



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY

A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV VÝKONOVÉ ELEKTROTECHNIKY A ELEKTRONIKY

DEPARTMENT OF POWER ELECTRICAL AND ELECTRONIC ENGINEERING

**UNIVERZÁLNÍ ELEKTRONICKÉ ZAPALOVÁNÍ PRO
SPALOVACÍ MOTORY**

ELECTRONIC IGNITION UNIT FOR COMBUSTION ENGINE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Matouš Čmelík

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Dalibor Červinka, Ph.D.

BRNO 2016



Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor **Silnoproudá elektrotechnika a výkonová elektronika**
Ústav výkonové elektrotechniky a elektroniky

Student: Bc. Matouš Čmelík

ID: 145982

Ročník: 2

Akademický rok: 2015/16

NÁZEV TÉMATU:

Univerzální elektronické zapalování pro spalovací motory

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Realizujte řídicí jednotku elektronického zapalování navrženou v rámci semestrálního projektu.
2. Vytvořte řídicí software pro tuto jednotku.
3. Provedte veškeré možné provozní zkoušky zařízení a vyhodnoťte naměřená data.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] P. Vorel, P. Procházka: Řídicí členy v elektrických pohonech (skriptum VUT Brno)

[2] PATOCKA, Miroslav. Magnetické jevy a obvody ve výkonové elektronice, měřicí technice a silnoproudé elektrotechnice. 1. vyd. V Brně: VUTIUM, 2011, 564 s. ISBN 978-80-214-4003-6.

Termín zadání: 21.9.2015

Termín odevzdání: 24.5.2016

Vedoucí práce: Ing. Dalibor Červinka, Ph.D.

Konzultant diplomové práce:

Ing. Ondřej Vítek, Ph.D., předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové 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.

Bibliografická citace práce:

ČMELÍK, M. *Univerzální elektronické zapalování pro spalovací motory*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2016. 54 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Dalibor Červinka, Ph.D..

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové 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 části druhé, hlavy VI. Díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

.....

Poděkování

Děkuji Ing. Daliboru Červinkovi, Ph.D. za vedení diplomové práce a pomoc při řešení dílčích problémů.

ABSTRAKT

Práce se zabývá návrhem elektronického zapalování pro dvouválcové dvoutaktní motory. V práci je popsán stávající systém zapalování. Dále jsou popsány možnosti snímání polohy klikové hřídele motoru. Návrh systému zapalování je navrhován převážně pro motory JAWA, ČZ a motory Trabant. Při návrhu je kladen důraz na robustnost a spolehlivost celého zapojení. Hlavní předností celé navrhované konstrukce je možnost nastavit předstih jako funkci vnějších parametrů, jako jsou například otáčky nebo teplota motoru. Navržené zapalování bylo vyzkoušeno v praxi ve vozidle Velorex.

KLÍČOVÁ SLOVA: zapalování; mikroprocesor; Arduino; ATmega; Velorex; Jawa

ABSTRACT

Thesis deals with electronic ignition for a two-cylinder two-stroke engines. In the thesis is described the existing ignition system. In the thesis are described measurement options of the position of the engine crankshaft. The ignition system is designed mainly for motor JAWA, CZ and motor Trabant. The design is focused on reliability of entire circuit. The main advantage of the entire proposed design is possibility to adjustable ignition curve, depending on several external parameters such as speed or temperature of the engine. The proposed ignition has been tested in vehicle Velorex.

KEY WORDS: ignition; microprocessor; Arduino; ATmega; Velorex; Jawa

OBSAH

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	11
1 ÚVOD.....	12
2 TEORIE ZAPALOVÁNÍ.....	13
2.1 TYPY ZAPALOVACÍCH SOUSTAV.....	13
2.1.1 MAGNETOVÉ ZAPALOVÁNÍ.....	13
2.1.2 BATERIOVÉ KONTAKTNÍ ZAPALOVÁNÍ.....	13
2.1.3 BATERIOVÉ BEZKONTAKTNÍ ZAPALOVÁNÍ.....	14
2.1.4 BEZKONTAKTNÍ KONDENZÁTOROVÉ ZAPALOVÁNÍ - CDI.....	14
3 SNÍMAČE POLOHY.....	15
3.1 OPTICKÉ SNÍMAČE POLOHY.....	15
3.2 MECHANICKÉ SNÍMAČE POLOHY.....	16
3.3 INDUKČNÍ SNÍMAČE POLOHY.....	16
3.4 SNÍMAČ POLOHY NA PRINCIPU HALLOVA EFEKTU.....	17
4 ARDUINO.....	18
4.1 ARDUINO NANO.....	18
4.2 ARDUINO IDE.....	19
4.3 ATOM A PLATFORMIO.....	20
4.4 ESP 8266.....	20
5 KOMERČNÍ ELEKTRONICKÁ ZAPALOVÁNÍ.....	22
5.1 IMFsoft – TRABANT IGNITION.....	22
5.2 VAPE MZ04.....	22
6 MĚŘENÍ NA VELOREXU.....	24
6.1 MĚŘENÍ PŘI MAXIMÁLNÍCH OTÁČKÁCH.....	24
6.2 MĚŘENÍ REZONANČNÍCH DĚJŮ.....	25
6.3 MĚŘENÍ PROUDOVÝCH A NAPĚŤOVÝCH POMĚRŮ V ZAPALOVÁNÍ.....	26
7 NÁVRH ZAPALOVÁNÍ.....	30
7.1 SNÍMÁNÍ POLOHY KLIKOVÉ HŘÍDELE.....	30
7.1.1 ZPRACOVÁNÍ SIGNÁLU SNÍMAČE.....	31
7.2 VÝKONOVÝ ČLEN.....	33
7.3 ŘÍZENÍ.....	34
7.4 NAPÁJENÍ.....	35
8 PROGRAM.....	36
8.1 ZPRACOVÁNÍ SIGNÁLU ZE SNÍMAČE.....	36
8.2 FUNKCE VOLANÉ V PŘERUŠENÍ.....	37
8.2.1 VÝPOČET DOBY SEPnutí TRANZISTORU.....	38
8.2.2 ČASOVÁNÍ ROZEPnutí TRANZISTORU.....	38
8.2.3 KOREKCE VZESTUPNÉ HRANY.....	39

8.3 FUNKCE VOLANÉ V HLAVNÍ SMYČCE.....	39
9 STAVBA ZAPALOVÁNÍM.....	40
9.1 OSAZOVÁNÍ PLOŠNÉHO SPOJE.....	40
9.2 OŽIVENÍ ZAPOJENÍ.....	41
9.3 INSTALACE ZAPALOVÁNÍ DO VOZIDLA.....	42
9.4 KONFIGURACE PROGRAMU.....	43
9.5 INSTALACE ZAPALOVÁNÍ DO VOZIDLA VELOREX 16/350.....	44
10 ZÁVĚR.....	45
POUŽITÁ LITERATURA.....	46
SEZNAM PŘÍLOH.....	48

Seznam obrázků

Obr. 1: Bateriové kontaktní zapalování - převzato z [12].....	14
Obr. 2: Stínítko pro inkrementální snímač polohy A; stínítko pro absolutní snímač polohy B - převzato z [7].....	15
Obr. 3: Řez senzorem, převzato z [9].....	17
Obr. 4: Arduino Nano (pohled z vrchu), je zde vidět mikroprocesor ATmega 328p, signalizační LED a tlačítko reset, převzato z [1].....	18
Obr. 5: Arduino Nano (pohled zespoda), zde je vidět USB ↔ UART převodník a lineární stabilizátor napětí, převzato z [1].....	19
Obr. 6: ESP 8266 ve verzi esp-12, převzato z [18].....	21
Obr. 7: Trabant ignition, převzato z [5].....	22
Obr. 8: Elektronické zapalování VAPE, převzato z [8].....	23
Obr. 9: Závislost předstihu na otáčkách pro zapalování VAPE, převzato z [8].....	23
Obr. 10: Průběh proudu vstupující do cívky při 5217 ot.min-1.....	24
Obr. 11: Detail průběhu napětí a proudu v době přeskočení jiskry.....	25
Obr. 12: Detail průběhu napětí a proudu v době přeskočení jiskry.....	25
Obr. 13: Průběh proudu cívkou při sepnutí kladívka zapalování.....	27
Obr. 14: Proud tekoucí z dynamu.....	28
Obr. 15: Měření na Velorexu před dílnami školy.....	28
Obr. 16: Detail motorového prostoru Velorexu a připojení měřicích sond na cívky zapalování.....	29
Obr. 17: Obvod vyhodnocující signál z čidla polohy.....	31
Obr. 18: Průběhy napětí při 5000ot.min-1.....	32
Obr. 19: Průběhy napětí při 200ot.min-1.....	32
Obr. 20: Zapínání MOS-FET tranzistoru.....	33
Obr. 21: Vypínání MOS-FET tranzistoru.....	33
Obr. 22: Mikroprocesor a pomocné obvody.....	34
Obr. 23: Měnič napětí.....	35
Obr. 24: Rotor indukčního čidla polohy s očíslovanými hranami.....	36
Obr. 25: Vývojový digram funkce, která hledá polohu.....	37
Obr. 26: Proud cívkou při 3000 ot.min-1.....	38
Obr. 27: Proud cívkou při 6000 ot.min-1.....	38
Obr. 28: Osazené zapalování, strana TOP.....	40
Obr. 29: Osazené zapalování, strana BOTTOM.....	41
Obr. 30: Oživení, nastavení napětí.....	41

Obr. 31: Umístění snímače proti rotoru.....	42
Obr. 32: Snímač zabudovaný ve Velorexu 16/350.....	43
Obr. 33: Testovací přípravek.....	44

Seznam tabulek

Tabulka 1: Změřené hodnoty.....	26
Tabulka 2.....	27

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

R	Odpor
L	Indukčnost
C	Kapacita
THT	Through Hole Technology
SMD	Surface Mount Device
IDE	Integrated Development Environment
USB	Universal Serial Bus
UART	Universal Synchronous / Asynchronous Receiver and Transmitter
ADC	Analog to Digital Converter
TTL	Transistor-Transistor Logic
SDK	Software Development Kit
HÚ	Horní úvrat'
DÚ	Dolní úvrat'
MOS-FET	Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor
CDI	Capacitor Discharge Ignition
IoT	Internet of Things
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
LDO	Low Drop Out

1 ÚVOD

Tato práce se zabývá problematikou řízení zapalování hořlavé směsi ve válci spalovacího motoru. Cílem práce je navrhnout zařízení, které bude nahrazovat stávající kontaktní (kladívkové) zapalování u starších dvoutaktních motorů. Jedná se převážně o motory značek JAWA, Trabant či ČZ. Zařízení bude navrhováno tak, aby bylo při montáži do vozidla potřeba minimum konstrukčních zásahů do stávajícího systému zapalování. Dále bude kladen důraz na co nejjednodušší instalaci a nastavení. Zařízení bude konstruováno z běžně dostupných součástek, aby jeho výroba byla jednoduchá a dostupná nejen pro odborníky a lidi znalé této problematiky.

Navrhované elektronické bezkontaktní zapalování bude oproti původnímu kladívkovému zapalování disponovat možností nastavení předstihu v závislosti na více veličinách. Další cílem je dosažení větší spolehlivosti zapalování díky použití bezkontaktního snímání polohy klikové hřídele.

Motivace k této práci je zlepšení spolehlivosti spalovacího motoru ve vozidle Velorex a Trabant. Velorex 16/350 je poháněn dvouválcovým dvoutaktním motorem Jawa 572-03. Velorex nemá zpátečku, couvání je řešeno nastartováním motoru pozpátku. Na tuto zvláštnost bude při návrhu pamatováno, zapalování bude umožňovat nastartování motoru oběma směry. Proto při návrhu bude počítáno s tím, aby s navrženým zapalováním šlo ve Velorexu nastartovat motor pozpátku. Motor v Trabantu je také dvouválcový a dvoutaktní. Rozdíl mezi Velorexem a Trabantem je, že Velorex má na ukostřen kladný pól akumulátoru, Trabant má ukostřen záporný pól akumulátoru. Navržené zapalování by mělo být schopné fungovat v obou popsaných situacích a navíc by mělo fungovat jak s napájecím napětím 12V, tak s napětím 6V.

Dále je zde otázka, jaké vytvořit uživatelské rozhraní pro nastavení zapalování. Proto při konstrukci zapalování bude zkoumána možnost bezdrátového ovládání zapalování z mobilního telefonu či notebooku.

2 TEORIE ZAPALOVÁNÍ

V zážehových motorech je při kompresi ve válci motoru stlačena směs vzduchu a paliva. V určitém okamžiku před HÚ (horní úvrat) dojde k zažehnutí směsi elektrickým výbojem mezi kontakty zapalovací svíčky. Pro správný běh motoru je důležité, aby energie jiskry byla dostatečná pro zažehnutí směsi a přeskok jiskry byl správně načasován.

2.1 Typy zapalovacích soustav

System zapalování lze rozdělit na několik částí. První částí je snímač polohy klikové hřídele., který může být zároveň i spínacím prvkem zapalování (kontaktní zapalování).

Další částí zapalování je řízení okamžiku zážehu. Řízení funguje buď na mechanickém principu (odstředivá regulace, podtlaková regulace, atd) nebo, u elektronických zapalování, je řízení okamžiku zážehu prováděno elektronicky.

Impulz přivedený z řízení zážehu je přiveden na spínač. Ten ovládá cívku vytvářející potřebné vysoké napětí. To je pak přivedeno vysokonapěťovým kabelem na zapalovací svíčku.

2.1.1 Magnetové zapalování

Magnetové zapalování je jedno z nejjednodušších zapalování. Skládá se z permanentního magnetu (rotor) připevněném na klikové hřídeli motoru a magnetického obvodu s cívku (stator). Při pohybu magnetu v určité oblasti pod magnetickým obvodem dojde k indukování napětí na cívce. Toto napětí je poté přivedeno na zapalovací svíčku přímo nebo přes indukční cívku pro získání většího napětí na zapalovací svíčke. Takovéto zapalování může být doplněno o mechanický kontakt (přerušovač, kladívko) nebo rozdělovač.

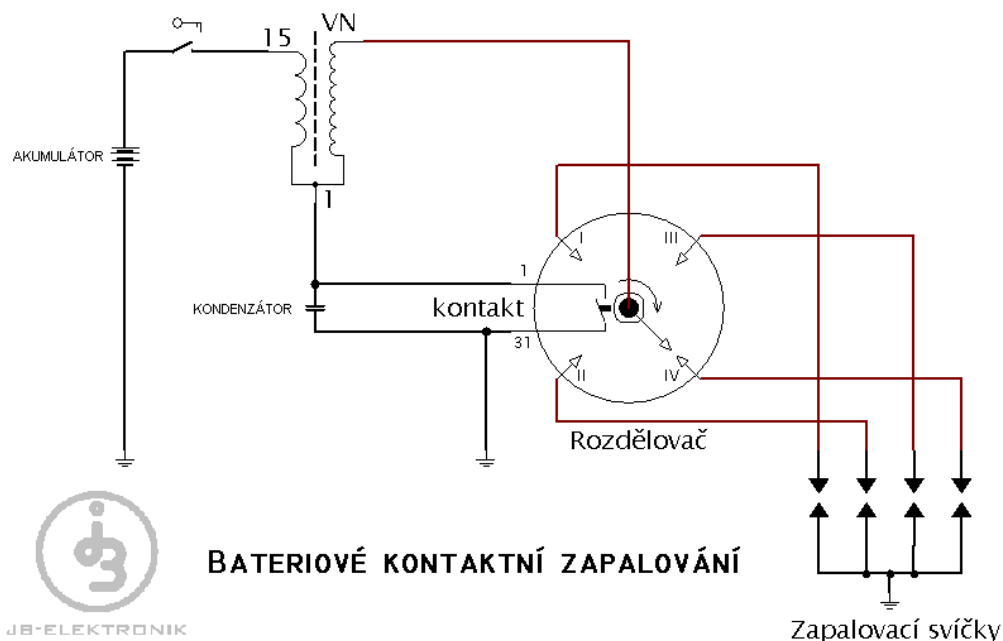
Výše popsané zapalování se nejčastěji používá u motorů v zahradní technice (motorové pily, sekačky na trávu, křovinořezy, atd.) nebo v motoru JAWA 50 Pionýr. Výhodou tohoto zapalování je jednoduchá výroba, nízká cena a odolnost.

2.1.2 Bateriové kontaktní zapalování

Bateriové zapalování se od magnetového liší tím, že používá energii z akumulátoru. Přes sepnuté kontakty přerušovače začne téct proud primárním vinutí cívky a tím se začne v cívce akumulovat energie. V okamžiku přerušování kontaktů přerušovače dojde ke skokovému zvýšení napětí na primárním vinutí cívky. Toto napětí je transformováno na sekundární vinutí cívky a poté je přivedeno na zapalovací svíčku. Pro potlačení jiskření mezi kontakty přerušovače je k němu paralelně připojen kondenzátor.

2.1.2.1 Tranzistorové zapalování s odlehčenými kontakty

Toto zapalování je jedno z prvních typů zapalování, které lze zařadit do kategorie elektronických zapalování. Zde je použit přerušovač pro spínání výkonového členu (tyristor, tranzistor). Proto přes přerušovač netečou velké proudy jako u bateriového kontaktního zapalování a kontakty se proto neopalují. Použitím spínacího členu je také zajištěno spolehlivé sepnutí obvodu.



Obr. 1: Bateriové kontaktní zapalování - převzato z [12]

2.1.3 Bateriové bezkontaktní zapalování

Bateriové bezkontaktní zapalování bývá někdy označováno jako elektronické zapalování. Toto zapalování odstraňuje nejporuchovější součástku kontaktního zapalování, kterou je mechanický přerušovač. Pro snímání polohy klikové hřídele se zde používají bezkontaktní snímače polohy. Zapalování může dále obsahovat elektroniku, která zajistí správné načasování zážehu, nebo je zde rovnou výkonový spínač.

Do této kategorie spadají obě elektronická zapalování popsané v kapitole 5 Komerční elektronická zapalování.

2.1.4 Bezkontaktní kondenzátorové zapalování - CDI

Kondenzátorové zapalování využívá pro svou funkci energii akumulovanou v kondenzátoru. Zdroj energie může být stejný jako u magnetového zapalování s tím rozdílem, že získanou energii se nabije kondenzátor na stovky voltů. Kondenzátor může být také nabíjen přes zvyšující měnič z akumulátoru. K zážehu dojde v okamžiku, kdy signál ze snímače polohy klikové hřídele sepne výkonový člen, který připojí kondenzátor na primární vynutí cívky. Výhodou je, že cívka je menších rozměrů oproti bateriovému zapalování, protože energie se před okamžikem zážehu neakumuluje v magnetickém obvodu cívky, ale v kondenzátoru.

3 SNÍMAČE POLOHY

Jedna ze stěžejních věcí, které nejvíce ovlivní spolehlivost celého navrhovaného zapalování je snímač polohy klikové hřídele. Pro přesné načasování sepnutí a rozepnutí cívky nebude stačit snímač určující HÚ a DÚ, ale bude potřeba snímat polohu klikové hřídele vícekrát za otáčku. Důležité je určit polohu hřídele co nejrychleji.

Obecně lze snímače polohy rozdělit do těchto skupin:

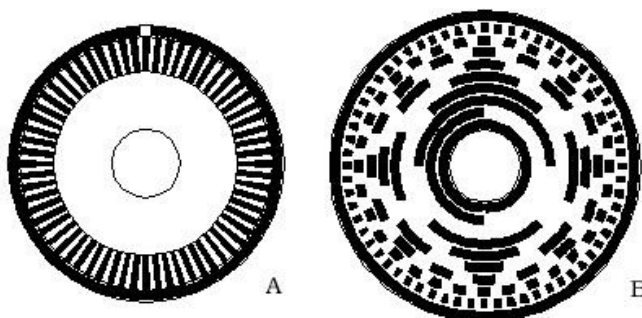
- Snímače absolutní
- Snímače inkrementální

Rozdíl v těchto snímačích je ten, že inkrementální snímač udává pouze přírůstek polohy nebo přírůstek úhlu pootočení. Absolutní snímač udává absolutní hodnotu polohy a ne jenom její změnu. Pro určení polohy absolutně je také možno použít inkrementální snímač s koncovým snímačem. Toto řešení se hodně využívá, protože je levnější než použití absolutního snímače. Nevýhodou tohoto řešení je, že je nejprve nutné určit polohu koncového bodu a až poté může být zjišťována samotná poloha. Poloha není tedy známa hned, ale nejspíše po provedení jednoho pracovního cyklu – jedné otáčky.

3.1 Optické snímače polohy

Optické snímače polohy se skládají vždy ze stínítka, zdroje světla a čidla citlivého na světlo. Optické snímače polohy lze vyrobit absolutní i inkrementální. Dnes se používají jako zdroj světla výhradně svítivé diody a jako čidlo fototranzistor nebo fotodiody. V dřívějších dobách, kdy polovodiče nebyly tak rozšířené, se jako zdroj světla používala žárovka a jako čidlo fotorezistor.

Výhody optického snímače jsou jednoduchá konstrukce, odolnost proti elektromagnetickému rušení a nízká pořizovací cena. Největší nevýhodou takového snímače je, že při jeho znečištění hrozí selhání.



Obr. 2: Stínítko pro inkrementální snímač polohy A; stínítko pro absolutní snímač polohy B - převzato z [7]

3.2 Mechanické snímače polohy

Mechanické snímače polohy jsou mechanické spínače, které sepnou při určité poloze. Používají se například jako koncové snímače polohy. V zapalování jsou použity jako mechanické přerušovače, které jsou ovládány excentricky uloženou vačkou, tyto mechanické přerušovače jsou někdy označovány jako kladívka. Tyto snímače jsou velice jednoduché a levné. Vzhledem k tomu, že se jedná o pohyblivé mechanické díly, dochází v průběhu času k jejich opotřebení nebo zněčištění a tím k jejich nesprávné funkci.

3.3 Indukční snímače polohy

Provedení indukčního snímače je takové, že na permanentním magnetu je navinuta cívka. Na klikové hřídeli je umístěn kovový kotouč s výřezy. Nad tímto kotoučem je umístěna cívka. Rotací kotouče dochází ke změně magnetického odporu v okolí cívky. Změna magnetického odporu působí změnu magnetického toku, který prochází cívkou. Z indukčního zákona platí, že změna magnetického toku cívkou vyvolá napětí na cívce. Čím rychlejší je změna nebo čím je větší změna magnetického toku, při nízkých otáčkách je tedy indukované napětí malé.

$$u_{(t)} = \frac{d\psi}{dt} \quad (3.1)$$

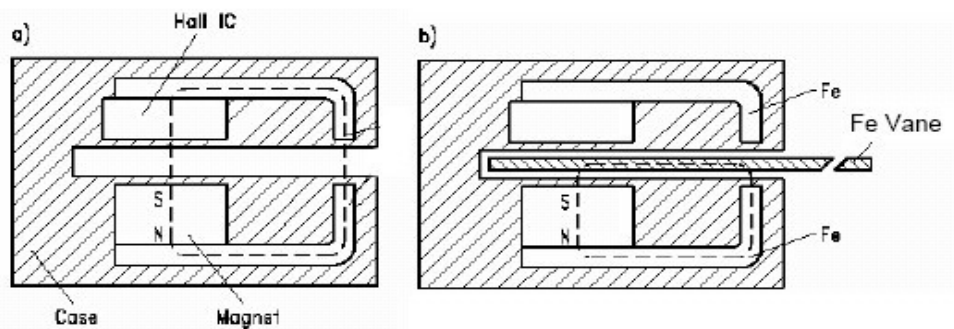
Indukované napětí na senzoru se s otáčkami zvětšuje. Při nízkých otáčkách je tedy indukované napětí malé, proto se tento druh snímače nehodí k určování polohy při pomalých otáčkách. Jeho hlavní výhodou je velká robustnost a odolnost ručení elektromagnetickým polem, protože cívka má malý vnitřní odpor. Snímač je také odolný proti nečistotám.

3.4 Snímač polohy na principu Hallova efektu

Tento senzor funguje tak, že je zde vytvořen magnetický obvod ve kterém je vložen magnet a Hallův senzor (viz Obr. 3.) Pokud je v senzoru přítomno kovové stínítko (případ b) tak se magnetický tok uzavře přes stínítko a neprochází přes Hallův senzor. Pokud zde stínítko není, tok uzavře přes Hallův senzor (případ a) a senzor detekuje napětí, toto napětí vyhodnotí elektronika a na výstupu nastaví příslušný logický signál.

Tyto senzory se hojně používají v automobilovém průmyslu, protože, na rozdíl od optických, jim nevadí znečištění. Zpracování signálů z těchto senzorů je jednodušší než u indukčních senzorů a nejsou také závislé na rychlosti změny polohy jako indukční senzor. Jejich hlavní nevýhodou je náchylnost na elektromagnetické rušení.

Ve Velorexu se umísťuje senzor polohy vedle uhlíků dynamostartéru, je zde tedy velké elektromagnetické rušení. Z toho důvodu je považováno užití snímače na principu Hallova efektu za nevhodné.



Obr. 3: Řez senzorem, převzato z [9]

4 ARDUINO

Jako řídicí mikrokontrolér byla zvolena platforma Arduino [1] [2]. Arduino je open-source platforma postavená na mikrokontrolérech od firmy Atmel. Dále je to grafické vývojové prostředí (IDE) které vychází z prostředí Wiring. Všechny desky Arduino obsahují Atmega mikrokontrolér a nezbytné součástky pro jeho chod. To umožňuje uživateli rychlé a jednoduché prototypování, protože se nemusí tolik starat od hardware a nemusí být tak zručný v osazování plošných spojů. Některé Arduino desky obsahují USB ↔ UART převodník pro programování, jiné potřebují převodník externí.

4.1 Arduino Nano

V této práci bude použito Arduino Nano. To bylo vybráno, protože je to nejmenší Arduino deska, která obsahuje převodník USB ↔ UART. Arduino Nano má jako řídicí mikroprocesor Atmel Atmega 328P [3]. Základní vlastnosti mikroprocesoru jsou:

- Takt procesoru 16MHz
- 5V operační logika (TTL)
- 2x 8-bit čítač; 1x 16-bit čítač
- 14 programovatelných vstupů/výstupů
- 8 analogových vstupů (piny napojené na interní ADC)
- 2x vnější přerušení na pinu

Čítače budou využity pro řízení časování předstihu. Na vnější přerušení bude připojen snímač polohy klikové hřídele.



Obr. 4: Arduino Nano (pohled z vrchu), je zde vidět mikroprocesor ATmega 328p, signalizační LED a tlačítko reset, převzato z [1]



Obr. 5: Arduino Nano (pohled zespoda), zde je vidět USB ↔ UART převodník a lineární stabilizátor napětí, převzato z [1]

4.2 Arduino IDE

Arduino IDE jednoduché vývojové prostředí pro platformu Arduino. Prostředí vychází z platformy Processing. Arduino IDE je multiplatformní aplikace napsaná v Javě. Vlastní programování je v programovacím jazyku Wiring. Tento programovací jazyk zjednodušuje programování (hlavně začátečníkům).

```
//-----  
pinMode(13,OUTPUT);  
digitalWrite(13,HIGH);  
//-----
```

Příklad části programu v jazyku Wiring. Program nastaví pin 13 jako výstupní a přivede na něj logickou jedničku.

```
//-----  
DDRD = DRD | 0b01000000;  
PORTD = PORTD | 0b01000010;  
//-----
```

Toto je program, který má stejnou funkci. V tomto kódu se přistupuje přímo na registry ovládající daný pin. Přístup přímo na registry je mnohem rychlejší, než použití funkce digitalWrite(), ale tento zápis je mnohem méně přehledný.

Osobně považuji programovací jazyk Wiring za přehlednější a jednodušší. Další jeho výhodou je v tom, že pokud se program nahraje do jiné Arduino desky a tedy i na jiný mikroprocesor, tak program bude stále fungovat. Při programování v jazyku C se přistupuje přímo na jednotlivé registry mikroprocesoru, ty ale nejsou shodné mezi jednotlivými typy.

4.3 Atom a PlatformIO

Atom je open source textový editor, který lze rozšířit o mnoho funkcí. Jedna z nich je PlatformIO. PlatformIO je platforma pro kompilaci a nahrávání kódu do různých zařízení. PlatformIO dokáže komunikovat s výrobky od více než 16 výrobců. Mimo jiné taky komunikuje s platformou Arduino.

Oproti prostředí Arduino IDE disponuje Atom více nástroji, které usnadňují programování a ladění programu. Například nejužitečnější funkce, která v Arduino IDE není, je automatické doplňování, nebo upozornění na chyby v kódu přímo při psaní. Arduino IDE upozorní na chybu až při kompilaci.

Program navržený v této práci bude programován pomocí editoru Atom, ale napsaný kód lze nahrát do procesoru i pomocí Arduino IDE. Případný zájemce o stavbu navrženého zapalování nebude tedy muset instalovat prostředí Atom a všechny jeho rozšíření, postačí mu Arduino IDE, jehož instalace je mnohem jednodušší. [15] [16]

4.4 ESP 8266

ESP 8266 je mikroprocesor čínské firmy Expressif. Disponuje wifi modulem o standardu IEEE 802.11b/g/n. Dokáže vytvořit jednoduché webové stránky. Cena tohoto mikroprocesoru se pohybuje kolem 70Kč na portálu ebay.

Toto zařízení umí také samo sebe přeprogramovat přes WiFi. Tato schopnost je velice výhodná v případech, kdy je zařízení někde zabudované a je k němu špatný přístup (jako třeba u navrhovaného elektronického zapalování). Pomocí ESP 8266 lze rovněž naprogramovat AVR mikroprocesor (taktéž i Arduino), který je k němu připojený.

Jelikož tento mikroprocesor svými vlastnostmi vypadá skoro neuvěřitelně, byl podrobněji prozkoumán, jestli by se nehodil buď přímo pro řízení zapalování, nebo pro vytvoření rozhraní pro jednoduché nastavení zapalování přes bezdrátovou síť.

Po prostudování bylo zjištěno, že mikroprocesor nedokáže dostatečně přesně a rychle spínat výstupní piny. Největší rozlišení, kterého bylo dosaženo je 1ms. To je při 6000 ot/min rozlišení 36°! Proto nebyl tento mikroprocesor použit pro řízení zapalování.

Mikroprocesor byl ale použit jako pomocný mikroprocesor k Arduino Nano. Měl zajišťovat bezdrátovou konektivitu a bezdrátové programování a nastavování zapalování. Byl vytvořen plošný spoj pro dané uspořádání. Všechno se zdálo být funkční, ale v momentě, kdy byla k obvodu připojena zapalovací cívka vše přestalo fungovat. Zapalovací cívka produkuje vysokofrekvenční rušení, které kompletně vyřadilo z provozu mikroprocesor ESP 8266. K mikroprocesoru byla připojena velká filtrovací kapacita na napájení, ale i přes to se mikroprocesor samovolně restartoval od rušení. Nakonec mikroprocesor přestal fungovat úplně.

To bylo pravděpodobně způsobeno tím, že mikroprocesor má na sobě anténu, která má na vstupu horní propust, takže se veškeré vysokofrekvenční rušení dostane do mikroprocesoru a zaruší jej. Nakonec bylo od použití tohoto mikroprocesoru upuštěno. Zapalování bude mít pro

komunikaci s uživatelem několik LED a programovat se bude pomocí USB z notebooku nebo mobilu.



Obr. 6: ESP 8266 ve verzi esp-12, převzato z [18]

5 KOMERČNÍ ELEKTRONICKÁ ZAPALOVÁNÍ

Na internetu jsou k dispozici komerčně vyráběné elektronické zapalování. Většina těchto výrobků pochází od dvou firem – IMFsoft a VAPE. Obě tyto firmy vyrábějí elektronické zapalování vhodné pro Velorex a Trabant.

5.1 IMFsoft – Trabant ignition

Trabant ignition je elektronické bezkontaktní zapalování řízené mikroprocesorem. Je určené pro dvouválcové dvoutaktní motory. Zapalování se programuje přes sériovou linku z počítače. Do zapalování lze naprogramovat vlastní křivka předstihu nebo třeba závislost velikosti energie jiskry na otáčkách motoru. Má jeden vstupní digitální pin, pomocí kterého lze přepínat mezi dvěma křivkami předstihu.

Zapalování snímá polohu hřídele pomocí optického snímače, viz. obr. 7.

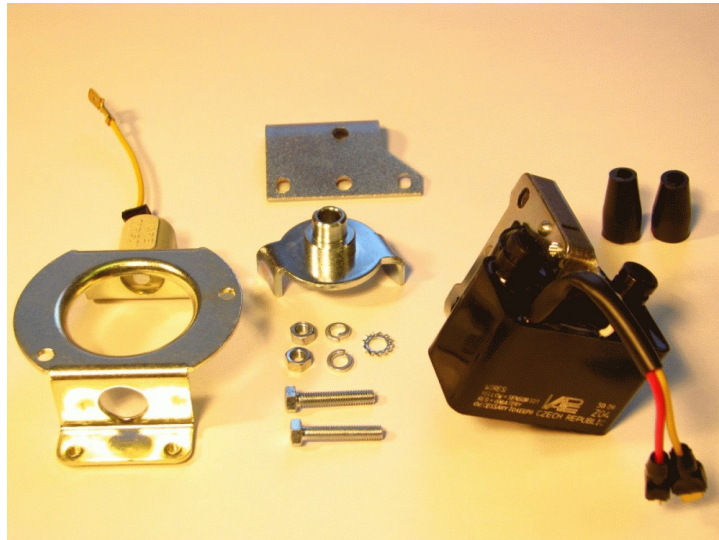


Obr. 7: Trabant ignition, převzato z [5]

5.2 VAPE MZ04

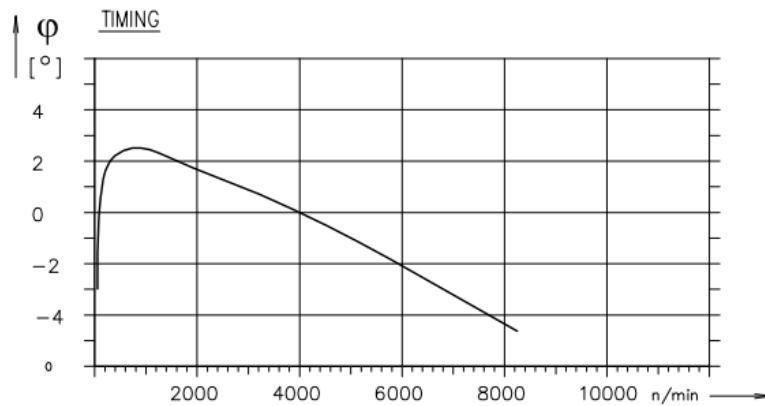
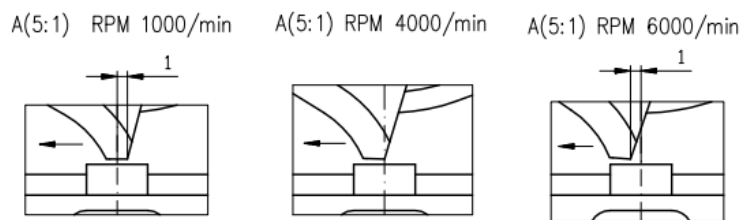
VAPE MZ04 je elektronické zapalování od firmy VAPE. Toto zapalování je určené pro jednoválcové dvoutaktní motory. Pokud se k této soupravě dokoupí druhé čidlo polohy a cívka, lze poté soupravu použít pro zapalování dvoutaktních dvouválcových motorů. Toto zapalování, narozdíl od zapalování od firmy IMFsoft, nemá programovatelnou křivku předstihu. Křivka předstihu je pevně dána mechanickým uspořádáním snímače polohy. Další rozdíl je v tom, že toto zapalování obsahuje vlastní cívku, která má v sobě výkonový spínač, na který se připojí čidlo polohy.

Použité čidlo polohy zde je indukční. Cele provedení zapalování VAPE, narozdíl od zapalování IMFsoft, působí robustním dojmem. Není zde zbytečná elektronika, proto je zde méně věcí, co se mohou pokazit.



Obr. 8: Elektronické zapalování VAPE, převzato z [8]

DETAIL OF POSITION THE METAL THUMB OPOSITE TO SENSOR S01



Obr. 9: Závislost předstihu na otáčkách pro zapalování VAPE, převzato z [8]

6 MĚŘENÍ NA VELOREXU

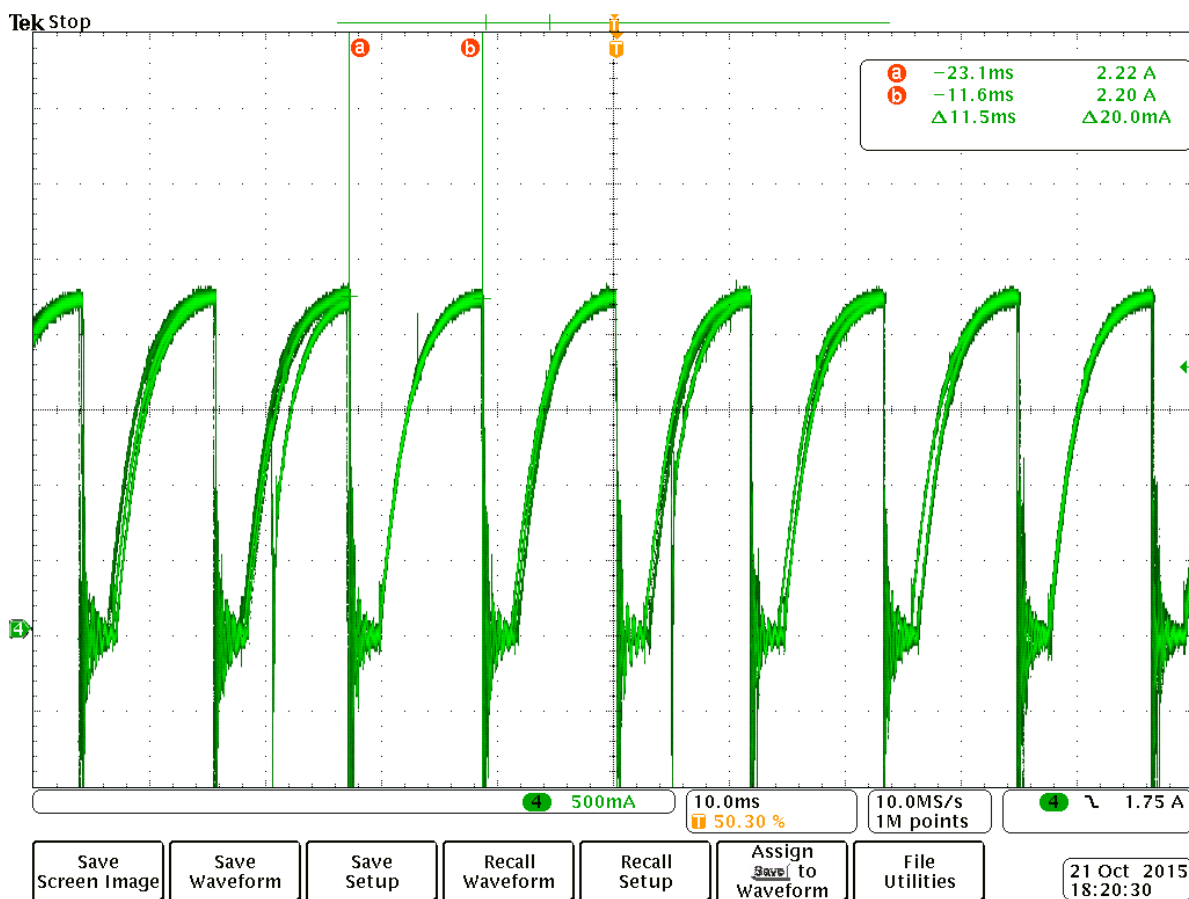
Měření probíhalo na vozidle Velorex 16/350 před školní dílnou v budově T12. Účelem měření bylo zjistit proudové a napěťové poměry v zapalovacím obvodu pro potřeby dimenzování při návrhu zapalování.

Při měření byly měřeny tyto veličiny:

- Napětí na kontaktech přerušovače (kladívka). V grafech zobrazeno modrou barvou.
- Proud vstupující do cívky na primární straně. V grafech zobrazeno zelenou barvou.
- Proud vystupující z cívky a vstupující do kladívka. V grafech zobrazeno červenou barvou.

6.1 Měření při maximálních otáčkách

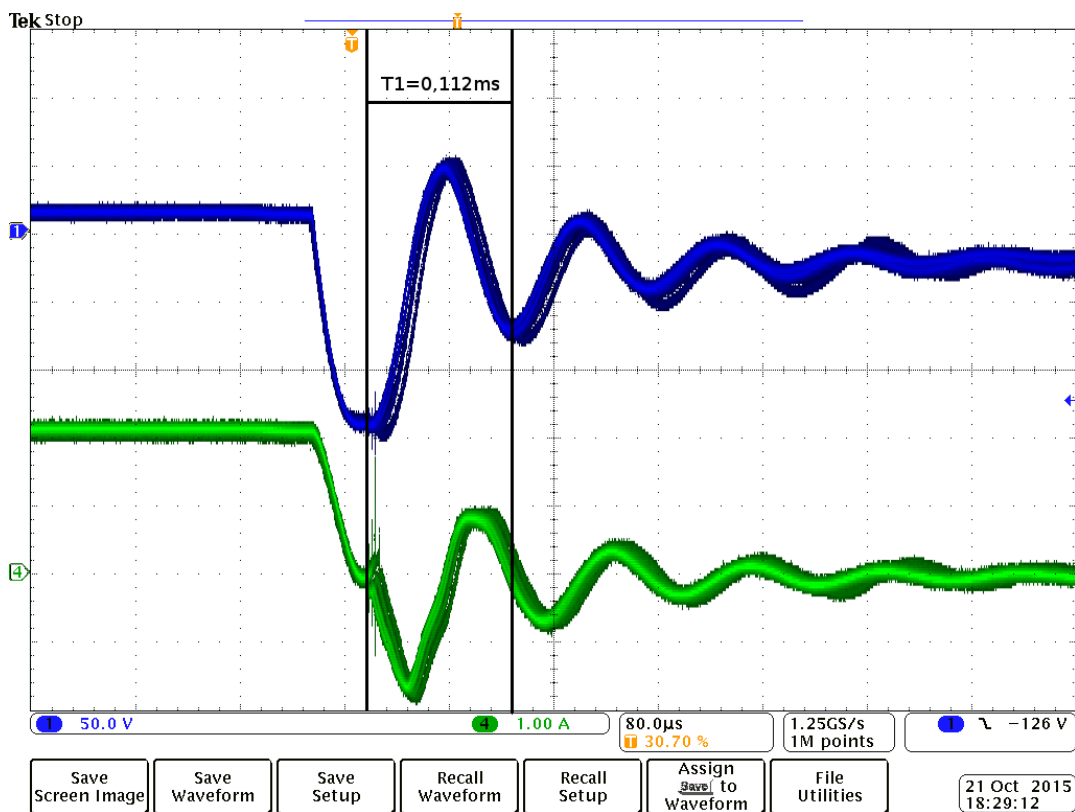
Před měřením byla vyslovena hypotéza, že při vysokých otáčkách motoru nestihne proud cívku narůst na dostatečnou hodnotu a jiskra je potom slabá. Tento případný neduh by mohlo elektronické zapalování odstranit.



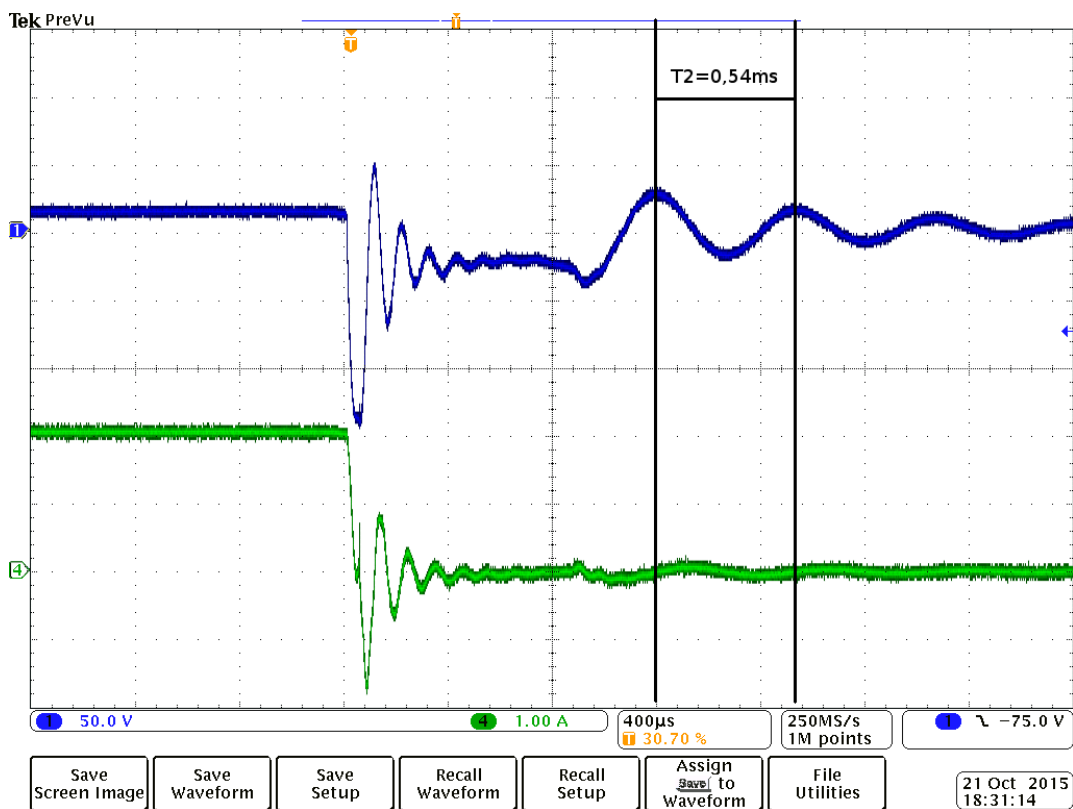
Obr. 10: Průběh proudu vstupující do cívky při 5217 ot.min⁻¹

Na obr 10 je vidět, že i při plných otáčkách motoru se cívka nabudila naplno. Hypotéza se tedy u tohoto motoru nepotvrdila. Je možné, že u jiných motorů, zvláště vysokootáčkových, může tento problém nastat.

6.2 Měření rezonančních dějů



Obr. 11: Detail průběhu napětí a proudu v době přeskožení jiskry



Obr. 12: Detail průběhu napětí a proudu v době přeskožení jiskry

Na obr. 11 a 12 je detailně zobrazen děj při přeskočení jiskry na svíčke a těsně po něm. V době před přeskočením jiskry je cívka připojena na akumulátor vozidla. Protéká jí proud, jehož velikost je převážně omezena odporem primárního vinutí. Jelikož proud neroste, je energie v cívkce maximální. Při odtrhu kladívka je jeden konec primárního vinutí cívky odpojen od akumulátoru a místo kladívka je zde kondenzátor. Ten byl do této doby zkratovaný kladívkem. Tímto vznikne sériový rezonanční obvod. V okamžiku odtrhu kladívka vznikne na svíčke jiskra, která zkratuje sekundární vinutí cívky. Indukčnost, která má vliv na rezonanční děj, je rozptylová indukčnost cívky.

Druhý rezonanční děj vznikne po zániku jiskry. Po zániku jiskry obvodem stále teče proud, ale změní se velikost indukčnosti v obvodu. Jiskra už nezkratuje sekundární vinutí, které se tedy po skončení jiskry chová jako rozpojené, proto nyní obvod „cítí“ vlastní indukčnost primárního vinutí cívky místo rozptylové indukčnosti. Proto je na obr. 12 viditelná změna frekvence kmitání.

Odpor primárního vinutí cívky	$R = 5,61 \Omega$
Vlastní indukčnosti primárního vinutí cívky	$L_1 = 14,65 \text{ mH}$
Rozptylová indukčnost cívky	$L_\sigma = 1,8 \text{ mH}$
Kapacita odrušovacího kondenzátoru	$C = 256 \text{ nF}$
Frekvence prvního rezonančního děje	$f_1 = 8,9 \text{ kHz}$
Frekvence druhého rezonančního děje	$f_2 = 1,9 \text{ kHz}$

Tabulka 1: Změřené hodnoty

Ze změřených hodnot v tabulce 1 je možné vypočítat teoretickou hodnotu frekvence kmitání obou rezonančních dějů a porovnat se změřenou hodnotou z obr. 11 a 12.

$$f_{1T} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_\sigma C}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{1,8 \cdot 10^{-3} \cdot 256 \cdot 10^{-9}}} = 7,4 [\text{kHz}] \quad (6.1)$$

$$f_{2T} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 C}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{14,65 \cdot 10^{-3} \cdot 256 \cdot 10^{-9}}} = 2,6 [\text{kHz}] \quad (6.2)$$

Změřené a vypočtené hodnoty obou frekvencí si odpovídají.

6.3 Měření proudových a napěťových poměrů v zapalování

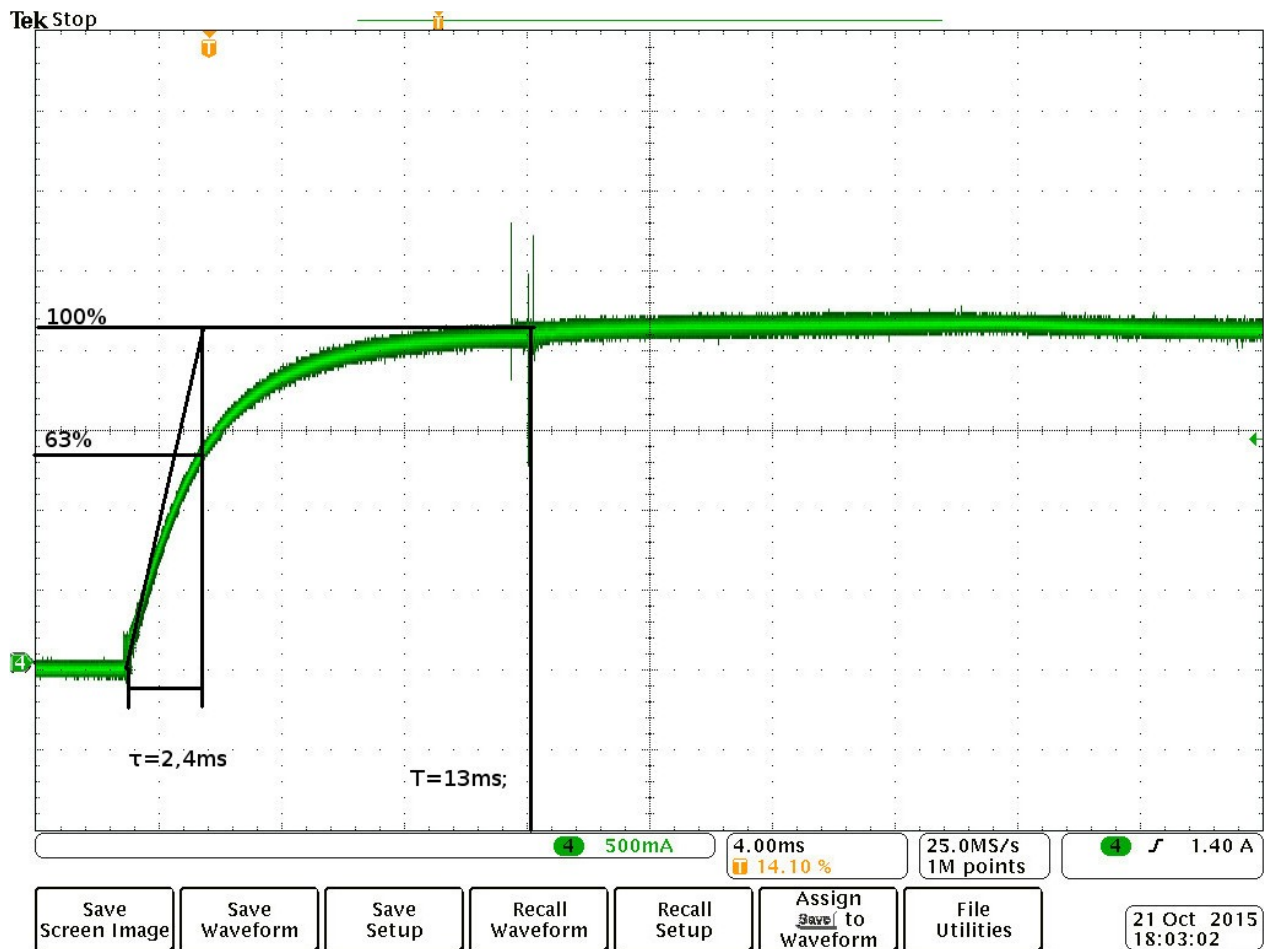
Další měřená veličina byla celková velikost proudu odebíraného zapalováním. Velikost odebíraného proudu se nemění s otáčkami, protože „střída“ odebíraných pulzů je stejná, pouze se mění frekvence. Změřený efektivní proud do zapalování byl $I_{ef} = 2,88 \text{ A}$.

$$P = U \cdot I_{ef} = 14 \cdot 2,88 = 39,5 [\text{W}] \quad (6.3)$$

Celkový odebíraný výkon zapalování je tedy 39,5 W. Přední světlomety odebírají dohromady dalších 100 W. Při výkonu dynama 150 W při 3000 ot.min⁻¹ ve Velorexu je vidět, že nezbyvá energie na dobíjení. Při volnoběhu je výkon dynama ještě mnohem nižší, energie se musí

brát z akumulátoru. Protože je dnes povinné svícení i během dne, akumulátor se nestihá dobíjet, Velorex na to nebyl původně konstruován.

Na obr. 13 je vidět, že při nízkých otáčkách teče cívkou proud po zbytečně dlouhou dobu. Po 13 ms se už proud protékající cívkou nezvyšuje, energie v cívce tedy také neroste a proud protékající cívkou pouze zbytečně ohřívá její vnutí. Tímto se, hlavně při nízkých otáčkách, mění nedostatečný proud zbytečně na teplo. V navrhovaném elektronickém zapalování bude mikrokontrolér ovládat dobu akumulování energie, a tím tento neduh odstranit.

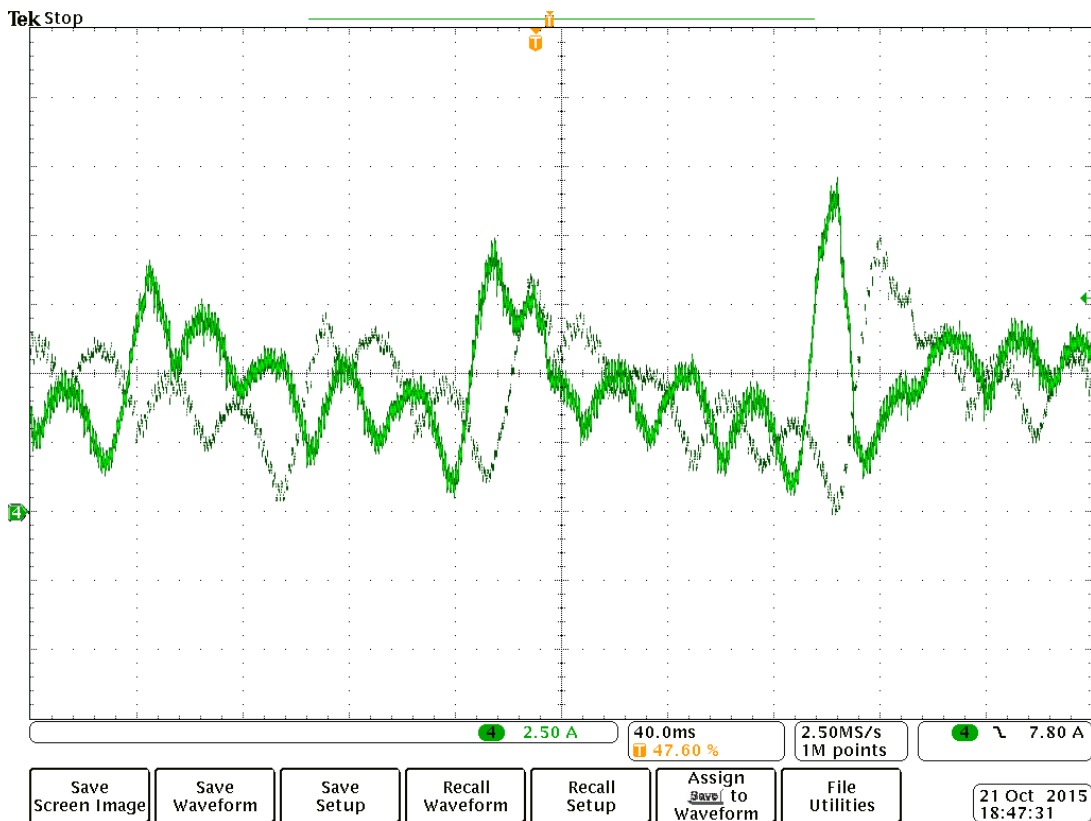


Obr. 13: Průběh proudu cívkou při sepnutí kladívka zapalování

Jelikož kladívko v zapalování bude v elektronickém zapalování nahrazeno výkonovým MOS-FET tranzistorem, je potřeba znát maximální proudové a napěťové poměry na kladívku. Ty lze vyčíst z obr 11 a 12. Tyto hodnoty jsou v tabulce 2.

Maximální proud	$I_{\text{MAX}} = 2,8 \text{ A}$
Maximální napětí	$U_{\text{MAX}} = 150 \text{ V}$

Tabulka 2



Obr. 14: Proud tekoucí z dynama

Na obr. 14 je zobrazen proud tekoucí z dynama při volnoběhu. Jak je vidět tento proud je velice zvlněný. Zvlnění způsobuje převážně regulátor dobíjení akumulátoru. Regulátor je tvořen soustavou relátek, která změnou budícího proudu regulují napětí v síti Velorexu. Frekvence spínání relátek je nízká, proto vzniká tak velké zvlnění. Zvlnění by šlo odstranit navržením elektronického regulátoru. Tímto se ale zabývá jiná práce. Pro účely této práce je důležité vědět, že v napájecí soustavě vozidla je velké rušení, které bude potřeba odfiltrovat. Takovéto rušení by mohlo způsobit nestabilitu mikroprocesoru a celého zapojení.



Obr. 15: Měření na Velorexu před dílnami školy



Obr. 16: Detail motorového prostoru Velorexu a připojení měřících sond na cívky zapalování

7 NÁVRH ZAPALOVÁNÍ

Všechny elektronické zapojení jsou navrženy v programu EAGLE 7.5.0 Light dostupným z [13].

7.1 Snímání polohy klikové hřídele

Správné snímání polohy klikové hřídele je zásadní věc pro zapalování. Nejjednodušší způsob snímání polohy by bylo pomocí optického snímače, jak to má zapalování IMFsoft. Optický snímač ale nebyl použit, protože nečistoty mohou způsobit jeho nefunkčnost.

Další možnost byla použití snímače polohy s Hallovým čidlem. Tento způsob snímání polohy je v hodný do znečištěného prostředí. V některých automobilech se takto snímá poloha klikové hřídele. Pro toto zapalování Hallovo čidlo nebylo zvoleno, kvůli své náchylnosti na rušení magnetickým polem. Ve Velorexu, kam bude zapalování namontováno, je hned vedle místa pro snímač polohy dynamostartér. Obzvlášť při startování je zde velké magnetické rušení.

Pro snímání polohy v zapalování bylo zvoleno použití indukčního snímače polohy. Pro jednoduchou výrobu byl zvolen snímač VAPE S-01, který lze objednat jako náhradní díl pro zapalování VAPE.

Rotor, část snímače, která se připevní na klikovou hřídel, je vidět na obr. 24. Rotor byl rozměrově navržen tak, aby se vešel do prostoru, kde byla umístěna kladívka původního zapalování. Tuto součást lze nechat vyříznout na vodním paprsku, nebo lze při troše snahy vyrobit doma pomocí pilníku a správné podložky. Přesný výkres rotoru je v příloze Příloha A: . Při dodržení rozměrů je rotor vyvážený.

Pro zjištění absolutní polohy jsou na rotoru umístěné dva širší zuby. Program bude vyhodnocovat dobu mezi jednotlivými hranami. V momentě, kdy čas od jedné hrany ke druhé bude trojnásobný oproti předchozí hraně, program našel polohu. Takto program dokáže zjistit polohu absolutně každých 180°.

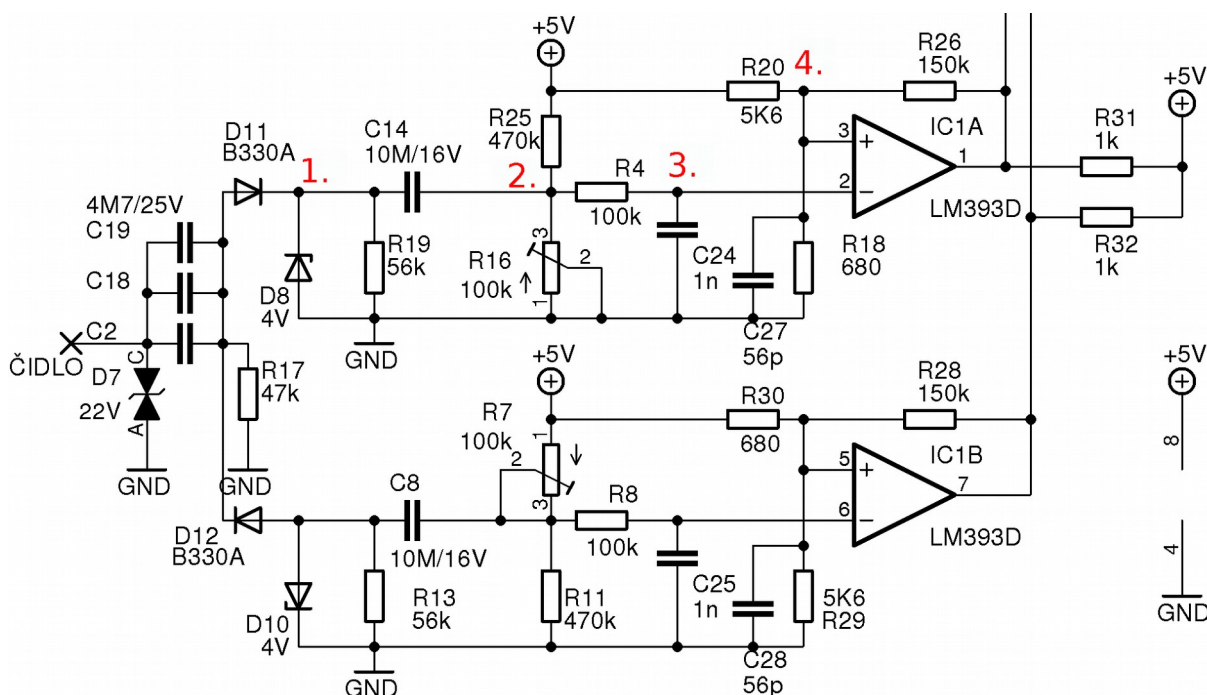
Signál z čidla má tvar pulzů. Pokud přijde vzestupná hrana na rotoru, na čidle se objeví kladný pulz napětí. Pokud přijde sestupná hrana, na čidle se objeví záporný pulz napětí. Absolutní velikost amplitudy pulzu závisí na rychlosti otáčení. Měřením bylo změřeno, že při startování, tedy při nejnižších otáčkách, jsou pulzy vysoké pouze desítky milivoltů. Při vyšších otáčkách mohou být pulzy vysoké až desítky voltů.. S touto skutečností bylo potřeba počítat při navrhování elektrického obvodu.

7.1.1 Zpracování signálu snímače

Jeden konec vinutí čidla je spojen s jeho kostrou. Druhý konec je vyveden. Při montáži se tedy jeden konec cívky spojí s kostrou vozidla. Jelikož některá vozidla mají na kostru kladný, jiná záporný pól akumulátoru, je potřeba na to upravit elektronické zapojení.

Elektronické zapojení musí být navrženo tak aby, dokázalo vyhodnotit velmi malé signály z čidla při nízkých otáčkách a zároveň vysokou úroveň signálu při vysokých otáčkách. Dále musí být vstup odolný proti rušení. Pro potřeby mikroprocesoru je potřeba signál převést na obdélníkový signál s amplitudou 5V.

Při 100ot.min^{-1} je amplituda signálu z čidla kolem 50mV. Hodnota napětí také závisí na rozměrech rotoru a vzduchové mezeře mezi čidlem a rotorem. Při volnoběžných otáčkách (900ot.min^{-1}) je amplituda signálu kolem 5V.



Obr. 17: Obvod vyhodnocující signál z čidla polohy

Celé výše zobrazené zapojení je vznikalo postupně. Většina hodnot použitých součástek byla zjištěna experimentálně.

Z obr. 17 je patrné, že obvod je skoro symetrický podle vodorovné osy. Horní polovina obvodu vyhodnocuje kladné pulzy z čidla a převádí je na logický signál pro mikroprocesor. Dolní polovina vyhodnocuje záporné pulzy z čidla. Kladný napěťový pulz odpovídá vzestupné hraně na rotoru.

Obě dvě poloviny mají podobnou funkci, proto bude zde popsána pouze horní polovina obvodu vyhodnocující kladné pulzy. Druhá polovina obvodu pracuje podobně, pouze s obrácenou logikou.

Výstup z čidla (na obr. 19 žlutou barvou) je přiveden na transil, který omezí napětí na maximální hodnotu napětí 22V oproti zemi elektroniky. V případě, že se jedná o vozidlo s kladným pólem na kostře, signál z čidla je superponovaný na kladném napájecím napětí. V případě vozidla se záporným pólem na kostře, je signál snímače symetrický podle země řídicích obvodů. Proto jsou zde kondenzátory, které oddělí stejnosměrnou složku signálu a pro oba druhy ukostření. Na výstupu kondenzátorů je signál z čidla symetrický podle země řídicích obvodů (GND).

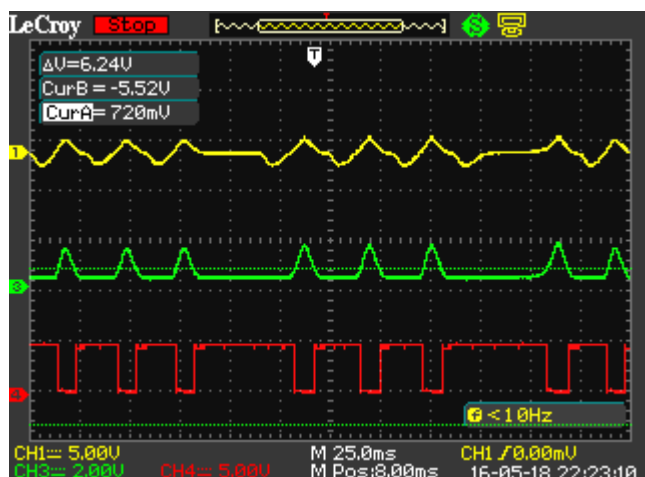
Diodou D11 jsou odfiltrovány záporné pulzy. V bodě č. 1 má signál tvar kladných pulzů. Zenerova dioda D8 omezuje amplitudu signálu na 4V. Odpor R19 udržuje bod č.1 aby stejnosměrně se neposunul oproti zemi.

Důležitý bod v obvodu je bod č. 2. Zde je pomocí děliče napětí vytvořeno napětí, které je o 40mV nižší, než je napětí v bodě č. 4. Kondenzátor C14 zde funguje jako oddělení stejnosměrné složky. Pomocí odporů R20, R18 a R26 je na komparátoru nastaveno komparační napětí 0,5V s hysterezí 20mV. Při nízkých otáčkách komparátor dokáže detekovat už napětí o amplitudě 40mV.

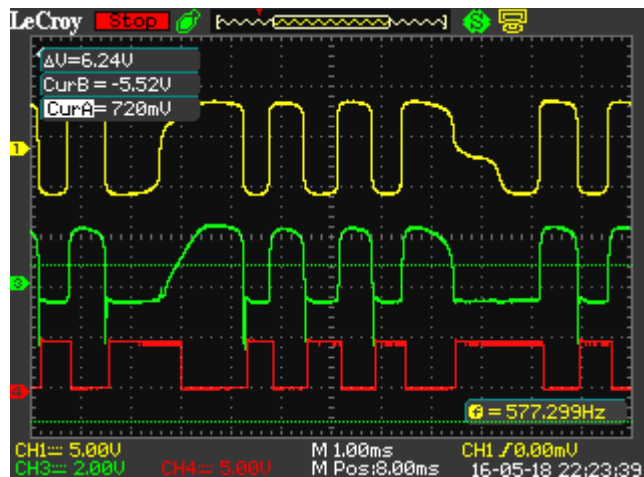
Při vyšších otáčkách, ale už není potřeba taková citlivost. Taky by taková citlivost mohla způsobovat zaručení obvodu. Díky tomu, že přes kondenzátor C14 projde pouze střídavá složka signálu, která se superponuje na napětí nastavené děličem, tak je rozkmit signálu souměrný okolo tohoto přednastaveného napětí. Na obr. 18 je vidět průběh napětí při 5000 ot.min⁻¹. Zelený průběh napětí, je průběh napětí v bodě č. 2. Žlutě je napětí v bodě č. 1. Červeně je napětí na vstupu z komparátoru IC1A. Je zde vidět amplituda signálu, která je omezena diodou D8 na 4V. Dále je zde vidět, že signál je souměrný okolo napětí 0,5V, které je zhruba nastavené na děliči. Zelená přerušovaná čára zobrazuje komparační úroveň.

Díky tomuto zapojení dokáže obvod spolehlivě detekovat malé vstupní signály a zároveň při větší úrovni vstupního signálu se stává automaticky odolnější oproti rušení.

Odpor R4 a kondenzátor C24 tvoří společně dolní propust pro odfiltrování vysokofrekvenčního rušení. Komparátor má výstup typu otevřený kolektor, proto je zde odpor R31.



Obr. 19: Průběhy napětí při 2000ot.min⁻¹



Obr. 18: Průběhy napětí při 5000ot.min⁻¹

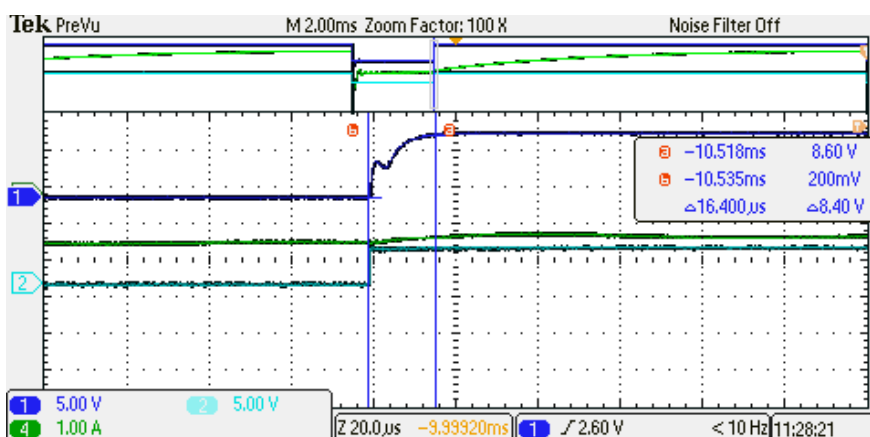
7.2 Výkonový člen

Důležitou součástí zapojení je výkonový člen, který spíná jednotlivé cívky zapalování. Na pin INA a INB integrovaného obvodu IR25600 (lze použít také TC4427) jsou přivedeny signály z mikroprocesoru, konkrétně z pinu 4 a 5. Obvod obsahuje výkonový stupeň pro buzení dvou MOS-FET tranzistorů. Při sepnutí tranzistorů jsou zkratovány kondenzátory C4 a C5, na kterých je v tu dobu napětí akumulátoru vozidla. Aby bylo tranzistorům odlehčeno spínání, jsou spínány pomalu. Díky tomu není tranzistor zbytečně namáhán velkými proudy. Proto je zde zvolen větší odpor, přes který se tranzistory spínají. Jedná se o odpory R2 a R3. Naopak při vypínání tranzistorů je potřeba co nejrychlejší. To je docíleno připnutím gate na zem. Při vypínání teče proud i přes odpory R9 a R10, které jsou řádově menší. Velikost těchto odporů je zvolena podle datasheetu dostupného z [14].

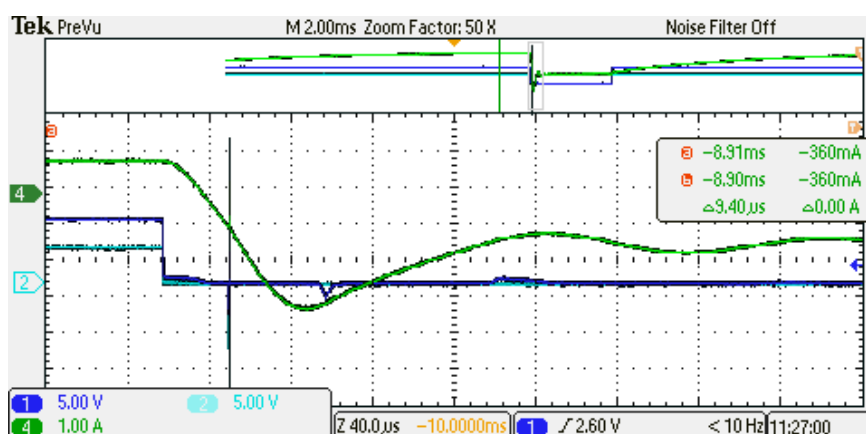
Buzení tranzistorů pomocí integrovaného obvodu bylo zvoleno z důvodu jednoduší konstrukce a také z důvodu nižší ceny.

Velikost kondenzátorů C4 a C5 je zvolena shodná s původním zapojením zapalování. Diody D3 a D4 jsou zde jako ochrany tranzistorů proti náhodnému přepětí.

Na obr. 20 je vidět detail průběhu zapínání tranzistoru. Modře je napětí na mřížce tranzistoru, zeleně proud tekoucí přes tranzistor a světle modře je řídicí signál z mikroprocesoru. Na obr. 21 je vidět vypínací děj na tranzistoru. Zde je vidět, že vypnutí tranzistoru je oproti jeho zapínání okamžitější.



Obr. 20: Zapínání MOS-FET tranzistoru



Obr. 21: Vypínání MOS-FET tranzistoru

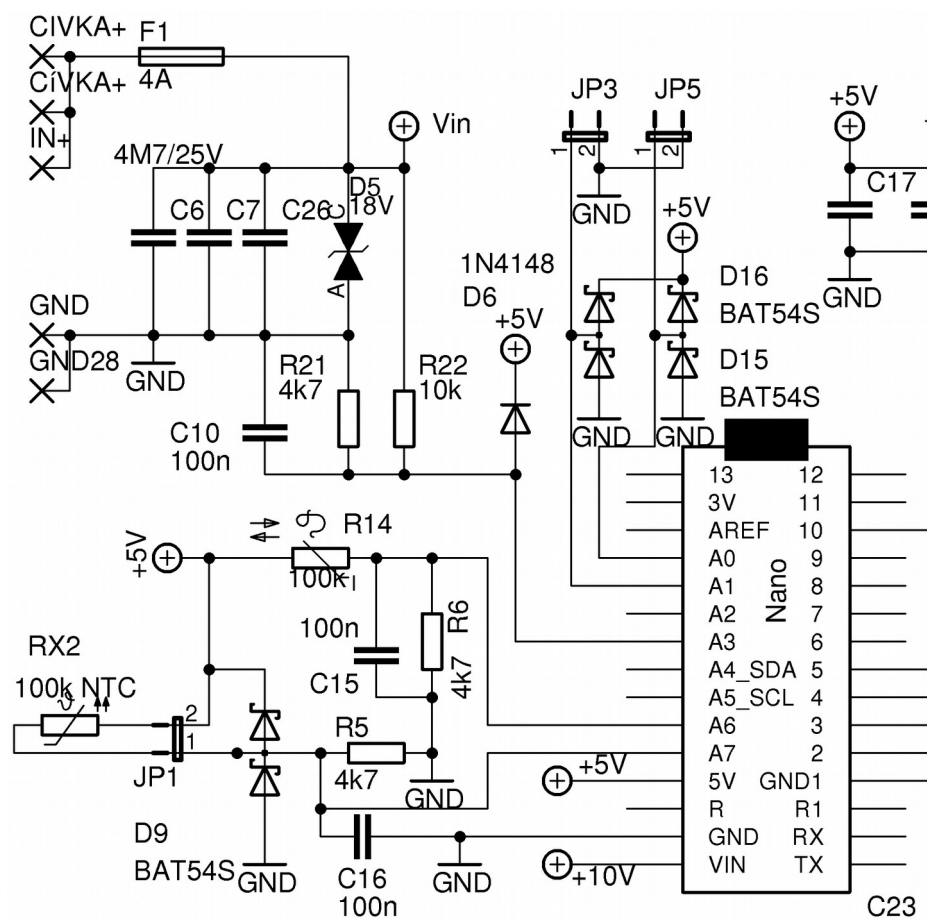
7.3 Řízení

Celé zapalování řídí Arduino Nano. To obsahuje mikroprocesor ATmega 328P. Arduino obsahuje lineární stabilizátor napětí (LDO). Napětí z měniče (více o informacích o měniči je v kapitole 7.4 Napájení) je přivedeno na stabilizátor v Arduino Nano, které ho sníží na 5V. Tímto napětím je poté napájena veškerá logika zapalování.

Na vstupu napájení do obvodu je umístěna pojistka. Dále jsou zde kondenzátory pro stabilizaci napětí. Toto napětí poté je přivedeno na měnič, který ho změní na 10V. Měnič je použit takový, který dokáže napětí snižovat i zvyšovat. Proto obvod dokáže pracovat již od 3V až po 18V. Jako ochrana proti přepětí je zde na vstupu umístěn transil.

Odpory R21 a R22 tvoří dělič vstupního napětí, to je poté přivedeno na analogový vstup mikroprocesoru. Díky tomu může mikroprocesor měřit napětí na akumulátoru ve vozidle. Kondenzátor C10 společně s odporem R22 tvoří dolní propust. Dolní propust odfiltruje vysokofrekvenční rušení a umožní spolehlivější změření napětí. Dioda D6 je zde jako ochranná dioda mikroprocesoru aby se náhodou nedostalo na vstup mikroprocesoru vyšší napětí než 5V.

Dále jsou na mikroprocesor připojeny dva NTC odpory (termistory). Jeden termistor je přilepen na MOS-FET tranzistory. Druhý je vyveden a bude připevněn na blok motoru. Díky tomu bude mikroprocesor znát teplotu motoru a bude podle ní moct upravovat křivku předstihu.



Obr. 22: Mikroprocesor a pomocné obvody

Dále jsou vyvedeny dva piny mikroprocesoru na konektory. Ty mohou být později využity, třeba na přepínání druhé křivky předstihu, či měření nějaké veličiny, jelikož to jsou to porty s ADC převodníkem.

Vlastní program pro Arduino Nano je popsán v kapitole 8.

7.4 Napájení

Zapalování je navrženo tak, aby fungovalo v širokém rozsahu napájecího napětí. Proto je v zapalování použit měnič napětí, který dokáže napětí zvyšovat i snižovat. Vstupní napětí může být v rozsahu od 3V až do 18V. Výstupní napětí je nastaveno na 10V. Použitý měnič je vidět na obr. 23. Měnič lze objednat z portálu Ebay stejně jako Arduino Nano. Do zapalování byl použit měnič jako hotový modul. To je z důvodu mnohem jednodušší výroby zapalování a také ceny. Takto koupený měnič stojí v přepočtu kolem 80kč s poštovným. Pokud by se měnič stavěl a musel se nakoupit po součástkách, tak by jeho cena vyšla na více než 300Kč.

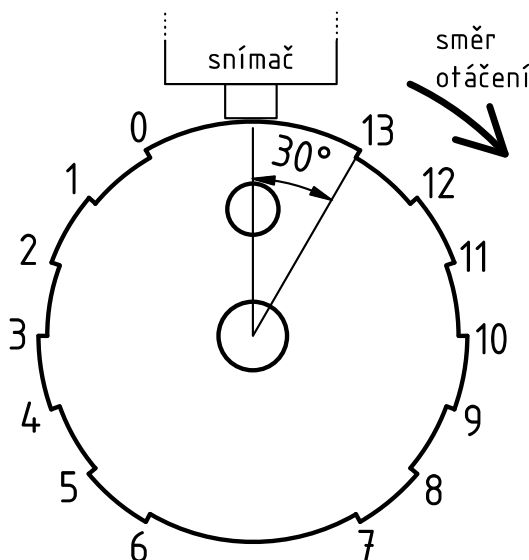
Pro ochranu proti rušení jsou na plošném spoji rozmístěny filtrační kondenzátory. Ty jsou vždy co nejbližší napájecím pinům jednotlivých obvodů. Dále



Obr. 23: Měnič napětí

8 PROGRAM

Celý program lze najít v elektronické příloze. Zde budou popsány některé důležité funkce programu. Pro pochopení celého programu je potřeba znát očíslování jednotlivých hran na rotoru snímače. Očíslování je zobrazeno na obr. 24.



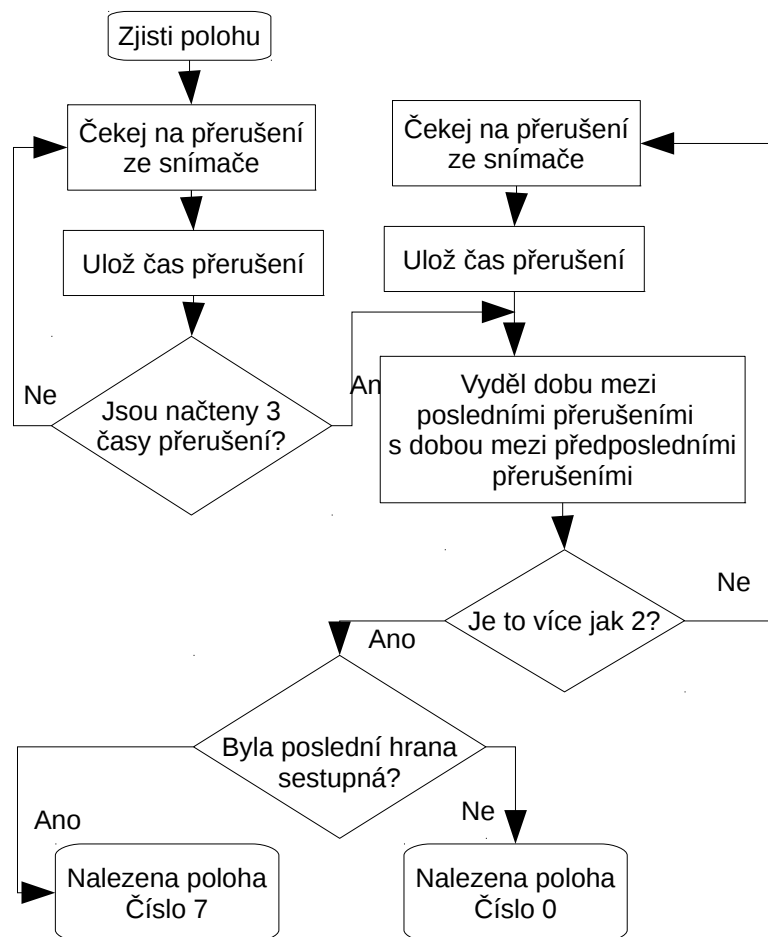
Obr. 24: Rotor indukčního čidla polohy s očíslovanými hranami

8.1 Zpracování signálu ze snímače

Z elektroniky vyhodnocující signál snímače jsou přivedeny do mikroprocesoru dva signály. Jeden signál reprezentuje sestupné hrany na rotoru a druhý vzestupné hrany na rotoru. Oba tyto signály jsou přivedeny na piny, které mají nastavené přerušení (interrupt) na sestupnou, respektive vzestupnou hranu. Přerušení poté volá příslušnou funkci. Při vyvolání přerušení je prvně zkontrolováno, jestli se nejedná o rušení. Čeká se tedy 10 μ s a poté se znovu přečte logická hodnota na daném pinu. Pokud se nezměnila, tak je vyhodnoceno, že se nejedná o rušení. Dále se zkontroluje, jestli předchozí přerušení bylo od opačné hrany. Fyzicky je nemožné aby přišlo za sebou vícekrát přerušení jenom např. ze sestupné hrany. To může nastat zase jedině od rušení. Poté se začne hledat poloha.

Na obr. 25 je vývojový diagram funkce, která hledá polohu rotoru. Nejprve se načtou minimálně 3 časy, kdy přišlo přerušení. Poté se porovnává podíl doby mezi posledními a předposledními přerušeními. Pokud je podíl větší jak 2, tak se dále zjistí, jestli byla poslední hrana sestupná, nebo vzestupná. Tomu poté odpovídá určitá poloha rotoru. Při startování dokáže elektronika zjistit polohu klikové hřídele každých 180°.

Nyní už je známa poloha rotoru. Každé další přerušení poté znamená posun rotoru o další zub. Vždy jednou za otáčku se testuje, jestli nebyla ztracena poloha. To je provedeno stejným způsobem jako při výše zmíněném hledání polohy.



Obr. 25: Vývojový digram funkce, která hledá polohu

8.2 Funkce volané v přerušení

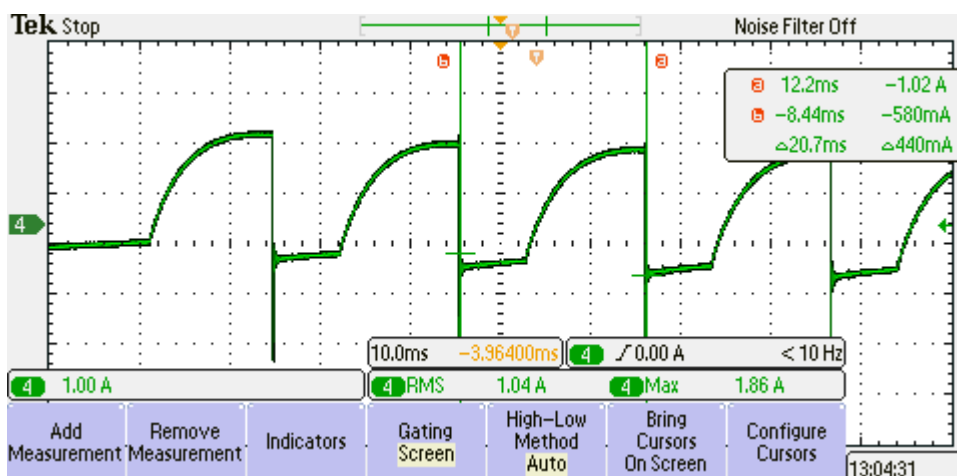
Pro zajištění rychlosti celého programu, jsou různé funkce volány postupně, podle natočení rotoru snímače. Následující funkce jsou volány z přerušení.

Číslo pozice:

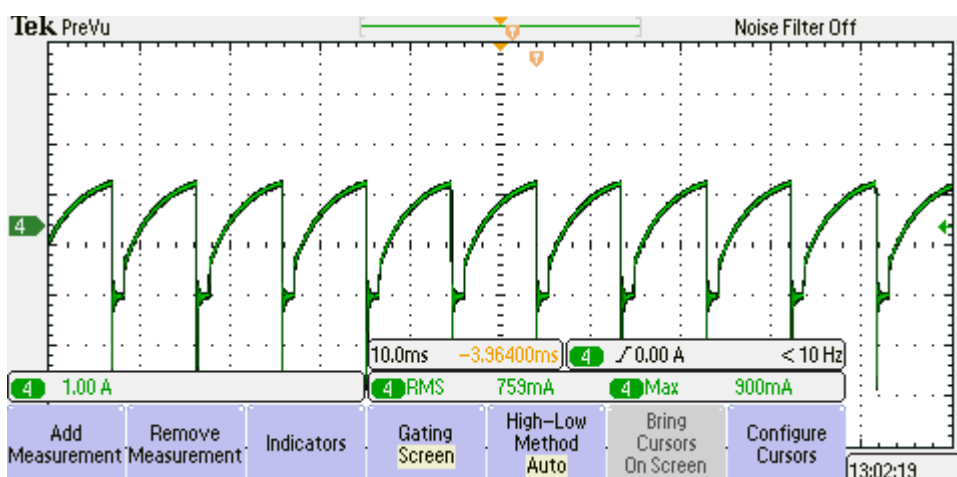
- 0. Je vypočítána doba sepnutí tranzistoru pro cívku 2
- 4. Je vypočítána doba od hrany č. 6 do rozepnutí tranzistoru.
- 6. Je nastaven časovač, který se zpožděním vypne tranzistor cívky 1
- 7. Je vypočítána doba sepnutí tranzistoru pro cívku 1
- 10. Je vypočítána doba od hrany č. 13 do rozepnutí tranzistoru
- 12. Je vypočítána korekce vzestupné hrany
- 13. Je nastaven časovač, který se zpožděním vypne tranzistor cívky 2

8.2.1 Výpočet doby sepnutí tranzistoru

V přerušení je vždy hned následující hranu po rozepnutí tranzistoru zavolána funkce, která vypočítá správný čas následného sepnutí tranzistoru. Tato funkce zajišťuje, že cívkou poteče proud pouze po nezbytně nutnou dobu. Tímto se sníží příkon zapalování.



Obr. 26: Proud cívkou při 3000 ot.min⁻¹



Obr. 27: Proud cívkou při 6000 ot.min⁻¹

Na obr. 26 je zobrazen proud cívkou. Je zde vidět, že doba, kdy teče proud cívkou, je 13ms. Tato hodnota je nastavena v programu. Na následujícím obrázku je vidět, že při vyšších otáčkách je doba, mezi rozepnutím tranzistoru kratší než 13ms. Amplituda proudu se sníží.

8.2.2 Časování rozepnutí tranzistoru

Pro přesné načasování rozepnutí tranzistoru je použit časovač timer 1 mikroprocesoru. Tento časovač dokáže po nastavené době vyvolat přerušení, které zavolá nastavenou funkci. Pomocí děliče frekvence, je nastaveno rozlišení časovače na 0,5 μ s. Do časovače se nastaví už předem vypočítaná hodnota. K časovači se přistupuje přímo zápisem do jeho registrů. To je z důvodu potřeby rychlého nastavení časovače.

Po uběhnutí časovače je zavolána funkce, která zjistí číslo poslední hrany. Pokud je to hrana číslo 13, tak je rozepnut tranzistor cívky 2. Pokud je to hrana číslo 6, tak je rozepnut tranzistor cívky 1. Poté je časovač vypnut.

8.2.3 Korekce vzestupné hrany

Se vzrůstajícími otáčkami snímač detekuje vzestupnou hranu na rotoru dříve. Naopak sestupnou hranu snímač detekuje později. Chyba na sestupné hraně je oproti chybě na vzestupné hraně malá. Proto je zde zaveden algoritmus pro korekci vzestupné hrany. Sestupné hrany číslo 12 a 10 jsou brány jako referenční. Fyzicky je vzestupná hrana číslo 11 přesně uprostřed. Zanedbáme-li zrychlení, tak hrana číslo 10 musí být i časově uprostřed mezi hranou číslo 13 a 10. V důsledku chyby, je ale hrana číslo 11 detekována dříve. Proto se vypočítá o kolikrát se zmenšil interval mezi hranou číslo 12 a 11. Této hodnoty se využije později pro korekci intervalu mezi hranou 13 a 12. To je důležité, protože od hrany číslo 13 se časuje doba rozepnutí tranzistoru pro cívku 2.

Tímto se vykompenzovala chyba vzestupné hrany, ale chyba sestupné hrany ne. Kompenzace sestupné hrany je provedena korekční křivkou, která se přičítá k nastavenému předstihu. Korekční křivka vyhází z obr. 9, jenom je otočená podle osy y.

8.3 Funkce volané v hlavní smyčce

Zde jsou volány funkce, které není nutné přesně načasovat. Je zde kontrolováno, jestli už se mají sepnout tranzistory. Sepnutí tranzistorů není kritické, proto je jejich sepnutí umístěné v hlavní smyčce. Dále se zde kontroluje, jestli nejsou překročeny maximální otáčky, nebo maximální teplota.

Nejdůležitější funkcí v hlavní smyčce, je přepočítání pole hodnot obsahující hodnotu předstihu ve stupních na pole hodnot obsahující závislost zpoždění rozepnutí tranzistoru na otáčkách. Při přepočítání se k zadanému poli předstihu přičte korekční křivka sestupné hrany, dále korekce předstihu podle teploty motoru. Při přepočtu jsou kontrolovány hodnoty, jestli jsou v daných mezích. Pole hodnot má uloženy hodnoty předstihu v krocích po 200 ot. min^{-1} . Při načítání doby zpoždění je provedena lineární interpolace.

Poté jsou tu funkce pro výpočet teploty, zjištění napětí ve vozidle nebo funkce vypisující potřebné hodnoty na sériovou linku.

9 STAVBA ZAPALOVÁNÍM

Deska plošných spojů je navrhována s ohledem na jednoduchou výrobu. Není potřeba použití prokovů. Na desce jsou vždy vodivé cesty přivedeny k součástce vz takové strany, aby bylo možné součástku jednoduše připájet.

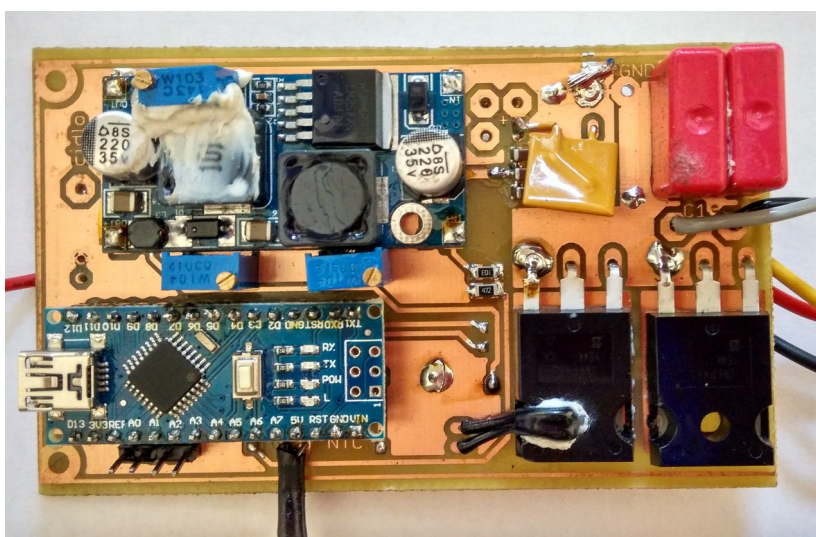
9.1 Osazování plošného spoje

Před samotnou stavbou je potřeba nejprve připojit měnič na napájení (třeba na 12V) a pomocí trimru nastavit na výstupu měniče napětí 10V. Toto je nutné udělat před osazením měniče!

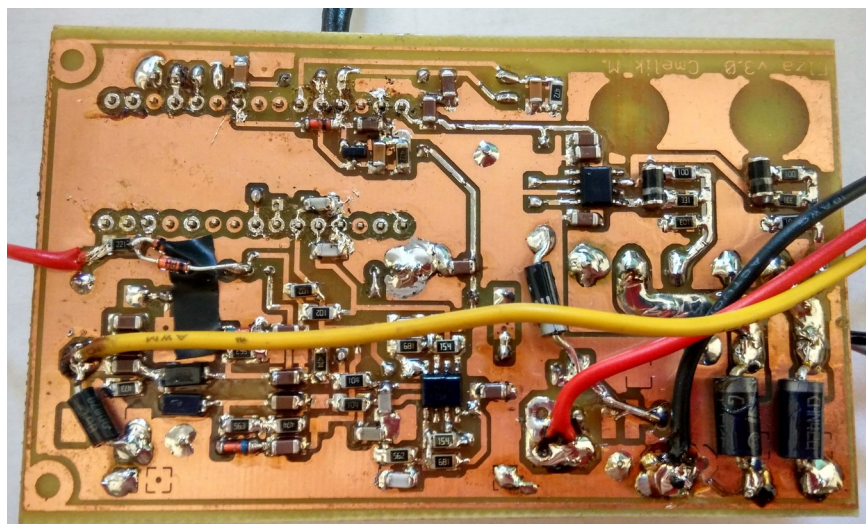
Dále je užitečné vyzkoušet funkčnost Arduino Nano před jeho použitím. To lze jednoduše nahráním programu blink. Tento program lze najít v příkladech v Arduino IDE. Po nahrání programu se na Arduino Nano rozbliká LED.

Při osazování je výhodné nejprve propojit drátkem všechny propojky jedné strany plošného spoje s druhou. To jsou všechny malé čtvercové pájecí plošky, v návrhovém programu EAGLE označené jako vias. Poté osadit všechny SMD součástky. Dále osadit všechny vývodové součástky. MOS-FET tranzistory nepotřebují chlazení, pouze je potřeba je přilepit vteřinovým lepidlem na desku plošných spojů. Při osazování měniče je potřeba mezi měnič a desku plošných spojů vložit izolační podložku. Kousek kaptonové pásky postačí. Výhodné je měnič přilepit. Na to je vhodné třeba lepidlo MAMUT, které je nevodivé a vydrží teploty do 100°.

Termistor označený R14 je určený pro kontrolu teploty MOS-FET tranzistorů. Pomocí lepidla je potřeba přilepit na MOS-FET tranzistor. Druhý termistor se připojí na konektor JP2 a je určený k měření teploty motoru. Program poté dokáže upravovat křivku předstihu podle teploty motoru. Pro funkčnost zapojení, ale není potřeba. Tuto funkci lze v programu vypnout.



Obr. 28: Osazené zapalování, strana TOP

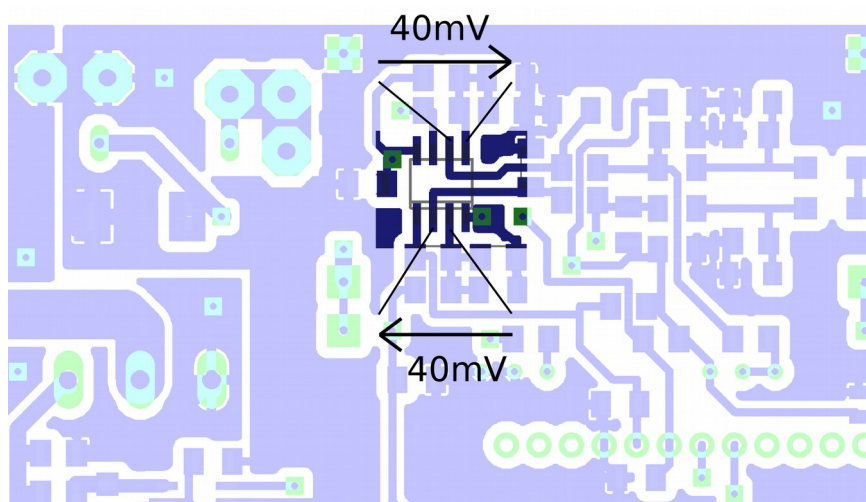


Obr. 29: Osazené zapalování, strana BOTTOM

9.2 Oživení zapojení

Obvod je potřeba připojit na zdroj napětí. Poté je potřeba pomocí trimru R25 nastavit na invertující vstup komparátoru (pin č. 2) IC1A o 40mV nižší napětí než je na jeho neinvertující vstup (pin č. 3). Obdobně je potřeba pomocí trimru R7 nastavit na druhém komparátoru na pinu č. 6 o 40mV vyšší napětí než je na pinu č. 5. Na obr. 30 je ukázáno kde na DPS změřit výše zmíněná napětí.

Tímto se nastavuje citlivost. Výše zmíněné napětí reprezentuje minimální napětí, které obvod detekuje. Citlivost se může zvětšit snížením tohoto napětí. Pokud by byla v nějaké aplikaci požadována citlivost na napětí menší než 20mV, je potřeba snížit hysterezi komparátoru. Ta se nastavuje pomocí odporů R26 a R28. Velikost hystereze musí být vždy menší než nastavené napětí.



Obr. 30: Oživení, nastavení napětí

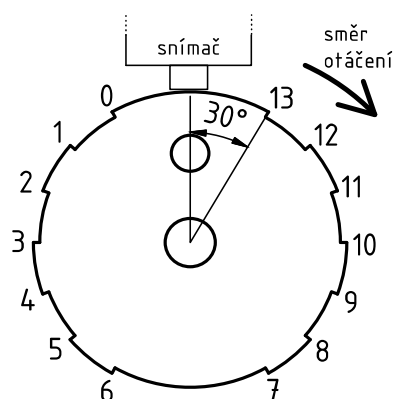
9.3 Instalace zapalování do vozidla

Nejprve je potřeba vyrobit rotor snímače. Výkres rotoru je uveden v příloze, nebo na obr. 24. Rotor lze nechat vyříznout třeba na vodním paprsku, cena výroby jednoho kusu je přibližně 500kč. Druhá možnost je nechat vyrobit na soustruhu „podložku“ od průměru 50mm a tloušťce 8mm. Průměr díry se může lišit podle daného vozidla. Jednotlivé zuby lze poté vybrousit ručně pilníkem. Hloubka propilování mezer mezi jednotlivými zubama není kritická. Důležitější je vybrousit přesně jednotlivé hrany. Nakonec je potřeba vyvážit rotor. To se provede vyvrtáním díry podle výkresu. Jelikož pilování není přesné, tak je potřeba trochu experimentovat. Je vhodné vyvrtat díru do poloviny své hloubky. Poté umístit rotor na břit nože a zkusit kterým směrem spadne. Podle toho pak se rozhodnout kde je potřeba ubrat materiál.

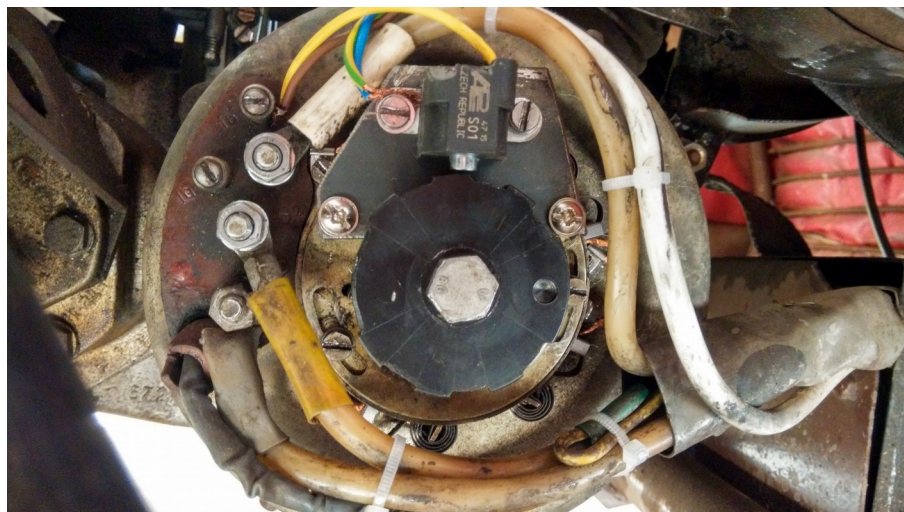
Další krok je vyndat kladívka. Rotor se umístí pod šroub držící vačku. Snímač se připevní na otočnou desku, kde byla původně umístěna kladívka. Snímač je potřeba vypodložit tak, aby byl vzdálen cca 0,5mm od rotoru. Dále se otáčením klikové hřídele nastaví jeden válec do HÚ. Polohu lze zjistit pomocí šroubováku vloženého místo zapalovací svíčky. Když je motor v této poloze, tak se rotor natočí proti snímači jak je zobrazeno na obr. 31. Přesné doladění polohy snímače lze udělat pootočením desky na které je snímač uchycen.

Nakonec je potřeba připojit elektroniku. Schéma zapojení je uvedeno v příloze Příloha G: . Zapojení se liší podle toho, jestli má vozidlo na kostrě připojen kladný, nebo záporný pól akumulátoru. Cívka připojená na vývod C2 je cívka pro svíčku válce, který byl při nastavování rotoru v HÚ. V případě použití zapalování k jednoválcovému motoru se vývod C1 nezapojí.

Zapojení by šlo použít i pro čtyřtaktní čtyřválcové motory. Vždy dva válce budou mít připojené cívky na jeden vývod ze zapalování. Svíčka hodí jiskru vždy ve dvou válcích současně, jeden válec ale bude v cyklu komprese a druhý ve výfuku. Zapalování bylo testováno pouze na dvouválcovém dvoutaktním motoru. Pro instalaci čtyřtaktního motoru je potřeba důkladněji prostudovat problematiku zapalování a parametry daného motoru.



Obr. 31: Umístění snímače proti rotoru



Obr. 32: Snímač zabudovaný ve Velorexu 16/350

9.4 Konfigurace programu

Pro nahrání programu do zapalování je potřeba otevřít v Arduino IDE soubor main.ino. Soubor je obsažený v elektronické příloze. Nejlépe ale stáhnout aktuální verzi programu ze stránek www.TriStopy.cz/zapalovani. Na těchto stránkách budou publikovány nové verze programu a poznatky z používání zapalování v praxi.

Po otevření souboru přepnout do záložky configure.h. V této záložce jsou nejdůležitější parametry potřebné pro nastavení požadovaného předstihu. Přímou v kódu jsou jednotlivé parametry okomentované. Při instalaci do vozidla, ale většinou jediný parametr který znáte je hodnota předstihu zadaná v milimetrech. V kódu je ale hodnota zadávána ve stupních. Pro přepočítání lze použít vztah 9.1. Kde z je zdvih v milimetrech a p je předstih v milimetrech.

$$\beta = \cos^{-1}\left(\frac{z/2 - p}{z/2}\right) \quad (9.1)$$

Pro základní nastavení je vhodné nastavit konstantní hodnotu předstihu a tu postupně měnit a zkusit chování motoru v nízkých otáčkách. Poté postupně zvyšovat hodnotu předstihu pro vyšší otáčky. Tímto se nahradí odstředivá regulace předstihu, která s rostoucími otáčkami zvyšuje předstih.

Užitečný parametr je hodnota MAXRPM tento parametr určuje maximální otáčky. Tím se zamezí zbytečnému přetáčení motoru.

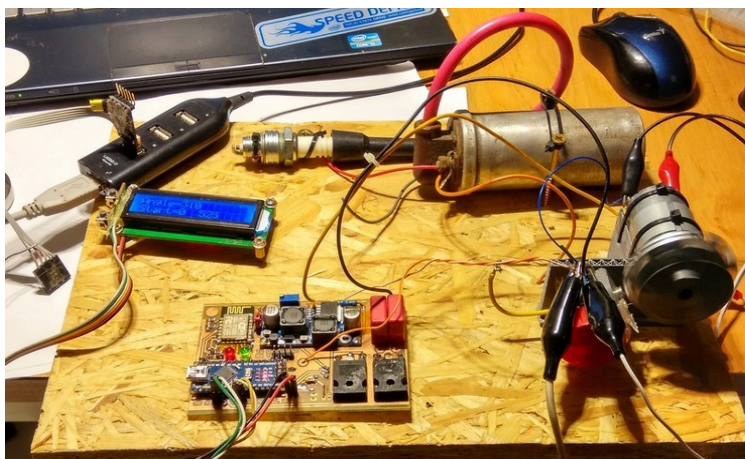
Dále zde lze nastavit změnu předstihu podle teploty motoru, nebo kontrolu přehřátí motoru.

LED dioda lze vyvést ze zapalování a umístit do palubní desky. Dioda se rozsvítí, když je zapalování připravené. Zhasne při nastartování motoru nebo začne blikat při chybě zapalování (například při přehřátí).

9.5 Instalace zapalování do vozidla Velorex 16/350

Zde popsané zapalování bylo zabudováno do vozidla Velorex 16/350, kde nahradilo původní kladívkové zapalování. Velorex má na konstrukci připojený kladný pól akumulátoru. Tomu odpovídalo dané zapojení zapalování.

Při ožívování zapalování a jeho instalaci se postupně nacházely různé problémy, které byly postupně řešeny v následujících verzích zapalování. Finální verze zapalování je v pořadí třetí kompletně předělané zapalování co se po hardwarové stránce týče. První verze zapalování detekovala špatně signál ze snímače. Druhá verze zapalování už dobře fungovala. Ta byla otestována ve vyrobeném přípravku. Na obr. 33 je vidět druhá verze zapalování. Ta obsahovala wifi modul ESP 8266. Elektromagnetické rušení od zapalovací cívky ale způsobilo, že tento wifi modul se pořád restartoval. Proto bylo od tohoto modulu upuštěno. Po instalaci této verze do vozidla Velorex bylo zjištěno, že při startovacích otáčkách je úroveň signálu ze snímače nižší než dokázal obvod detekovat.



Obr. 33: Testovací přípravek

V poslední verzi byl obvod předělán, tak aby dokázal detekovat signál od 40mV, jak už bylo popsáno. Tento obvod poté fungoval. Velorex se podařilo napoprvé nastartovat. Poté byly provedeny menší korekce předstihu v nastavení programu, tak aby motor běžel lépe. S tímto zapalováním bylo najeto přes 80km a zapalování celou dobu fungovalo spolehlivě.

Po instalaci a odladění zapalování se zlepšil chod motoru. Na zvuku motoru bylo slyšet, že motor běží plynule. Nikdy se nestalo, že by zakolísaly volnoběžné otáčky, jako tomu bylo před tím. Díky tomu, šlo snížit volnoběžné otáčky na 900ot.min⁻¹.

10 ZÁVĚR

V práci byly popsány různé systémy zapalování. Byly popsány rozdíly mezi jednotlivými systémy. Ze systémů zapalování byl vybrán systém bateriového bezkontaktního zapalování. Mezi jeho hlavní výhody patří použití bezkontaktního snímání polohy klikové hřídele. To by mělo zajistit bezporuchový chod motoru. Další výhodou takového zapojení je ta, že budou použity stávající cívky zapalování. Ve stávajícím zapalování motoru se pouze vymění přerušovač za snímač polohy a přidá se elektronika, která bude řídit a spínat zapalovací cívky.

Jeden z hlavních problémů je přesné snímání polohy klikové hřídele. Jednoduché řešení bylo použít optického snímače polohy, jako používají některé zapojení (Trabant ignition). Toto řešení ale není považováno za spolehlivé. Jako nejspolehlivější snímače se jeví indukční snímače polohy.

Byl navržen obvod, který vyhodnocuje signál z indukčního snímače. Tento obvod dokáže detekovat signál od amplitudy signálu 40mV. Toto napětí odpovídá přibližně jedné otáčce za sekundu. Díky takto velké citlivosti dokáže obvod spolehlivě detekovat polohu při startování, kdy jsou otáčky nízké. Zároveň je obvod odolný proti rušení, protože citlivost obvodu se automaticky sníží při větším vstupním signálu. Při volnoběžných otáčkách motoru by muselo rušení mít velikost více jak 2V aby rušení ovlivnilo chod obvodu. Rotor pro snímač polohy je navržen tak, aby jeho výroba byla jednoduchá a byla možnost ho vyrobít za použití běžně dostupných nástrojů.

Programové vybavení zapalování umožňuje nastavení předstihu v závislosti na otáčkách a na teplotě motoru. Dále je v programu automaticky kompenzována nepřesnost při výrobě rotoru snímače polohy.

Celé zapalování je navrženo s ohledem na co nejjednodušší instalaci a nastavení. Na samotnou instalaci zapalování do vozidla není potřeba žádný speciální přípravek pro nastavení, jako je to při nastavování kladívkového zapalování. Instalace navrženého zapalování do vozidla lze provést za necelý den práce i s jeho konfigurací.

Navržené zapalování bylo nainstalováno do vozidla Velorex. Po odladění a konfiguraci programu se zlepšil chod motoru, volnoběžné otáčky jsou stabilnější. V době odevzdání této práce bylo Velorexem se zde navrhnutým zapalováním najeto více jak 80km. Během této doby zapalování fungovalo a nenastaly žádné problémy způsobené zapalováním.

POUŽITÁ LITERATURA

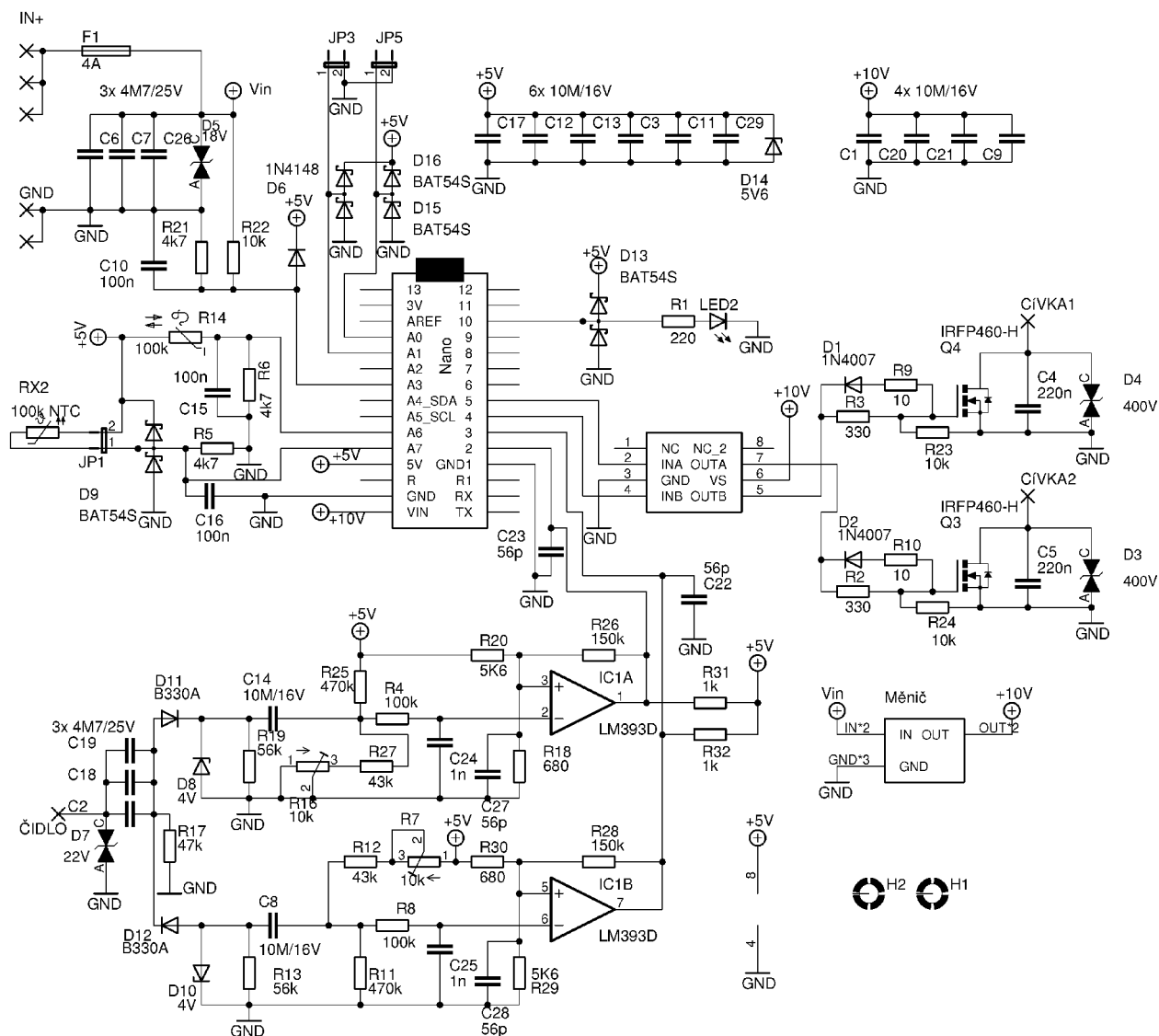
- [1] *Arduino* [online]. 2015 [cit. 2015-11-19]. Dostupné z: <https://www.arduino.cc/>
- [2] *Arduino* [online]. [cit. 2015-11-23]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Arduino>
- [3] *Atmel: ATmega328p* [online]. 2014 [cit. 2015-11-19]. Dostupné z: <http://www.atmel.com/devices/atmega328p.aspx>
- [4] Zapalování. *Mechatronika* [online]. [cit. 2015-11-23]. Dostupné z: <http://mechatronika.wz.cz/index.php?z=zap>
- [5] *Trabant ignition* [online]. [cit. 2015-12-10]. Dostupné z: <https://imfsoft.com/kategorie-ridici-jednotky/jawa-cz-trabant-ignition>
- [6] *Optický snímač polohy* [online]. [cit. 2015-12-10]. Dostupné z: http://skriptum.wz.cz/autom/poloha_soubory/image065.jpg
- [7] *Stínítko pro absolutní a inkrementální snímač polohy* [online]. [cit. 2015-12-10]. Dostupné z: <http://neuron-ai.tuke.sk/uhrin/ui/1.jpg>
- [8] *VAPE MZ04* [online]. [cit. 2015-12-10]. Dostupné z: <http://eshop.vape.cz/z179-souprava-zapalovani-mz04>
- [9] *Hall effect sensor* [online]. [cit. 2015-12-10]. Dostupné z: http://www.bbautomacao.com/home_hall_effect_sensor_cyhme301.html
- [10] VESELÝ, T. *Mikroprocesorový modul řízení předstihu zapalování dvoutaktního motoru*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2010. 28 stran, 10 stran příloh. Vedoucí diplomové práce Ing. Jiří Šebesta, Ph.D.
- [11] P. Vorel, P. Procházka: *Řídící členy v elektrických pohonech* (skriptum VUT Brno)
- [12] Automobilová diagnostika - druhy zapalování zážehových spalovacích motorů. *JB-Elektronik* [online]. [cit. 2016-01-04]. Dostupné z: http://www.jb-elektronik.cz/diagnostika-druhy_zapalovani.php
- [13] *CadSoft EAGLE* [online]. [cit. 2016-01-05]. Dostupné z: <http://www.cadsoftusa.com/>
- [14] IRFP460 [online]. [cit. 2016-01-05]. Dostupné z: <http://www.irf.com/product-info/datasheets/data/irfp460a.pdf>

- [15] PlatformIO: open source ecosystem for IoT development [online]. [cit. 2016-05-17]. Dostupné z: <http://platformio.org/>
- [16] *Atom: A hackable text editor for the 21st Century* [online]. [cit. 2016-05-17]. Dostupné z: <https://atom.io/>
- [17] *ESP8266: Community Forum* [online]. [cit. 2016-05-17]. Dostupné z: <http://www.esp8266.com/>
- [18] *Hackspark* [online]. [cit. 2016-05-17]. Dostupné z: <https://hackspark.fr>
- [19] LIBERTY, Jesse. *Naučte se C za 21 dní. 2.*, aktualiz. vyd. Překlad Josef Pojsl, Karel Voráček. Brno: Computer Press, 2007. ISBN 978-80-251-1583-1.
- [20] PATOČKA, Miroslav. *Magnetické jevy a obvody ve výkonové elektronice, měřicí technice a silnoproudé elektrotechnice*. V Brně: VUTIUM, 2011. ISBN 978-80-214-4003-6.

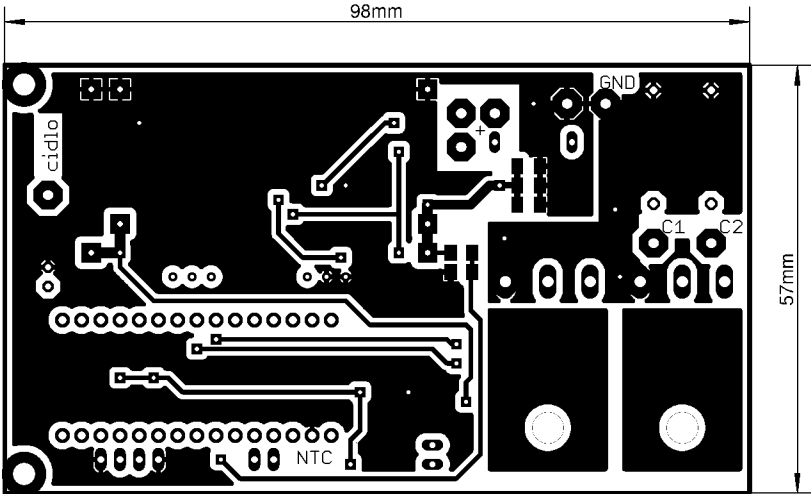
SEZNAM PŘÍLOH

Příloha A: Obvodové schéma.....	49
Příloha B: Deska plošných spojů, strana TOP.....	50
Příloha C: Deska plošných spojů, strana BOTTOM.....	50
Příloha D: Osazovací plán, strana TOP.....	51
Příloha E: Osazovací plán, strana BOTTOM.....	51
Příloha F: Seznam součástek.....	52
Příloha G: Schéma zapojení.....	53
Příloha H: Výkres rotoru snímače.....	54

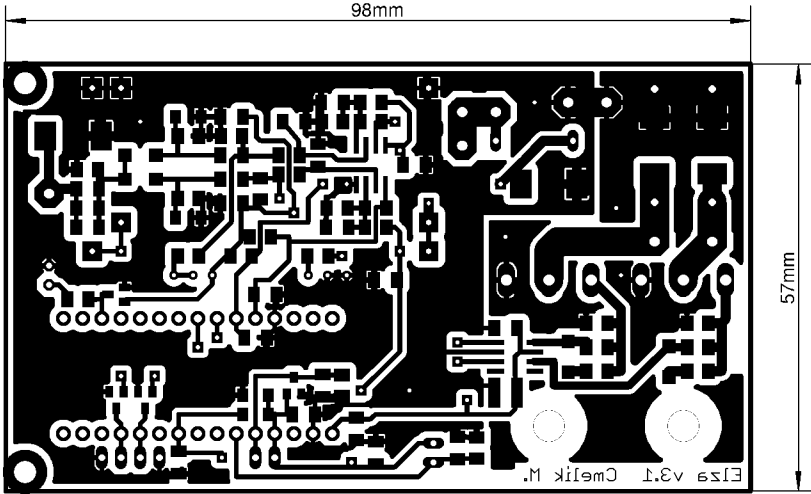
Příloha A: Obvodové schéma



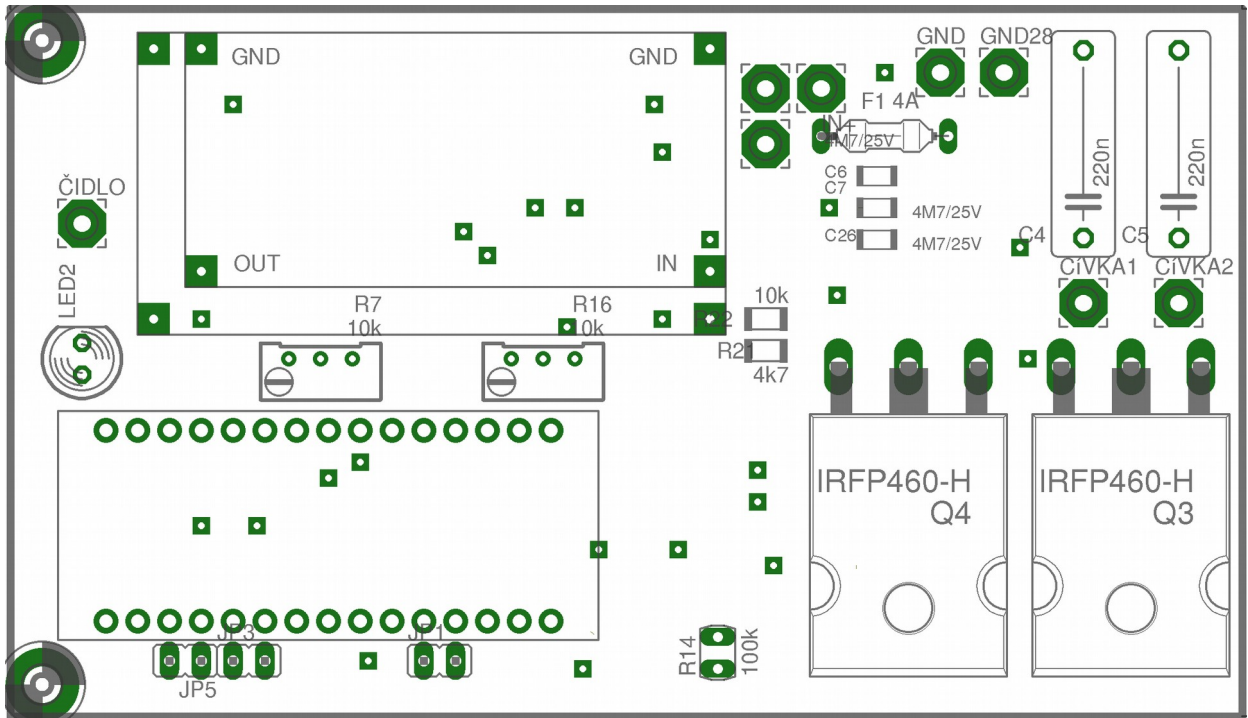
Příloha B: Deska plošných spojů, strana TOP



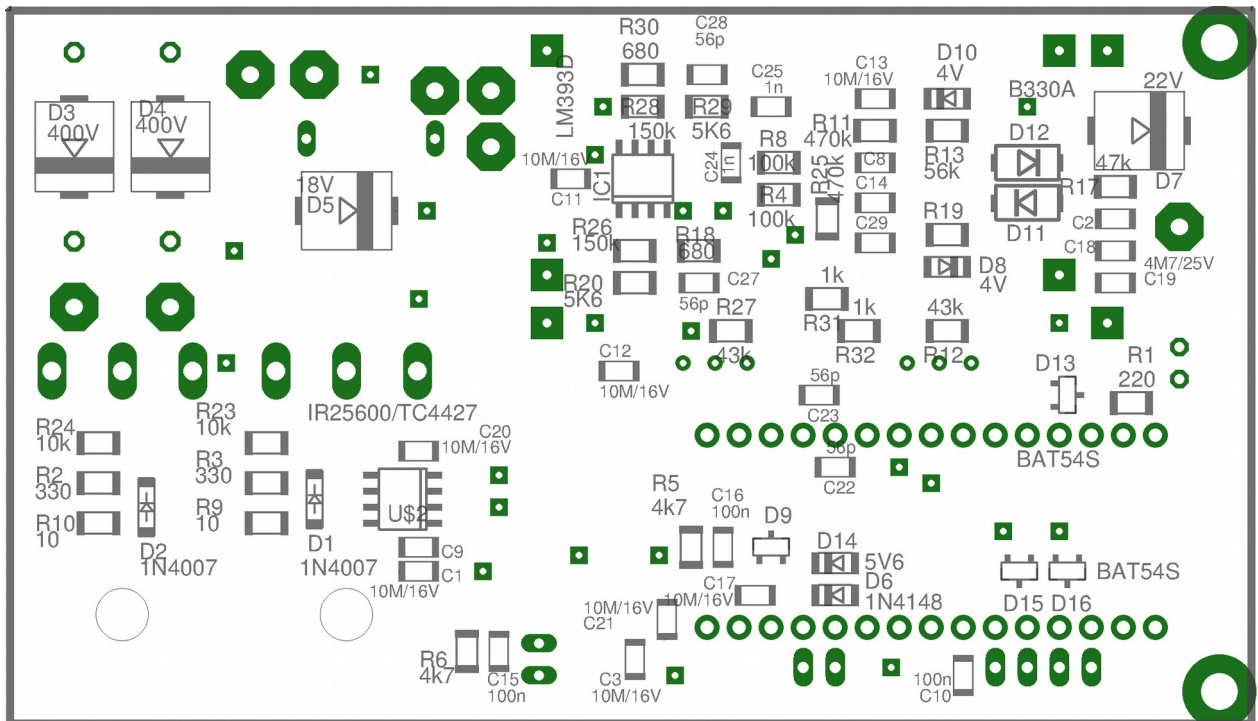
Příloha C: Deska plošných spojů, strana BOTTOM



Příloha D: Osazovací plán, strana TOP



Příloha E: Osazovací plán, strana BOTTOM



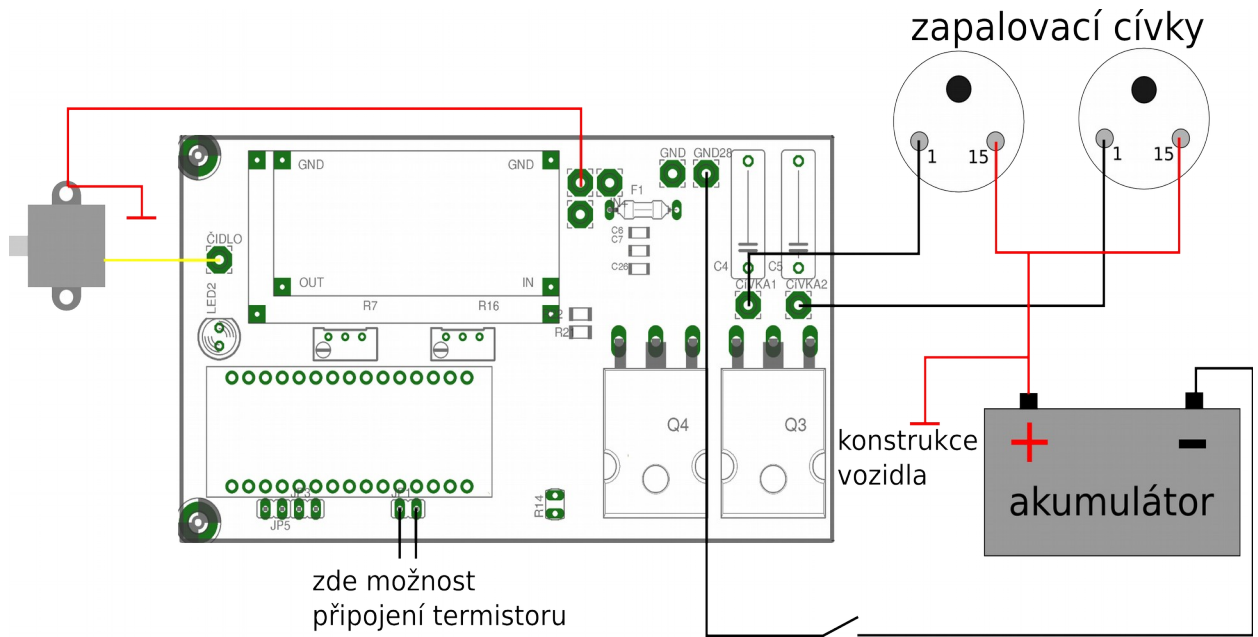
Příloha F: Seznam součástek

Součástka	Hodnota	Pouzdro
C1	10M/16V	C1206K
C2	4M7/25V	C1206K
C3	10M/16V	C1206K
C4	220n	C150-054X183
C5	220n	C150-054X183
C6	4M7/25V	C1206K
C7	4M7/25V	C1206K
C8	10M/16V	C1206K
C9	10M/16V	C1206K
C10	100n	C1206K
C11	10M/16V	C1206K
C12	10M/16V	C1206K
C13	10M/16V	C1206K
C14	10M/16V	C1206K
C15	100n	C1206K
C16	100n	C1206K
C17	10M/16V	C1206K
C18	4M7/25V	C1206K
C19	4M7/25V	C1206K
C20	10M/16V	C1206K
C21	10M/16V	C1206K
C22	56p	C1206K
C23	56p	C1206K
C24	1n	C1206K
C25	1n	C1206K
C26	4M7/25V	C1206K
C27	56p	C1206K
C28	56p	C1206K
C29	10M/16V	C1206K
D1	1N4007	SMA-DO214AC
D2	1N4007	SMA-DO214AC
D3	400V	SMC
D4	400V	SMC
D5	18V	SMC
D6	1N4148	SOD80C
D7	22V	SMC
D8	4V	SOD80C
D9	BAT54S	SOT23
D10	4V	SOD80C
D11	B330A	DO214BA
D12	B330A	DO214BA
D13	BAT54S	SOT23

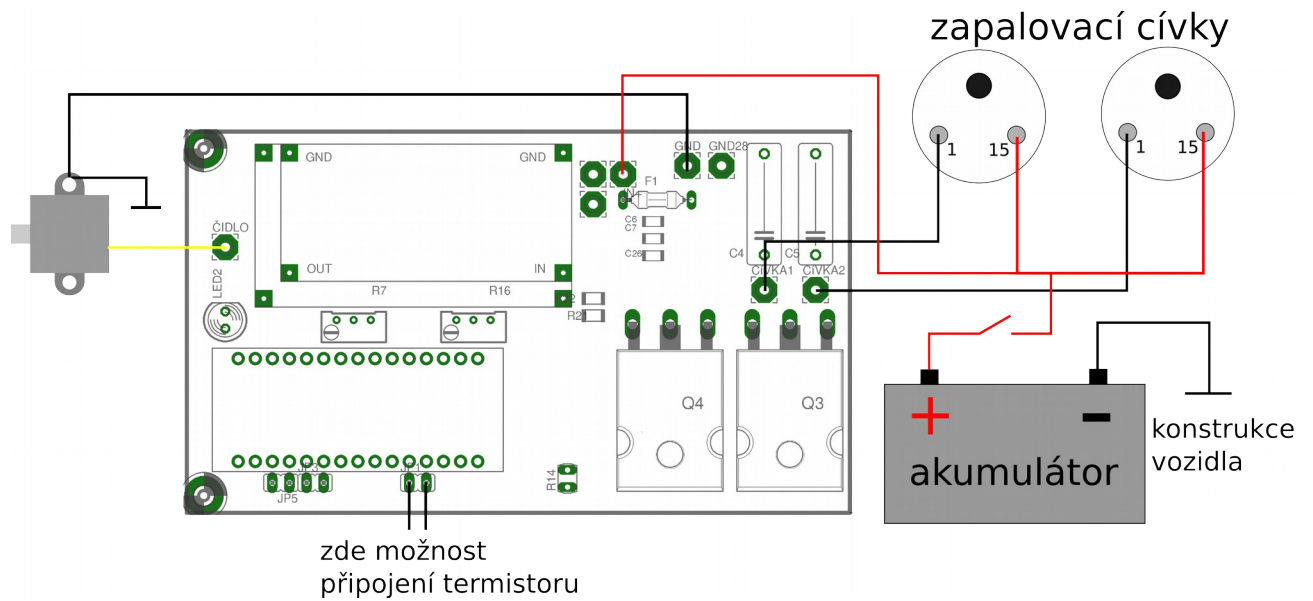
Součástka	Hodnota	Pouzdro
D14	5V6	SOD80C
D15	BAT54S	SOT23
D16	BAT54S	SOT23
F1	4A	FUSE
IC1	LM393D	SO08
LED2	LED5MM	led
Q3	IRFP460-H	TO247BH
Q4	IRFP460-H	TO247BH
R1	220	M1206
R2	330	M1206
R3	330	M1206
R4	100k	M1206
R5	4k7	M1206
R6	4k7	M1206
R7	10k	víceotáčkový trimr
R8	100k	M1206
R9	10	M1206
R10	10	M1206
R11	470k	M1206
R12	43k	M1206
R13	56k	M1206
R14	100k	termistor
R16	10k	víceotáčkový trimr
R17	47k	M1206
R18	680	M1206
R19	56k	M1206
R20	5K6	M1206
R21	4k7	M1206
R22	10k	M1206
R23	10k	M1206
R24	10k	M1206
R25	470k	M1206
R26	150k	M1206
R27	43k	M1206
R28	150k	M1206
R29	5K6	M1206
R30	680	M1206
R31	1k	M1206
R32	1k	M1206
U\$1	Arduino NANO	
U\$2	IR25600/TC4427	SO08
U\$3	Měnič	
Krabička	K 10	
Snímač	VAPE S-01	

Příloha G: Schéma zapojení

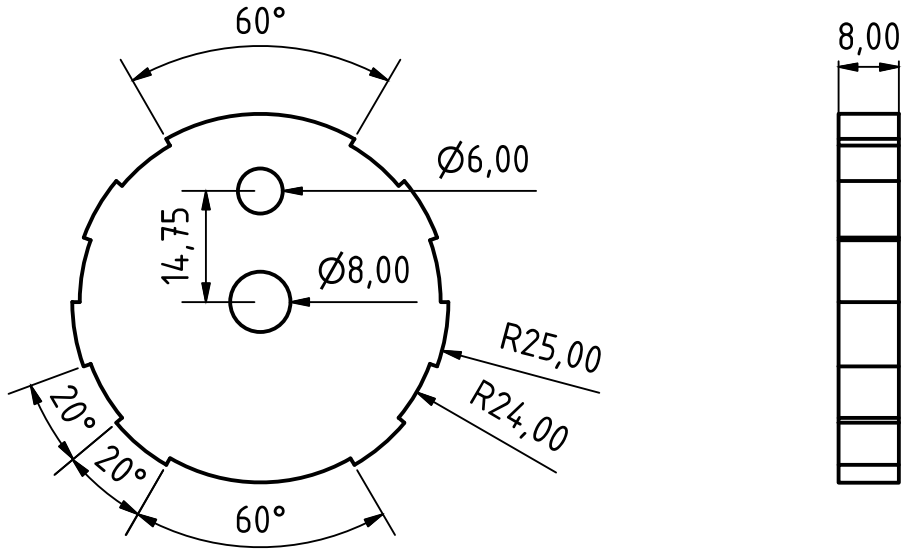
Pro vozidla s kladným pólem akumulátoru na kostře:



Pro vozidla se záporným pólem akumulátoru na kostře:



Příloha H: Výkres rotoru snímače



				Datum	Jméno	Rotor čidla otáček		
				Nakreslen	25.4.2016			Matouš Ěmeřík
				Zkontrolován				
				Norma				
						1	1	
							A4	
Stav	Změny	Datum	Jméno					