digital Ignition CDI/TCI. *SportDevices* [online]. 2000-2009 [cit. 2010-01-02]. Dostupný z WWW: <<http://www.sportdevices.com/ignition/ignition.htm>>.
- [13] *Sino-Japan Joint Venture LangFang Kokusan Electric Co., Ltd.* [online]. 1997 [cit. 2010-01-02]. Dostupný z WWW: <<http://www.lfkokusan.com/english/indexa.asp>>.
- [14] SCHMIDT-WALTER, Heinz . *Http://schmidt-walter.eit.h-da.de* [online]. 2001 [cit. 2010-05-28]. Heinz Schmidt-Walter. Dostupné z WWW: <<http://schmidt-walter.eit.h-da.de/>>.

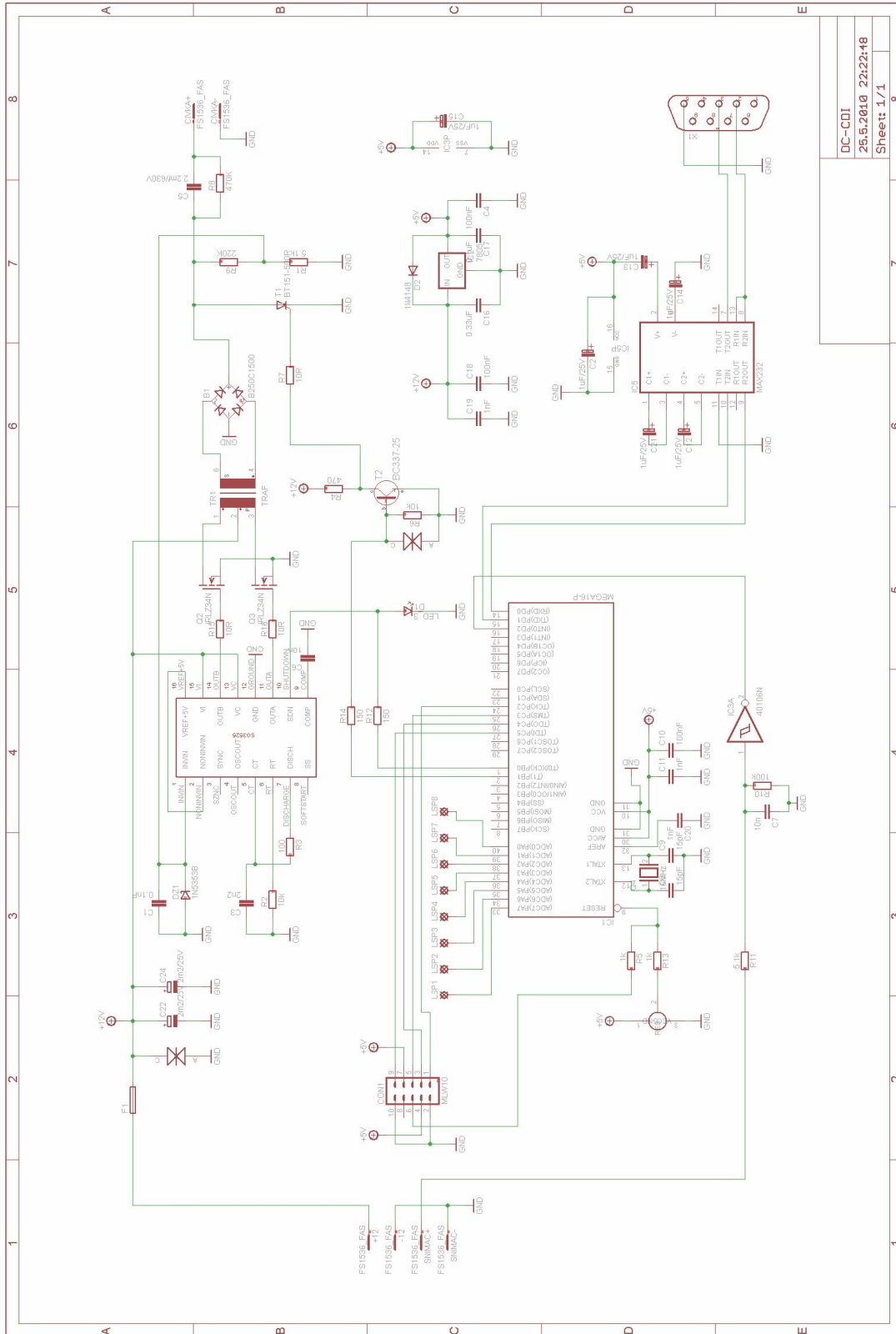
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

CDI	Capacitive Discharge Ignition	Kapacitní zapalování
DC-CDI	Direct Current Capacitive Discharge Ignition	Stejnoseměrné kapacitní zapalování
TCI	Transistorised Coil Ignition	Tranzistorové
RPM	Revolutions Per Minute	Otáčky za minutu zapalování
DPS		Deska plošných spojů
HÚ		Horní úvrat'
VN		Vysoké napětí
Ot/m		Otáčky za minutu
Ot/s		Otáčky za sekundu

SEZNAM PŘÍLOH

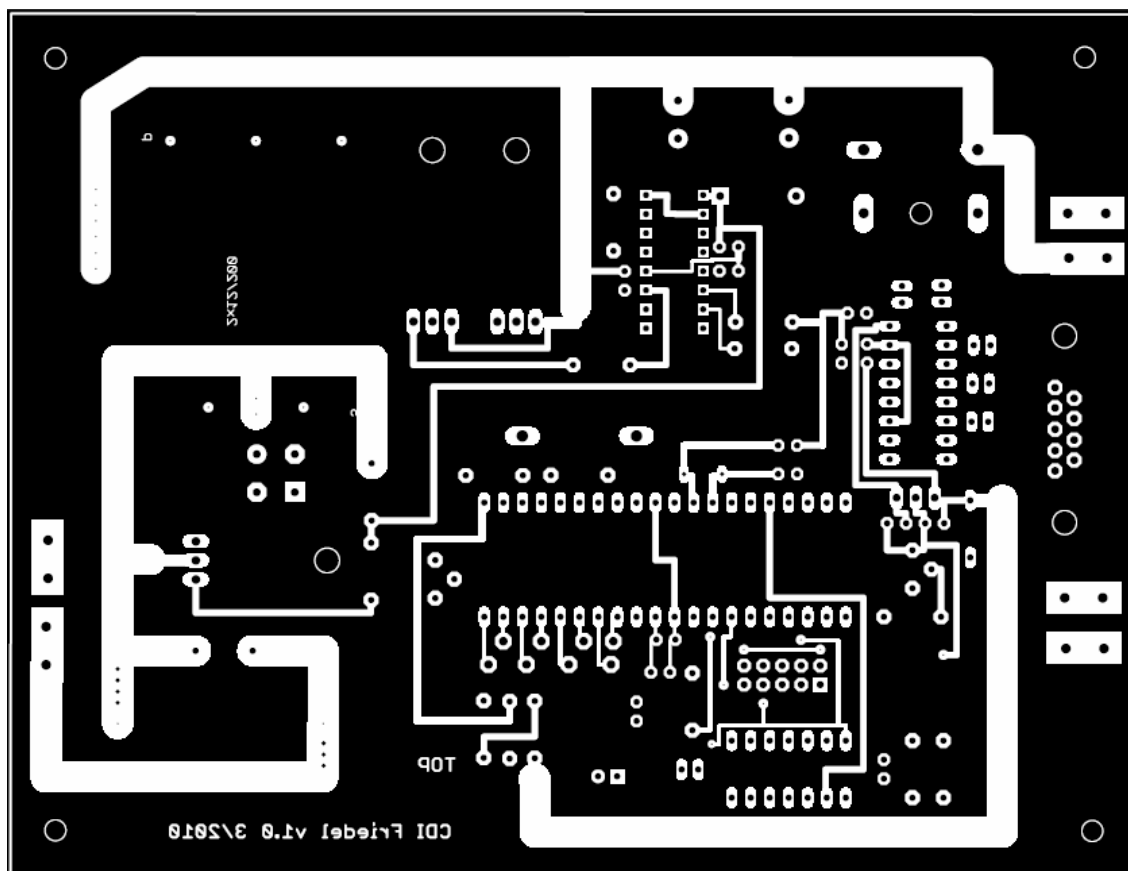
A.1	Obvodové schéma.....	36
A.2	Deska plošného spoje - top.....	37
A.3	Deska plošného spoje - bottom.....	38
A.4	Seznam součástek.....	39
A.5	Ukázka části tabulky předstihu.....	42
A.6	Křivka předstihu.....	43

A.1 Obvodové schéma



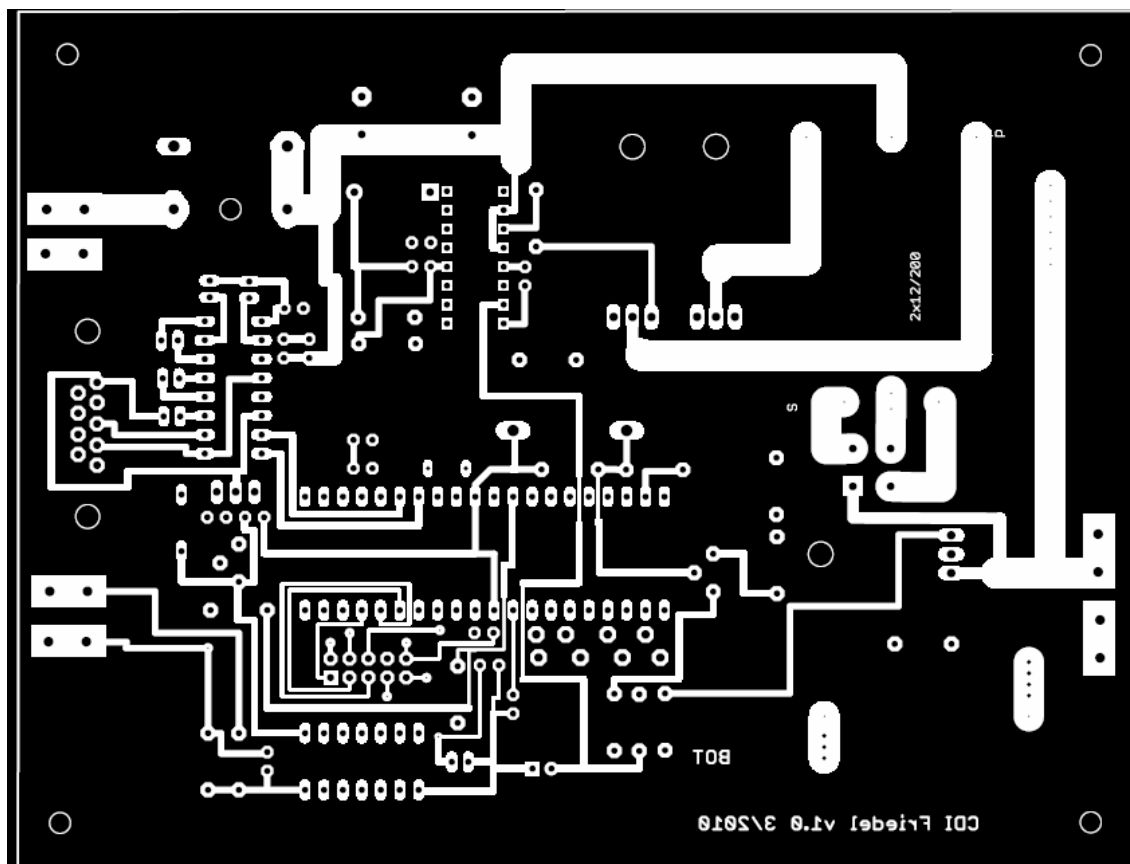
DC-CDI	8
25.5.2010 22:22:18	7
Sheet: 1/1	6

A.2 Deska plošného spoje - top



Rozměr desky 150 x 115 [mm]

A.3 Deska plošného spoje - bottom



Rozměr desky 150 x 115 [mm]

A.4 Seznam součástek

Part	Hodnota	Typ součástky
+12	1536_FAS	Faston
-12	S1536_FAS	Faston
SNIMAC+	FS1536_FAS	Faston
SNIMAC-	FS1536_FAS	Faston
CIVKA+	FS1536_FAS	Faston
CIVKA-	FS1536_FAS	Faston
B1	B250C1500	Diodový můstek
C1	0.1nF	Keramický kondenzátor
C2	1uF/25V	Elektrolytický kondenzátor
C3	2n2	Keramický kondenzátor
C4	100nF	Keramický kondenzátor
C5	2.2uf/630V	Foliový kondenzátor
C6	10n	Keramický kondenzátor
C7	10n	Keramický kondenzátor
C8	15pF	Keramický kondenzátor
C9	15pF	Keramický kondenzátor
C10	100nF	Tantalový kondenzátor
C11	1nF	Keramický kondenzátor
C12	1uF/25V	Elektrolytický kondenzátor
C13	1uF/25V	Elektrolytický kondenzátor
C14	1uF/25V	Elektrolytický kondenzátor
C15	1uF/25V	Elektrolytický kondenzátor
C16	0.33uF	Keramický kondenzátor
C17	0.1uF	Keramický kondenzátor
C18	100nF	Keramický kondenzátor
C19	1nF	Keramický kondenzátor
C20	1nF	Keramický kondenzátor
C21	1uF/25V	Elektrolytický kondenzátor
C22	2m2/25V	Elektrolytický kondenzátor

C24	2m2/25V	Elektrolytický kondenzátor
CIVKA+	FS1536_FAS	Faston
CIVKA-	FS1536_FAS	Faston
CON1	MLW10	JTAG konektor
D1	LED_3	LED zelená
D2	1N4148	Usměrňovací dioda
DZ1	1N5353B	Zenerova dioda
F1		Pojistkové pouzdro
IC1	MEGA16-P	ATMEGA16-PU
IC2	7805	78XXS
IC3	40106N	40106N
IC4	SG3525	SG3525
IC5	MAX232	MAX232
Q2	IRLZ34N	MOSFET
Q3	IRLZ34N	MOSFET
Q4	16MHz	Krystal
R1	5.1k	Rezistor
R2	10k	Rezistor
R3	100	Rezistor
R4	470	Rezistor
R5	1k	Rezistor
R6	10k	Rezistor
R7	10R	Rezistor
R8	470K	Rezistor
R9	220K	Rezistor
R10	100k	Rezistor
R11	5.1k	Rezistor
R12	150	Rezistor
R13	1k	Rezistor
R14	150	Rezistor
R15	10R	Rezistor
R16	10R	Rezistor
T1	BT151-500R	Tyristor
T2	BC337-25	NPN tranzistor

TR1	TRAFO	Transformátor
TRANSIL	18V	Transil
TRANSIL	7,5V	Transil
RES	DS1233-15	Reset monitor
X1		Konektor Canon 9

A.5 Ukázka části tabulky předstihu

Úhel snímače	předdělička otáčky	předdělička předstih	frekvence cpu	max t/c	počet bitů
30	1024	256	9,216	7281,777778	16
Měření otáček	RPM	Úhel předstihu	Doba předstihu [s]	Doba předstihu [ms]	dopočet
60	9000	28,897	0,00002	0,02	254
61	8852	28,862	0,000021	0,021	254
62	8710	28,827	0,000022	0,022	254
63	8571	28,792	0,000023	0,023	254
64	8438	28,756	0,000025	0,025	254
65	8308	28,721	0,000026	0,026	254
66	8182	28,686	0,000027	0,027	254
67	8060	28,651	0,000028	0,028	254
68	7941	28,615	0,000029	0,029	254
69	7826	28,58	0,00003	0,03	254
70	7714	28,544	0,000031	0,031	254
71	7606	28,509	0,000033	0,033	254
72	7500	28,474	0,000034	0,034	254
73	7397	28,438	0,000035	0,035	254
74	7297	28,402	0,000036	0,036	254
75	7200	28,367	0,000038	0,038	254
76	7105	28,331	0,000039	0,039	253
77	7013	28,296	0,00004	0,04	253
78	6923	28,26	0,000042	0,042	253
79	6835	28,224	0,000043	0,043	253
80	6750	28,188	0,000045	0,045	253
81	6667	28,152	0,000046	0,046	253
82	6585	28,117	0,000048	0,048	253
83	6506	28,081	0,000049	0,049	253
84	6429	28,045	0,000051	0,051	253
85	6353	28,009	0,000052	0,052	253
86	6279	27,973	0,000054	0,054	253
87	6207	27,937	0,000055	0,055	253
88	6136	27,901	0,000057	0,057	253

A.6 Křivka předstihu.

