

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická

katedra počítačové grafiky a interakce

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student: **Bc. Daniel Puncman**

Studijní program: Otevřená informatika
Obor: Softwarové inženýrství

Název tématu: **Řídicí systém pro použití alternativního paliva automobilu**

Pokyny pro vypracování:

1. Navrhněte systém, který umožní použití paliva bioetanol pro automobily se zážehovým motorem, které jsou homologovány pro benzinové palivo.
2. Řídicí systém musí zaručit splnění exhalačních norem, zaručovaných výrobcem daného automobilu.
3. Systém bude kooperovat se stávající řídicí jednotkou motoru a automaticky aktivovat navrhovaný řídicí systém pokud je v nádrži majoritní podíl bioetanolu.
4. Realizujte experimentální vzorek pro ověření reálnosti návrhu a proveďte ekonomickou rozvahu o smysluplnosti navrhovaného systému.

Seznam odborné literatury:

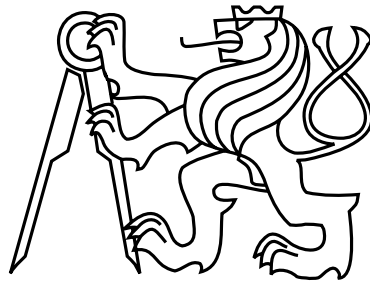
Výběr z publikací z "výzkumného centra spalovacích motorů J.Božka" (<http://www3.fs.cvut.cz/>)
Vlk F. Dynamika motorových vozidel ISBN 80-239-0024-2

Vedoucí: doc.Ing. Ondřej Vysoký, CSc.

Platnost zadání: do konce letního semestru 2015/2016

V Praze dne 4. 11. 2014

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická
katedra počítačové grafiky a interakce



Diplomová práce

Řídicí systém pro použití alternativního paliva automobilu

Daniel Puncman

Vedoucí práce: Vysoký Ondřej doc.Ing., CSc.

Studijní program: Otevřená informatika, Magisterský

Obor: Softwarové inženýrství

2. ledna 2015

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady uvedené v příloženém seznamu.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu §60 Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne 2. 1. 2015

.....

Abstract

This master's thesis deals with the development of additional control system for the use of alternative fuels for gasoline engine car. The introductory section describes basic principles of petrol engine management. The following section focuses on analysis of requirements to modify the engine control system and explore existing solutions. The next two chapters discuss the solution design, implementation and further expansion of an additional control system. The conclusion is devoted to testing and economic balance of the proposed system. The resulting additional control system is significant in the field of ecology and economics of spark ignition engines.

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá vývojem přídatného řídicího systému pro použití alternativního paliva pro zážehový motor automobilu. V počátečních kapitolách práce jsou rozebrány základní principy funkce a řízení zážehového spalovacího motoru. Další kapitola je soustředěna na analýzu požadavků k úpravě řídicího systému motoru a prozkoumání stávajících řešení. V následujících dvou kapitolách je rozebráno návrh řešení, další rozšíření a realizace přídatného řídicího systému. Závěr práce je věnován testování a ekonomické rozvaze navrženého systému. Výsledný přídatný řídicí systém má význam v oblasti ekologie a ekonomie zážehových spalovacích agregátů.

Obsah

1	Úvod	1
2	Zážehové motory a jejich řízení	3
2.1	Základní principy	3
2.1.1	Čtyřdobý zážehový motor	3
2.1.1.1	Sání	4
2.1.1.2	Komprese (stlačení)	4
2.1.1.3	Expanze (výbuch)	4
2.1.1.4	Výfuk	5
2.1.1.5	Ventily	5
2.1.1.6	Kompresní poměr	5
2.1.2	Točivý moment, výkon a účinnost	6
2.2	Řízení motoru	6
2.2.1	Zapalování	6
2.2.2	Příprava palivové směsi	8
2.2.3	Řízení přípravy palivové směsi	9
2.2.3.1	Start a zahřívání	10
2.2.3.2	Volnoběh a částečné zatížení	10
2.2.3.3	Plné zatížení	10
2.2.3.4	Akcelerace a decelerace	10
2.2.4	Další prvky	10
3	Analýza požadavků na řídicí systém pro alternativní paliva	11
3.1	Alternativní palivo E85	11
3.1.1	E85 vs. Benzín (Natural 95)	11
3.1.2	Teorie úpravy	12
3.1.2.1	Proces úpravy doby otevření vstřikovacího ventilu	13
3.1.3	Identifikace složení paliva	14
3.1.3.1	Testování systému identifikace paliva	16
3.2	Evropské exhalační normy	17
3.2.0.2	Signál z lambda sondy	18
3.3	Existující řešení	19

4	Návrh a realizace vlastního řešení	21
4.1	Přídavná řídicí jednotka a její snímače	22
4.1.1	MCU	23
4.1.2	Schéma zapojení a realizace prototypu	23
4.1.3	Software	26
4.1.3.1	Vývojové prostředí	26
4.1.3.2	Vstupy a výstupy	26
4.1.3.3	Teplota, palivo a hodnota lambda	28
4.1.3.4	Komunikace UART	28
4.2	Zobrazovací modul	32
4.2.1	Hardware	32
4.2.1.1	UART	33
4.2.1.2	Displej	33
4.2.1.3	Tlačítka	34
4.3	USB modul diagnostiky	34
4.3.1	Hardware	34
4.3.2	Software	34
4.3.3	UART	35
4.3.4	USB	35
4.3.4.1	Programové vybavení PC	36
4.4	Další možné rozšíření	37
4.4.1	Poloha vačkové hřídele	37
5	Testování a ekonomická rozvaha	43
5.1	Testování	44
5.2	Ekonomická rozvaha	46
6	Závěr	49
6.1	Zhodnocení práce	49
6.2	Možnosti dalšího vývoje a rozšíření	49
A	Seznam použitých zkratk	53
B	Obsah příloženého CD	55

Seznam obrázků

2.1	Pracovní cyklus čtyřdobého zážehového motoru	4
2.2	Závislost složení exhalací na hodnotě λ [5]	9
3.1	Porovnání způsobů vstřikování [6]	12
3.2	Vstupní signál modulu úpravy vstřikování	13
3.3	Výstupní signál modulu úpravy vstřikování	14
3.4	Řez průtokovým senzorem paliva (rozměry v mm)	15
3.5	Průtokový senzor	15
3.6	Ethano 85 a Natural 95	16
3.7	Palivová soustava automobilu s vloženým senzorem paliva	17
4.1	Blokové schéma	21
4.2	Schéma zapojení přídatné řídicí jednotky	24
4.3	Prototyp přídatné řídicí jednotky zhora	25
4.4	Prototyp přídatné řídicí jednotky zdola	26
4.5	Prgramátor AVR USBasp	26
4.6	Sekvence odesílaných bajtů	29
4.7	Sekvence přijímaných bajtů	30
4.8	Schéma zapojení zobrazovacího modulu	32
4.9	Prototyp zobrazovacího modulul	32
4.10	Aktivní displej, zobrazovací jednotky, při stojícím motoru	33
4.11	Prototyp USB modulu diagnostiky	34
4.12	Schéma zapojení USB modulu	35
4.13	Příkazy konzolové aplikace pro diagnostiku	36
4.14	Výpis konzolové aplikace pro diagnostiku	36
4.15	Snímač polohy vačkové hřídele s Hallovými sondami	37
4.16	Umístění snímače polohy vačkové hřídele a umístění magnetu	38
4.17	Závislost výstupních signálů vstřikovacích ventilů na vstupních signálech ECU a Hallových sond	38
5.1	LED diodový ukazatel signálu lambda sondy	43
5.2	Testované vozidlo Renault twingo	44
5.3	Motor F3N testovaného vozidla	45

Seznam tabulek

3.1	Přehled základních fyzikální vlastností paliv	15
3.2	Tabulka naměřených hodnot odporu směsi paliv pomocí navrženého senzoru paliva	16
3.3	Přehled exhalačních norem pro benzinové motory [10]	18
4.1	Tabulka převodu hodnot z A/D převodníku palivového senzoru procentuální zastoupení E85 v palivové směsi	28
4.2	Tabulka převodu hodnot z A/D převodníku na napětovou úroveň lambda sondy	28
5.1	Tabulka přehledu ideálního prodloužení pro různé motory	43

Kapitola 1

Úvod

Jedním z hodně rozbíraných témat napříč snad již všemi webovými stránkami a diskuzními fóry, které se jakkoli zabývají automobily, je provoz benzinových zážehových motorů na "levnější" biopalivo E85. Jako jeden z mnoha jsem se i já před nějakou dobou začal zabývat možnostmi přechodu na biopalivo E85. Moje počáteční znalosti samotné problematiky nebyly o nic větší než povědomí toho, že paliva musí být dodána do spalovacího prostoru o něco více, než je tomu u například u benzínu Natural 95.

Jako nadšený příznivec automobilů, zároveň automechanik samouk, elektrotechnik a programátor, jsem se postupem času začal více a více zajímat o řízení zážehového spalovacího motoru. Jak za účelem snížení spotřeby, nebo zvýšení výkonu, tak i za možnosti využití alternativních paliv. Celé toho počínání začalo nezbytným pochopením základního historického vývoje řízení motoru a vazbu mezi jednotlivými používanými systémy v této oblasti. Následovaly různá testování v nastavení starších motorů vybavených karburátorem a podtlakovým regulátorem předstihu zapalování. Po osvojení zkušeností v oblasti motorů řízených mechanicky, nezbývalo než přejít k motorům řízeným elektronicky. S historickým vývojem elektroniky se rozvíjejí i možnosti v oblasti řízení motorů, tento vývoj začínal přesným časováním zapalování a později se k němu přidalo elektronicky ovládané vstřikování paliva, jehož vývoj obsahuje spoustu slepých dále se nerozvíjejících větví. Někde na této cestě vývoje se zastavila stále používaná vozidla, která denně potkáváme, a kterým se podpora vývoje od výrobce již dávno skončila.

S myšlenkou úprav starších vozidel, která se oficiálních rozšíření od svých výrobců nedočkají a mají elektronicky řízený zážehový motor, jsem započal své konání v oblasti úpravy řízení zážehových motorů. První nápady, se věnovaly jednoduchým přidáváním množství vstřikovaného paliva, až jsem se dobral ke složitějším úvahám jak celý stávající systém vylepšit.

Jednou z těchto úvah se zabývá tato práce, která by měla svými výsledky podpořit rozvoj ekologie a používání alternativních biopaliv v reálném každodenním životě.

Kapitola 2

Zážehové motory a jejich řízení

Hlavním účelem spalovacího motoru je přeměna chemické energie použitého paliva smíšeného se vzduchem na energii pohybovou. V případě zážehového spalovacího motoru je využito elektrického výboje k zapálení směsi kapalného nebo plynného paliva a vzduchu.

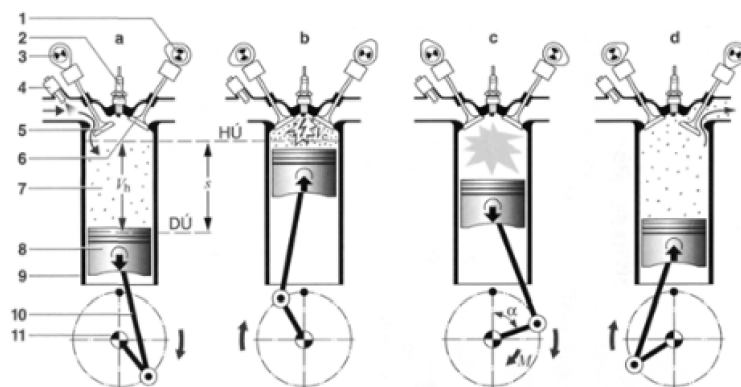
Způsob mísení paliva a vzduchu je napříč historií zážehových motorů jedním z nejdůležitějších úkolů pro samotný chod motoru. Dlouhá léta byl k tomuto úkolu využíván karburátor. S postupným rozvojem elektrotechniky, její zvyšující se spolehlivostí a přesností byla tryska karburátoru nahrazena elektromagnetickým vstřikovacím ventilem. Tento vstřikovací ventil v kombinaci s řídicí jednotkou, několika čidly a snímači umístěnými na motoru dokázal upravovat množství paliva rozptýleného při vstupu do motoru nejen v závislosti na ovládnání plynu. Dalším krokem bylo přidání vstřikovacích ventilů paliva, pro každý válec motoru zvlášť, a co nejbliž prostoru spalování. V posledních deseti letech, se zdokonalením odolných materiálů, přibývá motorů s ventily vstřikujícími palivo přímo do spalovací komory, kde jsou možnosti řízení procesu spalování ještě rozsáhlejší.

2.1 Základní principy

Variací zážehových motorů na nejen experimentální úrovni je mnoho. V praxi nejpoužívanější je pak typ dvoudobý, čtyřdobý a Wankelův. Dvoudobé motory mají pro svoji malou hmotnost využití v široké škále motocyklů a Wankelův typ motoru až na výjimky zůstává výsadou různých závodních samohybů. V automobilovém průmyslu převládá využití motorů čtyřdobých, které dosahují oproti ostatním, vzhledem k provozním podmínkám, delší životnosti a větší spolehlivosti i navzdory většímu počtu pohyblivých dílů.

2.1.1 Čtyřdobý zážehový motor

Čtyřdobý, neboli čtyřtaktní motor je označován motor, který má 4 různé fáze vykonávané periodicky písty motoru, které jsou spojeny ojnicemi s klikovou hřídelí a převádí tak lineární pohyb na pohyb rotační.



Obrázek 2.1: Pracovní cyklus čtyřdobého zážehového motoru

- | | |
|---------------------------------------|--|
| <i>a</i> - Sání | 8 - Píst |
| <i>b</i> - Komprese a zážeh | 9 - Válec |
| <i>c</i> - Expanze | 10 - Ojnice |
| <i>d</i> - Výfuk | 11 - Klikový hřídel |
| 1 - Vačková hřídel výfukových ventilů | <i>M</i> - Točivý moment |
| 2 - Zapalovací svíčka | α - Úhel natočení klikového hřídele |
| 3 - Vačkový hřídel sacích ventilů | <i>s</i> - Zdvih pístu |
| 4 - Vstříkovací ventil | V_h - Zdvihový objem |
| 5 - Sací ventil | V_c - Kompresní objem |
| 6 - Výfukový ventil | <i>DU</i> - Dolní úvrať |
| 7 - Spalovací prostor | <i>HU</i> - Horní úvrať |

2.1.1.1 Sání

Pohyb pístu z horní úvrati (*HU*) dolů zvětšuje objem spalovacího prostoru (7) ve válci. Přitom vzduch případně směs paliva se vzduchem proudí otevřeným sacím ventilem (5) do spalovacího prostoru. Při dosažení dolní úvrati (*DU*) má spalovací prostor svou maximální velikost ($V_h + V_c$).

2.1.1.2 Komprese (stlačení)

Všechny ventily válce jsou uzavřeny. Píst jdoucí nahoru, zmenší objem spalovacího prostoru a stlačí směs obsaženou ve spalovacím prostoru. V horní úvrati (*H*) má objem spalovacího prostoru svou minimální velikost a tou je kompresní objem (V_c).

2.1.1.3 Expanze (výbuch)

Před dosažení horní úvrati (*HU*) pístem, zapálí v daném okamžiku zážehu zapalovací svíčka (2) dle hodnoty předstihu stlačenou směs paliva se vzduchem. Během vzplanutí směsi překročí píst horní úvrať a teplo uvolněné spalováním zvýší tlak ve válci a tlačí píst dolů.

2.1.1.4 Výfuk

Před dosažením dolní úvrti (DU) se otevře výfukový ventil (6) a horké plyny, proudí pod zbývajícím tlakem z válce ven. Píst jdoucí nahoru následně vytlačí zbytek plynů.

2.1.1.5 Ventily

Ventily, ovládané vačkovou hřídelí, sloužící k sání směsi nebo výfuku plynů, musejí být synchronizované s klikovou hřídelí. Protože celý cyklus motoru proběhne ve dvou otáčkách klikové hřídele, je nezbytný převod (řetězem, řemenem, ozubenými koly) mezi klikovou a vačkovou hřídelí. Vačková hřídel má tedy poloviční otáčky než kliková hřídel a nastavením polohy vačkové hřídele vůči klikové hřídeli se provádí časování ventilů. Časování ventilů je možné dosáhnout lepšího plnění a vyprazdňování válců.

2.1.1.6 Kompresní poměr

Kompresní poměr motoru, neboli komprese motoru nám říká, ke kolika násobnému dojde stlačení směsi ve spalovacím prostoru motoru. Je to poměr mezi celkovým objemem spalovací komory $V_h + V_c$ a kompresním objemem V_c .

$$\epsilon = (V_h + V_c)/V_c \quad (2.1)$$

Kompresní poměr motoru má rozhodující vliv na točivý moment, výkon, efektivitu a ekologii motoru. Se vzrůstajícím kompresním poměrem roste využití chemické energie přivedeného paliva. Díky vyšší teplotě při kompresi dochází k dokonalejšímu odpařování paliva a zároveň při vyšším stlačení se mohou plyny rozpínat do velkého objemu. Tímto se po spalování snižuje teplota výfukových plynů a dochází k menším tepelným ztrátám. To znamená nárůst výkonu a účinnosti spalovacího motoru. V kombinaci s menším spalovacím prostorem se zlepšuje vyprazdňování a množství škodlivých exhalací. Zároveň jako nepříznivý efekt zvyšování komprese je větší namáhání mechanických částí motoru. To vede k nutnosti použití lepších materiálů, nebo snížení životnosti. Tento problém řeší konstrukce motorů s proměnlivým kompresním poměrem, kde je kompresní poměr upravován podle režimu zatížení. Motor má pak nastaven nízký kompresní poměr při běhu bez zatížení. Vysoký kompresní poměr při největším zatížení a při středním zatížení je hodnota komprese upravována dle možností ideálního spalování. Běžně používané motory mají pevně danou hodnotu kompresního poměru, která je kompromisem pro všechny režimy zatížení a změna vyžaduje konstrukční zásah do motoru.

Velikost kompresního poměru je omezena teplotou samovznícení paliva. Hraniční kompresní poměr pro spalování benzínu (Natural 95) je 12,5 : 1. V případě lihového biopaliva, které disponuje vysokým oktanovým číslem, je možné využít kompresního poměru až 15,1 : 1. S takovým alternativním palivem je možné dosáhnout většího výkonu, efektivitu a nižších emisí.

2.1.2 Točivý moment, výkon a účinnost

Pohyb pístu přes ojnici na zalomení klikové hřídele převádí sílu expandující směsi paliva na točivý moment. Točivý moment je definován jako síla působící na určité rameno páky. U motoru je ramenem páky zalomení klikové hřídele. Převod síly expanze směsi na klikovou hřídel není rovnoměrné a největšího točivého momentu dosahuje při úhlu natočení klikové hřídele 90° za horní úvratí. Vzhledem k nerovnoměrnému přenosu síly je potřeba nastavit předstih tak, aby k zápalu směsi došlo při stoupaní do horní úvratí. Maximální dosažitelný točivý moment je dán konstrukcí motoru, kde hraje velký význam zdvihový objem a geometrie spalovacích prostorů. [17] Výkon P předávaný motorem stoupá s rostoucím točivým momentem M a otáčkami n klikové hřídele motoru.

$$P = 2 \cdot \pi \cdot n \cdot M \quad (2.2)$$

Točivý moment roste s otáčkami až na svoje maximum, při dalším zvyšování otáček točivý moment klesá, pokud točivý moment začne klesat nelineárně vůči zvyšování otáček, potom dochází i k poklesu výkonu motoru. Další z hlavních vlastností spalovacího motoru je jeho účinnost, protože motor nepřevádí veškerou energii chemicky vázanou v palivu, tak se část energie ztrácí a účinnost motoru na mechanickém výstupu je menší než 100%. I přesto, že je snahou dosahovat co nejvyšší mechanické účinnosti, je stále výraznějším výstupem spalovacího motoru tepelná účinnost, která je daná samotným procesem spalování.

2.2 Řízení motoru

Od dob, kdy k samotnému řízení motoru stačilo několik jemných mechanických komponent, jako například karburátor či mechanický a podtlakový regulátor zapalování, uplynul už nějaký čas a dnešní automobilové motory se mohou pyšnit elektronickými vstřikovacími systémy několikáté generace.

Úkolem řízení motoru je možnost regulace, nebo dosažení co nejvyšších hodnot točivého momentu a výstupního výkonu, novodobě dle možných i nemožných směrnic také regulace obsahu výfukových plynů a to vše ideálně při co nejnižší spotřebě paliva.

Výstupní výkon motoru je dán točivým momentem a otáčkami motoru. Točivý moment je vytvářený expanzí zapálené směsi ve spalovacím prostoru. U nepřímého vstřikování je určen množstvím vzduchu, množstvím paliva a okamžikem zapálení této směsi ve spalovacím prostoru po uzavření ventilů.

Přímé vstřikování má širší možnosti koncentrování paliva v určité části spalovací komory. Ne všechny vzduch obsažený ve válci slouží k vytvoření točivého momentu. Nicméně motory s přímým vstřikováním se tato práce nezabývá, protože jakákoli úprava vstřikování je vzhledem k novým využívaným technologiím pro řízení takového vstřikování pouze otázkou jednoduché úpravy software. [6]

2.2.1 Zapalování

K zapalování stlačené směsi ve válci dochází zapalovací svíčkou, připojenou ke spínanému zdroji indukovaného napětí. Okamžik zapálení směsi, před dosažením horní úvratě pístu, je

dán hodnotou předstihu, která je závislá na rychlosti vzplanutí směsi ve spalovací komoře. V případě brzkého zažehnutí směsi působí zvýšení tlaku hořením směsi proti pohybu pístu. Dochází tak ke snižování kinetické energie motoru a ztrátám. V opačném případě pozdního zažehnutí směsi je píst v pohybu směrem dolů, tlak ve válci klesá a není využita veškerá energie dodaná v palivu. Kromě nevyužití veškeré energie obsažené palivem, může v krajním případě dojít k vyfouknutí neúplně spálené směsi do výfuku a tím zvýšení škodlivých exhalací.

K přesnému okamžiku zapálení palivové směsi je potřeba znát polohu pístu ve válci. Poloha pístu ve válci se udává jako úhlu pootočení klikové hřídele. Obecný předpoklad je iniciace zápalu směsi před dosažením horní úvratě pístu. Potom se okamžik zápalu palivové směsi, neboli předstih, udává jako úhlu pootočení klikové hřídele před dosažením horní úvratě pístu. Na hodnotě předstihu závisí kvalita a efektivita spalování, čímž je ovlivněna konečná účinnost motoru.

Pro dosažení optimálního spalování je nezbytné, pro všechny režimy chodu motoru, nastavení předstihu zapálení palivové směsi. Režimem chodu motoru je soubor podstatných stavových hodnot motoru. Především jde o otáčky klikové hřídele, tlak nasávané směsi a teplotu motoru.

Optimalizace předstihu zápalu palivové směsi lze provádět podle více kritérií. Lze například upravovat spotřebu při konstantním dodávaném výkonu, nebo dosažení výkonu při konstantním množství palivové směsi. V oblasti ekologie provozu je významné minimalizovat koncentraci oxidu uhelnatého CO , oxidů dusíku NO_x a nespálených uhlovodíkových zbytků HC . V reálném provozu se volí kombinace těchto tří kritérií.

Kritérium ekologie provozu je dále závislé na směšovací poměru paliva a vzduchu, který při dodržení stechiometrického poměru (více v kapitole 2.2.2) optimalizuje množství škodlivých exhalací. Při dodržení směšovacího poměru se ze zmenšující se hodnotou předstihu zvedá produkce oxidu uhelnatého CO a se zvětšující hodnotou předstihu stoupá prudce produkce oxidů dusíku NO_x a pozvolněji stoupá produkce nespálených uhlovodíkových zbytků HC .

Technická řešení řízení zapalování se v historii řízení motoru vyvinula z mechanických rotačních a podtlakových regulátorů na přesné elektronické systémy s větším rozsahem hodnot předstihu. U starších motorů byla hodnota předstihu upravována na základě otáček motoru a podtlaku za škrtecí klapkou. U elektronicky řízených motorů jde o hodnotu vypočítanou z otáček klikové hřídele, podtlaku v sání, teploty, množství vstříkovaného paliva, a několika dalších proměnných, které zpracovává řídicí jednotka motoru. [6]

S kapitolou kompresního poměru (2.1.1.6) související problém, v oblasti zapalování směsi, je detonační hoření. Jedná se o způsob nežádoucího zapálení směsi, které omezuje zvyšování výkonu. Detonační hoření vzniká samovznícováním čerstvé směsi před plamennou frontou hoření směsi. Rychlost šíření plamene při detonačním hoření je mnohonásobně vyšší oproti hoření normálnímu. Při detonačním hoření dochází k silnému stlačení nespálené směsi, a vzniká tak tlaková vlna narážející na stěny spalovacího prostoru, takzvané klepání motoru. Toto klepání motoru se projevuje "zvonivým" zvukem. V případě elektronického řízení motoru je klepání motoru zaznamenáno čidlem klepání motoru a řídicí jednotka motoru upraví předstih a palivovou směs tak, aby nedošlo k mechanickému poškození motoru.

2.2.2 Příprava palivové směsi

Další velice obsáhlou a neustále se rozvíjející kapitolou je příprava palivové směsi. Zároveň je pro tuto práci kapitolou nejdůležitější. Příprava palivové směsi je u zážehových motorů otázkou množství paliva a vzduchu, kdy obě dvě složky musejí být v takzvaném stechiometrickém poměru. Stechiometrický poměr nám říká o určitém palivu, kolik vzduchu budeme potřebovat ke spálení jedné hmotnostní jednotky daného paliva. Poměr hmotnostních podílů vzduchu a paliva se označuje jako λ . Tento poměr je také označován jako součinitel přebytku vzduchu. [6]

Matematicky lze součinitel λ vyjádřit jako poměr motorem spotřebovaného množství vzduchu V k množství vzduchu V_t , které by bylo potřebné pro dokonalé spálení podle stechiometrického poměru.

$$\lambda = V/V_t \quad (2.3)$$

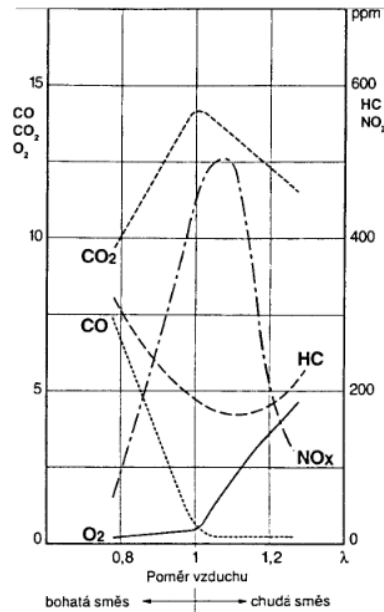
Provoz při stechiometrickém poměru pak vykazuje hodnotu $\lambda = 1$. Obohacením směsi dostaneme hodnotu $\lambda < 1$ a naopak při ochuzení směsi hodnota $\lambda > 1$, kde můžeme narazit na určitou mez, za kterou už nebude možné směs zapálit.

Jedním z hlavních problémů procesu spalování je rozdělení směsi ve spalovacím prostoru. Motory s karburátory a nepřímým vstřikováním dodávají do spalovací komory homogenní směs paliva a vzduchu, kde je součinitel přebytku vzduchu λ všude stejný. Naproti tomu pomocí přímého vstřiku do spalovací komory je možné vytvoření hořlavého oblaku s $\lambda \approx 1$ v oblasti zážehu, i když z pohledu celého spalovacího prostoru je směs velmi chudá a $\lambda \gg 1$ a lze tak dosáhnout menší spotřeby než se směsí homogenní. [6]

V rámci přípravy palivové směsi je důležité zmínit závislost tvorby exhalačních residuí v závislosti na poměru λ . Na obrázku 2.2 je možné vidět závislost exhalačních residuí na hodnotě směšovacího poměru λ . V oblasti přebytku vzduchu se vyskytují minima oxidu uhelnatého CO a uhlovodíkových zbytků HC a maximum oxidů dusíku NO_x . Tato závislost je důvodem nesnadného řešení škodlivých exhalací.

Jedním z částečných řešení produkce škodlivých exhalací je katalyzátor. Katalyzátor neboli katalytický konvertor je součástí výfukového potrubí. Skládá se z takzvané lambda sondy (více v kapitole 3.2.0.2) a samotného katalytického zařízení. Vlastnost běžných zážehových motorů, které spalují uhlovodíková paliva, je nedokonalé spalování. Tyto motory při chodu produkují škodlivé exhalace jako: oxid uhličitý CO_2 , oxid uhelnatý CO , oxidy dusíku NO_x , uhlovodíky HC a oxidy síry SO_x . Produkce těchto škodlivých exhalací je dána kvalitou spalovacího procesu, čistotou paliva, režimem použitím motoru a různými dalšími elementy. V takovém případě katalyzátor napomáhá výraznému snížení produkci škodlivých exhalací. V katalyzátoru procházejí výfukové plyny keramickými pláštvi pokrývanými vzácnými kovy. Tyto vzácné kovy chemickou reakcí se škodlivými složkami výfukových plynů rozkládají tyto škodlivé složky na neškodné látky. Výfukové plyny jsou v katalytické komoře čištěny pomocí dvou základních procesů. Redukcí a oxidací. Při redukci dochází k přeměně oxidů dusíku NO_x na dusík N_2 a oxid uhličitý CO_2 . V případě oxidace jde o přeměnu oxidu uhelnatého CO na oxid uhličitý CO_2 a zároveň uhlovodíky HC oxidují na vodu H_2O a oxid uhličitý CO_2 .

Katalyzátory lze rozdělovat podle počtu škodlivin, které jsou schopné účinně likvidovat, nebo podle materiálů ze kterých je vytvořena katalytická vložka. Hlavními zástupci jsou

Obrázek 2.2: Závislost složení exhalací na honotě λ [5]

katalyzátory dvoucestné a třícestné. V druhém směru můžeme rozlišovat katalyzátory s keramickou nebo kovovou vložkou. Dvoucestný katalyzátor redukuje emise oxidu uhelnatého CO a nespálených uhlovodíků HC . Trojcestný katalyzátor navíc redukuje emise oxidu dusíku NO_x a může fungovat pouze v úzké oblasti poměru paliva a vzduchu. Tato úzká oblast poměru paliva a vzduchu je udržována řídicí jednotkou, která získává zpětnou vazbu z lambda sondy a nastavuje tak množství paliva vzhledem k nasávanému vzduchu ve stechiometrickém poměru.

2.2.3 Řízení přípravy palivové směsi

Základní řízení plnění obsahu spalovacích prostor probíhá pomocí škrtecí klapky. Existující řešení uvažují konvenční, nebo elektronický způsob ovládání škrtecí klapky. V prvním případě je pedál akcelerace mechanicky spojen se škrtecí klapkou, jejíž poloha je snímána. Elektronický způsob ovládání snímá polohu akceleračního pedálu a následně nastavuje polohu škrtecí klapky elektronicky. V obou případech škrtecí klapka určuje množství nasávaného vzduchu motorem.

Řízení tvorby směsi spočívá ve výpočtu množství paliva vůči množství vzduchu, procházejícího škrtecí klapkou, v definovaném poměru λ . Z vypočítaného množství paliva je určena doba a okamžik vstřiku. U přímého vstřikování, v případě kdy je tvořen koncentrovaný oblak zápalné směsi, není množství paliva přímo určeno hmotností nasávaného vzduchu. Ke zjištění množství vzduchu průchozího skrz škrtecí klapku je využíváno MAF nebo MAP senzorů.

MAF (manifold air flow) senzor neboli „váha vzduchu“ je umístěn před škrtecí klapkou a na základě teplotních změn v úzkém průchodu určuje množství a vlastnosti průchozího vzduchu.

Naproti tomu MAP (manifold air pressure) senzor snímá rozdíl barometrického tlaku a podtlaku v sacím potrubí. V kombinaci se snímačem teploty nasávaného vzduchu a otáčkami motoru řídicí jednotka dopočítá množství a vlastnosti vzduchu procházejícího škrticí klapkou. Další korekce tvorby směsi spočívají v aktuálním pracovním režimu motoru, kde se rozlišují stavy: start a zahřívání, volnoběh a částečné zatížení, plné zatížení, akcelerace a decelerace.

2.2.3.1 Start a zahřívání

Při startu se studeným motorem dochází ke špatnému odpařování paliva a tím ke zhoršenému mísení se vzduchem. Vzhledem ke studeným stěnám spalovací komory i následnému kondenzování. Aby se tyto jevy vyrovnaly je potřeba dodávat více paliva do doby, kdy motor dosáhne provozní teploty.

2.2.3.2 Volnoběh a částečné zatížení

Při dosažení provozní teploty motory s nepřímým vstřikováním pracují výhradně se směsí ve stechiometrickém poměru, kdy zároveň produkují nejmenší množství škodlivých emisí. Motory s přímým vstřikováním pracují s hořlavým oblakem ve spalovací komoře a dokáží tak ušetřit nemalou část paliva.

2.2.3.3 Plné zatížení

Jedná se o okamžik plně otevřené škrticí klapky, kdy může být dosaženo nejvyššího točivého momentu.

2.2.3.4 Akcelerace a decelerace

Tlakové změny v sacím potrubí po změně polohy škrticí klapky vedou ke srážení paliva na stěnách spalovacího potrubí. Při otevírání škrticí klapky tlak v sacím potrubí vzrůstá, tím se palivu snižuje schopnost odpařování a palivo se usazuje na stěnách sacího potrubí. Naopak při přivírání škrticí klapky tlak v sacím potrubí klesá a palivo se ze stěn odpařuje. Smíseno se vzduchem pokračuje do spalovací komory. Na základě tohoto faktu dochází k dalším korekčním úpravám množství vstřikovaného paliva tak, aby byl poměr paliva a vzduchu konstantní.

Při jízdě se zařazenou rychlostí a uzavřenou škrticí klapkou dochází, nad určité otáčky motoru, k přerušení vstřikování, nejen z hlediska úspory paliva, ale také aby nedocházelo k neúplnému spalování a poškození katalyzátoru.

2.2.4 Další prvky

Dalšími prvky v oblasti řízení motoru jsou způsoby přepínání (dynamické, mechanické, rekuperací výfukových plynů), nebo způsoby neúplného vyměňování obsahu spalovacích komor.

Kapitola 3

Analýza požadavků na řídicí systém pro alternativní paliva

Kapitola o analýze požadavků a návrhu řešení je rozdělena na tři podkapitoly. První z podkapitol se zabývá alternativním biopalivem Ethanol 85, jeho výraznými vlastnostmi pro práci a identifikací pomocí elektroniky. Druhá podkapitola rozebírá exhalační normy a závislost emisí na směšovací poměru v případě alternativního paliva. Třetí podkapitola pak popisuje existující řešení podobných systémů.

3.1 Alternativní palivo E85

E_{xx} je označení paliv, kde je do benzínu přidáván bezvodý ethanol. Dle předepisovaného přídatku EU je dnes vlastně každé palivo typu *E5*, kde 5 znamená procentuální zastoupení bezvodého ethanolu ve směsi benzínu a bezvodého ethanolu. S tímto malým množstvím by si měl poradit každý motor bez ohledu na typ nebo stáří. Dalším kombinací je *E5 – E10* která je vhodná pro motory s nějakým typem vstřikování a lambda sondou, na základě které si motor dokáže upravit předstih a vstřikování. Následující *E10 – E25* by již měla být hraniční kombinace, kdy ještě není potřeba dělat žádné zásahy do seřízení motoru. Kombinace *E25 – E85* už jsou považovány za mezisměsi, které obsahují benzín pro lepší startování při nižších teplotách a jsou prodávány pod jednotným názvem E85.

3.1.1 E85 vs. Benzín (Natural 95)

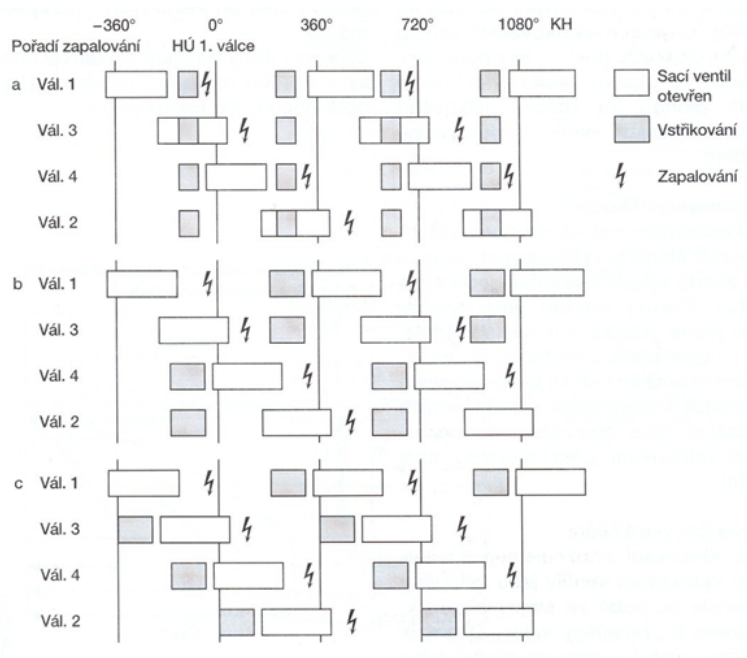
Pod názvem *E85* se skrývá 85% bezvodého lihu a 15% benzínu. V zimním období jde o poměr 70/30 pro zlepšení studených startů, ale jako *E70* se neoznačuje. Kromě samotného benzínu a bezvodého lihu směs obsahuje další aditiva pro zvýšení tlaku par. Tlak par, neboli těkavost, je jednou z důležitých vlastností paliva zážehového motoru. Čím vyšší má palivo tlak par, tím má větší schopnost odpařovat se při určité teplotě (udává se při teplotě 37,8°C). Průměrná hodnota tlaku par benzínu je okolo 51kPa (norma 45~90kPa). A protože tlak par se snižující se teplotou klesá, zajišťuje benzínu použitelnost ve spalovacích motorech do teploty cca -40°C. Pro *E85* je tlak par předepsaný normou na minimální hodnotu 35kPa což smíchání samotného Benzínu a Ethanolu nezajistí a je potřeba již zmíněná další aditivace.

I tak pro *E85* začíná být hraniční teplotou 0°C a pro *E70* je hranice použitelnosti kolem teploty -20°C . [11]

Dalším úskalím, kterým se práce zabývá, biopaliva paliva Ethanol 85 je stechiometrický poměr. Ten dosahuje ideálního poměru hmotnosti vzduch : Ethanol 85 - 9,8 : 1, což je oproti poměru vzduch : Benzín - 14,7 : 1, zhruba třetinový rozdíl. To znamená, že pro ideální hoření je potřeba paliva *E85* o třetinu více.

3.1.2 Teorie úpravy

Celá úprava se odvíjí od stávajícího elektronického vstřikovacího systému automobilu. Pro tuto úpravu jde o časované vstřikování paliva do sacího potrubí jako je například u vstřikovacích systémů *Bosh Jetronic D, L, MONO*, nebo *Motronic ML, M, MP, MONO*. Tyto typy vstřikovacích systémů je možné dále rozdělovat podle hlavní řídicí veličiny jako: tlak v sacím potrubí, množství/hmotnost vzduchu nebo poloha škrtkové klapky. Rozdělení podle hlavní řídicí veličiny není pro tuto práci až tak podstatné jako rozdělení podle způsobu vstřikování. Základní způsoby časovaného vstřikování jsou zde tři (Obrázek 3.1): Simultánní, Sekvenční, Skupinové. Simultánní vstřikování otevírá vstřikovací ventily v každém zdvihu současně. Sekvenční vstřikování otevírá vstřikovače postupně pro jednotlivé válce. Skupinové vstřikování otevírá skupinu vstřikovačů (z pravidla dva) jednou za čtyř doby cyklus motoru [6].



Obrázek 3.1: Porovnání způsobů vstřikování [6]

a - simultánní vstřikování, b - skupinové vstřikování, c - sekvenční vstřikování

Ve všech ze tří případů vstřikovacích systémů je vždy každému vstřikovacímu ventilu přiřazena frekvence otevření ventilu a délka impulzu otevření ventilu, tato frekvence otevření

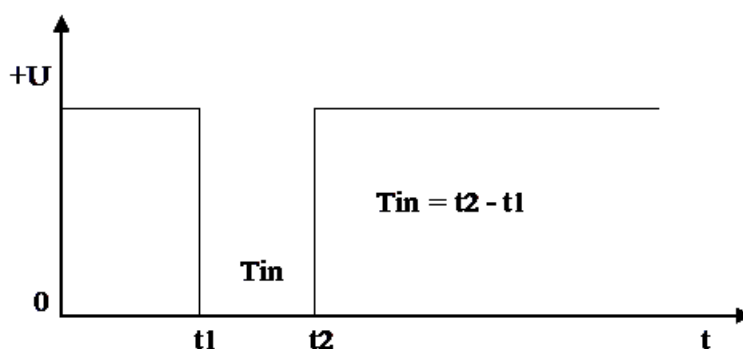
ventilu je závislá na otáčkách motoru. Délka impulzu je pak dána režimem chodu motoru dle řídicí jednotky motoru. Celá úprava vstřikování tedy spočívá v zařazení modulu, upravující vstřikování, mezi řídicí jednotku motoru a vstřikovací ventily paliva.

Na základě výstupního signálu řídicí jednotky motoru zařazený modul, neboli přídavná řídicí jednotka pro alternativní palivo, generuje signál upravený. Upravený signál má stejnou frekvenci náběžné hrany impulzu, ale prodloužený čas impulzu tak, aby délka otevření vstřikovacího ventilu dosáhla potřebného intervalu k vytvoření směsi ve stechiometrickém poměru.

Při pomnutí nepřízně malého tlaku par za nízkých teplot, lze vycházet pouze z předpokladu potřeby zvýšení množství dodávaného paliva vstřikovací soustavou. Na základě zmíněného stechiometrického poměru by mělo jít o nutnost přidání paliva oproti provozu na benzín o cca 30%. V případě nepřízně malého tlaku par za nízkých teplot bude nezbytné zvětšit plochu odpařovaného paliva ve směsi a to pomocí systému řízení vstřikovacích ventilů je možné zvětšením množství vstřikovaného paliva.

3.1.2.1 Proces úpravy doby otevření vstřikovacího ventilu

Modul upravující vstřikování reaguje na sepnutí vstupního signálu od motorové řídicí jednotky (Obrázek 3.2) v čase t_1 a opakuje na svůj výstup ve stejném čase t_1 (Obrázek 3.3).



Obrázek 3.2: Vstupní signál modulu úpravy vstřikování

Během opakování zároveň zaznamenává hodnotu intervalu

$$T_{in} = t_2 - t_1 \quad (3.1)$$

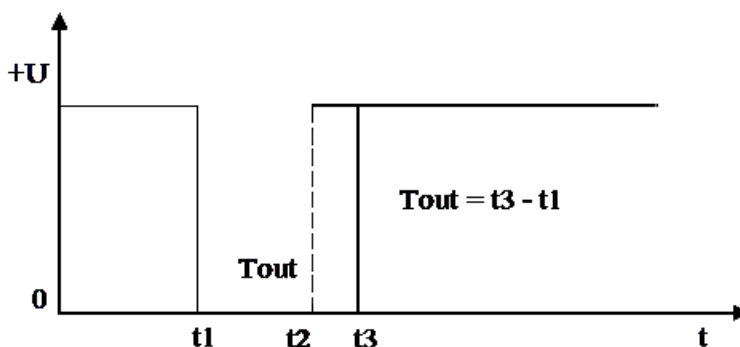
, ze které bude počítat hodnotu intervalu prodloužení. Na výstupu je signál spínající vstřikovací ventil v okamžiku t_1 . V čase t_2 dochází k přerušení vstupního signálu motorové řídicí jednotky, ale modul nechává výstup stále sepnutý a vypočítá interval $t_3 - t_2$, ze zaznamenaného T_{in} :

$$t_3 - t_2 = T_{in} \times k \div 100 \quad (3.2)$$

, kde k je hodnota prodloužení vstřikovacího intervalu v procentech.

Výsledný výstupní signál modulu (Obrázek 3.3) a výstupní hodnota délky sepnutí vstřikovacího ventilu je:

$$T_{out} = t_3 - t_1. \quad (3.3)$$



Obrázek 3.3: Výstupní signál modulu úpravy vstřikování

3.1.3 Identifikace složení paliva

Jedním z dalších úkolů práce je řešit identifikace složení vstřikovaného paliva, které bude motorem zpracováno. Směs paliv může hrát velkou roli v ideálním směšovací poměru tak, aby byl dodržen stechiometrický poměr nejen jednotlivých paliv, ale i směsi paliv. Dodržení stechiometrického poměru je důležité pro správnou funkci katalyzátoru, kdy je korekce směšovacího poměru řízena pomocí lambda sondy. Na základě testování více motorů není korekce řídicích jednotek, dle lambda sondy, schopna zcela bezpečně pokrýt ani směs paliv Natural95 a Etahol 85 v poměru 1 : 1. V takovém případě dochází k tvorbě příliš bohaté nebo chudé směsi a je negativně ovlivněn výkon, spotřeba i škodlivé exhalace motoru. Účelem vyřešení této problematiky je oproštění uživatele od rozhodnutí, zda je nebo není nutné vstřikovací interval prodloužovat. V případě neurčitěho poměru paliv zastoupených ve spalované směsi by uživatel navíc musel rozhodovat o hodnotě prodloužení vstřikovacího intervalu. Bez sebemenších diagnostických nástrojů takové rozhodování není možné.

Navrhovaný systém předpokládá lineární závislost stechiometrického poměru na poměru zastoupení jednotlivých paliv obsažených ve směsi paliv. Případnou odchylku, od ideálního směšovacího poměru, bude pokrývat korekce motorové řídicí jednotky dle lambda sondy. Bude tak automaticky zajištěn ideální směšovací poměr pro správnou funkci katalyzátoru, jak jednotlivých paliv v čisté podobě, tak i jejich směsí.

Pro identifikaci složení paliva bude nezbytné vytvořit průtokový snímač, který na základě fyzikální vlastnosti rozhodne o druhu protékajícího paliva.

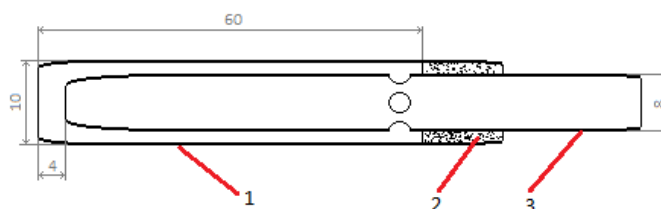
Vzhledem k blízkým hodnotám hustoty obou paliv by bylo možné pomocí hustoměru rozpoznat palivo jednoho nebo druhého typu. Problém by nastal při kombinaci paliv, kdy by se nepřesnost paliva mohla projevit jako větší nebo menší příměs paliva druhého.

palivo	hustota kg/m-3	barva	měrný elektrický odpor
Natural 95	700 - 750	nažloutlá	?
Ethanol 85	776 - 783	nažloutlá	?

Tabulka 3.1: Přehled základních fyzikální vlastností paliv

Další možnost indentifikace složení paliva je fotocestou. Bohužel běžně dostupná paliva jsou ve formě čiré nažloutlé kapaliny, takže možnost filtrování průchozího světla není rozlišitelně možná.

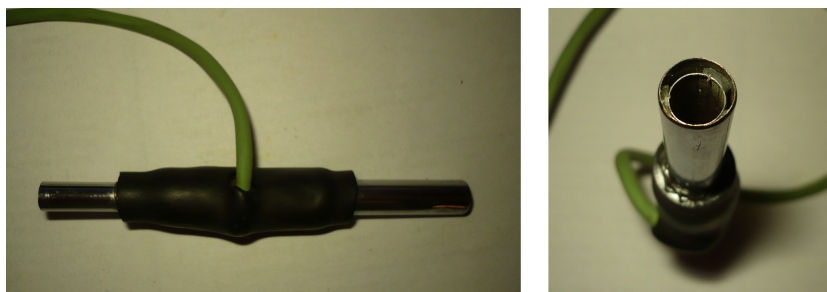
Jako perspektivní se jeví možnost identifikace složení protékajícího paliva měřením jeho specifické impedance. Protože fyzikálněchemické tabulky neobsahují tyto hodnoty, byly v rámci práce provedeny testy na elektrovodivost jednotlivých paliv a jejich směsí pomocí vyrobeného průtokového senzoru, navrženého a vyrobeného autorem práce (Obrázek 3.4).



Obrázek 3.4: Řez průtokovým senzorem paliva (rozměry v mm)

Průtokový senzor (Obrázek 3.4) se skládá z dvou kovových trubiček (1,3) oddělených izolantem (2). Každá z trubiček tvoří jednu elektrodu, mezi kterými bude měřen odpor paliva. Koncové zúžení vnitřní trubičky zajišťuje průtok jejími dalšími otvory a palivo tak bude protékat i mezi bližšími plochami trubiček. Tento senzor bude zařazen do palivové soustavy před vstřikovací ventily, čímž bude zjištěno aktuálně přiváděného paliva do motoru.

Testováním jednotlivých paliv a jejich směsí bylo zjištěno, že Natural 95 lze považovat za nevodivý a naproti tomu Etanol 85 lze považovat za vysoce vodivý. Jejich mísením lze vodivost upravovat a tak je možné určení i částečné příměsi jednoho paliva v druhém.



Obrázek 3.5: Průtokový senzor

3.1.3.1 Testování systému identifikace paliva



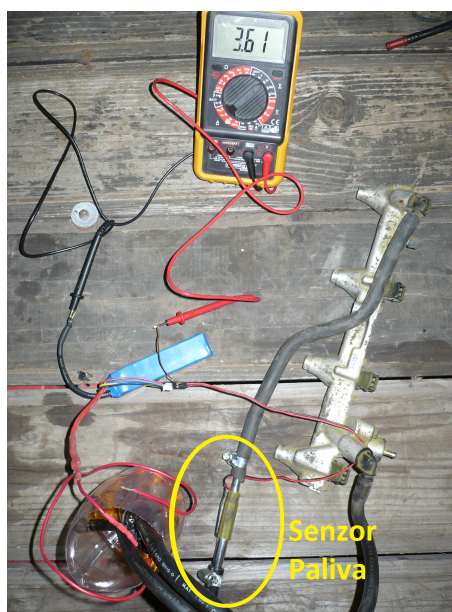
Obrázek 3.6: Ethano 85 a Natural 95

Testování systému identifikace paliva proběhlo pomocí sérií měření. První měření proběhly na čistých palivech, kdy byla zjištěna vodivost paliva Ethanol 85 oproti Naturalu 95, který se jevil jako izolant. Dále následovaly měření s různými poměry paliv (Tabulka 3.2).

Poměr E85 ve směsi (%)	Odpor směsi paliva (k Ω)
0	∞
10	250
20	200
30	150
40	80
50	45
60	28
70	25
80	23
90	22
100	21

Tabulka 3.2: Tabulka naměřených hodnot odporu směsi paliv pomocí navrženého senzoru paliva

Měření byly nejdříve provedené staticky s ponořeným senzorem paliva v nádobkách s palivem. Následně v reálných podmínkách při provozu v palivové soustavě automobilu s průtokem paliva. Naměřené hodnoty se měnily v řádu desetín k Ω , takže pro výsledné rozpoznání jde o zanedbatelný rozdíl.



Obrázek 3.7: Palivová soustava automobilu s vloženým senzorem paliva

Na obrázku 3.2 je vyobrazena testovací sestava palivové soustavy automobilu. V levé dolní části je umístěna otevřená nádoba s palivem a palivovým čerpadlem, která umožňuje postupné zvyšování koncentrace paliva Ethanol 85 v okruhu soustavy. V pravé části je vidět vstříkovač automobilu s tlakovým ventilem v přepadové části pro udržení tlaku paliva pro vstříkovače. Palivový senzor je zařazený v natlakované části mezi palivovým čerpadlem a vstříkovačím lištou motoru. Palivový senzor musí odolávat provoznímu tlaku palivové soustavy minimálně 3.3bar . Dále je vidět připojená Li-pol baterie pro napájení palivového čerpadla a senzoru paliva.

Identifikace palivové směsi je v této práci významným faktorem při řízení množství vstříkovaného paliva přidavným řídicím systémem. Využití signálu snímače umožňuje přesné řízení s vyloučením zásahu řidiče, jehož informace o podílu jednotlivých frakcích v palivu nemusí být vždy zcela validní.

3.2 Evropské exhalační normy

Exhalační neboli emisní normy stanovují limitní hodnoty výfukových exhalací. Dříve než první Euro norma existovala směrnice *EHK15*, která stanovovala emise výfukových plynů od začátku 70. let 20. století pro výrobce automobilů. V roce 1989 pak vyšla směrnice *EHK83* na, jejíž omezeních začaly být používány první řízené třicestné katalyzátory. První Euro norma byla pak vydána roku 1992 a od té doby každé 4 roky vychází novější a přísnější normy.

Normy omezují exhalační škodliviny zprvu Oxid uhelnatý (CO), Uhlovodíky a oxidy dusíku ($HC + NO_X$), později přibýly omezení v oblasti jednotlivých složek uhlovodíků (HC)

a oxidech dusíku (NO_x).

Rok/norma		$CO(g/km)$	$NO_x(g/km)$	$HC(g/km)$
1973	EHK 15.00	28,9	-	2,15
1977	EHK 15.01	23,3	-	1,83
1979	EHK 15.02	23,2	2,47	1,83
1981	EHK 15.03	18,8	2,1	1,6
1984	EHK 15.04	14,3	-	-
1990	EHK 83.00	11,1	1,48	-
1992	EUI (EHK 83.01)	3,16	1,13	
1996	EUII (EHK 83.03)	2,20	0,50	
2000	EUIII	2,30	0,15	0,20
2005	EUIV	1,00	0,08	0,10
2009	EUV	1,00	0,06	0,10
2014	EUVI	1,00	0,06	0,10

Tabulka 3.3: Přehled exhalačních norem pro benzinové motory [10]

Exhalace škodlivin jsou dány nedokonalostí spalování a nedodržením stechiometrického poměru paliva s nasávaným vzduchem. Následkem nedokonalého spalování jsou ve výfukových plynech obsaženy zbytky nespálených uhlovodíků a oxid uhelnatý. Velké množství vzduchu způsobuje reakci vytváření oxidů dusíku. V kombinaci vysoké teploty s tlakem mohou vznikat vedlejšími reakcemi i další škodliviny. [16]

Co se týče nedokonalosti spalování (efektivity) motoru, jde o záležitost převážně konstrukčního řešení samotného motoru, takže působení na poli zlepšení samotného spalování by záviselo na konstrukčním zásahu do motoru. V oblasti řízení motoru je možné, pomocí lambda sondy, hlídat obsah kyslíku ve výfukových plynech a tak zjistit zda dochází ke spalování paliva ve stechiometrickém poměru ku vzduchu.

V případě přechodu na alternativní palivo Ethanol 85 je nezávislými studii a testováním prokázáno, že v případě dodržení stechiometrického poměru, kdy hodnota $\lambda \approx 1$ dochází ke snížení škodlivých emisí. [1][13][2]

Dalším úkolem přídatného řídicího systému bude kontrola signálu z lambda sondy, a následná korekce intervalu prodloužení doby otevření vstřikovacích ventilů.

3.2.0.2 Signál z lambda sondy

Jak již bylo zmíněno v kapitole 2.2.3 hodnota λ udává poměr nasávaného vzduchu motorem a vzduchu potřebného ke spalování při stechiometrickém poměru. Lambda sondy se postupně s rozšiřujícími možnostmi technologií také vyvíjejí a je možné se setkat s různými typy lambda sond. Typy lambda sond se mohou lišit používanými materiály nebo pracují při rozdílných teplotách.

Jedním z prvních typů a pro tuto práci nejzajímavějším typem je lambda sonda s oxidem zirkoničitým, kde signál vytvářejí ionty kyslíku putující přes těleso na bázi oxidu zirkoničitého a pokoušejí se tak vyrovnat rozdíl kyslíku a to vše při teplotě $300^\circ C$. Tento typ nejčastěji

používané lambda sondy se vyrábí v provedení s 1, 2, 3 nebo 4 vodiči. V každém z případů byl jeden vodič signálový, pro 3 a 4 vodičovou sondu jsou dva kabely napájecí pro výhřev sondy na provozní teplotu a v případě 2 a 4 vodičové sondy je zbylý vodič kostřící.

Signál lambda sondy je tedy generován jako změna napětí a v případě úzkopásmové lambda sondy v rozsahu $0 - 1V$, kde hodnota signálu $> 0,45V$ znamená nízký obsah kyslíku ve spalínách (tzn. bohatá směs). Naopak hodnota signálu $< 0,45V$ znamená vysoký obsah kyslíku ve spalínách (tzn. směs chudá).

3.3 Existující řešení

Již existující a snadno dostupné moduly upravující vstřikování, počítají standardně s prodloužením doby vstřikování paliva a o 15%, které by mělo být dostatečné. Hodnota tohoto prodloužení doby vstřikování paliva je nastavitelná a to z pravidla nějakým ne příliš snadným způsobem. V těchto stávajících řešeních je již uvažováno se startováním za nízkých teplot, kdy se Ethanol 85 hůře odpařuje a je ho pro dosažení stechiometrického poměru potřeba více, a to rozšířením o režim prodlouženého vstřikování třeba až o 100%. Nízká teplota (studený start) je na posouzení uživatele. Existující dostupná řešení se zabývají převážně úpravou vícebodových vstřikovacích systémů, některé z nich jsou použitelné i na jednobodové systémy.

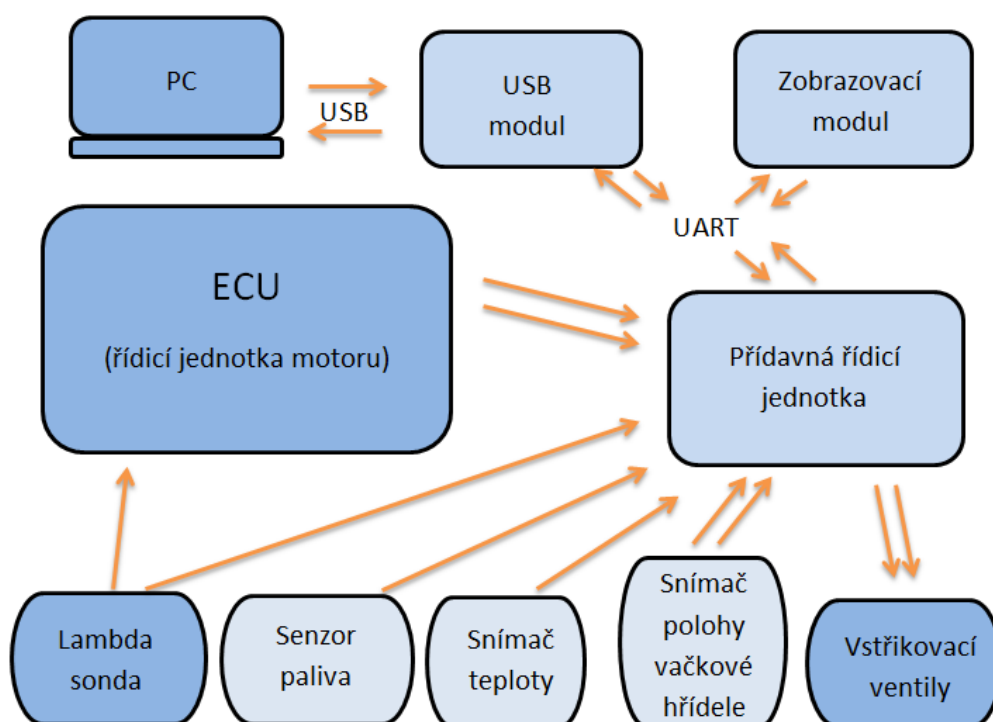
Během tvorby této práce se na trhu ukázaly další, komplexnější moduly upravující vstřikování, které nabízejí firmy i s montáží. Tyto moduly kromě prodloužování vstřikovacího intervalu, řeší nastavování pomocí počítačového programu, rozpoznání teploty motoru a v případě jediného nalezeného produktu i rozpoznání protékajícího paliva.

Z těchto stávajících řešení lze vyvodit další problematický požadavek na celý systém, a to reakci na teplotu motoru automatickým přírůstkem prodloužení doby vstřikování s klesající teplotou motoru.

Kapitola 4

Návrh a realizace vlastního řešení

Na základě analýzy požadavků, kde byly rozebrány nejnужnější vstupy a výstupy pro přídatnou řídicí jednotku, je nyní možné vybrat hardware a navrhnout celý systém tak, že bude umožňovat přechod na alternativní palivo Etahnol 85. Vzhledem k úpravě signálu podle několika snímačů, je vhodné navrhnout a vytvořit kromě přídatné řídicí jednotky i rozšiřující modul pro diagnostiku systému. Pro přehledný popis celé koncepce bylo zhotoveno blokové schéma 4.1, ze kterého bude vycházet návrh a konstrukce.



Obrázek 4.1: Blokové schéma

Schéma lze rozdělit na několik částí, které budou popsány ve sledu následujících kapitol. Do blokového schématu jsou začleněny toky informací (signálů) a komunikační rozhraní mezi moduly. Popis schématu. Modře jsou na schématu zachyceny existující prvky celku systému. Šedivé jsou bloky návrhu řídicího systému pro použití alternativního paliva automobilu. Blok Přídavná řídicí jednotka je pro náš návrh výchozí. Tato jednotka bude konstruována pro autonomní provoz na základě údajů od senzoru paliva, snímače teploty, původní lambda sondy a doplňujícího snímače polohy vačkové hřídele. Úkolem jednotky dle analýzy je přepočítání délky impulzu výstupního signálu z ECU, na základě sensoriky, a generování pulzu nového. Blok schématu Zobrazovací modul zahrnuje možnosti výčtu údajů ze sensoriky, výčtu informace vstupního i výstupního signálu a jednoduché nastavení přídavné řídicí jednotky. Pro možnosti rozsáhlejší zprávy, zaznamenání a zpracování údajů sensoriky i stavů je v blokovém schématu navržen článek USB modulu pro připojení přídavné řídicí jednotky k PC.

4.1 Přídavná řídicí jednotka a její snímače

Hlavním úkolem přídavné řídicí jednotky je úprava vstupního signálu T_{in} (3.1) na signál T_{out} (4.3) každého vstřikovacího ventilu motoru na základě hodnot získaných ze senzoru paliva. Koeficient k (3.2) bude potom dán vztahem:

$$k = k_{100} \times P_E \quad (4.1)$$

, kde k_{100} je procentuální prodloužení vstřiku při 100% podílu Ethanolu 85 v palivu a hodnota P_E udává poměr paliva Ethanol 85 ve výsledné směsi s benzínem.

Dalším úkolem je přesnější řízení prodloužení signálu pro dodržení exhalačních norem pomocí hodnot získaných z lambda sondy.

Vztah pro koeficient k lze tedy upravit do podoby:

$$k = k_{100} \times P_E - k_\lambda \times (1 - \lambda) \quad (4.2)$$

, kde k_λ je korekční procentuální konstanta, která bude aplikována poměrnou částí v případě $\lambda \neq 1$.

Posledním úkolem přídavné řídicí jednotky je rozhodnout o teplotě motoru a nutnosti většího prodloužení signálu v závislosti na teplotě motoru. V první řadě v režimu startu a zahřívání motoru při nízkých teplotách ($< 10^\circ\text{C}$), kdy tlak par (těkavost) paliva Ethanol 85 výrazně klesá. Při nižších teplotách tedy bude upravena hodnota k_{100} podle teploty, respektive pro teploty menší než zvolená teplota bude k_{100} nabývat jiné hodnoty než v případě teploty provozní.

Hodnoty proměnných k_{100} pro provozní nebo nízké teploty, hranice nízké a provozní teploty a P_E jsou hodnotami nastavitelnými v přídavné řídicí jednotce pro lepší nastavení celého systému vůči rozdílným motorům.

Pro možnost nastavení výše zmíněných parametrů je varianta úpravy změnou v softwaru řídicí jednotky, nebo rozšíření jednotky o komunikační rozhraní, přes které je možné přídavnou jednotku diagnostikovat a snadno nastavit.

Jednotka tedy řeší i komunikaci pomocí sériového rozhraní, na kterém odesílá informace o hodnotách ze svých připojených čidel a zároveň základní údaje o vstupním a výstupním

signálu. S touto komunikací jsou v rámci diagnostiky a nastavení vytvořena další dvě zařízení. Jedno soběstačné, které umožní jednoduché zobrazení informací z přídatné řídicí jednotky a druhé, které slouží jako prostředník pro připojení přídatné řídicí jednotky k počítači pomocí USB rozhraní, za účelem nastavení výše uvedených proměnných.

4.1.1 MCU

MCU neboli micro control unit má na starost řízení a ovládání zařízení. V případě této práce, jako v mnoha dalších složitějších elektronických zařízeních, je srdcem celého obvodu. Při výběru vhodné MCU je nutné se zaměřit na požadavky, jež jsou na přídatnou řídicí jednotku kladeny. Dle čeho vybírat na jaké bázi celý projekt postavíme. Kritéria jsou následující. Odolnost, rozšiřitelnost, dostupnost, spotřeba a pro vývoj dostupnost součástek a čipů nejlépe v DIP pouzdrech. Ve vybíraných platformách lze volit ze tří rodin mikrokontrolerů PIC (Microchip), AVR (Atmel) a ARM (SP). o FPGA nemá cenu příliš uvažovat, protože zásadně pokulháva cenovou dostupností a dostupností obecně. Při výběru mezi výše uvedenými, rozhodování směřovalo k AVR na základě zkušeností z dřívějších projektů. ARM platforma vynikající vysokým výpočetním výkonem, schopností zpracovat relativně velké toky dat a taktem v řádu desítek MHz, je pro jednodušší elektroniku obstarávající spínání s napětím v řádu desítek voltů, sběru dat z čidel a zobrazování informací, jakožto platforma pracující převážně na 3,3V TTL nevhodná. Vyřazení platformy PIC z výběru je pak asi otázka vyznání.

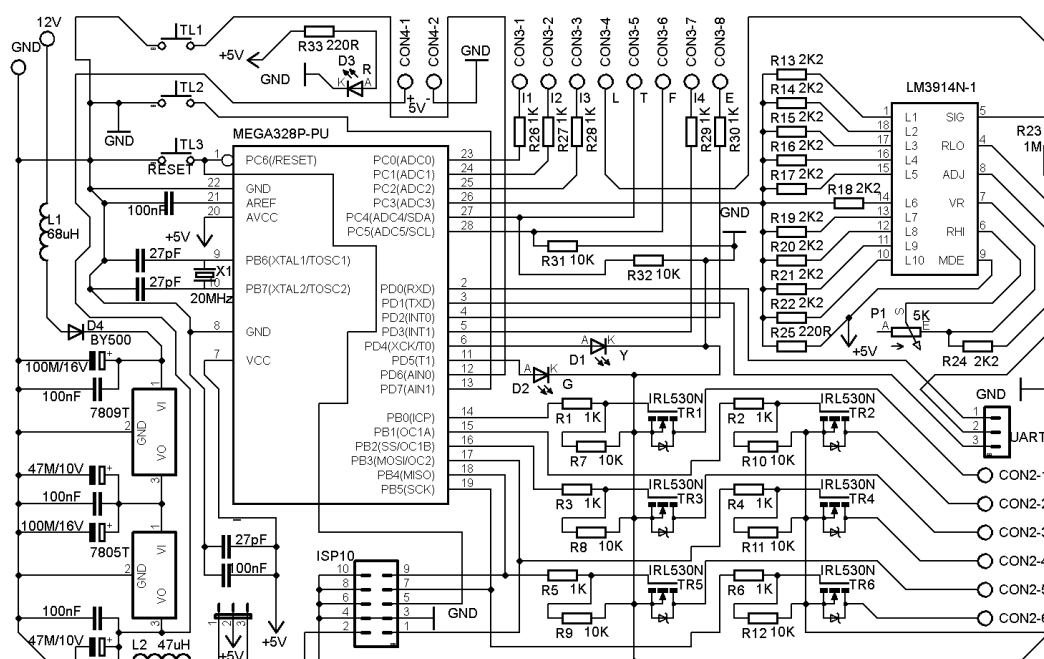
Tušení programové náročnosti a potřeby dostatku portů při zachování DIP pouzdra vedlo k výběru mikrokontroléru platformy AVR a to ATmega328P-PU.

Výběr konkrétního typu mikrokontroléru stanovily požadavky na dostupnost v DIP pouzdru, vyšší taktovací frekvenci externím krystalem, dostatečné množství vstupních a výstupních portů, měření analogových veličin, UART komunikace, programovatelný Watchdog, paměť EEPROM pro trvalé uložení stavu, možnost externího přerušení. Přítomnost ISP pro snadné naprogramování je výhodou. Souhrnem těchto požadavků pak bylo zvoleno 8-bit MCU od firmy Atmel ATmega328P-PU. Tento jednočipový kontrolér je nejen pro přídatnou řídicí jednotku, ale i pro přidružené moduly. Je programovatelný ve vyšším programovacím jazyce C.

Jak již bylo uvedeno, jde o 8-bit mikrokontrolér platformy AVR, založené na CMOS technologii. Využívá redukovanou instrukční sadu instrukcí RISC. Jednočip je založen na harvardské architektuře a má tedy oddělenou paměť dat od paměti programu. Paměť programu je tvořena elektronicky programovatelnou FLASH pamětí o velikosti 32KB. Paměť pro opravy má pak 2kB a je tvořena statickou polovodičovou pamětí SRAM. Programování FLASH je možné realizovat rozhraním JTAG, v této práci využívám rozhraní ISP. Komplexnější popis je v nalezení datasheetu výrobce společně s podrobnějším popisem jednotlivých pinů a funkcí [3].

4.1.2 Schéma zapojení a realizace prototypu

Tato kapitola popíše teoretické i praktické zapojení přídatné řídicí jednotky. Samotný návrh zapojení je možné rozčlenit do několika jednotlivých částí. Mezi tyto části patří napájení TTL



Obrázek 4.2: Schéma zapojení přídatné řídicí jednotky

logiky a čidel, TTL logika se vstupy a komunikací, silové výstupy a obvod překladač vstupního signálu lambda sondy.

V levé části schématu je vytvořené napájení pomocí kaskádově zapojených stabilizátorů 7809 a 7805 [8] s kondenzátory a tlumivkami. Toto zapojení je užitečné z hlediska rozložení tepelných ztrát lineárních stabilizátorů. Také se v minulosti osvědčilo jako dostačující filtrace proti rušení napájení TTL od dalších elektronických zařízení v palubní síti automobilu. V dřívějších projektech se alternátor nebo poklesy napětí při startování projevovaly na napájení mikrokontroléru restartem TTL logiky. Indikace aktivního napájení je provedena emitační světla LED diodou D3.

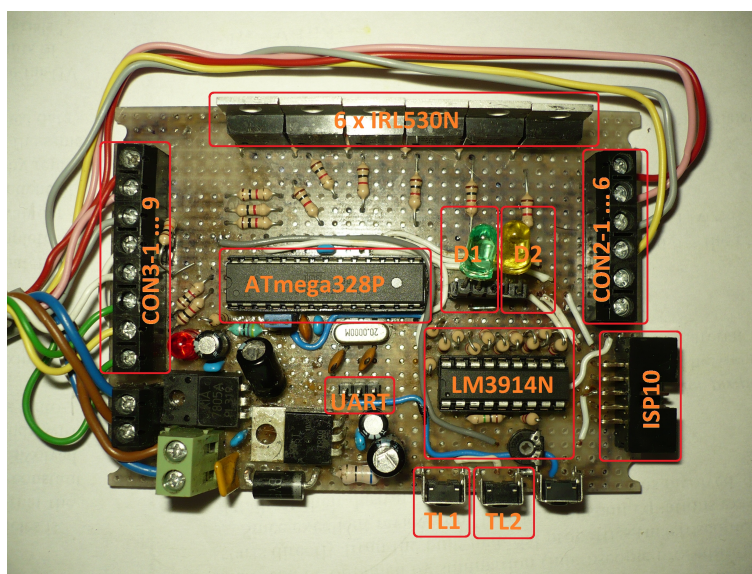
Část obvodu obstarávající výpočetní sílu, obsluhu vstupních a výstupních portů a komunikaci, je složena ze zvoleného mikrokontroléru ATmega328P s 20MHz krystalem X1, programovacím konektorem ISP10, vývodem pro připojení dalších zařízení na sériové rozhraní UART 5V TTL, dvou tlačítek TL1 a TL2 v podobě mikrospínačů, dvou LED diod D1 a D2 a tlačítka reset. Tato logika vyhodnocuje informaci o teplotě motoru A/D převodem na vstupním pinu PC4 a druhu paliva na PC5. Logické vstupy přijímaného signálu z motorové řídicí jednotky jsou rozloženy na piny PC0, PC1, PC2, PD2 a PD3.

A/D převodníkem na pinu PC3 je odečítána transponovaná hodnota signálu z lambda sondy. o tento převod signálu z lambda sondy se stará obvod LM3914N [9]. Jedná se o obvod stupnicového ovladače o deseti krocích. Obvod je osvědčený pro okamžité zobrazování rychle měnících se hodnot vstupního signálu. Využíván je například pro zobrazovače funkce lambda sondy. V mém zapojení je použit netradičně jako desetistupňový napěťový dělič pro transponování signálu lambda sondy pro výše uvedený A/D převodník. Po převodu signálu z lambda sondy vzniká desetistupňové ohodnocení signálu lambda sondy. Správná kalibrace

stupňovaného výstupu potenciometrem P1 je dostačující pro následné vyhodnocení signálu TTL logikou. Tento obvod byl zařazen po sérii testování, kdy nebylo možné odečíst hodnotu přímo pomocí interního A/D převodníku mikrokontroléru. Docházelo ke znehodnocení signálu pro motorovou řídicí jednotku, která následkem toho nebyla schopná motor udržet dále v chodu.

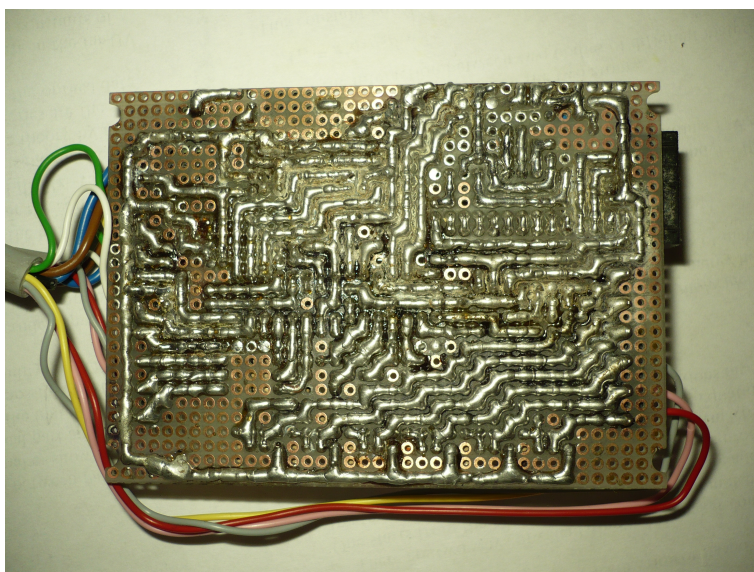
Čtvrtý kvadrant schématu 4.2 popisuje zapojení šestice tranzistorů TR1 až TR6. Tranzistory jsou určeny ke spínání vstříků až šestiválcového motoru. Způsob ovládání vstříkovacích ventilů je ve většině konvenčních automobilů řešen přivedením negativního pólu baterie k jednomu ze dvou kontaktů vstříkovače. Vstříkovač je po otočení klíčem v zapalování druhým kontaktem připojen k pólu kladnému. Jako koncové výstupními tranzistory jsou použity tranzistory IRL530N [14] s logickým vstupem pro sepnutí.

Realizovaný prototyp s popisky odkazující se na schéma je vyobrazen na obrázcích 4.3 a 4.4. Prototyp je zapojován na laboratorní desku plošných spojů bez návrhu layoutu, pouze dle schématu.



Obrázek 4.3: Prototyp přídatné řídicí jednotky zhora

Na prvním obrázku je zachyceno rozmístění jednotlivých součástek od logiky a po rezistory. Černá neoznačená svorkovnice vedle CON3 je vývodem pro 5V napájení pro senzoriku. Zelená svorkovnice v blízkosti je vstupem 12V napájení s palubní sítě automobilu. Druhý obrázek odhaluje pohled na desku zespoda a propojení jednotlivých součástek zařízení nevzhlednými, byť spolehlivě funkčními cestami.



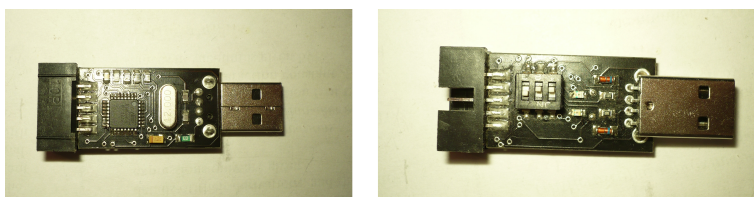
Obrázek 4.4: Prototyp přídavné řídicí jednotky zdola

4.1.3 Software

Hardware je zhotoven, a součástí této práce je i vytvoření programového vybavení. Při výběru mikrokontroléru byl jeden z vítaných parametrů programovatelnost ve vyšším programovacím jazyce C. Výhodou je, že se jedná o jeden z nejpoužívanějších programovacích jazyků, je k němu rozsáhlá podpora a mnoho známých vyřešených problematik.

4.1.3.1 Vývojové prostředí

Pro vytvoření programového vybavení přídavné řídicí jednotky bylo použito AVR studio 4 využívající kompilátor a knihovny WinAVR 20100110. Pro samotné nahrání instrukčního souboru do mikro kontroléru pak bylo použito snadno dostupného programátoru AVR USBasp s programem avrdude-GUI.



Obrázek 4.5: Programátor AVR USBasp

4.1.3.2 Vstupy a výstupy

Základními vstupy a výstupy přídavné řídicí jednotky jsou vstupy od motorové jednotky a výstupy pro vstřikovací ventily. Pro každý ze vstupů je přiřazený výstup. Úprava vstupního

signálu na výstupní se provádí v přerušení časovače mikrokontroléru Timer0. Algoritmus úpravy signálu umožňuje přesný přepočítání délky impulsu vstupního signálu. Timer0 má zároveň na mikrokontroléru jednu z nejvyšších priorit a je tak zajištěna v první řadě úprava signálu před ostatními úkony. Nastavení přerušení časovače je v přepočtu na 0.02ms, což je pro signál s přesností v řádu 0,05ms podle vzorkovacího (Shanon-Kotělnikova) teorému dostatečná vzorkovací frekvence.

Ukázka kódu základního algoritmu:

```
ISR (TIMER0_COMPA_vect) {
    time2++;
    if(PINC&0b0000001){
        if(stat ==1){
            add = ((float)(time1) / 100 )* k;
            time1end = time1;
            time1=0;
        }
        stat = 0;
        if(add>0){
            add--;
        }else{
            cbi(PORTB, 0);
        }
    }else{
        if(stat == 0){
            time2end = time2;
            time2=0;
        }
        time1++;
        stat = 1;
        sbi(PORTB, 0);
    }
    if(PINC&0b0000010){...}
}
```

Algoritmus v každém cyklu kontroluje stav vstupního pinu 0 portu *C*. Pokud je pin připojen k zápornému pólu napájení, inkrementuje proměnnou *time1*, přejde do stavu 1 a příslušný výstup 0 na portu *B* sepne. Dále když dojde k odpojení vstupního signálu, algoritmus vypočítá hodnotu *add* prodloužení signálu z inkrementovaného *time1* a přejde do stavu 0. S každým dalším cyklem hodnotu z prodloužení odečítá. Po postupné dekrementaci do hodnoty proměnné $add \leq 0$, dojde k rozepnutí výstupního pinu 0 na portu *B*. Proměnné *time1end* a *time2end* slouží k dalším zpracováním, popřípadě jsou odesílány na sériové rozhraní UART jako diagnostické informace. Tento algoritmus se v rámci přerušení časovače *Timer0* vykonává pro všechny páry pinů vstup-výstup, aby bylo zajištěno převedení vstupního impulsu na správný výstup.

Proměnná *k*, ze které je vypočítáno prodloužení sepnuté části signálu, je vzhledem k časové náročnosti zpracování hodnot z více A/D převodníků a následným operacím v datovém

typu *float* vypočítávána v hlavní smyčce programu.

4.1.3.3 Teplota, palivo a hodnota lambda

Teplota motoru, neboli motorového prostoru (v závislosti na umístění termistoru) je převedena z termistoru na 10-bit hodnotu A/D převodníku. Tato 10-bit hodnota z převodníku je převedena na hodnotu odporu termistoru a následně je vypočítána teplota pomocí β rovnice [15] pro výpočet teploty z odporu termistoru na základě β koeficientu termistoru.

$$\frac{1}{T} = \frac{1}{T_0} + \frac{1}{\beta} \ln\left(\frac{R}{R_0}\right) \quad (4.3)$$

, kde T je výsledná teplota, T_0 je daná teplota při určitém odporu R_0 , koeficient β je dán výrobcem termistoru a R je odpor termistoru

Na základě testování paliv byla v rámci práce stanovena tabulka hodnot pro poměry paliv ve směsi. Pomocí této tabulky je v jedenácti stupních určeno, jak velká příměs paliva Ethanol 85 je v směsi obsažena (Tabulka 4.1).

ADC palivový sensor	231	233	235	250	280	330	390	410	420	425	430
poměr E85 ve směsi (%)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100

Tabulka 4.1: Tabulka převodu hodnot z A/D převodníku palivového senzoru procentuální zastoupení E85 v palivové směsi

Odečtení hodnoty lambda probíhá podobně jako u palivového senzoru. Hodnoty z A/D převodníku jsou rozděleny do jedenácti stupňů. Následně je hodnota z A/D převodníku transponována na napěťovou úroveň získanou z lambda sondy (Tabulka 4.2).

ADC lambda	1023	935	862	800	746	700	669	622	590	560	535
lambda (V)	0.1	0.15	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.85	0.9

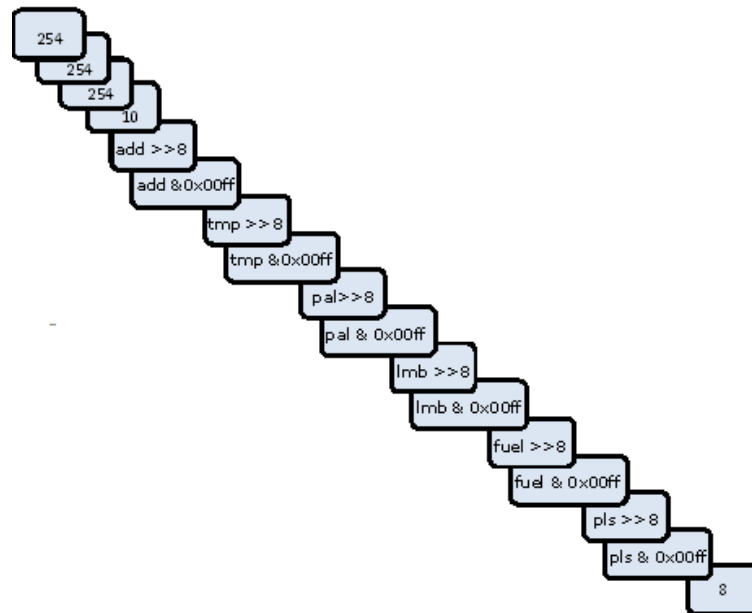
Tabulka 4.2: Tabulka převodu hodnot z A/D převodníku na napěťovou úroveň lambda sondy

4.1.3.4 Komunikace UART

Poslední programově obsluhovanou periferií procesoru je komunikační sériové rozhraní UART. Přídavná řídicí jednotka periodicky odesílá informace o svých vstupech, výstupech a čidlech ve formě sedmnácti po sobě jdoucích bajtů obsahující: hodnotu aktuálního prodloužení signálu, hodnotu získanou s teplotního čidla, interval sepnutí vstřikovacího ventilu, hodnotu z lambda sondy, hodnotu z palivového senzoru a frekvenci spínání vstřikovačů. Celá zpráva je obalena do počáteční a koncové sekvence pro rozpoznání začátku zprávy, popřípadě špatného doručení.

Na obrázku 4.6 jsou rozkresleny postupné bajty odesílaných informací. Sekvence začíná třemi po sobě jdoucími hodnotami 254, které udávají začátek rámce, následuje hodnota udávající typ odesílaných dat, a poté už jsou odesílány jednotlivé proměnné: *add* je aktuální

hodnota prodloužení výstupního impulsu, *tmp* je hodnota odečtená z A/D převodníku pro teplotní čidlo, *pal* je proměnná udávající aktuální délku výstupního impulsu, *lmb* je hodnota odečtená z A/D převodníku pro lambda sondu, *fuel* je hodnota odečtená z A/D převodníku pro palivový senzor, *pls* je proměnná udávající časový interval mezi počátky jednotlivých impulsů. Jako poslední je odeslána hodnota 8 pro kontrolu uzavření celého rámce.



Obrázek 4.6: Sekvence odesílaných bajtů

Ukázka kódu pro odesílání jednotlivých bajtů po sériovém rozhraní uart

```

USART_SendByte(254);
USART_SendByte(254);
USART_SendByte(254);
USART_SendByte(10);

USART_SendByte(add >> 8);
USART_SendByte(add & 0x00ff);
USART_SendByte(tmp >> 8);
USART_SendByte(tmp & 0x00ff);

USART_SendByte(pal >> 8);
USART_SendByte(pal & 0x00ff);
USART_SendByte(lmb >> 8);
USART_SendByte(lmb & 0x00ff);

USART_SendByte(fuel >> 8);
USART_SendByte(fuel & 0x00ff);

```

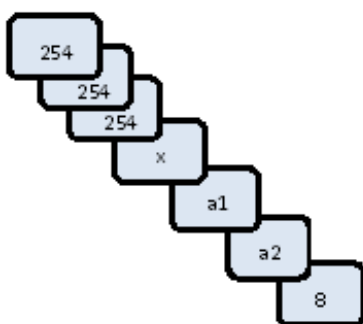
```

USART_SendByte(pls >> 8);
USART_SendByte(pls & 0x00ff);

```

Kromě odesílaných informací také jednotka reaguje na příchozí požadavky pomocí přerušení. Určitou sekvencí odesílaných bajtů je možné nastavit hodnoty ovlivňující úpravu signálu. lze nastavit hranici teplého a studeného motoru, procentuální úpravu v režimu studeného nebo teplého motoru a koeficient úpravy v závislosti na lambda sondě.

Na obrázku 4.7 jsou rozkresleny bajty přijímané zprávy. Sekvence opět začíná třemi po sobě jdoucími hodnotami 254, které udávají začátek rámce, následuje hodnota x udávající typ příkazu. Pro $x = 0$ jde o příkaz ze zobrazovací jednotky a nastavuje se aktuální hodnota prodloužení impulzu a hodnota je potom odeslána jako $a1$, pro $x = 1$ jde o příkaz nastavující hranici studeného a ohřátého motoru, neboli přechod kdy se aplikuje větší prodloužení výstupního signálu nebo naopak. Potom hodnota přechodu je odeslána jako 16 bitová hodnota, kde první bajt je $a1$ a druhý bajt $a2$. Pro $x = 2$ jde o příkaz nastavující hodnotu prodloužení vstřikovacího impulzu při ohřátém motoru a pro $x = 3$ jde o nastavení prodloužení při studeném motoru. Hodnoty jako v případě $x = 0$ jsou odeslány jako jeden bajt $a1$. Pro $x = 4$ jde o nastavení základu lambda korekce jako 8-bit hodnoty $a1$. Potvrzení konce příkazu je poslední odeslanou hodnotou 8. Jakákoli nesrovnalost v začátku nebo konci rámce vede k zahazení všech odeslaných hodnot příkazu na straně příjemce.



Obrázek 4.7: Sekvence přijímaných bajtů

Ukázka kódu přerušení pro příjem jednotlivých bajtů po sériovém rozhraní UART. Příjem celé zprávy využívá přechodu stavů mezi jednotlivými přijatými bajty a akceptuje počáteční sekvenci a ukončení rámce. Pokud je splněno, vybere se na základě hodnoty `USARTbuf[0]` příkaz a vykoná se.

```

ISR(USART_RX_vect) { //interrupt of received byte by UART
    if ((UCSROA & (1 << RXCO))) {
        value = UDR0;
        if (state == 0 && value == 254) {
            state = 1;
        } else if (state == 1 && value == 254) {
            state = 2;
        } else if (state == 2 && value == 254) {

```

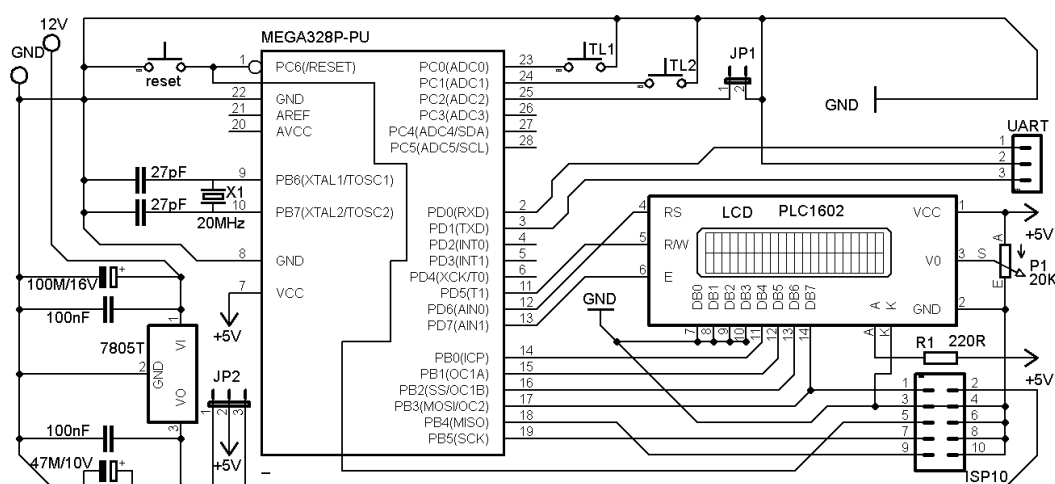
```
    state = 3;
  } else if (state == 3) {
    USARTbuf[0] = value;
    state = 4;
  } else if (state == 4) {
    USARTbuf[1] = value;
    state = 5;
  } else if (state == 5) {
    USARTbuf[2] = value;
    state = 6;
  } else if (state == 6 && value == 8) {
    if (USARTbuf[0] == 0) { //set up add from LCDdev
      if (tmp < tempHC) {
        plusC = USARTbuf[1];
        eeprom_write_byte(&plusCold, plusC);
      } else {
        plusH = USARTbuf[1];
        eeprom_write_byte(&plusHot, plusH);
      }
    }
    if (USARTbuf[0] == 1) { //set up limit of hot/cold
      tempHC = USARTbuf[1]*256 + USARTbuf[2];
      eeprom_write_word(&tempHotCold, tempHC);
    }
    if (USARTbuf[0] == 2) { //set up add hot from USBdev
      plusH = USARTbuf[1];
      eeprom_write_byte(&plusHot, plusH);
    }
    if (USARTbuf[0] == 3) { //set up add cold from USBdev
      plusC = USARTbuf[1];
      eeprom_write_byte(&plusCold, plusC);
    }
    if (USARTbuf[0] == 4) { //set up add cold from USBdev
      lambdab = USARTbuf[1];
      eeprom_write_byte(&lambdabase, lambdab);
    }
    state = 0;
  } else {
    state = 0;
  }
}
}
```

4.2 Zobrazovací modul

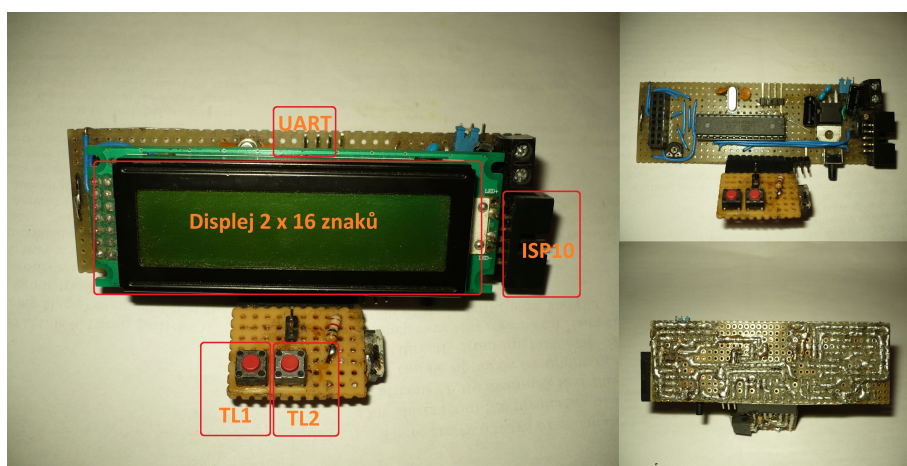
Zobrazovací modul slouží primárně k diagnostice a zobrazení údajů z jednotlivých čidel. Parciálním úkolem je možnost přenastavení základního prodloužení signálu.

4.2.1 Hardware

Zobrazovací modul je založena na mikrokontroléru AtMega328P (4.1.1) od firmy Atmel s osazeným 20mhz krystalovým oscilátorem. Tento mikrokontrolér zde obsluhuje komunikaci na sériovém rozhraní UART a dále informace zpracovává a reprezentuje na LCD displej 2x16 znaků PQC1602K-SYL [12].



Obrázek 4.8: Schéma zapojení zobrazovacího modulu



Obrázek 4.9: Prototyp zobrazovacího modulu

Na obrázku (4.8) je vidět navržené zapojení zobrazovacího modulu. V levé části schématu je vytvořeno napájení se stabilizátorem 7805 [8] s kondenzátory. Zde jde jen o jednoduché napájení, nehraje stěžejní roli při celkovém chodu přídavné řídicí jednotky. V pravé části pak zapojení alfanumerického displeje, nebo programovacího rozhraní ISP10 a komunikačního rozhraní UART.

4.2.1.1 UART

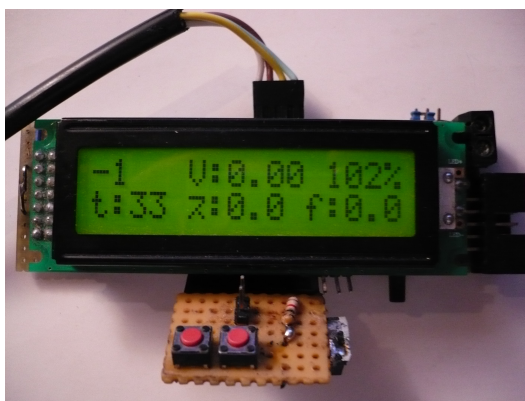
Obsluha Sériového rozhraní UART je prováděna v přerušení, kde reaguje na správné příchozí sekvence. Po přijmutí správné sekvence mikrokontrolér spočítá hodnotu teploty, která byla doručena ve formě hodnoty A/D převodníku z přídavné řídicí jednotky. Také převede hodnotu z A/D převodníku palivového senzoru a lambda sondy, které jsou též odesílány v "surové podobě" hodnoty A/D převodníku. Vše je provedeno podle kapitoly 4.1.3.3.

Kromě příjmu informací pomocí sériového rozhraní UART je možné odesílat také sekvence pro nastavení připojené přídavné řídicí jednotky. V případě zobrazovacího modulu jde o implementaci nastavení základního prodloužení signálu. Při příjmu hodnoty se přídavná řídicí jednotka rozhodne, zda jde o nastavení režimu studeného nebo teplého motoru, podle toho v jakém režimu se právě nachází. Pro konkrétní nastavení jedné nebo druhé hodnoty, popřípadě hraniční teploty, slouží pak USB modul.

4.2.1.2 Displej

Na displeji 2x16 znaků jsou zobrazovány údaje přijaté z přídavné řídicí jednotky. Přijaté údaje nejsou ve zcela srozumitelné formě, protože je zbytečné již tak dost vytíženou řídicí jednotku zatěžovat převody mezi hodnotami A/D převodníku a čitelnými hodnotami, překlad pro čitelnost údajů obstarává připojené zobrazovací zařízení.

Jak je vidět na obrázku 4.10 je zde zobrazováno 6 hodnot, odleva nahoře jde o otáčky motoru, délku otevření vstřikovacího ventilu v milisekundách, hodnotu délky impulzu signálu oproti původnímu signálu. Na druhém řádku pak teplota v motorovém prostoru, hodnota lambda sondy ve Voltech a nakonec množství alternativního paliva Ethanol 85 ve směsi.



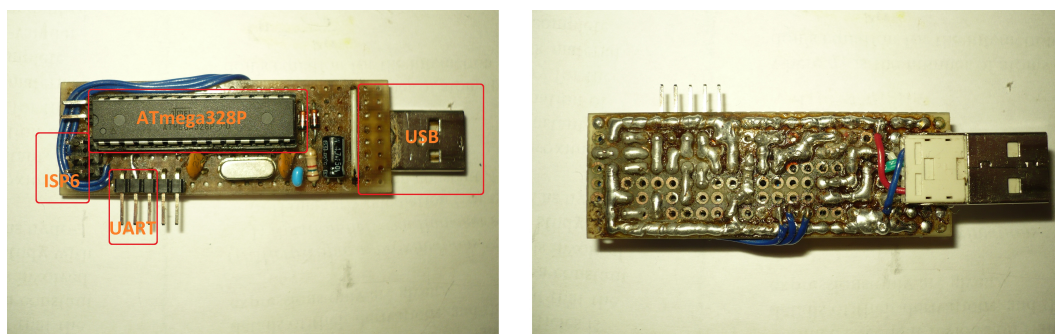
Obrázek 4.10: Aktivní displej, zobrazovací jednotky, při stojícím motoru

4.2.1.3 Tlačítka

Aby nezůstalo u jednoduchého zobrazování jsou zde i dvě tlačítka, která umožňují odeslání příkazu pro změnu základního prodloužení signálu. Upravená hodnota prodloužení je odeslána pomocí sériového rozhraní UART do hlavní řídicí jednotky.

4.3 USB modul diagnostiky

Jedná se o USB zařízení, je postavené na mikrokontroléru ATmega328P (4.1.1), který nemá vlastní hardwarovou implementaci USB řadiče. Vzhledem ke špatné dostupnosti mikrokontrolérů, které hardwarový USB blok obsahují společnost atmel zveřejnila softwarovou implementaci knihovny, která programově emuluje low-speed USB [4]. Knihovna je rozdělitelná na optimalizovanou část instrukční napsanou v jazyku assembler, kde se odehrává samotné zpracování stavů pinů připojených k USB a část, která je již napsána v C a pracuje s definovanými registry, pro příjem, či odesílání.



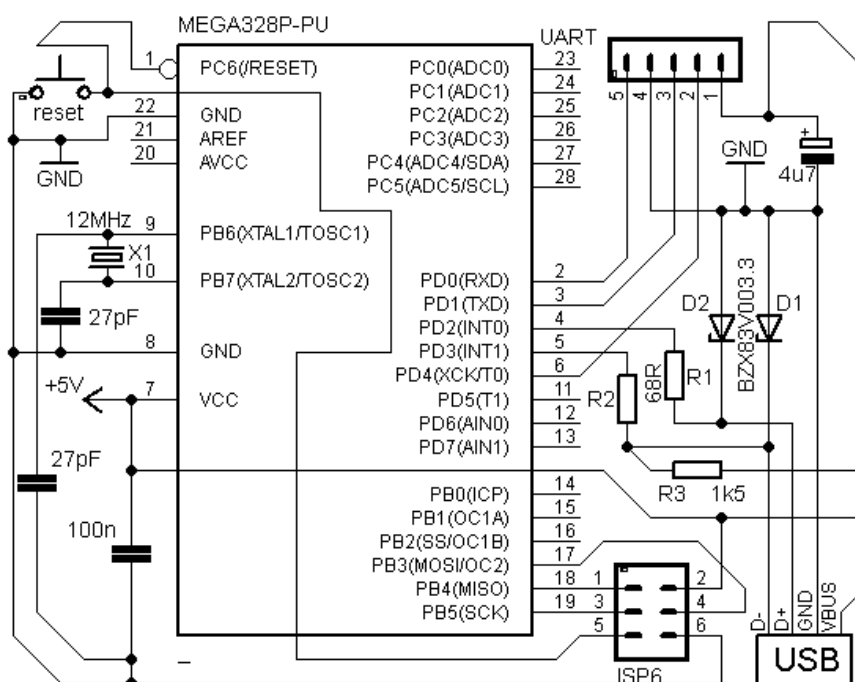
Obrázek 4.11: Prototyp USB modulu diagnostiky

4.3.1 Hardware

Schéma zapojení vychází z podstaty používání USB, kdy je samotný USB konektor přivezen na piny PD2 a PD3 pro které je alternativní externí přerušení. Signálové napětí TTL 5V snižují zenerovy diody D1 a D2 na TTL 3.3V. Zařízení má jako vstup a výstup vytvořený konektor se sériovým rozhraním. Modul disponuje dvěma dvojicemi vývojových pinů pro připojení tlačítka nebo diagnostické diody. Pro programování USB modulu je zde zavedeno rozhraní ISP6. USB modul s mikrokontrolérem je napájen ze sběrnice USB. Oproti předchozím dvěma modulům je mikrokontrolér taktován 12Mhz externím oscilačním obvodem z důvodu vhodného časování sběrnice USB.

4.3.2 Software

Tvorba programového vybavení se v USB zařízení skládá ze dvou částí. První částí je identifikace zařízení a druhou částí je obsluha samotných uživatelských požadavků. V dalším



Obrázek 4.12: Schéma zapojení USB modulu

průběhu komunikace se tyto části prolínají, z důvodu neustálé kontroly připravenosti připojeného USB zařízení. Komunikace je u klientského zařízení iniciována ze strany hosta. Klientské zařízení musí reagovat na každý požadavek v dostatečně krátkém čase jinak bude odpojeno. SF tímto úkolem je nutné na procesoru ATmega328P se vypořádat na úrovni softwaru, protože neobsahuje hardwarový blok pro USB sběrnici.

4.3.3 UART

I zde v tomto modulu je komunikace vytvořena sekvencí odesílaných bajtů tak, aby byl modul použitelný ekvivalentně za modul zobrazovací, to znamená, že přijímá stejné sekvence bajtů, jen je nezpracovává přímo, ale odesílá pomocí USB sběrnice do hostovacího počítače, kde je možné informace dále zpracovat.

4.3.4 USB

Reakce zařízení na USB komunikaci se odehrává na základě externích přerušení (alternativních funkcí pinů PD2 a PD3). Při přerušení mikrokontroléru jsou plněny zásobníky přichozími informacemi. Obsluha USB portu se poté odehrává v nekonečné smyčce, ve které se kontroluje, jestli byla přijata nějaká data. Pokud jde o data setup endpointu (0), rozhoduje se o jaký typ žádosti jde.

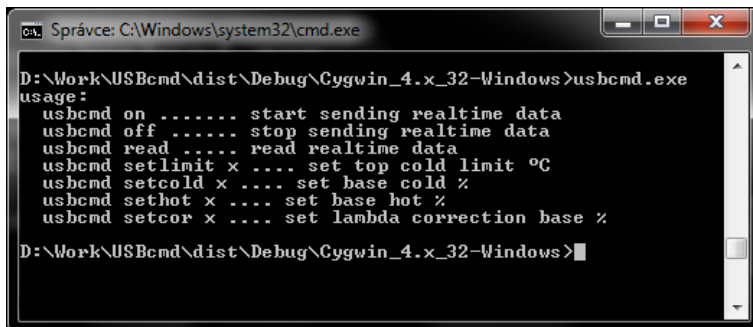
Jsou zde definované žádosti podle příkazů volaných z USB hostovacího zařízení, pro žádost 1 se vypíná nebo zapíná odesílání informací přijatých po sériovém rozhraní UART na

interrupt endpoint USB do hostovacího zařízení. Žádost 3 obsahuje nastavovací hodnotu pro hodnotu přechodu studený / ohřátý motor, žádost 4 obsahuje hodnotu prodloužení výstupního signálu přídatné řídicí jednotku pro studený motor a žádost 5 prodloužení pro ohřátý motor. Žádost 6 nakonec umožňuje nastavení základu pro lambda korekci. Při volání nastavovací žádosti je pomocí sériového rozhraní UART odeslána nastavovací sekvence přídatné řídicí jednotce.

Při zpracování žádosti je vytvořena odpověď hostujícímu zařízení a je naplněn buffer odchozí zprávy, a následně odeslána maximální část dat, která je možná (pro low-speed 8 bajtů). Pokud je informací více, jako například v případě descriptorů, jsou další části odeslané v následujících cyklech. Zároveň se v každém cyklu kontroluje, zda nedošlo k resetu, který se detekuje pomocí cyklu kontrolou, zda piny D+ a D- byli ukostřeny společně. Po obslužení všech požadavků následuje naplnění bufferu pro odeslání dat na interrupt endpointu [7].

4.3.4.1 Programové vybavení PC

Na straně USB hosta bylo pro vývoj aplikace použito vývojové prostředí netbeans s kompilátorem cygwin a knihovnamy libusb. Výsledkem je konzolová aplikace, spolupracující s výše popsaným zařízením, která umožňuje jednoduché nastavení a diagnostický výpis vstupů a výstupů přídatné řídicí jednotky. Na obrázku 4.13 je vidět výpis příkazů, které aplikace podporuje. Na obrázku 4.14 je výpis aktuálních informací z přídatné řídicí jednotky.

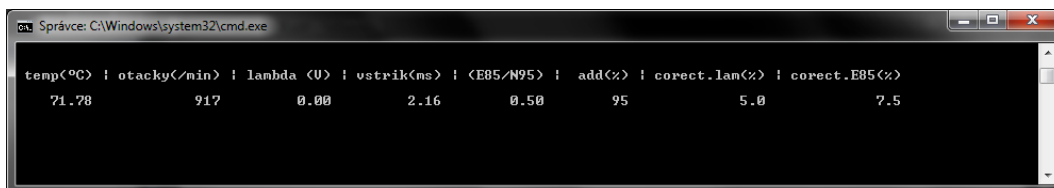


```

Správce: C:\Windows\system32\cmd.exe
D:\Work\USBcmd\dist\Debug\Cygwin_4.x_32-Windows>usbcmd.exe
usage:
usbcmd on ..... start sending realtime data
usbcmd off ..... stop sending realtime data
usbcmd read ..... read realtime data
usbcmd setlimit x .... set top cold limit °C
usbcmd setcold x .... set base cold %
usbcmd sethot x .... set base hot %
usbcmd setcor x .... set lambda correction base %
D:\Work\USBcmd\dist\Debug\Cygwin_4.x_32-Windows>

```

Obrázek 4.13: Příkazy konzolové aplikace pro diagnostiku



```

Správce: C:\Windows\system32\cmd.exe
D:\Work\USBcmd\dist\Debug\Cygwin_4.x_32-Windows>usbcmd.exe
temp(°C) | otacky(/min) | lambda (U) | ustrik(ms) | (E85/M95) | add(%) | corect.lam(%) | corect.E85(%)
71.78 | 917 | 0.00 | 2.16 | 0.50 | 95 | 5.0 | 7.5

```

Obrázek 4.14: Výpis konzolové aplikace pro diagnostiku

4.4 Další možné rozšíření

V průběhu tvorby celé práce, se objevilo několik možností rozšíření za účelem celkového zlepšení tvorby směsi. Mezi takovéto možnosti patří například přesné snímání polohy vačkové hřídele, která by u starších motorů se spřaženými více vstřikovači (simultánním vstřikovacím systémem), umožňovala přesné otevření vstřikovacího ventilu v době, kdy je otevřený ventil sací (sekvenční vstřikování). Rozdíl těchto systémů je výše popsán v kapitole 3.1.2 a názorně vyobrazen na obrázku 3.1. Starší motory, i přesto, že mají více vstřikovací ventilů, tuto vlastnost v řídicích jednotkách nemají a palivo je všemi ventily rozprašováno s každou otáčkou motoru. V případě čtyřválcového motoru není u dvou válců palivo rozprašováno do proudu vzduchu, ale na uzavřený sací ventil.

Jako další vylepšení by bylo možné přesné čtení polohy škrtkové klapky, která se u starších motorů dělí pouze na určité pracovní úseky pomocí několika spínačů. V takovém případě se rozlišují režimy: volnoběh (uzavřená škrtková klapka), částečné zatížení a plné zatížení (zcela otevřená škrtková klapka). Pomocí snímání přesné polohy škrtkové klapky by bylo možné dosáhnout zlepšení regulace množství vstřikovaného paliva při prudkých změnách a dosáhnout tak rychlejší odezvy plynového pedálu.

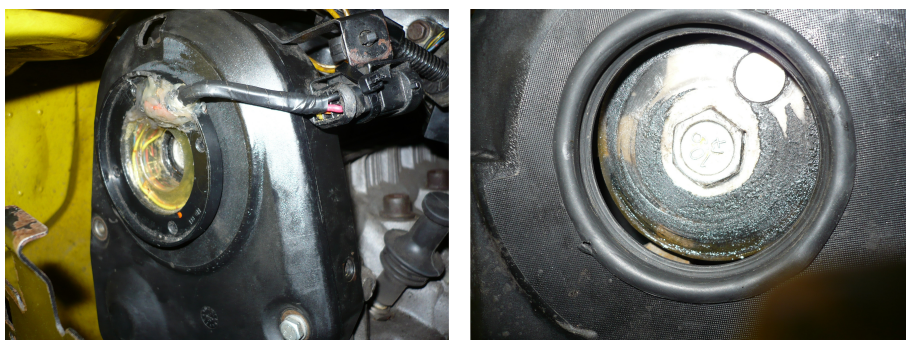
4.4.1 Poloha vačkové hřídele

Z hlediska přesnějšího řízení motoru, bylo pro práci vybráno a otestováno rozšíření se snímačem polohy vačkové hřídele. Předpokladem pro toto rozhodnutí bylo lépe rozprášené palivo v nižších otáčkách motoru, kdy se proud vzduchu v sacím potrubí nejeví spojitě a mohlo by tak docházet k úspoře paliva nebo zlepšení chodu motoru.

Snímač polohy vačkové hřídele je tvořen čtyřmi do kříže, podle osy otáčení vačkové hřídele motoru, umístěnými Hallovými sondami s logickými výstupy a je umístěn na krytu rozvodových kol motoru. Na rozvodovém kole vačkové hřídele je potom umístěn magnet, který zajišťuje změnu magnetického pole v oblasti jednotlivých Hallových sond při otáčení vačkové hřídele.



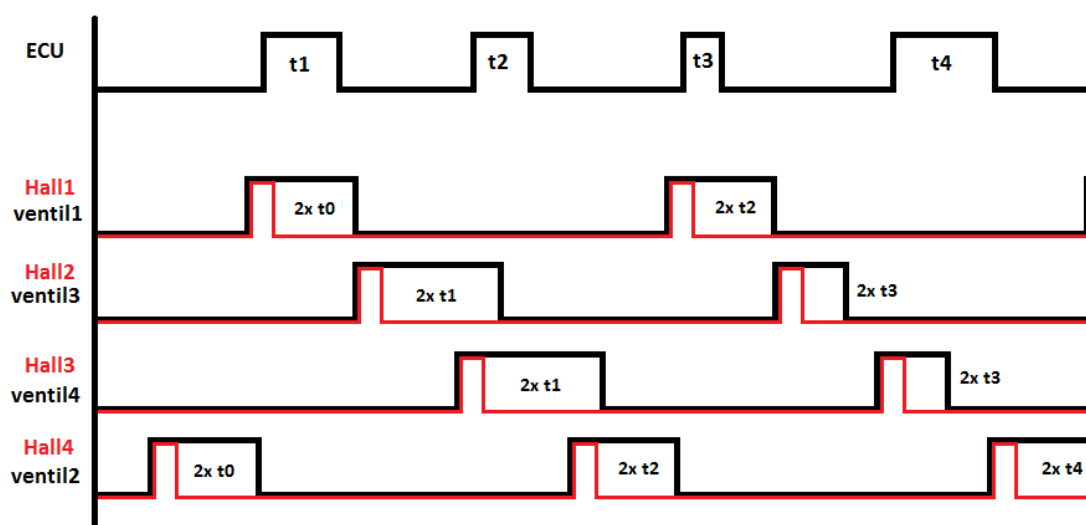
Obrázek 4.15: Snímač polohy vačkové hřídele s Hallovými sondami



Obrázek 4.16: Umístění snímače polohy vačkové hřídele a umístění magnetu

Poznámka: Snímač polohy vačkové hřídele by bylo možné řešit jinými způsoby, například opticky na základě principu enkodéru s označením počátečního stavu cyklu a následného dopočtu přesnější polohy vačkové hřídele.

S doplněním celého systému o tuto úpravu, bylo potřeba překonfigurovat vstupy a závislosti výstupů na vstupních signálech. Následující obrázek 4.17 vykresluje závislost výstupu na vstupech. Vstupem přídatné řídicí jednotky je pouze jeden signál z ECU (více jich simultánní vstřikování neposkytuje). Tento signál je na základě dalších signálů z Hallových sond snímače polohy vačkové hřídele rozdělován podle vaček na jednotlivé výstupní ventily, tak aby palivo bylo vstřikováno při otevřeném sacím ventilu příslušného válce motoru.



Obrázek 4.17: Závislost výstupních signálů vstřikovacích ventilů na vstupních signálech ECU a Hallových sond

Vzhledem k výsledné poloviční frekvenci spínání vstřikovacích ventilů musí být pro správné dodržení stechiometrického poměru výstupní impuls signálu zdvojnásoben. V algoritmu

upravujícím vstřikováním dochází k posunu impulzu vstupního signálu o půl otáčky motoru (180° pootočení klikové hřídele), protože není možné generovat výstup dříve, než je zaznamenán vstup (náběžná hrana *t1* je zpožděna za náběžnou hranou *Hall1*). Tento fakt o posunu signálu nám dále v algoritmu přidává zajímavou možnost zkracování výstupního signálu úměrně signálu vstupnímu. Lze tak otestovat chování motoru při snižování množství paliva oproti množství určenému ECU, popřípadě vyzkoušet provoz v režimu nízké spotřeby. Samotné časování výstupního signálu je možné upravit na úrovni softwaru, zde však zůstalo zajištěno možností pootočení celého snímače vačkové hřídele v usazeném krytu.

Celý převod vstupních signálů na výstupní se v přídatné řídicí jednotce řeší v několika krocích. V první řadě jde o nutnost záznamu vstupního signálu ECU, v druhé řadě znásobení nebo jiné úpravě vstupního signálu, určení výstupu na základě signálů z Hallovyh sond a nakonec provedení příslušného výstupního impulzu.

Následující kód věrně popisuje celkovou úpravu vstupních signálů na výstupní. Celá procedura je cyklicky volaná přerušeni časovače *Timer0* s časovým intervalem *0.02ms*.

```
ISR(TIMERO_COMPA_vect) {
    if (PIND & 0b00000100) { //impulse of ECU
        none0++; // >M
        if ((none0 >> 4)>(Vpulse)) {
            none = 0;
            none0 = 0;
            pal = 0;
        }
        if (pal0 > 10) {
            pal = pal0;
            pal0 = 0;
        }
    } else { //if grounded
        pal0++;
        if (none0 > 10) {
            none = none0;
            none0 = 0;
        }
    }
    if (noneV > 60000) {
        noneV = 0;
        Vpulse = 0;
    }
    noneV++;
    if (!(PINC & 0b00000001)) { //impulse of valve 1
        if (valve1ch > 10) {
            valve1ch = 0;
            valve1 = pal*add;
            Vpulse = noneV;
        }
    }
}
```

```
        noneV = 0;
    }
} else {
    valve1ch++;
    if (valve1ch > 10) valve1ch = 11;
}
if (!(PINC & 0b00000010)) { //impulse of valve 2
    if (valve2ch > 10) {
        valve2ch = 0;
        valve2 = pal*add;
    }
} else {
    valve2ch++;
    if (valve2ch > 10) valve2ch = 11;
}
if (!(PINC & 0b00000100)) { //impulse of valve 3
    if (valve3ch > 10) {
        valve3ch = 0;
        valve3 = pal*add;
    }
} else {
    valve3ch++;
    if (valve3ch > 10) valve3ch = 11;
}
if (!(PIND & 0b00001000)) { //impulse of valve 4
    if (valve4ch > 10) {
        valve4ch = 0;
        valve4 = pal*add;
    }
} else {
    valve4ch++;
    if (valve4ch > 10) valve4ch = 11;
}
if (valve1 > 0) {
    sbi(PORTB, 0);
    valve1--;
} else cbi(PORTB, 0);

if (valve2 > 0) {
    sbi(PORTB, 1);
    valve2--;
} else cbi(PORTB, 1);

if (valve3 > 0) {
    sbi(PORTB, 2);
    valve3--;
```

```
    } else cbi(PORTB, 2);  
    if (valve4 > 0) {  
        sbi(PORTB, 3);  
        valve4--;  
    } else cbi(PORTB, 3);  
}
```

V první části se kontroluje signál získaný od ECU, případně se zaznamenává v *pal0*. Po skončení impulzu je *pal0* přepsán do proměnné *pal*, která je konečnou hodnotou vstupního impulzu. V druhé části se kontrolují signály Hallových sond. Při zaznamenání impulzu dojde k úpravě proměnné (*valve1*, *valve2*, *valve3*, *valve4*) na hodnotu $pal \times add$, kde *add* je koeficientem úpravy signálu. Koeficient je neustále přepočítáván v hlavní smyčce programu podle vstupních informací od sensoriky přídatné řídicí jednotky. Přepočet nemohl být umístěn v proceduře přerušení časovače pro krátký čas na zpracování přerušení a náročnost operací v datovém typu *float*. Jako poslední je zde část aktivování výstupu, a to formou kontroly proměnných přidružených výstupům (*valve1*, *valve2*, *valve3*, *valve4*) a následné odečítání pokud jsou větší než nula v každém cyklu přerušení. Po tuto dobu odečítání je výstup aktivován.

Jediným problematickým aspektem prvotního provedení bylo opomenutí faktu uzavření vstřikovacích trysek v režimu brždění motorem nebo decelerace. V kombinaci s přepisem proměnné *pal* až při zaznamenání další hodnoty, docházelo k opakování stejného výstupu i přes výpadek vstupního signálu z ECU. Tento problém řeší proměnné *none0* a *Vpulse*, kterými se porovnávají frekvence vstupních signálů ECU a *Hall1*. V případě výpadku vstupního signálu ECU, kdy má být výstup uzavřen, je zaznamenána vyšší frekvence signálu *Hall1* a následně poslední použitá výstupní hodnota *pal* vynulována.

V závěru této podkapitoly je možné odkázat na zajímavé výsledné poznatky a efekty rozšíření upravující vstřikování simultánní na vstřikování sekvenční, které jsou popsány v kapitole 5.

Kapitola 5

Testování a ekonomická rozvaha

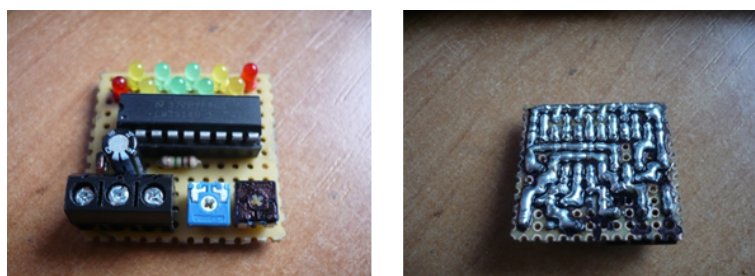
Testování celého navrhovaného systému vychází základními používanými hodnotami v nastavení řídicí jednotky z dřívějších prototypů, které neměli žádná čidla, ale pouze využívaly jednoduchého prodloužení impulsu signálu.

výrobce a kód motoru	ZO (l)	KP	P (KW)	PV	ŘM	RV	% při t_p	% při t_s
Ford N9C	2.0	10,31	88	8	EFI(4)	1989	15	50
Renault F3N	1.8	9,5:1	69	8	EFI(4)	1987	20	70
Renault C3G	1.2	9,2:1	40	8	EFI(1)	1996	10	35
Renault N7Q	2.0	10,5:1	101	16	MPI	1999	15	50
Ford L1H	1.6	10,3:1	66	16	MPI	1998	15	40

Tabulka 5.1: Tabulka přehledu ideálního prodloužení pro různé motory

ZO - zdvihový objem, KP - kompresní poměr, P - výkon, ŘM - typ řízení, RV - rok výroby, t_p - provozní teplotě, t_s - teplota studeného startu nebo zahřívání.

Na základě ukazatele hodnot lambda sondy (Obrázek 5.1), bylo stanoveno množství ideálního prodloužení signálů v rozsahu 10% až 20% v režimu pracovní teploty motoru. Stanovení tohoto rozmezí bylo na základě testování více rozdílných motorů. Pro režim start nebo zahřívání, jsou hodnoty pro každý testovaný motor subjektivní. V tabulce přehledu je vidět jak si který motor poradil s alternativním palivem.



Obrázek 5.1: LED diodový ukazatel signálu lambda sondy

5.1 Testování

Testování celého systému bylo provedeno na automobilu Renault Twingo, první generace, osazeného motorem typu F3N stejné značky.

Jde o motor s osmi ventily, rozvodu typu OHC, zdvihovém objemu 1.8 L, výkonu 69KW a kompresním poměru 9,5:1.

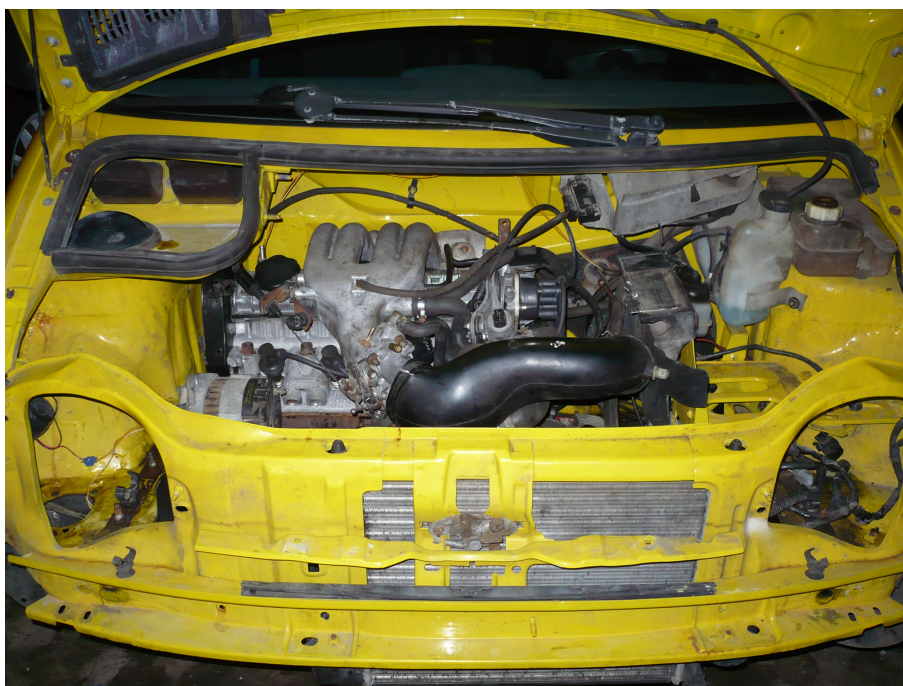


Obrázek 5.2: Testované vozidlo Renault twingo

Tento motor v tabulce 5.1 vykazoval nutnost největšího procentuálního prodloužení impulzu signálu pro vstřikovací ventily. Proto jsem se rozhodl na něm otestovat i rozšířenou variantu se snímačem vačkové hřídele a upravit tak vstřikování ze spřažených čtyř vstřikovačů na systém sekvenčně otevíraných vstřikovačů.

Testování bylo započato záměnou paliva bez úpravy. Výsledek na sebe nenechal příliš dlouho čekat, řídicí jednotka tohoto motoru není schopna jakkoli sama reagovat na změnu paliva a nemá možnost dostatečné korekce dodávky paliva. Motor takřka není schopen chodu, nebo podání přípustného výkonu bez úpravy vstřikování.

S přidavnou řídicí jednotkou a předchozími zkušenostmi s dobou prodloužení impulzu u jiných motorů bylo zahájeno testování s hodnotou prodloužení impulzu signálu o $15 \pm 10\%$. Z rozsahu hodnot se při zahřátém motoru osvědčilo 20%, kdy se přestalo projevovat znatelné zpoždění pedálu akcelerace. Pro nižší hodnoty se začíná projevovat zpoždění a při zátěži dušení motoru (chudá směs). Pro vyšší hodnoty se motor chová agilněji než při provozu na samotný benzín, ale spotřeba neúměrně stoupá. Při studených startech je vhodné použít větší hodnotu prodloužení impulzu signálu, v případě tohoto motoru alespoň na 70%.



Obrázek 5.3: Motor F3N testovaného vozidla

Průměrná kombinovaná spotřeba vozu na Natural 95 se pohybuje okolo 6,5 l / 100 km. S provozem na Ethanol 85 se spotřeba zvýšila zhruba o procentuální prodloužení doby vstřikovacího ventilu, to je o 20% a kombinovaná spotřeba je 7,9 l / 100 km.

Kromě nastavení hlavního prodloužení byl nastaven také základ pro korekci dle bohatosti směsi z lambda sondy, na základě které je upraveno procentuální prodloužení vstřikovacího intervalu. Pro hodnotu korekčního základu 10% (tj. $\pm 10\%$) vykazoval motor houpavý chod. Pro hodnotu korekčního základu 5% (tj. $\pm 5\%$) měl motor hladký chod a hodnotu λ udržoval dle LED diodového ukazatele v oblasti ≈ 1 . Zároveň při akceleraci tato korekce odstranila další zpoždění reakce motoru na plynový pedál.

Další testování probíhalo se snímačem vačkové hřídele, pomocí kterého je možné u tohoto motoru se starším řízením vylepšit spřažené vstřikování všemi ventily najednou na vstřikování sekvenční, kdy dochází k průchodu paliva pouze při otevřeném sacím ventilu. Jde o snahu dosáhnout rozprášení paliva přímo v proudu vstupujícího vzduchu do válce. Pro vyšší otáčky motoru tato úprava není příliš podstatná, protože se proud vzduchu v sacím potrubí chová spojitě. V nižších otáčkách by mohlo ke zlepšení chodu motoru, nižším emisím a menší spotřebě, protože se palivo nebude zdržovat na stěnách sacího potrubí a je tak předpoklad lepšího řízení směsi ve spalovacím prostoru.

Testování této úpravy proběhlo nejdříve bez prodloužování vstřikovacího intervalu a na palivo Natural 95. Na základě signálu z lambda sondy byla směs vyhodnocena jako bohatá, a došlo ke zkrácení vstřikovacího intervalu řídicí jednotkou motoru zhruba o 10% v rozmezí otáček od volnoběhu do cca 3000 *otekzamin*.

Následovalo testování s palivem Ethanol 85, kdy bylo možné bez prodloužení vstřiko-

vacího impulsu udržet motor v chodu a i v jízdě bez znatelného cukání, pouze s malou prodlevou na plynovém pedálu. V případě plného zatížení ve vyšších otáčkách už ale motor znatelně ztratil výkon oproti provozu na Natural 95.

Zbývaly už jen testy s prodloužením vstřikovacího impulsu. Opět byl použit předpoklad z dřívějších testů s prodloužením intervalu o $15 \pm 10\%$. Nyní se však projevila jako optimální hodnota 5% pro nižší otáčky a pro vyšší pak 10%. Tuto hodnotu prodloužení je možné v průběhu zvyšování otáček plynule upravovat, ale vede to k dalším softwarovým úpravám přídatné řídicí jednotky a následně tvorby konkrétní takzvané mapy, ze které budou odečítány informace podle aktuálního stavu motoru.

S rozšířenou úpravou motoru o snímač vačkové hřídele a sekvenční ovládání vstřikovacích ventilů se průměrná kombinovaná spotřeba zvedla na 7 l/100km v případě paliva Ethanol 85. To znamená, že průměrná kombinovaná spotřeba vzrostla o 7,5%.

5.2 Ekonomická rozvaha

V ekonomické rozvaze bude v případě přechodu na alternativní palivo hrát hlavní roli cena a dostupnost alternativního paliva. A jako další podle výše uvedeného testování bude záležet na konkrétním motoru automobilu, ve kterém by mělo k přechodu na alternativní palivo dojít.

Ceny pohonných hmot se výrazně liší v různých zeměpisných oblastech. Zatímco v centru velkých měst zaplatíme za litr Naturalu 95 až 37,-Kč v jiných oblastech může být cena okolo 30,- Kč za litr. Cena alternativního paliva Ethanol 85 se v různých oblastech liší jen o pár korun, lze litr takového biopaliva pořídit od 23,- do 27,- Kč. Po zprůměrování cen je díky vysoké spotřební dani na Natural 95 a dotacím na ekologické biopalivo Ethanol 85 možné považovat palivo Ethanol 85 o třetinu levnější než palivo Natural 95.

V případě stejné spotřeby paliva Natural 95 a Ethanol 85, by vyšel provoz automobilu na palivo Ethanol 85 o třetinu levněji na pohonných hmotách. Vzhledem ke stechiometrickému poměru by mělo být potřeba paliva Ethanol 85 o zhruba 30% více. Což odpovídá rozdílu cen paliv zhruba o třetinu, výsledek provozu automobilu by nevyšel levněji na pohonných hmotách, ale alespoň by byl automobil ekologičtější protože ho lze provozovat na biopalivo.

Navzdory 30% rozdílu stechiometrických poměrů paliva Ethanol 85 a Natural 95 testování ukázalo, že při zahřátém motoru, dostačuje prodloužení doby vstřikovacího impulsu o 15%, což vede k zhruba šestinovému zvýšení spotřeby vozidla. V takovém případě už provoz vozidla na palivo E85 vychází nejen ekologičtěji, ale také levněji na pohonných hmotách.

Vzhledem k občasnému většímu prodloužení vstřikovacího intervalu, kvůli studeným startům, a fázi zahřívání motoru, je nezbytné zvážit způsob provozu automobilu. Ve výsledné spotřebě rozhoduje zda je motor automobilu převážně používán v režimu zahřívání nebo při provozní teplotě. Tento fakt se odvíjí od délky ježděných tras a intervaly mezi nimi, popřípadě od teploty prostorů, kde se automobil nachází před jízdou.

Při průměrné spotřebě automobilu 6 l/100 km Naturalu 95 a ceně 32,- Kč za litr, zaplatíme za ujetý kilometr na palivu 1,92- Kč. Při zvýšení spotřeby o 15% (6,9 l /100 km) na palivo Ethanol 85 a ceně 24,-kč, zaplatíme za ujetý kilometr na palivu 1,66-Kč

V případě provozu automobilu za provozní teploty by tedy cena provozu na pohonných hmotách vyšla cena paliva za ujetý kilometr o 0,26-Kč (13%) nižší.

Když je nyní známá míra úspory provozu automobilu na alternativní palivo, nezbyvá nic jiného než zjistit hodnotu investice do úpravy automobilu pro provoz na alternativní palivo Ethanol 85 a její návratnost.

Existující nejlevnější řešení s pouhým prodloužením impulsu vstřikovačů se pohybují cenami od 2500,- Kč do 3000,- Kč. V případě takové úpravy je při úspoře 0,26-Kč na kilometru návratnost investice od 9500 km do 12000 km.

Firmy provádějící úpravu automobilu se zástavbou do automobilu nabízejí podobná zařízení i s montáží v ceně od 5000,- Kč do 10000,- Kč. Tato zařízení jsou již označena atestem pro provoz na pozemních komunikacích a nabízejí uživateli jistou mírou servisní služby.

V případě takové úpravy je při úspoře 0,26-Kč na kilometru návratnost investice od 19000 km do 39000 km.

Pokud budeme mít vozidlo, jehož spotřeba bude 2 krát vyšší, tedy 12l /100km, potom návratnost investice bude 2 krát kratší. Při využití dražších konverzních systémů bude návratnost od 9500 do 19500 ujetých km.

V končném důsledku použití alternativního paliva Ethanol 85 může vést nejen ke zlepšení ekologie provozu, ale při poměru výše uvedených cen jednotlivých paliv i k ekonomickému zlepšení provozu.

Kapitola 6

Závěr

Bylo navrženo, realizováno v podobě experimentálního vzorku a úspěšně otestováno zařízení, které dokáže upravovat jedno i vícebodové vstřikování elektronicky řízeného zážehového motoru. Další možností výsledného zařízení je připojení informačního zobrazovacího zařízení nebo k počítače pomocí diagnostického USB modulu pro výpis stavu nebo změnu základních nastavení. Zároveň zařízení zvládá rozpoznání majoritního a minoritního podílu biopaliva Ethanol 85 ve spalované směsi motorem, které je nejdůležitějším faktorem pro automatizovanou úpravu vstřikovacího systému automobilu. Dle teorie trojcestného katalyzátoru v kapitole 2.2.2 zařízení splňuje požadavky zadání na zachování exhalančních norem definovaných výrobcem automobilu.

6.1 Zhodnocení práce

Navzdory absenci třetiny (33,3%) hmotnostního množství paliva dle stechiometrických poměrů, je nejlepšího dosažitelného výsledku (dle subjektivního dojmu) při 10 až 20% prodloužení doby vstřikovacího ventilu paliva, přičemž hustota paliva Ethanol 85 je velmi blízká hustotě benzínu.

Nabízí se otázka, zda je efektivita provozu motoru s palivem Ethanol 85 v určitých pracovních režimech nějakým způsobem posunuta. Na zjištění skutečnosti by bylo potřeba dalších měřících zařízení, ke sledování a záznamu točivého momentu nebo výkonu motoru v kombinaci s produkovánými emisemi. Zatím je možné konstatovat pouze zvýšení spotřeby paliva úměrné prodloužení doby otevření vstřikovacích ventilů, při zachování stejného subjektivního dojmu z jízdy, jako při provozu na palivo určené výrobcem vozidla.

6.2 Možnosti dalšího vývoje a rozšíření

Co se týče dalších možností rozšiřujících funkčnost přídavné jednotky, bylo by možné provádět rozsáhlejší korekci výstupního signálu vytvořením posloupnosti hodnot, které by se aplikovaly v různých režimech chodu motoru. Taková úprava by vedla ke složitějšímu ladění a nastavování přídavné jednotky, které by nebylo proveditelné bez válcového dynamometru a také by se pravděpodobně tento směr úprav odebral ke konstrukci zcela nové motorové řídicí jednotky (ECU).

Literatura

- [1] Adam Polcar, Jiří Čupera, Pavel Sedlák. Emise zážehového motoru při spalování paliva E85. Technical report, Mendelova univerzita v Brně., Zemědělská 1, 613 00 Brno, Česká republika, 2014.
- [2] Adam Polcar, Jiří Čupera, Pavel Sedlák. Výkonové parametry zážehového motoru při spalování paliva E85. Technical report, Mendelova univerzita v Brně., Zemědělská 1, 613 00 Brno, Czech Republic, 2014.
- [3] ATMEL. *Datasheet 8-bit Microcontroller ATmega328P* [online]. 2009. [cit. 25. 12. 2014]. Dostupné z: <<http://www.atmel.com/images/doc8161.pdf>>.
- [4] ATMEL. *Virtual USB* [online]. 2014. [cit. 25. 12. 2014]. Dostupné z: <<http://www.obdev.at/products/vusb/index-en.html>>.
- [5] GMBH, R. B. *Měření emisí*. Praha : Robert Bosch odbytová spol. s r.o., 1st edition, 1997.
- [6] GMBH, R. B. *Řízení zážehového motoru – Základy a komponenty*. Praha : Robert Bosch odbytová spol. s r.o., 1st edition, 2002.
- [7] ING. JIRI NOVAK, P. *Universal Serial Bus* [online]. 2008. [cit. 25. 12. 2014]. Dostupné z: <<http://measure.feld.cvut.cz/system/files/files/cs/vyuka/predmety/A4M38KRP/USB.pdf>>.
- [8] INSTRUMENTS, T. *POSITIVE-VOLTAGE REGULATORS* [online]. 2003. [cit. 25. 12. 2014]. Dostupné z: <<https://www.sparkfun.com/datasheets/Components/LM7805.pdf>>.
- [9] INSTRUMENTS, T. *Datasheet LM3914 Dot/Bar Display Driver* [online]. 2013. [cit. 25. 12. 2014]. Dostupné z: <<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm3914.pdf>>.
- [10] Jan Sajdl. *Emisní norma EURO* [online]. 2014. [cit. 25. 12. 2014]. Dostupné z: <<http://cs.autolexicon.net/articles/emisni-norma-euro/>>.
- [11] Josef Laurin. *MOTORY NA PALIVA S KVASNÝM LIHEM*. Technical report, Výzkumné centrum spalovacích motorů a automobilů Josefa Božka II., Hálkova 6, 461 17 Liberec,, 2006.
- [12] PALM TECHNOLOGY CO., L. *Datasheet PQC1602K-SYL* [online]. 2004. [cit. 25. 12. 2014]. Dostupné z: <<http://arwill.hu/downloads/pqc1602ksyl.pdf>>.

- [13] Petr Miler, Jan Hromádko, Jiří Hromádko, Vladimír Höning, Michal Schwarzkopf. Zhodnocení ekologického potenciálu paliva E85. Technical report, Česká zemědělská univerzita v Praze a Ministerstvo životního prostředí ČR., Kamýcká 129, 165 21 Praha 61, Česká republika, 2009.
- [14] RECTIFIER, I. *Datasheet IRL530N* [online]. 1997. [cit. 25.12.2014]. Dostupné z: <<http://www.irf.com/product-info/datasheets/data/irl530.pdf>>.
- [15] SENSORS, B. *NTC Thermistor theory* [online]. 2006. [cit. 25.12.2014]. Dostupné z: <<http://www.beta.dk/betathermkatalog/teoridel.pdf>>.
- [16] VEJVODA JOSEF, B. P. M. P. *Technologie ochrany ovzduší a čištění odpadních plynů*. Praha : VŠCHT Praha, 1st edition, 2003.
- [17] VLK, F. *Dynamika motorových vozide*. Brno : Nakladatelství a vydavatelství VLK, 2st edition, 2005.

Příloha A

Seznam použitých zkratek

MAF Manifold air flow

MAP Manifold air pressure

EEPROM Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory

ECU Electronic control unit

USB Universal serial bus

MCU Micro control unit

RISC Reduced Instruction Set Computer

TTL Transistor-transistor-logic

Příloha B

Obsah přiloženého CD

```
\CD
|- Master's thesis.pdf  Text této práce
+----k336_thesis       Složka se soubory této práce ve zdrojové podobě
+----COecu            Složka s projektem přídatné řídicí jednotky
|  +----default
|  |  \- coecu.hex     Zkompilovaný program přídatné řídicí jednotky
|  |  |- coecu.aps     Soubor projektu AVR studia 4
|  |  |- coecu.c       Hlavní zdrojový kód přídatné řídicí jednotky
|  |  \ ...           Hlavičkové soubory
+----LCDdev          Složka s projektem zobrazovacího modulu
|  +----default
|  |  \- LCD.hex      Zkompilovaný program zobrazovacího modulu
|  |  |- LCDdev.aps   Soubor projektu AVR studia 4
|  |  |- LCDdev.c     Hlavní zdrojový kód zobrazovacího modulu
|  |  |- lcd16.c      Procedury LCD displeje
|  |  \ ...           Hlavičkové soubory
+----USBcmd          NetBeans projekt aplikace pro obsluhu USB
|  +---- buid         Build projektu
|  +---- dist         Zkompilovaná aplikace
|  +---- nbproject
|  |  |- Makefile     Makefile aplikace
|  |  |- Main.c       Hlavní zdrojový kód aplikace
|  |  |- opendevic.c  Kód knihovny VUsb
|  |  \ ...           Hlavičkové soubory
+----USBdev          Složka s projektem USB modulu
|  +----default
|  |  \-USB.hex      Zkompilovaný program USB modulu
+---- usbdrv         Ovladač V-USB
|  |- USBdev.aps     Soubor projektu AVR studia 4
|  |- USBdev.c       Hlavní zdrojový kód USB modulu
|  |- USBdriver.c    Procedury USB
|  \ ...             Hlavičkové soubory
```