



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV MIKROELEKTRONIKY

DEPARTMENT OF MICROELECTRONICS

DIAGNOSTICKÁ JEDNOTKA PRO MOTORKU

THE MOTORCYCLE DIAGNOSTIC UNIT

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Tomáš Smola

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Vladimír Levek

BRNO 2018

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor **Mikroelektronika**
Ústav mikroelektroniky

Student: Bc. Tomáš Smola

ID: 154871

Ročník: 2

Akademický rok: 2017/18

NÁZEV TÉMATU:

Diagnostická jednotka pro motorku

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Navrhněte a realizujte jednotku pro diagnostiku palivové směsi víceválcového motoru. Tato bude disponovat měřením bohatosti palivové směsi pomocí lambda sond a bude rovněž umožňovat sledování spalovacího procesu s případným varováním při zaznamenané anomálii.

Nejprve prostudujte problematiku spalovacího motoru, fyzikální vlastnosti měřených veličin a problematiku jejich měření a zpracování. Dále navrhněte, realizujte a zprovozněte diagnostickou jednotku. Veškeré poznatky, jak obecné tak i konkrétní a to včetně naměřených a dosažených výsledků přehledně uveďte v textové části závěrečné práce.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Podle doporučení vedoucího práce.

Termín zadání: 5.2.2018

Termín odevzdání: 22.5.2018

Vedoucí práce: Ing. Vladimír Levek

Konzultant:

doc. Ing. Lukáš Fojcik, Ph.D.
předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

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

ABSTRAKT

Práce se zabývá návrhem a konstrukcí diagnostického nástroje pro starší typy zážehových motorů. Práce obsahuje základní informace pro pochopení problematiky funkce a seřízení CV karburátoru, řeší komerčně dostupných přístrojů a popis metodiky používané v praxi. Dále bude práci zpracován návrh a konstrukce zařízení, které bude umět diagnostikovat bohatost směsi v různých jízdních režimech a bude poskytovat další údaje potřebné pro správné seřízení karburátorů. Přípravek bude navržen na míru pro čtyřválcový motor Honda PC25e.

KLÍČOVÁ SLOVA

Diagnostika, karburátor, motor, lambda, podtlak, seřízení, jehla, tryska, směs, benzín, CJ125, LSU4.2

ABSTRACT

This thesis deals with problematics of air/fuel mixture diagnosis of older carburetor motors. Especially for motors with more than one cylinder. In this thesis are informations about commercial product for diagnosis, brief informations about function of CV carburetor and best setup of fuel mixture. The next step in this thesis will be design, construction and testing of device for the diagnosis air/fuel mixture in practical use. Device will be able to measure mixture and other values which can be used for best carburetor setup.

KEYWORDS

Diagnostics, carburetor, motor, lambda, vacuum, setting, needle, jet, mixture, gasoline, CJ125, LSU4.2

SMOLA, T. Diagnostická jednotka pro motorku. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2018. 80 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Vladimír Levek.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma diagnostická jednotka pro motorku jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího semestrální práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Vladimíru Levekovi za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce. Dále mu děkuji za zpřístupnění laboratorních přístrojů pro účely vývoje a testování diplomové práce.

V Brně dne

.....

(podpis autora)



Experimentální část této diplomové práce byla realizována na výzkumné infrastruktuře
vybudované v rámci projektu CZ.1.05/2.1.00/03.0072

Centrum senzorických, informačních a komunikačních systémů (SIX)
operačního programu Výzkum a vývoj pro inovace.



OBSAH

Úvod	6
1 Teoretický úvod	7
1.1 Motor	7
1.2 Funkce karburátoru	9
1.3 Funkce lambda sondy	11
1.3.1 Řízení lambda sondy	13
1.4 Displeje Nextion	14
2 příprava a seřízení motoru	16
2.1 Teorie seřizování	16
2.1.1 Příprava a kontrola	16
2.1.2 Seřízení karburátorů	17
2.2 Metodika seřizování	19
2.2.1 Synchronizace válců	19
2.2.2 Nastavení směsi	21
3 návrh zařízení	23
3.1 Požadavky na přípravek	23
3.2 Základní koncepce přístroje	25
3.3 Uživatelské rozhraní	26
3.4 Výběr komponent	29
3.4.1 Lambda sondy	29
3.4.2 Kontrolér pro lambda sondy	30
3.4.3 Řídicí mikrokontrolér	30
3.4.4 Napájení zařízení	31
3.4.5 Tlakové senzory	32
3.5 Blokové schéma přístroje	33
3.6 Napájecí zdroj	34
3.7 Blok CJ125	36
3.8 Mikrokontrolér	Chyba! Záložka není definována.
3.8.1 Hardware	40
3.8.2 Software	42
3.9 Měření tlaku	47

3.10	Dotykový displej.....	48
4	MECHANICKÁ Konstrukce zařízení	54
4.1	Napájecí zdroj	54
4.2	CJ125	55
4.3	Řídicí obvod.....	57
4.4	Zobrazovací jednotka.....	58
5	testování	59
5.1	Napájení	59
5.2	CJ125	61
5.3	Měření tlaku	62
5.4	Režim stopek.....	62
6	Závěr	65
	Literatura	66
	Seznam symbolů, veličin a zkratk	67
	Seznam obrázků	68
	Přílohy	70
	Výkresová dokumentace	70
	Seznam součástek	73
	Obrazová dokumentace.....	74

ÚVOD

V posledních několika letech se u nás mění role motocyklu z levného dopravního prostředku, jak tomu bylo v minulosti, a stává se strojem pro zábavu, potěšení a mnohdy také koníčkem a láskou na celý život. Svému hrdému majiteli přináší požitek z jízdy, nové zážitky z cest a nová přátelství díky četným motorkářským srazům. Mladší generaci motorkářů také často přivádí k technickým koníčkům a učí je základní technické znalosti z oblasti spalovacích motorů a motorových vozidel. A právě takovým motorkářem, který o svůj stroj sám pečuje, jsem snad i já. Nedostatek komerčně dostupných a zároveň levných přístrojů pro diagnostiku motoru mne přivedl na myšlenku takový přístroj zkonstruovat. Existuje několik návodů na konstrukci podobných zařízení, ale ty funkčně nevyhovují náročnějšímu uživateli, případně disponují pouze jednou z požadovaných funkcí. Toto bylo hlavním důvodem a motivací k vytvoření nejen této práce, ale především ke konstrukci a realizaci přístroje, který bude komplexním nástrojem pro diagnostiku motocyklu, případně univerzální přístroj pro sportovní motocykl.

Tato práce se snaží poskytnout souhrn informací k pochopení funkce hlavních součástí karburátoru, jejich vlivu na výkon a životnost motoru a možná rizika špatného seřízení bohatosti směsi. Úkolem této práce je navrhnout, sestavit a otestovat diagnostický nástroj, který bude použitelný pro správné vyhodnocení nastavení karburátoru v různých režimech chodu motoru. Tím by mělo být dosaženo zefektivnění chodu motoru, a především prodloužení jeho životnosti. Přípravek bude testován na motoru Honda PC25e. Proto bude většina práce přizpůsobena tomuto konkrétnímu typu motoru a příslušným karburátorům Keihin. Nicméně bude možno tento přípravek použít pro diagnostiku jakéhokoliv čtyřválcového motoru s oddělenými svody.

Pro nastavení správného poměru paliva a vzduchu, tedy bohatosti, je klíčovým prvkem karburátor. Jedná se o zařízení, ve kterém dochází na základě fyzikálních dějů k vytvoření aerosolové směsi vzduchu s palivem. Tato směs je nasávána do prostoru motoru, kde se stlačí a zapálí pomocí elektrické jiskry. Po shoření směsi putují již jen plynné produkty spalování pryč z motoru do výfuku. K jejich odvedení od spalovacího prostoru k tlumiči výfuku slouží tzv. svody, které jsou těsně za motorem oddělené pro každý válec. V těchto místech lze diagnostikovat pomocí výfukových plynů kvalitu spalovacího procesu v každém válci zvlášť.

1 TEORETICKÝ ÚVOD

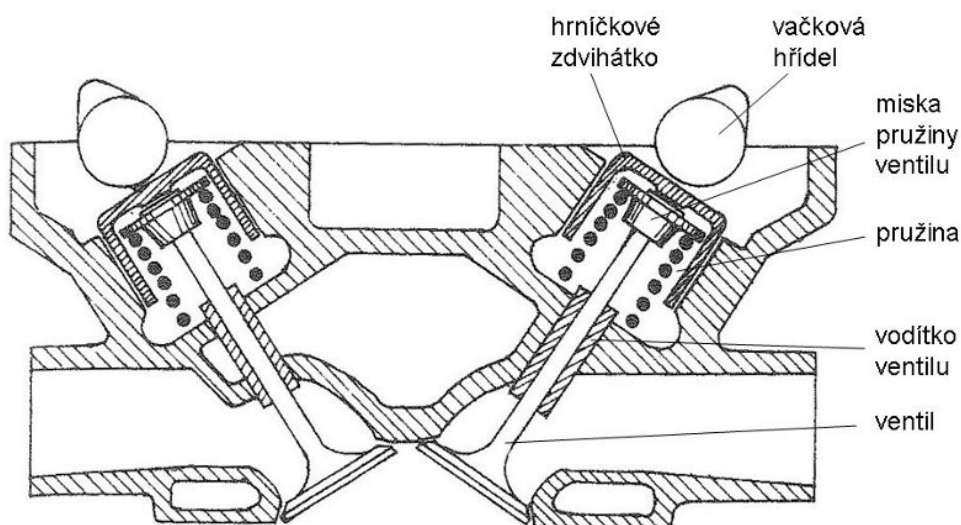
V této kapitole jsou stručně shrnuty základní vlastnosti a požadavky pro správný chod spalovacího motoru. Vlastnosti dané konstrukčním řešením příliš rozebírány nejsou, na rozdíl od těch, které jsou nastavitelné. Nejprve je popsán motor, na kterém bude probíhat testování celého zařízení, jak má správně fungovat, co je na něm třeba zkontrolovat a co vše lze nastavit. V případě zanedbání předběžného seřízení a důkladné kontroly, by se mohlo stát, že motor nebude možné správně seřídít, případně může dojít k jeho trvalému poškození. Dále jsou zde popsány použité CV karburátory Keihin. CV je zkratka pro Choke Valve, což v překladu znamená škrticí klapka. Popis je stručný, převážně z funkčního hlediska a s ohledem na možnosti nastavení. Nakonec zde je stručně vysvětlena funkce lambda sond, včetně teorie jejich řízení. Právě řízení lambda sond je jeden ze stěžejních úkolů výsledné diagnostické jednotky. Vzhledem k tomu, že se tato kapitola věnuje převážně záležitostem mimo elektro obor, je většina věcí vysvětlena sice od základu, ale spíše povrchně, pouze pro účel pochopení jejich významu a vazeb mezi jednotlivými prvky pohonné jednotky.

1.1 Motor

Pro samotné testování byla vybrána pohonná jednotka z produkce japonské firmy Honda Motor Company Ltd, a to konkrétně typ PC25e. Jedná se o čtyřválcový, vodou chlazený motor s objemem 598ccm, který se montoval od roku 1995 do modelu CBR600F3 až do roku 1998, kdy ho nahradil novější model vybavený vstřikováním. Poté se používal v modelu CB600F Hornet až do roku 2004. Technicky vycházel ze staršího modelu PC25, zkonstruovaného roku 1992. Novinkou této pohonné jednotky bylo dvojí sání, kdy se v nižších rychlostech a při volnoběhu otevře druhý sací okruh, který obsahuje filtry s vyšší propustností. Vstup tohoto systému je uschován v přední masce. Díky tomuto novému systému nazvaného Direct Air Induction vzrostl výkon na zadní pneumatice o 6 koní a točivý moment o 2 Nm.

Motor je vodou chlazený řadový čtyřválec s výkonem 76,5kW při 12000 otáčkách. Jedná se o čtyřtaktní šestnáctiventilový motor s rozvody DOHC s pevným časováním. Zapalování je řízeno elektronickou jednotkou a magnetickým snímačem na klikové hřídeli. Snímač na hřídeli nelze otáčet, tím odpadá nastavení předstihu motoru a riziko předčasného zážehu a zničení celého motoru. Motocyklové motory mají zpravidla převodovku ve společném bloku s motorem a jednu olejovou náplň pro převodovku, motor i spojku. Tento motor není výjimkou a je vybaven mokrou spojkou a šestistupňovou sekvenční převodovkou.

Na motoru při správné montáži nelze z hlediska funkce nic seřídít. Je nutné pouze kontrolovat opotřebení rozvodového řetězu a ventilové vůle. Pokud je příliš opotřeбенý, díky konstrukci motoru nehrozí jeho přeskočení. Pouze bude dřít o okolní komponenty, které se tak mohou poškodit, případně může uvolněný řetěz prodřít díru v samotné pohonné jednotce. Motor má rozvod DOHC, tedy dvě vačkové hřídele nad ventily. Jedna hřídel ovládá sací a druhá výfukové ventily (viz obr. 1).



obr. 1: rozvody DOHC; převzato z [1]

Nad dříkem ventilu je umístěn tzv. hrníček, pod kterým je umístěna tenká kalená podložka, která tlačí na misku pružiny. Ventily se vrací zpět do uzavřené polohy díky pružinám. Při provozu dochází díky velice silným pružinám k zarážení ventilů do vybroušených sedel v hlavě a tím se ventilová vůle zmenšuje. Dále pak dochází k vydírání kluzných ploch vačkové hřídele, hrníčků, rozklepávání podložek a zanášení ventilů a jejich sedel karbonem z nedokonale spálené směsi paliva, zbytků oleje prosáknutých do spalovacího prostoru či nečistot proniknuvších vzduchovým filtrem. Tyto děje naopak ventilovou vůli zvětšují. Zda se provozem motoru bude vůle zvětšovat či zmenšovat nelze obecně určit, záleží na stylu provozu motoru, seřízení palivové směsi, kvalitě nasávaného vzduchu a mnoha dalších faktorech. Ventilová vůle se seřizuje pomocí výměny podložek pod hrníčky. Malá vůle vede k velkému vydírání vačky na hřídeli a k tomu, že daný ventil je otevřen příliš dlouho. U sacích ventilů to vede k nasání malého množství směsi, ke snížení kompresního poměru a tím snížení výkonu motoru. Při dlouhém otevření výfukového ventilu dojde k brzkému snížení tlaku v motoru a potenciál rozpínání plynu není využit tak, jak by mohl. Malou ventilovou vůli lze poznat u tohoto motoru pouhým poslechem, kdy motor při volnoběžných otáčkách „pšouká“. Zvuk je velice podobný zvuku otevřeného dekompresoru u starších motorů, nebo zvuku motoru s vadným těsněním pod hlavou, či ventilovým víkem. Naopak při příliš velké vůli jsou ventily otevřené krátkou dobu, což má za následek obohacení směsi, která je nasávána do motoru v případě otevření sacích ventilů nebo snížení objemu nasávané směsi v případě krátkého otevření výfukového ventilu. Tyto jevy se projeví nejvíce při vysokých otáčkách. V nízkých otáčkách je zvláště důležité, aby ventilové vůle byly stejné na všech ventilech. Pokud jeden z válců bude fungovat špatně, bude mít motor nevyrovnaný chod a dojde k rychlému opotřebení rozvodového řetězu, případně k jeho nerovnoměrnému vytažení. Popisovaný motor je konstrukčně řešen tak, že k přeskočení řetězu na ozubených kolech nemůže dojít. Jeho nadměrné či nerovnoměrné vytažení lze poznat opět dle zvuku. Nejlépe je to poznat při prudkém přidání plynu, kdy se řetěz protáhne a zachrastí o plastové kryty či samotný hliníkový blok motoru. Tyto zvuky však

nemusí znamenat hned nutnou výměnu řetězu. Zmíněný typ motoru je náchylný na opotřebení hydraulického napínáku rozvodového řetězu, který se často zanáší a nenapíná pak dostatečně řetěz.

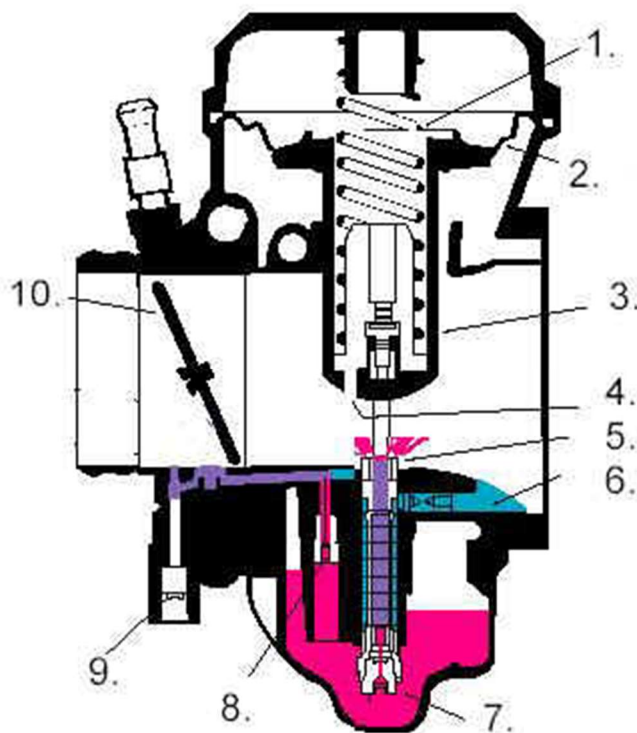
1.2 Funkce karburátoru

Úkolem karburátoru je připravit pro motor směs vzduchu a paliva ve správném poměru tak, aby se dosáhlo kompromisu mezi spotřebou a výkonem, a aby měl motor pravidelný chod a nedusil se. U moderních motorů je dosažení tohoto poměru zajištěno tím, že se v sání měří množství vzduchu, který proudí do motoru a následně se vypočítá přesné množství paliva, které se musí vstříknout do válce v případě přímého vstřikování, nebo do sání v případě nepřímého vstřikování paliva. Výpočty se následně korigují podle toho, kolik kyslíku je obsaženo ve výfukových plynech, tedy zda směs shořela v dostatečném objemu. Následující odstavce popisují základy funkce jednoduchého šoupátkového karburátoru Sachs ze třicátých let minulého století a princip funkce pokročilejšího karburátoru typu CV, který je použit právě s testovaným motorem. Principem funkce jsou všechny karburátory shodné, liší se jen minimálně.

Staré motory, od vozidel kategorie ancestor (nejstarší automobily z přelomu 19. a 20. století) až po youngtimery (vozidla z osmdesátých let) nemají vyspělé řídicí jednotky, jako moderní vozidla a o přípravu směsi se stará čistě mechanický karburátor. Dříve se tento prvek česky nazýval „zplynovač“, což nejlépe vystihuje jeho funkci. První masově používané karburátory byly proti pozdějším modelům velice jednoduché, principiálně však fungují stejně. Všechny karburátory fungují na principu fixírky. Zjednodušeně řečeno se jedná o trubičku částečně ponořenou do kapaliny kolem jejíhož konce proudí vzduch. Ten aerodynamickými jevy způsobuje stoupnutí hladiny kapaliny až natolik, že dojde k jejímu rozprášení do proudu vzduchu. Na tomto principu fungují například stříkací pistole. V karburátoru je proud vzduchu zajištěn samotným sáním motoru, resp. pohybem pístu od horní, do dolní úvratí ve fázi sání. Maximální množství vzduchu je omezeno průměrem karburátoru. Proto se u sportovních karburátorů pro dvoutaktní i čtyřtaktní motory udává jejich průměr jako hlavní parametr. Většina výrobců značí karburátory písmennou zkratkou dle typu konstrukce, a vnitřním průměrem, který je limitujícím parametrem pro maximální průtok vzduchu karburátorem. Trubičku s kapalinou v pomyslné fixírce reprezentuje v karburátoru tryska, která má v určitém místě provrtaný otvor skrz. Velikost otvoru určuje bohatost směsi, tedy množství paliva, které se uvolní při daném proudu vzduchu kolem trysky. Konstantní výšku paliva v trysce zajišťuje lakovaný korkový plovák v plovákové komoře, který tlačí na čep uzávěru přívodu paliva. V pozdějších dobách se začaly používat plováky plastové. Otáčky motoru se regulují množstvím směsi, která se „dovolí“ motoru nasát. To se omezovalo dříve částečným ucpáním otvoru skrz karburátor tzv. šoupátkem, které bylo napojeno na ovládací bowden. Takto jednoduchý karburátor může fungovat, pokud je motor zahřátý na provozní teplotu a má určité minimální otáčky pro nastartování. Studený motor spotřebuje část vyprodukovaného tepla na ohřátí sebe sama, proto je potřeba studenému motoru dodat více paliva. Toho se docílí použitím sytiče. U jednoduchých karburátorů byl sytič pouze tyčka do plovákové komory, která zatlačila na plovák, tím došlo k otevření přívodu paliva do komory a zvýšení hladiny v trysce. U tohoto způsobu však hrozí rychlé přeplavení plovákové komory. Takto přeplavený motor nelze nastartovat. Pokud je ucpáný odtokový kanálek ze sání, může dojít k protečení paliva skrz trysku až

do spalovacího prostoru a výfuku. Ve výfuku se pak může vznítit od horkých plynů proudících ze spalovacího prostoru při náhodném samovznícení. K pronikání paliva do výfuku dochází i v případě brždění motorem s chudou směsí, kdy není ve spalovacím prostoru dostatek benzínu pro zapálení směsi. Malé množství benzínu se dostane do výfuku, kde se hromadí a po čase dojde k samovznícení směsi. Takovýto motor pak tzv. „střílí“ do výfuku.

Moderní karburátory, včetně toho, který bude seřizován v rámci této práce, fungují na stejném principu. Konstrukčně se však zásadně liší. Schéma funkce CV karburátoru je znázorněno na obrázku 2. Konkrétně se jedná o řez karburátorem H-D.



obr. 2: řez CV karburátorem; převzato z [2]

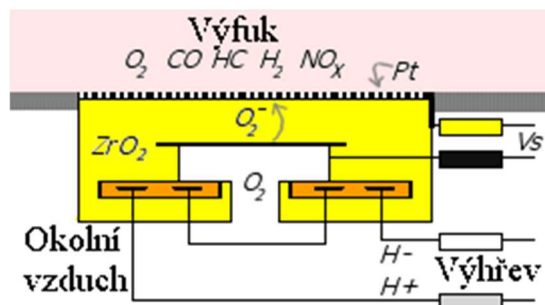
Spodní část plovákové komory s napouštěcím mechanismem je shodná s klasickým šoupátkovým karburátorem. Moderní karburátory mají zpravidla také více trysek, které se starají o dodávky paliva v různých otáčkách a při různém otevření karburátoru. Hlavním rozdílem mezi šoupátkovým a CV karburátorem je způsob ovládání. U CV karburátoru je navíc přítomna škrticí klapka vzduchu (10), která ovládá průtok vzduchu a tím i otáčky. Mechanismus šoupátka (1,3) a jehly s tryskou (5,7) zůstává shodný. Šoupátko však není řízeno bowdenem, ale podtlakem od sacího potrubí, který je přiveden do prostoru nad gumovou membránou (2). Při vyšším podtlaku se tak šoupátko zvedne, zvětší se průchozí otvor pro vzduch a do motoru se dostane více paliva. Volnoběžné otáčky motoru jsou zajištěny volnoběžnou tryskou (8) a škrticím šroubem (9). Zároveň proudí i část vzduchu kolem škrticí klapky. V tomto karburátoru se palivová směs neobohacuje přeplavením plovákové komory ale uvolněním podtlaku nad membránou a spuštěním šoupátka na spodní doraz. Tím bude proudit veškerý vzduch skrz volnoběžný okruh a bude tedy obohacen v celém svém objemu. Dále bývají moderní karburátory vybaveny podtlakovým ventilem, který při zavření plynu při vyšších otáčkách motoru

přehradí volnoběžný okruh a do motoru přichází extrémně chudá směs. Tím se zvyšuje účinek brždění motorem, nedochází k zanášení motoru karbonem a snižuje se spotřeba. Jako vedlejší efekt jsou při vyšších otáčkách slyšet výstřely z výfuku. Přívod paliva se však zavírá pouze na vnějších válcích u laděných nebo závodních motorů, z důvodu jejich chlazení. Při běhu na extrémně chudou směs se motor více zahřívá, vnitřní válce by se tedy nestíhaly uchlazet. Vnější válce jsou kromě vodního chlazení také ochlazovány proudícím vzduchem kolem motoru. U dvoutaktních motorů tento princip nelze uplatnit, protože dvoutaktní motor je mazán směsí paliva a oleje, při odpojení paliva by mohlo dojít k zadření motoru.

1.3 Funkce lambda sondy

Lambda sonda je senzor používaný v automobilovém průmyslu pro diagnostiku spalovacího procesu. Pro jakékoliv spalování je zásadní dostatečné množství kyslíku. Ve spalovacím prostoru je však omezen objem směsi, proto je nutné dosáhnout správného poměru vzduchu a paliva. Ne pouze dostatečného množství vzduchu. Lambda sonda je kyslíkový senzor, který analyzuje množství zbylých molekul O_2 ve výfukových plynech. Proto je její poloha ve výfukovém systému klíčová. Většinou je snaha ji umístit co nejbližší motoru. Jednak je lambda sonda vyhřívána na provozní teplotu výfukovými plyny, a hlavně zde plyny proudí pod nejvyšším tlakem a je tak zajištěno dobré vyplachování čerpací komory (je vysvětleno níže). Pokud by k měření docházelo až na konci výfuku, plyny by byly studené a senzor by se musel vyhřívat po celou dobu funkce, nešlo by rozlišit plyn z jednotlivých válců a celková odezva systému by byla větší díky turbulátorům a tlumiči výfuku. Turbulátor je komora umístěná na svodu výfuku, ve tvaru válce s podstavami ve tvaru kulových vrchlíků s otvory pro trubky svodů. Zpravidla se tyto turbulátory umísťují do míst, kde dochází ke spojení jednotlivých svodů do jednoho s větším průměrem.

Základní lambda sondou je úzkopásmová lambda sonda. Ta je v praxi nejvíce rozšířená pro svou jednoduchost. V praxi se označuje jako měřicí či diagnostická lambda sonda u většiny automobilů. Měřicí jsou umístěny za svody motoru a mají vliv na výslednou směs paliva a vzduchu, diagnostické jsou pak umístěny až za katalyzátorem a mají za úkol sledovat stav a funkci katalyzátoru. Samotné čidlo pak funguje na principu Nernstovy buňky, která je schematicky znázorněná na obr. 3.



obr. 3: Úzkopásmová lambda sonda; převzato z [7]

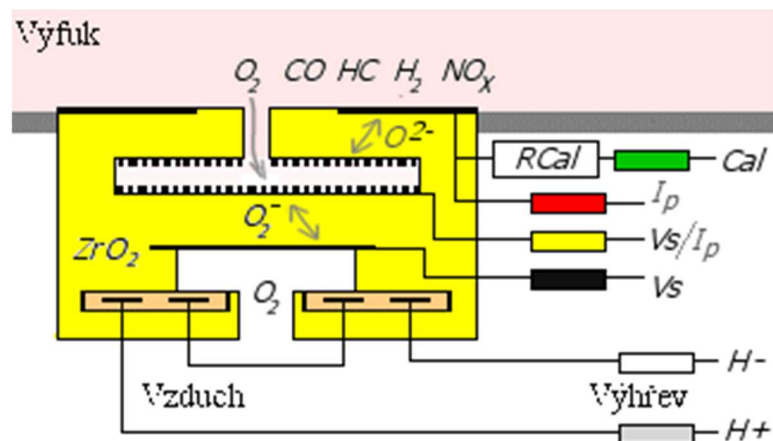
Senzor je tvořen buňkou z oxidu zirkoničitého (ZrO_2) který je dopovaný oxidem yttritým (Y_2O_3). Tento materiál je schopný vést elektrický proud při vyšších teplotách. Styčná

vrstva mezi výfukovými plyny a vodivou částí je pokryta tenkou vrstvou platiny, která slouží jako katalyzátor pro ionty kyslíku a plyny ve výfuku. Na rozhraní dojde k elektrochemické reakci a díky tomu materiál sníží svůj objemový odpor. Dojde ke snížení rozdílového napětí mezi svorkami V_s a k průchodu proudu skrz samotnou sondu. Vodivost ZrO_2 je silně závislá na teplotě, proto je nutné zajistit dosažení vysoké a stabilní teploty. Sondy se vyhřívají na teplotu $750^\circ C$. Proto je přidán vyhřívací článek, který je připojen na svorky H- a H+. Tato úzkopásmová lambda sonda poskytuje napěťový výstup závislý na teplotě a s velmi strmým průběhem výstupního napětí V_s . Jeho velikost lze vypočítat dle upravené Nernstovy rovnice do tvaru (1).

$$V_s = \left(\frac{RT}{4F} \right) * \ln \left(\frac{pO^{air}}{pO^{exh}} \right) \quad (1)$$

R a F jsou parametry dané sondou a jejími konkrétními konstrukčními vlastnostmi, T je pak absolutní teplota sondy. Ta se pomocí výhřevu udržuje na konstantní hodnotě. Velikost výstupního napětí je tedy závislá pouze na pO_2 . Hodnota pO^{air} reprezentuje parciální tlak kyslíku referenční vzduchové mezery, případně referenčního plynu obsaženého v těle sondy a pO^{exh} je parciální tlak kyslíku ve výfukových plynech. Díky logaritmické závislosti je tato sonda velice citlivá na odchylky od ideálního poměru. Většina motorů, které se ladí na vyšší výkon však funguje při bohatší směsi a tam je tento typ sondy velice nepřesný a nedává potřebné údaje. V_s také roste s teplotou, proto studená sonda falešně měří bohatší směs, než ve skutečnosti je.

Výše uvedený způsob dokáže detekovat pouze stechiometrickou směs. Pro potřeby dalšího měření se Nernstova buňka rozšířila o čerpací článek. Ten je principiálně podobný úzkopásmové lambda sondě, avšak citlivý povrch je uzavřen v dutině, do které proudí výfukové plyny malým otvorem. Pokud se na vývody V_s přivede napětí, dojde k tomu, že atomy kyslíku v komoře se začnou nabíjet a vznikají tak ionty kyslíku. Dle polarity a velikosti připojeného napětí lze řídit oxidační a redukční reakce v samotné komoře. Tomuto řízenému vzniku iontů se říká čerpání a dutině v senzoru pak čerpací komora. Čerpáním se mění podíl molekul kyslíku (O_2) ve výfukových plynech. Přidáním Nernstovy buňky do čerpací komory lze detekovat, kdy je koncentrace kyslíku na určité hodnotě. Jak již bylo zmíněno výše, sonda dokáže detekovat jen stechiometrický poměr čili pouze jednu hodnotu napětí. Díky řízenému čerpání pak lze z čerpacího proudu určit, o kolik se musí uměle změnit koncentrace kyslíku, aby bylo dosaženo stechiometrického poměru. Tímto postupem lze měřit AFR (poměr vzduchu a paliva) v mnohem větším rozsahu než čistě úzkopásmovou lambda sondou. U úzkopásmové sondy je měřitelný rozsah AFR 14-15, oproti tomu při použití širokopásmové sondy lze měřit hodnoty od AFR=10 až po hodnotu AFR=20 (čistý vzduch). Příklad takové měřicí struktury je uveden na obr.4.

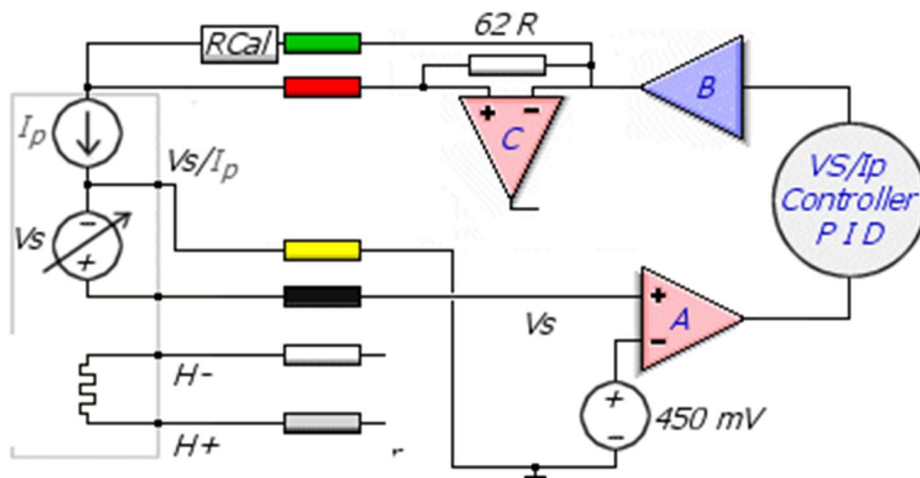


obr. 4: širokopásmová lambda sonda; převzato z [7]

Takovémuto zařízení se říká širokopásmová lambda sonda a používá se právě u sportovních motorů, které fungují většinou v mírně bohaté oblasti nebo při seřizování a ladění motorů. Jako výstup takové sondy není rozdílové napětí V_S ale čerpací proud I_p . Ten může nabývat kladných i záporných hodnot, podle toho, zda je směs příliš chudá či bohatá. Platinové plošky v čerpací komoře jsou z konstrukčních důvodů pro oba obvody společné. Takto zkonstruované senzory však mají problém s odchylkami výrobních procesů a závislostí I_p . Proto byly přidány kalibrační odpory R_{cal} , které již výrobce většinou umísťuje do konektoru lambda sondy. Tyto rezistory bývají tlustovrstvé a po vyrobení celého zařízení se při testování funkčnosti trimují (dostavují) na přesnou hodnotu. Proto by se neměly nikdy měnit konektory širokopásmových lambda sond, pokud nejsou použity s řídicí jednotkou umožňující kalibraci.

1.3.1 Řízení lambda sondy

Úkolem řídicí elektroniky lambda sondy je udržet teplotu difusní komory v co možná nejmenším rozsahu a čerpáním proudu I_p udržet stechiometrický poměr. Pro přepočet I_p na hodnotu lambda se používá náhledová tabulka pro ušetření výpočetní kapacity.



obr. 5: schéma kontroléru lambda sondy; převzato z [7]

Na obr. 5 je schéma zapojení měřicí části lambda kontroléru. Pro samotné měření je třeba řídit čerpací proud I_p . Pro stechiometrický poměr, který má být dosažen na Nernstově měřicím článku, odpovídá napětí V_s 450 mV. Dle toho, zda je toto napětí vyšší či nižší, přepne operační zesilovač A na výstup kladné, či záporné napětí. Dle polaritě a velikosti tohoto napětí se nastaví PID kontrolér, který se často implementuje pomocí mikrokontroleru (dále jen MCU), sepne operační zesilovač B zapojený jako zdroj proudu. Proud teče skrz měřicí zapojení operačního zesilovače C do čerpacího článku lambda sondy. Podle velikosti výstupního napětí na operačním zesilovači C se pak pomocí náhledové tabulky v mikrokontroleru určí přesná hodnota lambda, případně hodnota AFR. Ke správnému měření je nutné lambda sondu vyhřát na vysokou teplotu. Z dostupné dokumentace od výrobce [6] plyne, že by tělo sondy mělo mít teplotu nižší než 570 °C a teplota výfukových plynů by měla být v rozsahu 930 °C – 1030 °C. Při nízké teplotě je nízká energie plynu a je potřeba dodat více elektrické energie k provedení potřebného počtu elektrochemických reakcí. Tím stoupá čerpací proud pro stejnou hodnotu AFR. Důležitý je však také objem plynu, který proudí kolem samotného senzoru. Vyhřívací část se reguluje spínáním pomocí tranzistoru přímo na napájení. Hodnota napětí by měla být mezi 10,5 V a 19 V pro správnou funkci vyhřívání. Konstrukce obvodu je taková, že lze dosáhnout maximálního tepelného výkonu již při napětích nižších, než je napětí autobaterie. Je to tak z důvodu očekávání ztrát v obvodu a také, že se lambda sondy zahřívají při studeném motoru, při volnoběžných otáčkách, a tedy při nižším napětí alternátoru. Kontrolér by měl omezit maximální proud sondou, aby nedošlo k jejímu nadměrnému opotřebení při zahřívání. Výrobce udává výkon výhřevu 10 W, což odpovídá asi 1 A proudu. To ovšem platí jen pro moderní širokopásmové lambda sondy typu LSU4.2 a LSU4.9. Starší širokopásmové lambda sondy LSU4.0 měly spotřebu vyhřívacího obvodu několikanásobně vyšší při stejném funkčním efektu.

1.4 Displeje Nextion

V této práci je použit displej z řady Nextion. Jedná se o nepříliš rozšířený typ zobrazovače s integrovanou řídicí jednotkou a vlastní instrukční sadou. Použit je starší typ, s rezistivní dotykovou vrstvou nad zobrazovací plochou. Proto je jemu, i některým jeho funkcím věnována pozornost v této kapitole. Nejedná se o klasický zobrazovač, kterému se vysílají data o obrazu, ale spíše vývojový kit s dotykovým zobrazovačem. O jeho obsluhu se stará programovatelný logický obvod (CPLD) ALTERA MAX II. Veškerá data k zobrazení jsou již připravena ve vnitřní paměti displeje a jednotlivé objekty jsou pouze volány, případně se objektům mění jednotlivé parametry. Samotný displej pak také dokáže vykonávat jednoduché rutiny. Přes řízení pomocí CPLD je vykonávání vlastního programu velice pomalé. Výrobce neudává taktovací frekvenci, ani údaje o použitém oscilátoru.

Pro programování displeje slouží vývojové prostředí Nextion Studio, ve kterém lze graficky nastavit kdy bude co zobrazeno a psát jednoduché instrukce pro jednotlivé objekty či vnitřní časovač. Program se do displeje nahrává buď z paměťové karty, nebo přímo z počítače pomocí sériové linky, resp. pomocí převodníku FTDI z USB na sériovou linku. Tento převodník lze také využít pro ladění displeje v reálném čase pomocí příkazové řádky ve vývojovém prostředí. V následujícím textu jsou popsány použité objekty a příkazy. Text se týká konkrétního použitého programu, proto jsou popsány jen použité funkce. Možnosti samotného displeje jsou mnohonásobně širší.

Ovládání celého displeje probíhá pomocí příkazů vysílaných pomocí sériové asynchronní linky. Přenosová rychlost musí být nastavena na 115200 Baudů. Pokud dojde k příjmu neplatného příkazu, či jsou pokyny nečitelné díky rušení, displej umí vyslat odpověď a rozeznat chybu neplatného objektu, nerozlišeného znaku, špatně rozeznávaného časového rámce či neplatně zadané hodnoty. Bohužel tato zpětná vazba není poskytnuta s pevně daným časovým odstupem, a není ani informace o správně přijatém pokynu. Díky tomu při odeslání několika příkazů po sobě nelze určit, který z nich byl špatně přijat. Samotné příkazy se pak posílají v ASCII kódování, a každý příkaz je zakončen třemi bajty s hodnotou 255. Jako textový řetězec se odesílají i číselné hodnoty jednotlivých argumentů.

V paměti samotného zobrazovače jsou nahrané objekty, obrázky a fonty pro použitá písma. Fonty se generují pomocí utility integrované ve vývojovém prostředí. Danému fontu nelze měnit vlastnosti, pro dvě různé velikosti písma je tedy potřeba vygenerovat dva fonty. Podobně fungují obrázky, které je třeba nahrát do paměti ve formátu jpg, a následně se volají, jako hodnota objektu pro zobrazení obrázku. Obrázky nelze zvětšovat či zmenšovat, je tedy třeba jejich velikost upravit přesně na požadovaný rozměr před nahráním do displeje. Obrázky i fonty jsou globálně použitelné pro všechny strany, další objekty jsou ve výchozím nastavení jako lokální pro danou stranu, na které se nacházejí.

Z celé instrukční sady jsou použity pouze tři příkazy. „Page“ je příkaz používán pro změnu zobrazené strany, kterému se jako atribut předává název strany, či její číslo. Příkaz a argument se oddělují mezerou. Například „page 5“ zobrazí stranu s pořadovým číslem 5. Dalším příkazem je „click“ který stiskne tlačítko, či jiný objekt. Argumenty této funkce jsou dva. Prvním je název objektu a druhým je logická hodnota, zda má být objekt stisknut či uvolněn. „click s,1“ tedy stiskne (1) tlačítko s názvem „s“, „click s,0“ spustí operaci pro uvolnění tlačítka. Jednotlivé argumenty jsou odděleny čárkou. Posledním příkazem je příkaz „fill“ který vyplní definovanou obdélníkovou oblast barvou. Jako argumenty se předávají souřadnice levého horního rohu, rozměry obdélníku a jeho barva.

Dále pak lze jednotlivým objektům měnit vlastnosti. Nejčastěji se mění hodnota číselného pole či grafického zobrazovače. Tuto změnu lze provést odesláním názvu objektu, požadované vlastnosti a požadované hodnoty. „graf.val=50“ nahraje hodnotu (val) objektu „graf“ rovnu 50. Dalším argumentem, který je hojně měněn v použitém kódu je barva popředí, nazvaná „pco“.

Při zapnutí displeje se vždy zobrazí strana s pořadovým číslem 0. Na všech stranách jsou vykresleny objekty v jednotlivých vrstvách dle pořadového čísla. Nižší pořadová čísla překrývají objekty s vyšším pořadovým číslem. Při běhu programu se pak do popředí dostávají objekty aktualizované. V instrukční sadě je tak i příkaz pro aktualizaci objektu, který nedělá nic jiného, než že objekt posune do nejvyšší vrstvy.

2 PŘÍPRAVA A SEŘÍZENÍ MOTORU

Tato kapitola se zabývá popisem postupu seřízení motoru. Obecně, co vše a kdy by se mělo seřít a dále je zde shrnuto jaké přístroje lze pro seřízení použít. Za zmínku stojí i postupy, které se používají v praxi mezi amatéry. Právě amatérské postupy mají být nahrazeny navrhovaným přístrojem. Tyto poznatky lze dále využít při návrhu nového zařízení, které by mělo pokrýt kontrolu všech potřebných a dostupných parametrů pro vyhodnocení bohatosti směsi. Následující podkapitoly jsou více podrobné, aby si čtenář neznalý problematiky karburátorů a spalovacích motorů plně uvědomil vazby mezi jednotlivými proměnnými. Pohonná jednotka funguje převážně díky vnitřním mechanickým zpětným vazbám, které je důležité znát. Při nekvalifikovaném zásahu hrozí nevratné poškození či zničení celé pohonné jednotky.

2.1 Teorie seřizování

Díky tomu, že v karburátorových motorech je pouze minimum věcí řešeno elektronickou cestou, musí být jednotlivé prvky, od sání po výfuk, sladěny tak, aby správně fungovaly. Nikdy nelze nastavit motor dle tabulkových hodnot tak, aby fungoval spolehlivě za všech okolností. Tabulkové hodnoty jsou pouze výchozím bodem použitelným ve většině případů, je ale nutné brát tyto hodnoty jako výchozí pro další, přesnější seřízení. Na výkonu a funkci motoru lze poznat i rozdíl okolní teploty o několik desítek stupňů celsia, nebo rozdíl nadmořské výšky. Právě s nadmořskou výškou mají často problémy cestovatelé, kteří se rozhodli zdolávat alpské průsmyky. Nezřídka se lze také setkat s motory, které mají snížený výkon z legislativních důvodů, přestože mechanicky jsou zcela shodné. Nejčastěji se tak děje kvůli rozdělení řídičských oprávnění do skupin dle výkonu nebo kvůli různým sazbám povinného ručení. V některých evropských zemích bylo ještě v nedávné minulosti zakázáno prodávat motocykly s výkonem přesahujícím 100 koní. Navíc u motocyklů jsou motory konstruovány na vysoký výkon při malém objemu a obecně mají kratší životnost než motory automobilové. S ohledem na to je nutné se o ně více starat a správně s nimi zacházet. Právě seřízení motoru a správný režim jeho provozu má zásadní vliv na jeho životnost.

2.1.1 Příprava a kontrola

Prvním krokem při snaze seřít motor, je mechanická kontrola a vyčištění. Vzhledem k tomu, že celý motor funguje bez elektronického přeplňování, či vstřikování, je třeba zajistit průchodnost všech cest. Měla by být zkontrolována i průchodnost výfuku, stav všech vzduchových filtrů, stav vzduchových hadic, funkce solenoidu pro ovládání sacích okruhů, průchodnost palivového filtru, těsnost hadic a funkci palivové pumpy. Karburátory by se před každým zásadním zásahem do chodu motoru měly důkladně vyčistit. Nejběžnější postup je rozebrání všech čtyř karburátorů a vyčištění v ultrazvukové pračce, aby bylo docíleno pročištění špatně přístupných míst a odstranění všech nečistot. Při opětovném skládání karburátorů, se všechny nastavitelné prvky dají do výchozích hodnot, případně se seřídí dle stavu, ve kterém byly před čištěním. Pokud se na motoru provádí úpravy, například výměna trysek a jehel pro sportovní účely, výměna svodů a výfuku, je třeba namísto výchozích hodnot dle výrobce motocyklu použít výchozí hodnoty doporučené výrobcem upraveného dílu. Světoví výrobci laděných

výfuků, či sportovních sad pro karburátory často disponují vlastními motorovými brzdami, na kterých testují různá nastavení a vyvíjí své produkty. Dále je nutné zkontrolovat těsnost válců, stav rozvodového řetězu, časování rozvodů a ventilové vůle. Ventilové vůle musí být nutně v mezích udávaných výrobcem, ideálně pak musí mít co nejmenší odchylky mezi jednotlivými válci, aby jeden sací ventil nebyl na minimální mezi a druhý na maximální. Mohlo by to způsobit nepravidelný chod motoru ve vyšších otáčkách, přehřívání nebo zrychlené zanášení karbonem. Na motoru PC25e z těchto věcí lze nastavit pouze ventilovou vůli. Časování ventilů je dané správným nasazením rozvodového řetězu a snímače natočení klikové hřídele. Hřídel je zakončena nesymetricky, aby nemohlo dojít ke špatnému nasazení zmiňovaného snímače. O zapalování se stará řídicí jednotka a konstrukčním řešením je zajištěno, že ho nelze měnit takovým způsobem, aby motor nenastartoval, či došlo k jeho poškození. Posledním krokem přípravy pro ladění je přimontování karburátorů, airboxu a nádrže, případně nádoby na palivo, pokud by nádrž znemožňovala přístup k potřebným prvkům pro nastavení. Airbox je vzdušník, ve kterém je umístěn vzduchový filtr. Po vstupu do sacího hrdla má vzduch vysokou rychlost, v závislosti na větru a rychlosti samotného motocyklu. Větší částice ve vzduchu, jako například kamínky od jedoucích vozidel, hmyz a jiné nečistoty by mohly nárazem poškodit vzduchový filtr. Proto je airbox tvarován tak, aby v něm docházelo k turbulencím, které těžké částice oddělí. Dále se v airboxu přítomný vzduch zahřeje na vyšší teplotu, od rozpáleného motoru, který se nachází pouze několik centimetrů pod samotným vzdušníkem.

Po mechanickém složení všech částí je nutné zaplavit plovákové komory a nastartovat motor. Po nastartování se musí zvýšit volnoběžné otáčky z původních přibližně 1000 ot/min. na 1800-2000 ot/min. a prověřit těsnost celého systému. Těsnost sání se prověřuje postříkáním všech spojů vysoce hořlavou směsí, například čističem brzd apod. Pokud se tato hořlavina dostane do systému, projeví se to kolísáním otáček. Typicky se na krátký okamžik sníží a poté na několik vteřin stoupnou. Tento postup používají v praxi i autoservisy pro diagnostiku moderních vozidel. Často se opomíjí nebezpečí špatně slícovaných a nedotěsněných spojů na svodech výfuku. Ucházející výfuk většinou nemá fatální následky, ale přesto je nutné pro správnou funkci motoru projít celý výfukový systém a zkontrolovat jeho těsnost. Pokud není dostatečný tlak ve výfukovém systému, ovlivňuje to i velikost podtlaku v sání a tím množství směsi, která je ve válci. Poté se již může přistoupit k samotnému seřízení karburátorů.

2.1.2 Seřízení karburátorů

Při zásahu do nastavení karburátoru je nutné si uvědomit, že jednotlivé prvky, které se nastavují spolu přímo či nepřímo souvisí. Proto je nutné jednotlivé kroky opakovat. Při správném postupu je možné počet iterací při nastavování snížit, ne však vše nastavit napoprvé správně. Při naprosté většině běžných úprav motoru se upravuje pouze okruh kolem šoupátka a hlavní trysky, nemění se volnoběžné trysky ani vedlejší vzduchové okruhy. V této kapitole je uváděn rozsah otevření plynu. Nejedná se o přesná čísla, ale o tradované přibližné hodnoty, které v naprosté většině případů odpovídají a slouží pro přibližnou orientaci při hledání problému ve funkci či nastavení karburátoru.

Prvním krokem je nastavení volnoběžných otáček a okruhu volnoběhu. Nejprve se zajistí synchronizace jednotlivých válců. Nesymetrie se projevuje především na kolísání volnoběžných otáček a cukání motoru v nízkých otáčkách. Jak již bylo zmíněno,

každý z válců má vlastní karburátor, je tedy potřeba vyvážit všechny dvojice. Obvykle se postupuje synchronizací dvou pravých a dvou levých válců. Nakonec se sladí obě dvojice. Jednotlivé škrticí klapky jsou mechanicky propojeny přes pružiny, aby byl zajištěn vzájemný pohyb a ovládají se dvojicí bowdenů. Synchronizace se nastavuje dolním dorazem jednotlivých škrticích klapek, tedy nastavením zavřené polohy. Pro pravidelný chod motoru nestačí nastavit všechny klapky do geometricky shodné polohy, je nutné vzít v úvahu drobné odchylky sacích cest a časování ventilů jednotlivých válců. Po synchronizaci se seřizuje bohatost volnoběžné směsi. Ta se seřizuje škrticím šroubem vzduchu a volnoběžnou tryskou. Volnoběžná tryska má vliv na směs do cca 1/3 zdvihu šoupátka. Bohatost vzduchu se nastaví při volnoběhu, tryska se pak případně upraví dle chování při velmi mírném přidání plynu. Je však nutné brát v úvahu, že při jakémkoliv přidání se projevuje více či méně i hlavní sací okruh. Nastavení je nutné provést na každém válci zvlášť. Volnoběžné trysky bývají zpravidla pro všechny čtyři válce shodné velikosti. V průběhu nastavování se mění volnoběžné otáčky motoru a je třeba také kontrolovat synchronizaci karburátorů.

Po dosažení správné směsi při volnoběhu motoru a stabilních otáček je nutné nastavit směs pro zbytek rozsahu. Množství vzduchu, které proudí skrz membránu, je dáno výrobcem. U sportovních motorů se otvory v membráně převrtávají či zaslepují. Dodavatelé ladicích sad pro karburátory zpravidla předepisují úpravy membrán a jejich konkrétní podobu. Zde se nenechává prostor pro nastavení uživatelem. Uživatel mění pouze hlavní trysky a výšku jehly, pokud je nastavitelná. Hlavní tryska určuje bohatost směsi v celém rozsahu otáček, největší vliv má však při plně otevřeném plynu. Často stačí prověřit pouze odezvu motoru na krátké prudké přidání plynu pro orientační nastavení velikosti hlavních trysek, protože jejich vliv na chod je velice výrazný a špatná velikost trysky vede k dušení motoru, případně k vynechávání. Zde se volí různé velikosti pro vnější a vnitřní válce. Je to z důvodu distribuce tepla, kdy vnější válce jsou lépe chlazeny, a proto dostávají chudší směs než válce vnitřní. Také při brždění motorem jsou od paliva odříznuty pouze vnější válce, a ne všechny čtyři. U trysek je skryté riziko v jejich označování různými výrobci, kdy není dána jednotná metodika měření trysek. Někteří výrobci udávají čistě velikost otvoru v trysce, jiní uvádí průtok paliva, či odstupňují čísla bez vazby na skutečné vlastnosti. Na výsledné funkci se výrazně podílí i geometrie samotné trysky, kdy zásadní vliv kromě výšky hlavy trysky má i tvar a velikost zahlbubení kolem otvoru. Existují jisté pokusy o převodní tabulky, které však víceméně nefungují jinak než orientačně. Proto je nutné při změně trysek koupit buď celou sadu od jednoho výrobce, nebo používat trysky výhradně od společnosti, od které byly trysky předchozí a orientovat se na „větší“ a „menší“ místo konkrétní uvedené hodnoty. Problematické geometrie trysek se zde nebude věnovat větší pozornost. Vnitřní trysky bývají větší o 2-6 jednotek, dle toho, jak výrobce došel k udávanému číslu.

Takto seřízený karburátor funguje při volnoběžných otáčkách a při plně otevřeném plynu. Pro běžné použití toto nastavení stačí, i když funkce karburátorů a odezva plynu nemusí být optimální bez dalšího nastavení. Jako poslední se nastavuje poloha jehly v šoupátku. Jehla je zasunuta v těle hlavní trysky a má kuželový tvar. Při otvírání šoupátka dochází k vytahování jehly a tím zmenšování průřezu plochy, kterou jehla zabírá v trysce. Tím se otvírá otvor v trysce a dochází tak k pronikání většího množství paliva do proudícího vzduchu. Jehly se dělají s různým tvarem a stoupáním. Kuželovitost jehly má mimo jiné vliv na odezvu plynu v rozsahu 1/3-3/4 otevření plynu. V praxi se místo výměny jehly pouze mění její poloha v šoupátku a tím množství paliva

proudícího do motoru při konstantním objemu vzduchu. V průběhu celého nastavení je nutné kontrolovat i nastavení předchozích kroků.

2.2 Metodika seřizování

Zde následuje přehled základních metod, které se dají při nastavování motoru použít, včetně potřebného vybavení. Nebude věnována přílišná pozornost profesionálním nástrojům, které jsou pro většinu lidí zbytečně drahé. Tato diplomová práce za cíl navrhnout a sestavit alternativní nástroj, který nemá plnohodnotně nahradit motorovou brzdu, ale má tvořit jakýsi levný mezičlánek mezi dostupnými nástroji, a právě těmi plně profesionálními, případně jeden nástroj pro měření vícero veličin, pokud to bude přínosem z uživatelského hlediska. Jednotlivé kategorie nástrojů jsou řazeny tak, jak se postupně motor má seřizovat.

Postup:

- Tlaky ve válcích.
- Ventilové vůle.
- Synchronizace válců
- Bohatost volnoběžné směsi
- Hlavní tryska
- Poloha jehly

Pro kontrolu tlaku motoru jsou dostupné manometry, které se šroubují místo zapalovacích svíček. Před manometrem je jednocestný ventil čili manometr zaznamenává maximální hodnotu. Po nasazení se motor několikrát protočí naprázdno, aby došlo k natlakování manometru. Zde je důležité, aby všechny válce měly vzájemnou odchylku do 10 %, jinak není zaručen pravidelný chod motoru. Snižování tlaků ve válcích vlivem opotřebení je běžný jev a existují postupy, jak určit, která část spalovacího prostoru netěsní, aniž by bylo třeba motor rozebrat.

Ventilové vůle se seřizují pomocí sady spárových měrek. Tolerance vůlí jsou uvedeny v servisním manuálu motocyklu. Tyto hodnoty jsou různé pro sací a výfukové ventily. Měření je třeba provádět vždy v pevně definovaném bodě, kdy jsou vačky v maximální vzdálenosti od samotného hrníčku. Na váčkových hřídelích jsou proto umístěny značky, dle kterých se má hřídel otočit do přesné měřicí polohy.

2.2.1 Synchronizace válců

Dalším prvkem, který je nutno nastavit je synchronizace válců. Po čištění se provede základní synchronizace ještě před umístěním karburátorů na stroj. Cílem předběžného seřízení je, aby všechny škrtivé klapky byly ve stejné geometrické poloze. To lze provést buď pohledem, ale zde není znát síla, kterou se klapka tlačí k dorazu. Proto se používá metoda, kdy se říditelná klapka otevře tak, aby mezerou prošla například jehla. Do stejné polohy se pak seřídí i ostatní klapky. Další, přesnější synchronizace probíhá již při nastartovaném motoru. Vždy se vůči sobě nastavují dvojice válců 1+2, 3+4 a nakonec se obě dvojice sladí k sobě. Pokud se nejprve sladí prostřední válce, dojde při pokusu o naladění krajních dvou k jejich opětovnému rozladění. Pro účely měření jsou v přírubách motoru vyvrtané otvory se závitem. Do nich se našroubují průchodky pro

vzduchové hadičky. Tak dojde k vyvedení podtlaku z motoru ven, kde se dá měřit. Velikost podtlaku je závislá na otáčkách motoru a také na tom, zda motor zrovna nasává směs nebo nikoliv (pokud je mimo fázi sání). Výkyvy tlaku je třeba při měření vyrovnat. K tomu se běžně používají krátké hadičky s malým vnitřním průřezem, které se vloží do hlavní velké hadice, případně se používají nastavitelné škrticí ventily. Ty však vnášejí do měření nepřesnost tím, jak jsou nerovnoměrně zavřeny a je třeba odhadnout, jak moc ventil zavřít. Záleží tedy na zkušenostech uživatele a jeho šikovnosti. Pro nastavení není důležitá absolutní hodnota tlaku, ale relativní hodnota vůči ostatním válcům. Z tohoto důvodu se v domácích podmínkách běžně používají spojené nádoby, z nichž je každá napojena na jeden válec. Riziko této metody je v tom, že pokud se jedna z podtlakových hadic rozpojí, může dojít k nasání kapaliny do motorového prostoru. Další nevýhodou je nutnost vertikální polohy přípravku. Příklad takového přístroje, pracujícího s vodou obarvenou potravinářským barvivem, je na obr.6.



obr. 6: vodní synchronizace; převzato z [3]



obr. 7: manometrická synchronizace; převzato z [4]

Na obr. 7 je vidět pokročilejší přístroj využívající manometry pro měření absolutní hodnoty podtlaku. Pro tlumení výkyvů tlaku jsou zde použity zelené škrticí ventilk. Při seřizování s takovýmto druhem přístroje se omezuje přívod vzduchu tak dlouho, až ručička přístroje přestane oscilovat tak, že hodnoty jsou nečitelné a ustálí se na určité hodnotě. Tento typ přístrojů je velice oblíbený a rozšířený pro svou dostupnost a nízkou cenu. Nevýhodou jsou velké oscilace, nutnost přesné kalibrace manometrů z výroby a těžší odečítání drobných odchylek. Dalším z oblíbených, avšak hůře dostupných přístrojů je britský carbtune (obr. 8), který má ve spodní části dlouhé vinuté pružiny, které jsou stlačovány podtlakem v horní trubici a na stupnici je vidět o kolik se pružina stlačila. Stupnice je cejchována v cmHg. Nevýhodou tohoto přístroje je nutnost vertikální polohy, výhodou je možnost kalibrace, snadné použití i manipulace, a především přesnost měření. Díky tomu, že není důležitá absolutní hodnota, je možné přístroj kalibrovat i tak, že se jedna podtlaková hadice postupně připojí ke každému kanálu a nastaví se na stejnou hodnotu. Profesionálnější analogové přístroje jsou podobné carbtune, jen používají skutečné rtuťové sloupce pro měření podtlaku. Digitální přístroje nejsou příliš rozšířené, případně jsou kombinovány s dalšími možnostmi měření a jejich cena je více než desetinásobná oproti zmiňovanému přístroji.



obr. 8: carbtune pro

2.2.2 Nastavení směsi

Dále se nastavuje volnoběžná směs. Zde se nabízí hned několik možností, jak směs diagnostikovat. U jednoválcových motorů se tato směs dá úspěšně nastavit podle zvuku motoru, či velmi přesného otáčkoměru, kdy se otáčením šroubu hledají maximální volnoběžné otáčky motoru. U víceválcového motoru tuto metodu použít nelze, protože nelze spolehlivě poznat změnu otáček. Pokud se zvýší otáčky jednoho válce, zbylé tři tento rozdíl snižují na minimum a motor díky tomu, že běží nepravidelně může své otáčky dokonce snížit oproti původní hodnotě. Jedna z možností, jak poznat i drobné změny ve volnoběžných otáčkách, je nepoužívat otáčkoměr od výrobce, ale číst přímo signál, který ho ovládá. To lze provést buď čtením signálu pro analogový ukazatel otáček, nebo přímo detekováním otáček na kabelu k zapalovací svíčke pomocí indukčního čidla a přesných stopek, případně využít čidla otočení klikového hřídele. Volnoběžné otáčky však vždy trochu kolísají a jejich rozdíly v závislosti na směsi nejsou příliš velké, proto tato metoda

není příliš účinná. Bohatou volnoběžnou směs lze poznat tak, že otáčky motoru po prudkém přidání plynu klesají příliš pomalu. Naopak při chudé směsi bude motor „střílet do výfuku“. Tento zvuk, potažmo provoz na mírně chudou směs, je žádoucí u sportovních motorů, které však počítají s velmi nízkou životností a prémiovou péčí. Poslechem lze však rozeznat pouze extrémní případy špatně nastaveného karburátoru.

Další metodou je ladění „na barvu svíčky“. Tato metoda se používá spíše při nastavování směsi pro běžný provoz a spočívá v tom, že se vyhodnocuje čistota a barva zapalovací svíčky po určité době chodu motoru, který musí být zahřátý na provozní teplotu. Takovéto seřizování však vyžaduje jistou zkušenost, čisté svíčky, prohřátý motor a dlouhou dobu běhu motoru. Také se dá poznat nevyhovující směs, ale již nejde určit, jestli je to při volnoběhu či ve vyšších otáčkách. Takovéto měření je vhodné spíše pro dvoutaktní motory, kde je svíčka znečišťována olejem a více se projevuje její zbarvení. Za účelem domácího měření byla vytvořena speciální zapalovací svíčka, která má vnitřní elektrodu umístěnou v průhledném krytu. Skrze něj je možné pozorovat barvu plamene ve spalovacím prostoru a vyhodnotit tak kvalitu spalovacího procesu. Při bohaté směsi je barva oranžová až červená, při chudé bílá. Optimální směs by měla být modrá. U automobilových motorů, kde je větší obsah válce a nižší volnoběžné otáčky je tato metoda použitelná, u motocyklových vysokootáčkových motorů je její použití diskutabilní. Nejpreciznější měření je pomocí lambda sondy, kdy je však nutné měřit každý válec zvlášť, případně vnitřní a vnější dvojice dohromady. To vyžaduje úpravu svodů výfuku a dražší přístroje pro měření.

Hlavní trysku je možné vybrat podle zvuku motoru a citu. Pokud je zvolena špatná tryska, projeví se to výrazně na chodu motoru. Pokud se motor při prudkém přidání plynu začne dusit, znamená to, že je zvolena špatná tryska. Pokud se dusí a nemá výkon, je směs příliš bohatá. Když se motor zadusí na chvíli a pak znovu začne běžet, případně cukat, znamená to, že je směs příliš chudá a je nutné zvolit větší trysku. Zde již neexistuje amatérské domácí řešení, stejně tak pro nastavení polohy jehly. Pro tato nastavení je nutné měřit za běhu parametry spalovacího procesu v motoru. Moderní spalovací motory pro udržení směsi při chodu používají lambda sondy, stejně tak i profesionální „ladiči“ motorů. V automobilovém průmyslu se používají úzkopásmové lambda sondy, pro účely ladění je však nutné použít dražší, širokopásmovou lambda sondu. Pro dosažení optimálních výsledků je nutné použít lambda sondy pro každý válec zvlášť a měřit přímo v reálných podmínkách. Jak již bylo zmíněno, motor PC25e má dva sací okruhy, mezi kterými se přepíná. Nejen proto je nutné měření provádět buď na měřicí brzdě, aby byly nasimulovány reálné provozní podmínky, nebo měřit přímo za provozu vozidla. Komerčně je dostupných hned několik měřicích přístrojů pro měření AFR za běhu motoru. Vždy se jedná o zařízení umožňující měřit jednu nebo dvě lambda sondy. Zobrazení probíhá většinou na řadu barevných diod, u lepších typů je navíc i segmentový displej pro zobrazení konkrétní hodnoty. Tyto přístroje však nejsou nijak chráněny proti vniknutí vody a pro diagnostiku čtyřválcového motoru jsou potřeba dva až čtyři přístroje. Dalším stupněm jsou pak profesionální nástroje, které jsou již určeny pro použití ve spojení s motorovou brzdou, jsou rozměrné a jejich cena je v desítkách až stovkách tisíc korun. Toto řešení je používáno na profesionální úrovni závodními týmy a konstruktéry automobilů. Svod z každého válce se napojuje na svou vlastní lambda sondu, vozidlo se připevňuje na brzdu a simuluje se jízda vozidla při níž se sledují data z jednotlivých válců. Dle naměřených dat se pak upravují palivové mapy jednotlivých vstříků.

3 NÁVRH ZAŘÍZENÍ

Cílem této kapitoly je navrhnout přístroj, díky němuž by bylo možné amatérsky vyhodnocovat nastavení spalovacího cyklu a synchronizace jednotlivých válců a mělo by další funkce pro sledování pouze jednoho válce na pozadí, měřením času na okruhu, měřením otáček motoru a zobrazení zařazeného rychlostního stupně. V případě problému s motorem by zobrazilo varování pro řidiče, aby zastavil a zkontroloval motor. Zvláště při okruhovém provozu jsou spalovací motory značně zatíženy, mnohdy až na hranici svých konstrukčních možností, a proto je třeba pečlivě sledovat jakékoliv odchylky od správné funkce. Projekt vytvořený v rámci této práce nemá mít komerční ambice, naopak má být realizovatelný pomocí běžného amatérského vybavení, čemuž byly uzpůsobeny některé vybrané materiály, postupy a výrobní technologie. Dále byla snaha o udržení nízké ceny, která však nesmí být vykoupena nízkou kvalitou či nízkou přesností měření. Odhadovaná cena zařízení je 20000 Kč. Tato na první pohled vysoká částka je dána cenou zvolených senzorů, při jejichž výběru byla upřednostněna přesnost a stálost vlastností před nízkou cenou. Pro srovnání je možno uvést, že komerční digitální přístroj pro měření podtlaků stojí přes 20000 Kč a přístroj pro měření AFR stojí 5000 Kč pro jednu lambda sondu. Navržené zařízení tedy stále znamená značnou finanční úsporu.

3.1 Požadavky na přípravek

Pro účely měření je nutné, aby přípravek uměl měřit a zobrazovat data ze čtyř lambda sond. Ideálně aby to uměl v reálném čase. Tento požadavek je zde zmíněn, protože mnoho komerčních produktů nabízí pouze záznam hodnot do paměti a následné vyhodnocení pomocí počítače. K vyhodnocení je pak potřeba zaznamenat více hodnot, například polohu plynu, škrticí klapky, ideálně i polohu motocyklu na mapě, zda jel do kopce či z kopce, jak moc zrychloval atd. Živým zobrazením hodnot bude zajištěno, že všechny tyto údaje řidič v daný okamžik zná a dokáže tak více intuitivně vyhodnotit naměřená data. Lambda sondy musí být širokopásmové, pro co největší vypovídací hodnotu měření. Při použití úzkopásmové lambdy je standardním jevem, že při akceleraci či deceleraci je měřená hodnota již v maximu a oblast ve které jsou hodnoty mimo své extrémy je velice úzká. Při požadavku na co největší rozsah měřených hodnot logicky vyplývá i nutnost zobrazení naměřených hodnot tak, aby byly lehce interpretovatelné. Další veličinou, kterou by bylo vhodné měřit je hodnota podtlaku jednotlivých válců, kvůli jejich vzájemné synchronizaci. Zde je však nutné brát v úvahu smysluplnost měření při vyšších otáčkách, kdy tyto hodnoty nelze nijak upravit nebo korigovat. Ovlivnit podtlak je žádoucí pouze u volnoběhu motoru, pro minimalizaci mechanických rázů v motoru. Ve vyšších otáčkách je naopak přítomnost hadic vedoucích k senzorům nežádoucí, protože uvnitř hadic je vzduchový sloupec, který při změnách tlaku funguje podobně jako kapacitor v elektrickém obvodu. Pro eliminaci hystereze způsobené přítomným vzduchovým sloupcem je vhodné použít hadice s malým průřezem, či použít co nejkratší hadice. Ideální volbou je kombinace obou možností.

Požadavky na měření:

- bohatost směsi,
- podtlak při volnoběhu,

- otáčky motoru,
- aktuální rychlost,
- ukazatel zařazeného rychlostního stupně
- závodní stopky.

Jelikož bude zařízení po určitou dobu umístěno na motocyklu, je zřejmý požadavek na odolnost vůči vibracím a krytí odpovídající alespoň normě IP67. Na to je nutné myslet při výběru krytů elektroniky, konektorů, tlačítek a uchycení všech částí, které budou na motocyklu přítomny déle než pro účely měření, či budou umístěny tak, že nepůjdou snadno a rychle demontovat. Dále je nutné zvolit takové ovládací prvky, aby bylo možné zajistit voděodolnost celého zařízení a ovládání za jízdy, pokud bude nutné. Z bezpečnostních důvodů by mělo být samotné ovládání za jízdy co možná nejjednodušší. Zároveň je nutné zajistit, aby bylo možné zařízení ovládat v motorkářských rukavicích, které zpravidla nejsou uzpůsobeny pro použití s kapacitními displeji. Existuje několik druhů speciálních rukavic, které jsou však velice drahé a jejich ochranné prvky nejsou svou kvalitou srovnatelné se sportovními rukavicemi. Zobrazovací jednotka by měla být umístěna v zorném poli, aby neodváděla příliš pozornost řidiče a bylo možné i letmým pohledem zkontrolovat a vyhodnotit zobrazené údaje. Také samotné rozložení zobrazovaných údajů by mělo být co nejjednodušší a nejpřehlednější.

Požadavky na přístroj:

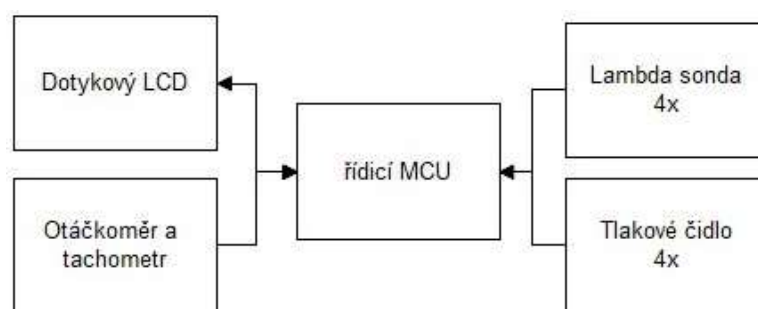
- stupeň krytí IP67 a vyšší,
- zvolení dostupných odolných konektorů,
- zamezit možnosti špatného zapojení
- ovládání v rukavicích,
- intuitivní rychlé ovládání,
- minimum nastavení.

Posledním bodem, co se požadavků týká, je vyřešení uživatelského rozhraní. Z pohledu koncového uživatele, pro kterého je tento přístroj určen, je tento bod tím nejdůležitějším. Při měření jakýchkoliv hodnot je pro rychlou reakci nejlepší, pokud jsou použity měnící se barvy. Stejně tak při odečítání numerických hodnot, které se často mění je názornější použití bargrafu, či jiného grafického znázornění měřených hodnot než číselné hodnoty. Zároveň by měly být zobrazené hodnoty dostatečně velké. Bohužel umístěním zobrazovače do prostoru přístrojové desky a plexiskla motocyklu, je tento prostor již z větší části obsazen, pro ovládací prvky nezůstává již příliš místa. Při použití menšího displeje a několika odolných vodotěsných tlačítek se zabírá použitelná plocha, která by v případě použití dotykového zobrazovače mohla být využita i pro zobrazování údajů. Snížila by se tak přehlednost samotné zobrazovací plochy. Při použití dotykového displeje je nutné brát v úvahu, že konečné zařízení bude určeno k použití v kožených rukavicích, tedy dotyková plocha musí být řešena rezistivně, nikoliv kapacitně jak je již v dnešní době standard. Zároveň musí být dotyková plocha dostatečně citlivá, aby reagovala na dotyk i přes krycí vrstvu, která bude součástí krabičky pro zajištění dostatečného krytí. Na základě těchto požadavků byl zvolen display Nextion NX8048T070_011R s úhlopříčkou 7.0" a rozlišením 800*480 px. Jeho největší výhodou

je možnost grafického programování ve vývojové prostředí poskytovaném výrobcem, vlastní paměť, procesor a instrukční sada pro ovládání pomocí sériové linky. Funkce a ovládání displeje bude popsána v následující kapitole. Nízké rozlišení není vzhledem k účelu zobrazovače na škodu. Údaje jsou na slunci poněkud hůře čitelné, ale díky umístění displeje ani tento problém není nijak limitující, protože z jedné strany je stín vrhán samotným řidičem a ze strany druhé pak plexi štítem. Při použití na jiném motocyklu by však mohla vzniknout potřeba vytvořit stínítko na displej pro lepší čitelnost údajů.

3.2 Základní koncepce přístroje

Dalším logickým krokem návrhu je vytvoření koncepce zapojení, funkce a uživatelského rozhraní. Samozřejmě se tato koncepce může v průběhu vývoje a zlepšování přístroje upravit, či změnit. Je ale důležité, aby byly dodrženy požadavky stanovené v předchozí kapitole. Blokové schéma přístroje by mohlo vypadat následujícím způsobem. Níže uvedené schéma je z pohledu signálů a logických bloků, ne z pohledu skutečného rozmístění komponent.



obr. 9: základní blokové schéma přístroje

Základem pro uživatele je samozřejmě barevný dotykový LCD displej, na kterém jsou zobrazeny veškeré údaje a slouží zároveň i jako ovládací rozhraní. Vybraný zobrazovač komunikuje pomocí asynchronní sériové linky. Pro komunikaci je použita průmyslová sběrnice RS-485. Z důvodů, které budou rozvedeny později stačí tato komunikace simplexně, přestože vybrané drivery umožňují i polo duplexní spojení. Stěžejními vstupy řídicího MCU jsou vstupy lambda sond a tlakových čidel. Ta budou integrována v jedné krabici společně s hlavním kontrolérem a řídicími regulátory pro lambda sondy. Vyhodnocování bude prováděno pomocí ADC převodníků. Posledním vstupem jsou data pro výpočet zařazeného rychlostního stupně.

Zařazený rychlostní stupeň se bude počítat z dat o otáčkách motoru a rychlosti pohybu. Takový přístup je oproti běžně komerčně používaným metodám odlišný. Přístroje dostupné na trhu využívají magnetická čidla, umístěná na karteru motoru, a snímají krajní polohu řadicí páky, na které je umístěn magnet. U novějších strojů s CAN sítí je možné připojit ukazatel s dekodérem přímo do sítě, kdy samotný motocykl ví, jaký rychlostní stupeň je zařazen. U starších strojů, jako je zmíněný motocykl, je však přítomen pouze vodič indikující zařazení neutrálního stupně mezi prvním a druhým rychlostním stupněm (mezi jednotlivými rychlostmi jsou ještě „falešné neutrály“), případně kontrolka neutrálu. To je jediným známým bodem pro tento ukazatel, od kterého

již jen dopočítává podle počtu pulzů od magnetického čidla na řadicí páce, jaká rychlost je zařazena. Pro běžný provoz je tento způsob vhodný, pro okruhový provoz již méně. Na okruhových strojích se často využívá tzv. quickshifter, který umožňuje řadit nahoru bez použití spojky. Princip funkce tohoto zařízení je prostý. Na řadicí páku se umístí tenzometr, který detekuje tlak jezdcovy nohy a na přesně definovaný časový úsek vypne zapalování. Čas potřebný pro zařazení vyššího stupně je tak snížen na 0,1-0,2 s. Místo drahého přístroje se však často používá pouze stejnojmenná technika, kdy jezdec jemně tlačí na řadicí páku a současně prudce zavře a otevře plyn. Při zavření plynu dojde k tomu, že motor přejde ze zrychlení do brždění, čímž na krátkou chvíli odlehčí zátěž převodovce. V tuto chvíli je možné zařadit vyšší rychlost bez použití spojky. Pokud však jezdec tuto techniku neovládá precizně, může se stát, že nedojde k dořazení rychlosti, případně u opotřebované převodové skříně může dojít i k tomu, že po opětovném přidání plynu rychlost vypadne a převodovka uvízne v neutrální poloze. Samotná kulisa řazení je zkonstruována tak, že samotná převodovka má tendenci blízký rychlostní stupeň dořadit při zátěži sama. Zmíněnou chybu řazení nedokáže komerční přístroj zaznamenat, a může se stát, že zobrazovač bude ukazovat jiný než zařazený stupeň. Navrhované řešení oproti tomu v každém okamžiku zařazenou rychlost počítá z poměru otáček a rychlosti stroje. Nevýhodou je, že při stání nebo jízdě s vypnutou spojkou neukazuje nic. Přístroj je však určen pro použití na okruhu, kde se příliš mnoho času neprostoží, a případná chyba přístroje by mohla přetrvat i několik desítek minut, dokud nebude zařazen neutrální. Při špatném podřazení, ke kterému může dojít, pokud jezdec neví, z jakého stupně podřazuje při brždění může dojít i k zablokování zadního kola, což může končit pádem.

3.3 Uživatelské rozhraní

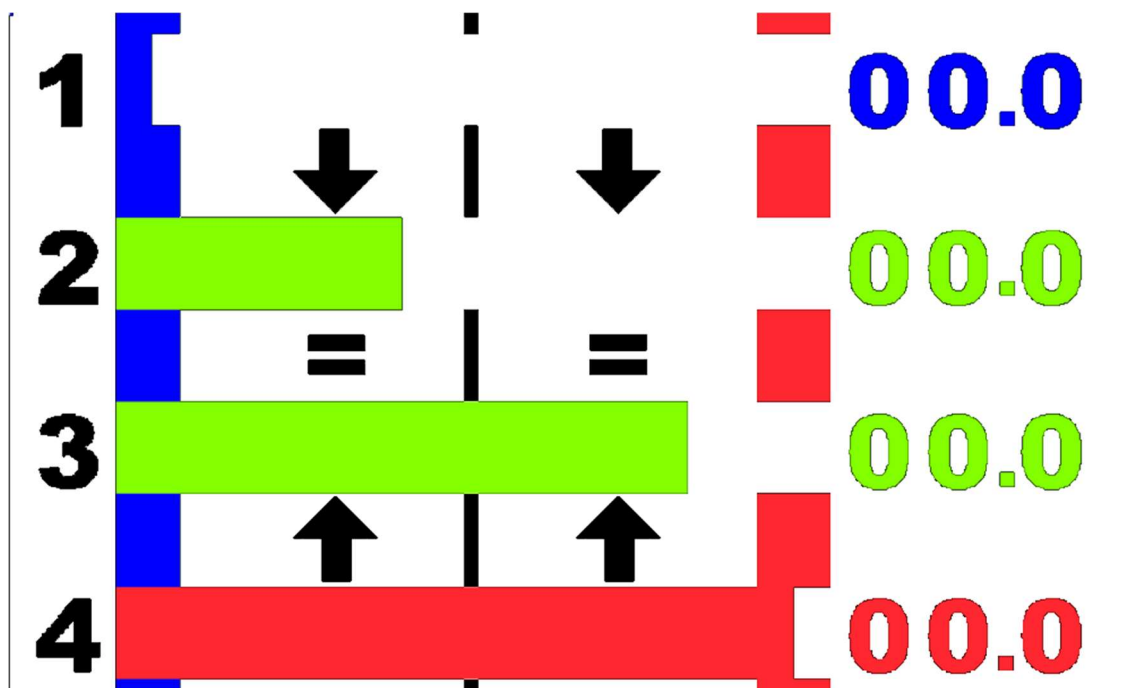
Zařízení je tvořeno pro uživatele, nikoliv pro konstruktéra, proto byly nejprve stanoveny požadavky na ovládání, zobrazení údajů a vytvoření návrh grafického rozhraní. Při měření volnoběhu je třeba mít zobrazeny hodnoty bohatosti směsi jednotlivých válců a hodnoty podtlaku pro jejich synchronizaci.

Hodnoty tlaku nejsou podstatné v absolutních číslech, i když z rozsahu, ve kterém se tyto hodnoty vyskytují se dají odhalit netěsnosti ve spalovacím prostoru, případné netěsnosti v sacím systému či dokonce netěsnost u podtlakové membrány šoupátka karburátoru. Sací systém je však již prověřen z přípravné fáze a netěsná podtlaková membrána by byla odhalena při čištění karburátorů, případně se projeví dušením motoru při přidání plynu, kdy se na krátký čas výrazně ochudí směs. Netěsnost spalovacího prostoru se projevuje zvýšenou spotřebou oleje a kouřivostí motoru, kdy se objeví modrý kouř ve výfuku. Z těchto důvodů by měření konkrétních hodnot nepřineslo žádné zlepšení proti běžné kontrole, a je tedy plně dostačující zobrazovat poměrné hodnoty podtlaků mezi jednotlivými sousedními válci. Cílem seřízení je dosáhnout, pokud možno stejných hodnot mezi všemi válci. Podobně jako se během opotřebení motoru mění absolutní hodnoty sacího tlaku, tak se mění i absolutní hodnoty tlaku ve spalovacím prostoru. Oba jevy spolu úzce souvisí a jsou na sobě závislé. U tlaků ve spalovacím prostoru je běžné, že se uvádí hodnoty 110-150 psi pro daný typ motoru v závislosti na opotřebení. Zde je však důležitá odchylka jednotlivých hodnot v daném čase pod 10 %. Přesně stejná logika platí i u hodnot absolutního tlaku, kdy rozsah správných hodnot je velký, vzájemná tolerance je proti tomu mnohonásobně nižší. Může se tak stát, že válec vyhovující v absolutních číslech může být pro daný motor potenciální riziko, pokud se odchyluje

svými vlastnostmi od zbylých válců.

Hodnoty AFR jsou potřeba zobrazit přehledně pro měření přechodných jevů a zároveň i přesně pro jemné doladění stacionárních stavů. Pro přesné hodnoty jsou nejlepší přímo číselné výpisy, pro jednoduchou orientaci je pak vhodnější grafické zobrazení pomocí sloupcového grafu. Na displej jsou tedy umístěny oba zmiňované prvky pro každý válec zvlášť. Dále pak pro extrémní hodnoty jsou barvy jednotlivých prvků měněny z modré pro bohatou směs, přes zelenou pro vyhovující bohatost až po červenou při příliš chudé směsi. Barvy jsou voleny dle konvence u komerčních produktů, kdy jsou nejčastěji řady diod po obvodu budíku od modré či žluté přes zelenou až po červenou pro chudou směs. Jak je zmíněno dříve, chudá směs může zapříčinit rychlé poškození motoru, kdežto bohatá směs není pro samotnou funkci tolik nebezpečná, případně se následky provozu na bohatou směs projeví až po delší době.

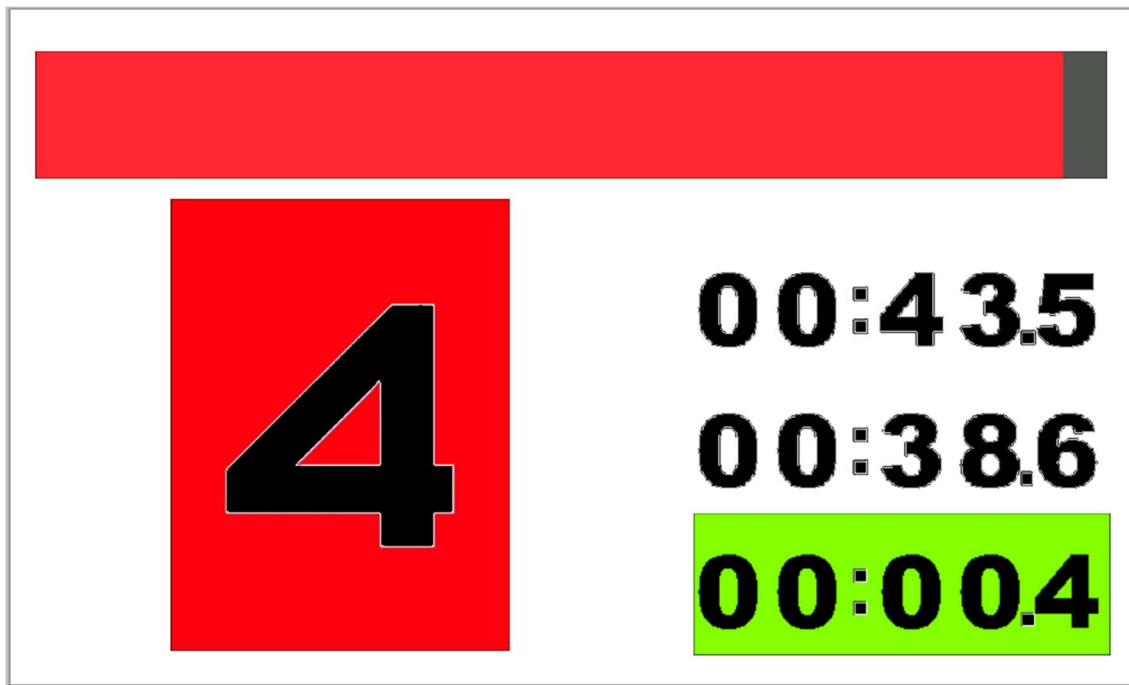
Celá plocha displeje je rozdělena do pomyslných čtyř řádků, kdy v každém je číslo válce, sloupcový ukazatel hodnoty a vpravo pak přesná naměřená hodnota AFR. Tato hodnota je měřena, potažmo počítána, s přesností na desetinu AFR, stejně jako to dělá většina komerčních přístrojů. Za běhu motoru s karburátorem, je tato přesnost více než dostatečná, obvyklý rozptyl bývá až 0,3 AFR při použití řídicí jednotky a vstřikování paliva. Pro karburátorový motor je tato odchylka ještě vyšší a silně závislá na momentálních podmínkách. Na stranách jednotlivých ukazatelů jsou barevné pruhy znázorňující, kde začínají kritické oblasti a uprostřed, nad kýženou ideální hodnotou je tenký barevný pruh. To by mělo zajistit i při rychlém letmém pohledu zjištění, zda je aktuální hodnota daleko od extrému či ideální hodnoty, nebo se těmto hodnotám blíží. Mezi jednotlivé řádky s měřením jsou pak umístěny šipky ukazující, ve kterém z dané dvojice válců je vyšší tlak. Vytvořený koncept, včetně navržených barev je znázorněn na obr. 10 níže. Šířka jednotlivých extrémních oblastí bude upravena v závislosti na srovnávacím měření s komerčním produktem. Ve fázi testování přístroje.



obr. 10: návrh měřicí obrazovky

V režimu měření není třeba jakéhokoliv nastavení. Vzhledem k zamýšlenému účelu, kterým je ověření seřízení volnoběžného chodu motoru či natrýskování karburátorů, bude po každé testovací jízdě motocykl částečně rozebrán pro umožnění přístupu k potřebným nastavovacím prvkům, či dokonce už při měření nebude plně složen. Je počítáno s vypnutím motoru, potažmo i měřicího zařízení před případným zapnutím závodních stopek. Z tohoto důvodu není potřeba ani jednoduchým stiskem tlačítka přecházet mezi jednotlivými pracovními režimy přístroje. Režim bude zvolen již při zapnutí přístroje a bude se v něm nacházet až do jeho vypnutí. Druhým pracovním režimem je režim závodních stopek se sledováním bohatosti směsi na pozadí. Zmíněné sledování je pouze diagnostický nástroj pro upozornění na případný problém s během motoru.

Režim závodních stopek funguje s přítomností jedné lambda sondy, pomocí které se kontroluje běh motoru, a při zaznamenané anomálii se na displeji zobrazí velký nápis STOP. Pro případ, že by si jezdec soustředěný na jízdu nápisu nevšiml, je tento vyveden červeným písmem na černém pozadí. Barva písma a pozadí se střídá v intervalu 0,5 s. přepnutí varovné obrazovky zpět na zobrazení časomíry se provede stisknutím displeje na kterémkoliv místě. Pokud bude závada přetrvávat, nápis se opět samovolně objeví. Při odstranění závady, či pokud bylo varování způsobeno sporadickým jevem, setrvá displej po smazání hlášení v režimu stopek. V tomto pracovním režimu je na displeji zobrazen otáčkoměr, stejně jako u měření AFR v podobě sloupcového grafu, číslo reprezentující zařazený rychlostní stupeň a samotné stopky. Ty se skládají ze zobrazení nejlepšího dosaženého času, aktuálního času a rozdílu posledního kola vůči nejlepšímu. Otáčkoměr pak mění barvy podobně jako ukazatel AFR, kdy společně se zčervenáním otáčkoměru dojde k obarvení pozadí čísla vyjadřujícího zařazený rychlostní stupeň na červené, pro signalizaci řazení. Návrh obrazovky je na následujícím obrázku (obr. 12).



obr. 11: návrh grafiky stopek

V pravé části stopek je nahoře nejlepší čas, uprostřed je aktuální čas a dole mezičas. Zobrazení mezičasu je provedeno jinak než u většiny komerčních přístrojů.

Komerční závodní displeje jsou monochromatické, často segmentové kvůli čitelnosti na slunci. Použití barevného displeje umožňuje vyjádřit časový rozdíl v absolutní hodnotě a zda je tento čas lepší, či naopak horší než dosavadní rekord, lze vyjádřit barvou pozadí, která je zelená, nebo červená. Přes své nemalé zkušenosti s různými systémy závodní časomíry jsem vždy měl, a stále mám jisté potíže s interpretací rozdílu časů. Někteří výrobci totiž počítají mezičas jako rozdíl aktuálního a nejlepšího, jiní zase naopak. Proto bylo navrženo toto řešení, které by mělo být intuitivnější a jednoznačnější než standartní numerické znaménko před časem. V případě dosažení stejného času je pozadí nastaveno na neutrální barvu.

3.4 Výběr komponent

Po specifikaci požadavků a hrubé představě o tom, jak by mělo zařízení fungovat z pohledu uživatele je potřeba vybrat příslušné komponenty, se kterými se bude následně pracovat. V této části návrhu je třeba uvažovat i konečnou cenu zařízení, kromě obvyklých parametrů. V žádném případě však nesmí cena ustoupit přesnosti měření.

3.4.1 Lambda sondy

Na začátku návrhu je nutné vybrat lambda sondu, ke které pak bude zkonstruován zbytek zařízení. Největším výrobcem těchto součástek je firma BOSCH. Ve svém sortimentu má různé širokopásmové sondy spadající do třech kategorií.

- LSU 4.0
- LSU 4.2
- LSU 4.9

LSU 4.0 jsou starého typu, s velkým vyhřívacím proudem a nepřesným měřením mimo úzký rozsah kolem stechiometrického poměru. Vyrábí se však stále pro nenáročné účely či jako náhradní díly. Další dva typy jsou již moderní konstrukce, používané i v motorsportu. Sondy typu LSU4.9 jsou určeny pro měření chudších směsí, převážně jsou pro vznětové motory. Použity tedy budou sondy LSU4.2, konkrétně ty, které používá koncern VW pro své motory VR6 a jsou výrobcem řazeny mezi sportovní díly se schválením pro NASCAR, kde se používají osmiválcové motory s objemem 5.86 l a výkonem 725 koní, který se u některých kategorií omezuje na 445 koní. Tyto originální licencované sondy jsou proti ostatním méně rozšířeným značkám dražší přibližně o 25 %, ale mají stálejší vlastnosti a dokáží měřit rychleji a s vyšší přesností i za vyšších teplot než běžné sondy. Pro použití ve vysokootáčkovém motoru je její stálost a odolnost velkou výhodou. Sondy LSU 4.2 jsou dodávány osazené 60 cm dlouhým kabelem s konektorem PBT-GF30 firmy TYCO. V konektoru je již umístěn tlustovrstvý rezistor dotrimovaný na hodnotu kalibračního odporu samotné sondy. Jednotlivé sondy lze tedy mezi sebou zaměňovat bez potřeby následné kalibrace celého zařízení. Z tohoto důvodu musí být zakoupeny originální konektory a nesmějí být vyměněny za jiné, levnější. Jedna sonda stojí přibližně 2500 Kč, na celý motor činí částka za lambda sondy 10 000 Kč. Zástrčky ke konektorům stojí dalších přibližně 1000 Kč za všechny čtyři kusy.

3.4.2 Kontrolér pro lambda sondy

Jak je uvedeno v teoretickém rozboru, návrh kontroléru pro lambda sondu obsahuje také návrh PID regulátoru, což by samo o sobě bylo dostatečně obtížné téma díky několika zpětnovazebním smyčkám. Naštěstí i tento problém lze vyřešit díky výrobci lambda sond. Pro obsluhu LSU4.2 a LSU4.9 vyrábí firma Bosch obvod CJ125, který má v sobě vestavěné zesilovače a samotný PID regulátor pro kontrolu a řízení všech potřebných funkcí lambda sondy. Tomuto obvodu chybí pouze výkonový stupeň na výstupu řízení výhřevu sondy, a několik málo součástek pro zajištění zpětné vazby mezi jednotlivými bloky samotného senzoru. Některé z použitých okolních komponent se liší hodnotami pro použití se sondou LSU4.2 a LSU4.9. Obvodové zapojení bude rozebráno později, v kapitole věnující se zapojení. Dále obvod CJ125 disponuje sběrnici pro synchronní sériovou komunikaci SPI (Serial Peripheral Interface). Tato sběrnice však nedokáže přenášet naměřené hodnoty, slouží pouze pro diagnostiku vadné sondy či nastavení zesílení jednotlivých zpětných vazeb a parametrů řízení sondy. K měření hodnoty AFR slouží analogový výstup, na kterém je analogový signál 0–5 V, který odpovídá rozsahu měřených hodnot 9,0–19,0 AFR. Dále je možné měřit pomocí ADC (Analog–Digital Converter) převodníku hodnotu R_i , dle které lze nepřímo zjistit stav vyhřívání sondy, případně poskytuje data úzkopásmové lambda sondy. Samotný obvod CJ125 potřebuje jen několik málo součástek a připojení k MCU, či jinému zařízení které je schopno provést nastavení a případnou diagnostiku pomocí SPI sběrnice a následně měřit analogové hodnoty R_a a R_i a vypočítat poměr vzduchu a paliva. Funkce tohoto obvodu bude popsána v samostatné podkapitole. Cena jednoho obvodu s potřebnými okolními součástkami se pohybuje lehce nad hranicí 300 Kč. Obvody jsou pro konstrukci potřeba čtyři.

3.4.3 Řídicí mikrokontroler

Pro řízení je třeba zkonstruovat a naprogramovat řídicí obvod s MCU. Použití výkonnějšího procesoru či minipočítače by nemělo žádný reálný přínos pro konkrétní využití a jen by zbytečně zvyšovalo cenu celého zařízení. Pro výběr této komponenty jsou důležité následující parametry:

- Napájecí napětí 5 V,
- podpora SPI protokolu,
- podpora UART,
- 8 kanálů ADC pro lambda sondy,
- 4 kanály ADC pro měření podtlaku,
- 4 kanály PWM (šířkově modulovaný signál),
- interní pull-up rezistory,
- doba pro převod ADC pod 2 μ s
- časové přerušení

Požadavek na napájecí napětí vychází z napájecího napětí CJ125, stejně tak podpora SPI protokolu a 8 ADC kanálů, které jsou potřeba pro čtení hodnoty lambda a R_i . Vzhledem k velkému odběru vyhřívacích obvodů lambda sond, by bylo vhodné mít možnost řízení jednotlivých vyhřívání nezávisle, případně ještě měřit napětí napájecí sítě motocyklu. Lambda sondy se budou zahřívat patrně ve stejnou chvíli, jako se bude zahřívat celý motor, tedy při volnoběhu, kdy je výkon alternátoru malý a mohlo by se stát, že se

vyhříváním lambda sond vybije baterie, přetíží alternátor a nezůstane dostatek energie pro zapalování motoru, případně tuto zátěž nevydrží napěťový regulátor. Hondy z těchto let jsou svými poddimenzovanými napěťovými regulátory pověstné. Pro úsporu energie a rovnoměrnější zatížení celého palubního systému je třeba, aby měl vybraný MCU více než 1 kanál PWM, aby bylo možné řídit vyhřívání sond odděleně, a nebyly sepnuty všechny 4 zároveň. V nejhorším případě by se musely jednotlivé sondy spínat postupně ručně při sledování odběrů proudu ze systému. Na základě těchto požadavků je zvolen MCU PIC16F1934-I/P. Jeho největší předností je velmi nízká cena, 14 kanálů ADC, které lze přiřadit na libovolné brány, rychlý převodník a frekvence vnitřního oscilátoru 32 MHz. Mezi nevýhody patří malá paměť, která je však pro dané použití dostatečná, THT technologie a pouze dva kanály PWM. THT technologie je daní za nízkou cenou, kdy SMD verze tohoto obvodu je dostupná, ale je výrazně dražší. Při použití dvou kanálů PWM je možné zajistit vyhřívání dvou sond zároveň, což znamená odběr 8 A při studených sondách a 2 A při provozním režimu. Úměrně většímu zatížení bude potřeba posílit zatížené vodiče a naddimenzovat pojistky, případně správně zvolit bod, ke kterému bude zařízení připojeno. Cena tohoto MCU je 35 Kč. Bylo možné vybrat vyhovující obvod se čtyřmi ADC kanály, ten by však stál více než 200 Kč.

3.4.4 Napájení zařízení

Jak bylo zmíněno dříve, základem měřicího obvodu je integrovaný obvod CJ125 vyráběný přímo výrobcem lambda sond BOSCH. Tato součástka vyžaduje dvojí napájení. Jednu větev napájení má 5 V, stejně tak je zvoleno i napájecí napětí MCU a displeje. Druhá napájecí větev má napětí 14 V pro obsluhu výhřevu lambda sondy. Dle dokumentace lze použít napětí od 9 V do 35 V, není tedy nutné z palubní sítě motocyklu, kde se napětí pohybuje mezi 11,5 a 15 V, napěťovou úroveň upravovat jinak než použitím filtračního kapacitoru. Výhřev se spíná externím výkonovým stupněm, aby se zamezilo průchodu velkých proudů skrz samotný obvod. Při udržování teploty se udává proud kolem 1 A na lambda sondu. Tento proud však silně závisí na tom, do jaké míry bude lambda sonda zahřívána výfukovými plyny z motoru, potažmo jak daleko od bloku motoru bude umístěna. Při sepnutí výhřevu všech čtyř lambda sond zároveň může jejich odběr stoupnout až na 16 A, což by mohlo vést ke spálení hlavní pojistky, pokud by se napájení sond připojilo za spínací skříňku a zároveň by se sepnul startér. Výhřev je řízen PWM signálem, který musí být generován z MCU či oscilátoru. Přerušovaný signál je volen proto, aby nebyly vyhřívací obvody sepnuty příliš dlouhou dobu kontinuálně a nedošlo tak k poškození některé z částí sondy díky nerovnoměrnému zahřátí. Dvanáctivoltová větev by tedy měla vydržet proudy do 10 A při použití dvou kanálů PWM. Oproti tomu požadavky na proud 5 V větve jsou minimální a jsou shrnuty v tabulce 1.

obvod	I _{max}	počet	I _{celkem}
CJ125	75 mA	4	300 mA
MCU	60 mA	1	60 mA
LCD	500 mA	1	500 mA
navigace	800 mA	1	800 mA
			1660 mA

Tabulka 1: požadavky na 5 V napájení

V tabulce 1 jsou shrnuty požadavky na napájecí regulátor, resp. udávané proudy odebírané jednotlivými komponentami. Uvedené hodnoty jsou však maximální. Pro MCU to například znamená, že má zapnuty všechny vnitřní komponenty a plně zatížené všechny brány. V praxi však bude většina komponent vypnuta a aktivní bude jen několik málo bran. Namísto maximálních 60 mA je uvažovaný odběr maximálně 25 mA. Dále pak bude díky umístění navigace a samotného displeje tohoto zařízení zajištěno, že nebude možné připojit oba přístroje zároveň i přesto, že napájecí vodiče pro navigaci a měření budou oddělené. Oba přístroje totiž budou umístěny na stejné pozici, ideálně i ve stejném držáku. Tímto konstrukčním omezením se maximální odběr sníží na méně než 1 A. Díky možnosti napájet navigaci, bude navržený DC měnič jedinou součástí tohoto zařízení, které bude na motocyklu připojeno trvale, a je tedy nutné, aby splňoval požadavky na krytí IP67. U ostatních částí není tato vlastnost kritická. Zároveň je nutné pečlivě otestovat jeho odolnost vůči vibracím, zajistit dlouhodobě vysoký stupeň krytí a dostatečně naddimenzovat proudovou zatížitelnost, aby nedošlo při několikahodinovém zatížení k přehřátí obvodu. Použitý zdroj by tedy měl mít proudovou zatížitelnost alespoň 2 A trvalého proudu. Zároveň je před napěťovým regulátorem upřednostněn DC-DC měnič z důvodu efektivnější činnosti a tím menším ztrátám v systému a menšímu tepelnému zatížení samotného obvodu. Pro napájecí zdroj je vybrán DC-DC měnič LM2596S-5.0. Jedná se o měnič s pevným výstupní napětím 5 V, proudem 3 A a vstupním napětím od 6 V do 45 V. Samotný obvod přijde na 130 Kč a okolní součástky na dalších asi 100 Kč.

3.4.5 Tlakové senzory

Měření podtlaku v prostoru sání motoru je specifická úloha. Jednak se nejedná o měření tlaku čistého vzduchu, ale směsi vzduchu a benzínu a také hodnoty tlaku dosahují nižších hodnot, než které jsou obvyklé u obyčejných senzorů. Dle přístroje carbttune se podtlak může vyšplhat až na hodnotu 30 cmHg, což odpovídá tlaku 40 kPa. Toto není absolutní hodnota, ale hodnota podtlaku vůči atmosférickému tlaku, tzn. vůči hodnotě 101 kPa. Absolutní tlak je tedy přibližně 60 kPa. Tato hodnota je však naměřena při tlumení tlaku pomocí tenké hadičky, která eliminuje krátkodobé snížení tlaku na ještě nižší hodnoty. Proto by čidlo mělo být vybráno tak, aby vydrželo i nižší tlak, než je zmiňovaných 60 kPa. Zároveň hodnoty podtlaku během spalovacího cyklu motoru kolísají přibližně o 1,5 cmHg, tedy 2,5 kPa při použití doporučeného tlumení. Pomocí přístroje carbttune pro, je možné seřídit hodnoty s tolerancí přibližně 0,5 kPa. Této hodnotě se navrhovaná pomůcka musí vyrovnat, v ideálním případě musí disponovat vyšším rozlišením, pokud však bude reálně možné těchto hodnot v nastavení dosáhnout. Při použití 10 bitového ADC činí velikost napěťového kroku 4,88 mV. Požadovaná strmost senzoru je určena dle následujícího vztahu (3.4.1).

$$S = \frac{st}{k} = \frac{r}{2^b * k} = \frac{5}{1024 * 0.5} = 9,76mV/kPa \quad (2)$$

S	strmost výstupního signálu	[mV/kPa]
st	rozlišení AD převodníku	[mV]
r	rozsah AD převodníku	[V]
b	počet bitů AD převodníku	[b]

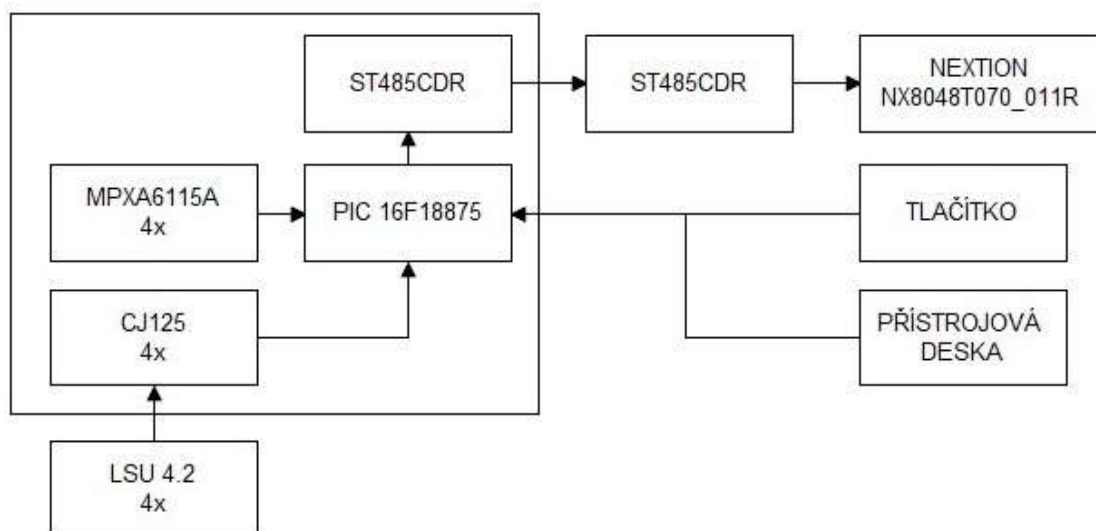
k požadovaná velikost kroku [kPa]

Na základě těchto požadavků byl vybrán snímač firmy NXP typ MPXA6115A. Strmost výstupního signálu činí 45 mV/kPa a rozsah měřených hodnot sahá od 15 kPa ke 115 kPa. Vyšší, než atmosférický tlak tedy snímač nenaměří, to však není potřeba. Při poruše motoru, kdy by došlo k uvolňování tlaku zpět do airboxu by mohlo dojít k poškození senzoru, to je však pouze výjimečná situace. Senzor obsahuje svou vlastní vzduchovou referenci nezávislou na okolním tlaku, měří tedy absolutní hodnoty a jeho přesnost je deklarována pro teploty do 85 °C díky tomu, že obsahuje teplotní kompenzaci. Tyto kladné vlastnosti jsou vykoupeny vyšší cenou, kdy jeden snímač stojí 300 Kč.

Vybrány jsou základní komponenty, kromě konektorů k propojení jednotlivých bloků zařízení. Použity jsou konektory AMP, převážně z důvodu nízkých nákladů. Konektory jsou automotive, utěsněné, s aretací a konstrukcí zabraňující špatnému propojení ve smyslu otočení konektoru. S pořizovacími náklady na displej 2700 Kč a s uvažovanými náklady na dva konektory 300 Kč, se celková cena vyšplhala na 16700 Kč. Odhadovaný rámec byl tedy splněn.

3.5 Blokové schéma přístroje

Zde je popsáno rozdělení zařízení do jednotlivých bloků tak, jak jsou umístěny na motocyklu. Zobrazovací jednotka je umístěna v prostoru nad přístrojovou deskou, aby byla v zorném poli jezdce, a zároveň je zakryta čelním štítem motocyklu. K displeji musí být připojeno napájení a řídicí jednotka zařízení. Ke komunikaci je použita průmyslová sběrnice RS-485 z důvodu odolnosti vůči rušení, a proto není třeba řídicí kontrolér umisťovat do blízkosti displeje. Společně s vodiči komunikace jsou nataženy i vodiče pro signál otáčkoměru a tachometru. Tyto signály jsou frekvenčně modulované obdélníkové pulsy s amplitudou 12 V. Před finální montáží musí být důkladně zmapována elektrická síť stroje, zda není možné připojit tyto signálové vodiče v menší vzdálenosti než od samotné přístrojové desky. Další částí zařízení v přední části motocyklu je tlačítko sloužící pro spuštění stopek, které musí být umístěno na řídítkách, aby bylo dostupné. K tomuto účelu lze využít i některé ze stávajících tlačítek. Samotné lambda sondy jsou vázány na začátek svodů výfuku, avšak mohou být opatřeny libovolně dlouhým kabelem, neboť jsou řízeny proudově a měření napětí probíhá na rezistorech umístěných v těsné blízkosti kontroléru. Řídicí jednotka společně se senzory tlaku musí být umístěna v blízkosti přírub karburátorů, tedy v prostoru pod přední částí sedla, pro zajištění co nejkratších hadic. Zde je velká možnost přichycení krabičky k systému hadic starajícím se o přívod vzduchu a benzínu k jednotlivým karburátorům. Takto by bylo zajištěno i mechanické tlumení vibrací od motoru. Ve společné krabici je umístěna deska se samotným kontrolérem a tlakovými senzory a s jednotlivými deskami pro řízení lambda sond. Samotné napájení pak je umístěno do prostoru za baterií, kde je schránka na povinnou výbavu. K tomuto řešení bylo přistoupeno proto, aby byla možnost připojit napájení zařízení přímo k baterii.



obr. 12: blokové schéma celého přístroje

V následujících odstavcích budou podrobněji popsány jednotlivé prvky a bloky zařízení.

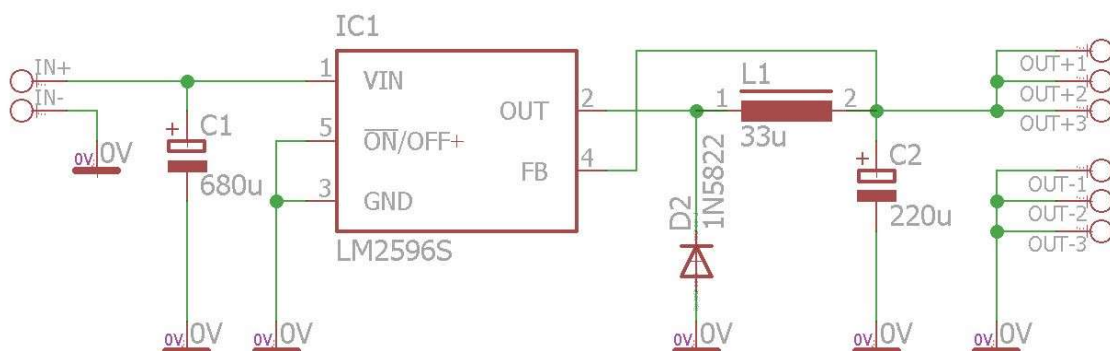
3.6 Napájecí zdroj

Pro napájení celého zařízení je vybrán obvod LM2596S-5, který je schopen poskytnout výstupní napětí 5 V a proud až 3 A. Takto velká výkonová rezerva je zvolena z důvodu chlazení. Zajistit dostatečné chlazení obvodu, který splňuje požadavky na stupeň krytí IP67 je složitější než u obvodů bez krytí. Dalším důvodem je, že napájecí zdroj bude zapnut dlouhodobě a díky svému umístění může okolní teplota v létě stoupnout v krajním případě až k hranici 80 °C. Z tohoto důvodu je třeba důkladně otestovat vlastnosti napájení. Měnič může být připojen buď paralelně k žárovce, nebo přímo na napájecí baterii motocyklu, dle uvážení konkrétního uživatele. V obou případech je vstupní napětí měniče filtrováno regulátorem napětí pro palubní síť a nemělo by obsahovat nebezpečné špičky a výrazné rušení. Přesto je však na vstupních pinech obvodu přítomen filtrační elektrolytický kondenzátor, pro odstranění menšího zvlnění. Velikost kondenzátoru je zvolena 680 uF. Samotná komponenta pak je SMD v 10x10 mm pouzdru. Na výstupu regulátoru je opět umístěn filtrační kondenzátor v 10x10 mm pouzdře, nyní však s kapacitou 220 uF, neboť se stará pouze o výstupní obvody, kde budou v odběru malé výkyvy. Dále je na výstupu přítomna Schottkyho dioda 1N5824 v závěrném směru pro potlačení napěťových špiček. Vybrána je v technologii THT v pouzdru TO201. Mezi diodou a kapacitorem je umístěna tlumivka s kapacitou 33 uH. Tlumivka je toroidní s pouzdrum SFT830D.

Označení	Hodnota	Pouzdro	Popis
IC1	LM2596S-5.0	D2PAK-5	DC-DC měnič
C _{in}	680 uF	10x10 mm	Elektrolytický kondenzátor
C _{out}	220 uF	10x10 mm	Elektrolytický kondenzátor
D1	1N5822	DO201	Usměrňovací dioda
L1	33uH	SFT830D	Tlumivka

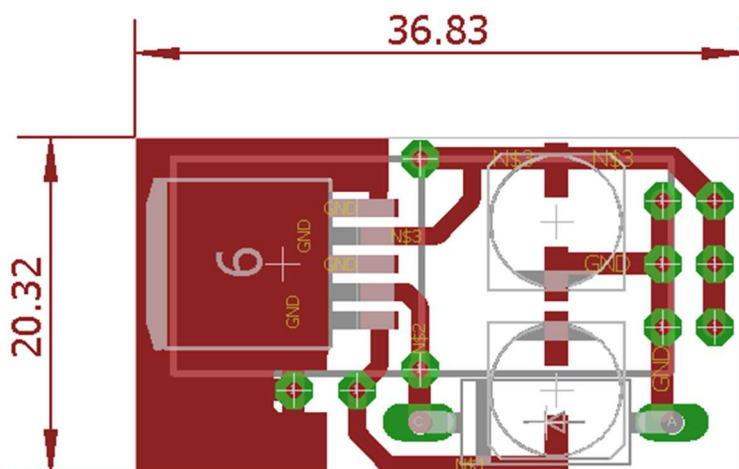
Tabulka 2: seznam komponent pro napájení

Zvolený měnič disponuje vstupem ON/OFF, který slouží ke spínání celého obvodu. V dané aplikaci nevzniká potřeba regulátor spínat, proto je tento vývod uzemněn a regulátor je tak stále v zapnutém stavu. Celé zařízení se vypíná pomocí odpojení obou napájecích úrovní, ne jen 5 V větve. Schéma zapojení je uvedeno na obr. 13. Regulátor funguje tak, že na výstup spíná plné napájecí napětí. Výstupní tlumivka zpomaluje změnu protékajícího proudu a nabíjí výstupní kapacitor. Napětí na kapacitoru je přivedeno na vstup zpětné vazby, která včas vypne nabíjení. Při poklesu napětí na výstupním kondenzátoru se začne opět dobíjet.



obr. 13: schéma napájecího zdroje

Na DPS pro napájecí zdroj jsou přítomny plošky pro připojení vstupního napětí a tři páry výstupních plošek. Dva páry budou použity pro vodiče navigace a pro samotné zařízení, třetí byl přidán pro případ potřeby do rezervy, například pro nabíjení mobilního telefonu apod. Deska byla navržena s důrazem kladeným na co nejmenší rozměry. Proto, ač je samotná deska jednostranná, je zvolena oboustranná kombinovaná montáž, kdy SMD součástky jsou umístěny ze strany vodivých cest a THT součástky jsou umístěny ze zadní strany desky. Pro lepší chlazení obvodu a rozvodu tepla do větší plochy je zadní zemnicí kontakt měniče proveden jako velkoplošný, celá plocha je pokryta pájkou a obvod je důkladně připájen po celé své ploše. Celkové rozměry desky jsou 37x21mm. Osazená deska má se součástkami výšku 49 mm. S ohledem na tyto rozměry je tedy navržena a vyrobena krabička.



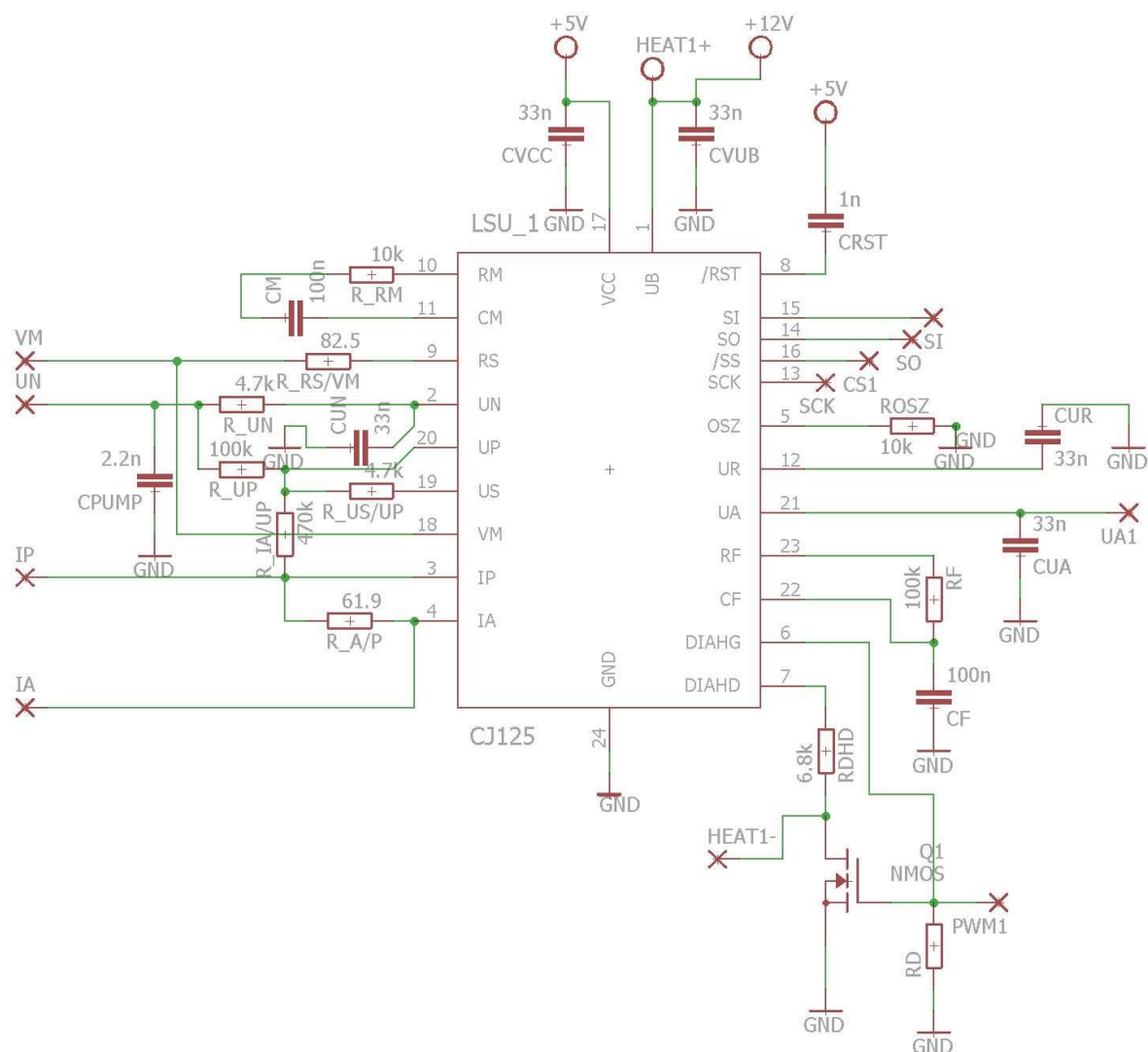
obr. 14: výkres DPS napájecího zdroje

Samotné napájení pak je osazeno kabely s vodotěsnými konektory. Pro napájení celého přípravku byl zvolen pětipinový AMP konektor, pro navigaci pak originální konektor z původního, poddimenzovaného zdroje.

3.7 Blok CJ125

Tento obvod a jeho funkce je stěžejní pro celé navržené zařízení. Samotná DPS obsahuje obvod CJ125, periferní součástky a plošky pro připojení vodičů pro měření napěťové úrovně na jednotlivých výstupech. V obvodu jsou potřebné výstupy pro řízení šestivodičové lambda sondy, SPI sběrnici, měřicí výstupy a několik bran pro kalibrační a měřicí součástky. Napájení je připojeno jak 5 V pro samotný obvod, tak i palubní napájení pro spínání vyhřívání samotné sondy a detekci sepnutí výhřevu. Obvod v pouzdru LQFP32, případně PLCC28 disponuje ještě referenčními vstupy pro sjednocení napětí mezi jednotlivými obvody v síti. Toto sjednocení je důležité kvůli použité komunikaci, aby všechny obvody měly stejnou úroveň logické 1 a logické 0. Použitá varianta v pouzdře SOIC24, má referenční napětí a referenční zemní potenciál připojený přímo na vodiče napájecí, kdy zemní vývod je společný pro 12 i 5 V. Nevýhodu tohoto zapojení se společnou referencí lze částečně kompenzovat tím, že všechny obvody, které se účastní komunikace jsou fyzicky umístěny ve své blízkosti a napájeny jsou ze stejné větve pro zajištění co nejpodobnějších vlastností.

Filtrační kondenzátory však jsou v tomto případě použity pro každý obvod zvlášť, nicméně díky jejich paralelnímu zapojení s výstupním kondenzátorem napěťového měniče by toto řešení nemělo přinášet problémy. V případě testovaného zařízení nebude komunikace použita, z důvodů, které jsou uvedeny níže, nicméně vše potřebné je na DPS pro budoucí použití SPI sběrnice připraveno, konkrétní brány však jsou využity jinak. Dalším podstatným důvodem pro použití stejného referenčního napětí je přesnost měření výstupních hodnot pomocí AD převodníků. Samotný obvod je řízen vnitřním oscilátorem, který lze ladit pomocí externího rezistoru, připojeného mezi vstup OSZ a zem. Ostatní součástky jsou v obvodu přítomny pro nastavení zpětných vazeb a filtrování jednotlivých signálů, případně jako měřicí součástky. Schéma celého obvodu je na následujícím obrázku 15.



obr. 15: schéma bloku CJ125

V levé části schématu jsou vidět čtyři výstupy (VM, UN, IP a IA) pro řízení samotné lambda sondy. Jak bylo zmíněno, sondy jsou použity šestivývodové. Dalšími dvěma vývody jsou kladný a záporný pól napájení vyhřívání lambda sondy HEAT1- a HEAT1+. Napájení je připojeno trvale na dvanáctivoltové napájení stroje a přes MOSFET tranzistor je spínáno na zem. Tranzistor je použit NMOS AOD480 v pouzdře TO252. Konstruovaný je na napětí 30 V, proud 18 A a výkon 21 W. Udávaný výkon vyhřívání je 10 W, což při napětí 11,5 V při volnoběžných otáčkách stroje odpovídá proudu 0,87 A. Vybraný tranzistor by se při této zátěži měl být schopen i trvale chladit. Source tohoto tranzistoru je spojen s velkoplošným kontaktem GND na DPS pro lepší odvod tepla, drain je pak připojen na zem vyhřívání lambda sondy a zároveň na diagnostický vstup DIAHD přes rezistor 6,8 k Ω , jehož úkolem je omezit maximální proud tekoucí do vstupu DIAHD, který je připojen paralelně k vyhřívání. Gate je pak spínán pomocí výstupu DIAHG, který si CJ125 řídí dle teploty lambda sondy. Dále je pak na gate tranzistoru přiveden PWM signál, aby nedošlo k poškození sondy trvalým sepnutím při zahřívání po zapnutí. Zavedením PWM signálu do spínání obvodu dostane materiál

sondy čas na rovnoměrné rozvedení teploty, sníží se tak teplotní namáhání samotné sondy, sníží se maximální teplota vyhřívacího tělesa a vzroste čas potřebný k přípravě pro měření. Sám výrobce neuvádí doporučenou frekvenci spínání, ale pomocí vstupu DIAHD se kontroluje, zda není vyhřívání sepnuto trvale. Při trvalém sepnutí obvod pro případ poruchy odpojí lambda sondu a vypne vyhřívání. Bezpečná frekvence, při které se výhřev nevypne byla zjištěna 4 Hz. Tomu by měla odpovídat zvolená spínací frekvence PWM. V dokumentaci k obvodu je doporučeno frekvenci v závislosti na teplotě sondy postupně snižovat, pro zkrácení potřebného času vyhřívání. Čerpací článek samotné lambda sondy je pak řízen proudem vytékajícím z vývodu UN skrz Nernstovu buňku a čerpací článek do IA. Regulace je řízena transkonduktančním zesilovačem OTA, jehož zesílení lze nastavit pomocí velikosti odporu R_{UP} připojeného mezi UN a UP v obvodu. Tyto brány jsou uvnitř přivedeny na vstupy OTA zesilovače. Záporný vstup je zároveň připojen přes filtrační kapacitorty a operační zesilovač na výstup pro měření hodnoty R_I , která reprezentuje odpor samotné Nernstovy buňky. Na vstupy operačního zesilovače jsou přes časovací obvod střídavě přiváděny hodnoty UN a VM. Samotný časovací obvod je pak řízen vnitřním krystalem a sériovým RC článkem vytvořeným mezi vývody RM a CM. Dříve bylo zmíněno, že hodnota R_I se využívá ke zjištění stavu vyhřívání sondy. Při nepředehtřáté sondě totiž samotná snímací plocha nevede elektrický proud. Tím pádem je Nernstova buňka neprůchozí a na vstupech operačního zesilovače je plně napájecí napětí. Při zahřátí tato hodnota klesá, až ke kýžené hodnotě přibližně uprostřed mezi extrémy. Jedná se v podstatě o surový výstup úzkopásmové lambda sondy, řízené pomocí čerpacího článku. Samotný čerpací proud je pak přiveden na vstupy IP a IA. Mezi těmito vstupy jsou připojeny dva rezistory. Jeden je přítomen přímo v konektoru lambda sondy již od výrobce. Jedná se o tlustovrstvé rezistor trimovaný pro konkrétní sondu. Z tohoto důvodu nelze libovolně měnit konektory u širokopásmových lambda sond, případně po výměně vzniká nutnost sondy kalibrovat. Pro účely měření by takto použitý rezistor postačoval v případě, že by se na přírodních vodičích k lambda sondě nemohlo indukovat napětí či rušení. Z tohoto důvodu je napětí mezi vstupy IP a IA měřeno na rezistoru připojeném mezi měřicí vstupy v blízkosti samotného obvodu. To zpřesňuje měření, ale zároveň zde vzniká potřeba použití přesného Shuntova rezistoru s hodnotou 61.9 Ω . Tyto rezistory jsou běžně označovány jako měřicí. Posledním vodičem lambda sondy, který je nutné připojit, je vodič VS/IP, který je připojen mezi Nernstovu buňku a čerpací článek. Z tohoto vývodu je přes kalibrační rezistor $R_{RS/VM}$ měřena hodnota R_I . Jak označení napovídá, je připojen mezi vstupy RS a VM. Z pohledu vnitřního uspořádání je napětí na vstupu VM porovnáváno s napětíovou referencí 0,5 VCC. Tato hodnota odpovídá hodnotě na lambda sondě při stechiometrickém poměru, tedy stavu, kterého je dosaženo při ideální hodnotě čerpacího proudu. Dále je ke vstupu VM uvnitř obvodu připojena napětíová reference 450 mV, což je hodnota odpovídající napětí Nernstovy buňky při stechiometrickém poměru, a toto výsledné napětí je pak přivedeno na vstup UP, jako napětí pro řízení proudového zdroje.

Z pohledu napájení obvodu není použito žádné nestandardní zapojení. Na oba napětíové vstupy jsou připojeny vyhlazovací kondenzátory. Vstup pro reset obvodu je přes kapacitor připojen na napájecí napětí, možnost softwarového resetu je tedy nevyužita. Výstupní brány UR a UA slouží pro ADC převodníky, pro kontrolu hodnot R_I resp. hodnoty lambda. Jedná se o hodnoty úzkopásmové lambda a širokopásmové. Z úzkopásmových hodnot je určen stav výhřevu, jak bylo popsáno výše, a samotné hodnoty širokopásmové lambda sondy jsou pak výstupem celého měření. Samotné vztahy pro přepočítání hodnoty lambda na AFR jsou jednou z mnoha věcí, které v technické

dokumentaci chybí, a budou tedy jednou z důležitých věcí pro měření v průběhu samotné konstrukce zařízení. Některé zdroje tvrdí, že samotný výstup je již linearizovaný. Jedná se ovšem o neověřené zdroje, na které se nelze spolehnout. Kompletní seznam použitých komponent je k nalezení v tabulce 3.

Označení	Hodnota	Pouzdro	Popis
CJ125	CJ125	SOIC24	Kontrolér lambda sondy
CPUMP	2.2 nF	0805	Kapacitor
CM, CF	100 nF	0805	Kapacitor
CUN, CUA, CUR, CVUB, CVCC	33 nF	0805	Kapacitor
CRST	1 nF	0805	Kapacitor
RF, R_UP	100 k Ω	0805	Rezistor
R_UN, R_US/UP	4,7 k Ω	0805	Rezistor
R_IA/UP	470 k Ω	0805	Rezistor
R_AP	61,9 Ω	0805	Rezistor
RDHD	6.8 k Ω	0805	Rezistor
R_RS/VM	82.5 Ω	0805	Rezistor
RD, ROSZ, R_RM	10 k Ω	0805	Rezistor
Q1	AOD480	TO252	NMOS
RJMP1, RJMP2	0 Ω	1206	Rezistor

Tabulka 3: komponenty pro CJ125

Dále jsou připojeny dvě odporové propojky pro křížení vodivých cest. Jedná se o nulové rezistory v pouzdře 1206.

Komunikovat s obvodem lze pomocí SPI sběrnice. Tato možnost není využita, je však pro komunikaci vše připraveno, což je důvodem pro popsání samotné komunikace a použitého protokolu. Jedná se o sériovou synchronní sběrnici, kdy jeden obvod řídí celou komunikaci. Tento řídící obvod se nazývá master, podřízené obvody pak slave. Master generuje hodinový signál pro komunikaci, a pomocí změny logické úrovně z 1 na 0 na jednom z vodičů vybírá podřízený obvod, pro který jsou data určena. Tato datová linka se nazývá chip select, v dokumentaci je označena /SS. Pokud je potřeba komunikovat s vícero obvody na jedné sběrnici, je třeba rozlišit pouze tyto vodiče, zbytek komunikace zůstane společný pro všechny obvody. Po celou dobu vysílání jednoho datového rámce je třeba udržovat chip select v logické nule, jinak se příjem dat přeruší. Pro instrukce se používají šestnáctibitové rámce, tedy dva bajty dat. První bajt obsahuje instrukci, a druhý je přítomen buď pro data, která se mají na příslušnou pozici uložit, nebo na odpověď. Propustnost sběrnice je dle výrobce 2 Mbaud, což se díky nízké odolnosti vůči rušení v praxi neosvědčilo. Proto byla komunikace zpomalena na 1,15 Mbaud. Tato hodnota je pro případné využití sběrnice doporučena autorem práce. Při nastavování komunikace je třeba nastavit odeslání dat při náběžné hraně a čtení při sestupné.

Instrukční sada obvodu CJ 125 obsahuje šest instrukcí, které umí vykonat. Lze zapsat data do dvou registrů, a číst data ze čtyř registrů. Každý z těchto pokynů má přiřazen svůj vlastní příkaz o délce 8 bitů. Prvním registrem, a nejméně důležitým pro použití v tomto zařízení je registr nazvaný IDENT_REG, který obsahuje informace o tom, zda se jedná o obvod CJ120 či novější CJ125 a o jakou verzi tohoto obvodu. Informace

o vydaných verzích či provedených změnách nejsou veřejně dostupné, takže nelze zjistit, zda se jedná o nejnovější verzi obvodu, či nikoliv. Dalšími dvěma registry jsou registry pro nastavení celého obvodu INIT_REG1 a INIT_REG2, do nichž lze i zapisovat. Druhý jmenovaný obsahuje možnost zapnutí diagnostiky sondy a čtyřbitového nastavení referenčního proudu pro čerpací článek. V dokumentaci je pouze uvedeno že hodnoty lze nastavit v rozsahu 0-150 uA, jak jsou odstupňovány však již zmíněno není. V INIT_REG1 jsou pak k dispozici pro nastavení čtyři bity. Konkrétně se jedná o bity označené jako PA, RA, LA a VL. PA zapíná výstup čerpacího článku, RA přepíná mezi měřením a nastavením měřicího proudu pro Ri, LA umožňuje nastavení zesílení měřicího zesilovače čerpacího proudu pomocí přepnutí hodnoty VL. Od výrobce jsou oba registry nastaveny tak, že obvod po zapojení do obvodu měří hodnoty bez potřeby zásahu do registrů. Posledním registrem, který lze číst je pak diagnostický DIAG_REG, ve kterém je v případě povolení diagnostiky možné diagnostikovat jednotlivé závady pomocí přečtení hodnoty. Tabulka pro rozklíčování jednotlivých závad je přiložena v dokumentaci. Po přečtení tohoto registru je jeho hodnota vymazána a obvod je znovu sepnut. K odpojení sondy dojde v případě jakékoliv závady, z důvodu bezpečnosti.

3.8 Mikrokontroler

Pro přístroj byl na základě zmíněných požadavků vybrán MCU PIC16F18857. Kontrolér sice disponuje dostatečným množstvím ADC vstupů, má však pouze jeden převodník. V praxi to znamená, že je pro každý převod nutné nastavit požadovaný kanál, na kterém se má měření provést a v danou chvíli může probíhat pouze jeden převod. Tím je celý proces měření zpomalen a snížena frekvence měření. Níže je uvedena tabulka dob převodů pro jednotlivá nastavení vnitřního oscilátoru a předděličky pro samotný převodník. Šedé oblasti nejsou doporučeny pro měření pro svou nižší přesnost.

časování ADC		frekvence kontroléru					
dělička	ADCS<2:0>	32MHz	20MHz	16MHz	8MHz	4MHz	1MHz
FOSC/2	0	62.5 ns	100 ns	125 ns	250 ns	500 ns	2,0 us
FOSC/4	100	125 ns	200 ns	250 ns	500 ns	1,0 us	4,0 us
FOSC/8	1	0,5 us	400 ns	0,5 us	1,0 us	2,0 us	8,0 us
FOSC/16	101	800 ns	800 ns	1,0 us	2,0 us	4,0 us	16,0 us
FOSC/32	10	1,0 us	1,6 us	2,0 us	4,0 us	8,0 us	32,0 us

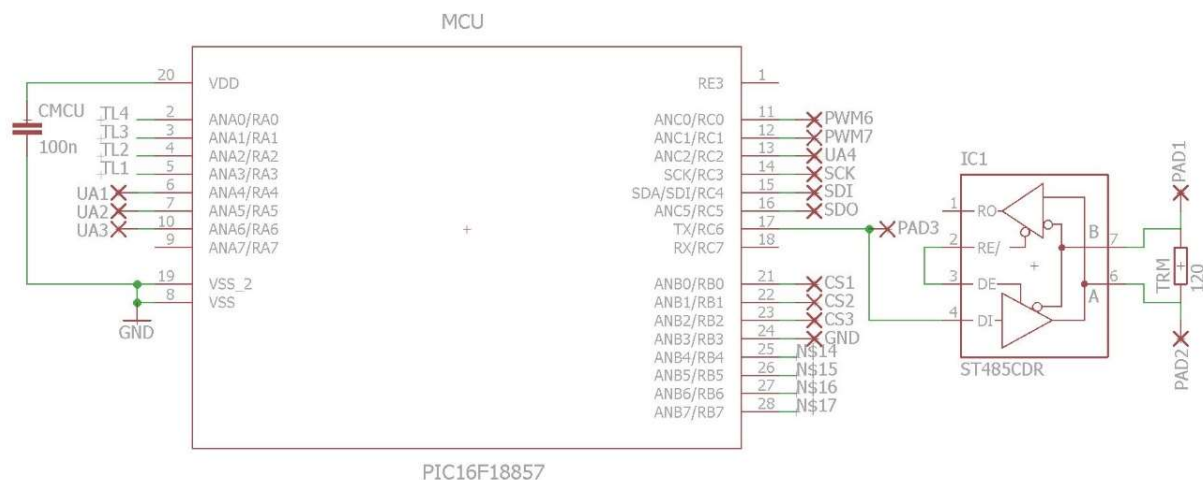
Tabulka 4: doba převodu ADC MCU PIC16F18857; přeloženo z [14]

Tabulka 4, je převzata z dokumentace k obvodu a přeložena. Doporučená oblast je mezi 1 a 4 us. Vzhledem k tomu, že po každém měření musí proběhnout přenastavení vstupní brány převodníku, je použita maximální frekvence oscilátoru a předdělička dle doporučení výrobce nastavena na dělení 32. Měření tak probíhá s frekvencí 1 MHz, tedy milionkrát za vteřinu. Tato frekvence je pro účely potřebného měření více než dostatečná i bez optimalizace měřicího cyklu.

3.8.1 Hardware

Na začátku je nutné navrhnout samotné zapojení obvodu, a poté až vytvořit

programové vybavení pro samotnou funkci. Zjednodušené zapojení bloku MCU je znázorněno na obrázku 14.



obr. 16:schéma zapojení mikrokontroleru

Na napájení je připojen filtrovací kondenzátor 100 nF. K vývodům portu A jsou připojena tlaková čidla, která mají své vlastní periferní součástky a výstupy lambda sond. Čtvrtá lambda sonda je připojena k portu C. Port A7 se nepodařilo nastavit jako analogový vstup neovlivněný vnitřními periferiemi. Měření na této bráně bylo zatíženo aditivní chybou. Všechny analogové vstupy z jiných desek jsou opatřeny kapacitou pro filtrování naindukovaného rušení. Díky krátkým vodičům by nemělo být nijak výrazné, proto lze použít malou kapacitu, která neovlivní probíhající měření. Zvolena byla kapacita 1 nF. Dále je pak nutné si uvědomit že samotný obvod CJ125 má jistou setrvačnost. Dle dokumentace aktualizuje výstupní hodnoty v rychlém režimu pětkrát za vteřinu, v pomalém pak jednou za vteřinu. V následujícím vztahu je uveden orientační výpočet maximální kapacity, která by mohla být použita při rychlém režimu tak, aby se stihl kapacitor nabít o plné napájecí napětí za uvažovanou dobu 200 ms maximálním výstupním proudem.

$$C = \frac{t * I}{U} = \frac{0,2 * 0,01}{5} = 400 \mu F \quad (3)$$

Dále pak jsou zapojeny komunikační sběrnice SPI a UART. První zmiňovaná slouží pro komunikaci s jednotlivými deskami s CJ125, a ve výsledném zařízení jsou tyto vývody využity jinak, a to pro měření otáček, rychlosti a ovládání stopek tlačítkem, případně pro detekci zařazeného neutrálu. Druhá sběrnice je zapojena pouze pro jednosměrnou komunikaci, kdy kontrolér odesílá sériová data s instrukcemi displeji. Pro posílení výstupu je využito budiče ST485CDR. Jak název napovídá, jedná se o driver pro sériovou sběrnici RS-485. Z výstupního signálu kontroléru tento driver vytvoří diferenční signál mezi výstupy A a B. Na druhé straně musí být přítomen opět stejný budič, který diferenční signál převede zpět na změnu napěťové úrovně jednoho vodiče. Diferenční výstup je zatížen rezistorem 120 Ω pro impedanční přizpůsobení samotné sběrnice. Konkrétní hodnota je stanovena technickou specifikací sběrnice RS-485, nicméně některé zdroje tvrdí, že při použití krátkých přenosových vzdáleností není tato hodnota kritická. Díky zatížení a diferenčnímu výstupu je sběrnice odolná vůči rušení a logická hodnota, která je přenášena se pouze překlápí z 1 do 0, neexistuje nedefinovaný stav jiný než přechodný.

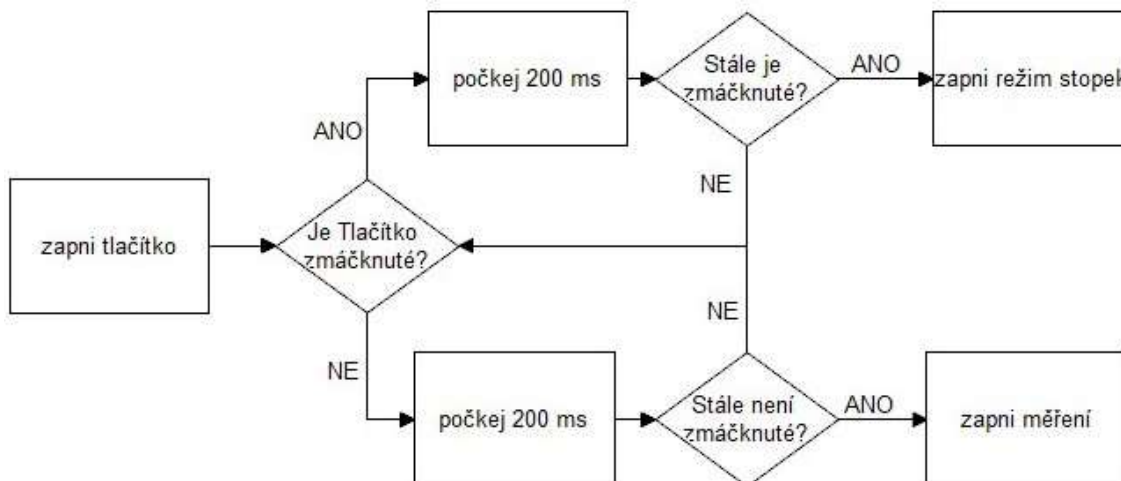
Dalšími důležitými výstupy jsou RE/ a DE, které mají na starost nastavení obvodu jako vysílače či přijímače. U MCU jsou tyto vývody spojeny a přes rezistor připojeny na napájecí napětí. Tím je budič permanentně zapnut jako vysílač. Na přijímačové straně, tedy u displeje, je situace obdobná, připojeny jsou však tyto vodiče na GND. Všechny vstupy a výstupy jsou opatřeny ochrannými rezistory a přivedeny buď na napájecí napětí nebo na kostru, to dle toho, k čemu jsou určeny. Například výstupy chip select jsou přivedeny na napájecí napětí, protože stav, kdy neprobíhá komunikace, je log 1. Připojením těchto čtyř výstupů na GND stroje by zapříčinilo zbytečné zatížení bran a zvýšení proudových nároků zařízení na napájecí zdroj. Soupis potřebného materiálu je v následující tabulce.

Označení	Hodnota	Pouzdro	Popis
PIC16F18857		SPDIP28	Mikrokontroler
CMCU	100 nF	0805	Filtrační kapacitor napájení MCU
C485	33 nF	0805	Filtrační kapacitor napájení ST485CDR
CUA1 – CUA4	1 nF	0805	Kapacitor
CS1 – CS4, SDO, SDI, SCK	10k	0805	Rezistor
ST485CDR		SO8	Budič ST485

Tabulka 5: komponenty MCU

3.8.2 Software

V této kapitole je popsán naprogramovaný software pro vytvořené zařízení. Samotný kód je bohatě komentovaný, proto některé z funkcí nebudou vysvětleny dopodrobna. Původní návrh je tvořen na zařízení sestávající z více řídicích obvodů, kdy pro stopky a pro měření musí být vyměněna hlavní jednotka přístroje. Tato varianta usnadňuje montáž kabeláže na motocykl a některé konstrukční otázky ohledně samotné implementace na stroj. Případně dává možnost zkonstruovat pouze jedno zařízení pro diagnostiku. Toto zařízení bude v budoucnu zkonstruováno pro další motocykly, převážně veterány. Vytvořený přístroj je však kombinací obou výše zmiňovaných a pracovní režim se volí při zapnutí přístroje pomocí připojeného tlačítka. Z tohoto důvodu jsou níže uvedené vývojové diagramy rozděleny do několika obrázků.



obr. 17: výběr pracovního režimu

Ihned po připojení napájení se zapne tlačítko připojené k vývodu B0. Nejprve je celý port nastaven jako digitální a poté jsou nastaveny brány B0, B1 a B2 jako vstupy. B1 a B2 jsou nastaveny společně s tlačítkem, protože se nachází na stejném portu, a mají tedy pro nastavení stejné registry jako tlačítko. Zároveň se na tlačítko připojí interní pull-up rezistor. Ten zajistí připojení tlačítka přes rezistor k napájecímu napětí. Kromě toho, že toto řešení obrací logiku samotného vstupu, tak zajišťuje vyšší odolnost proti rušení a zjednodušuje připojení tlačítka vně čipu do obvodu. Po nastavení vstupních bran je zjištěn stav samotného tlačítka. Jako další ochrana proti zákmitům je přidán algoritmus, který čeká po určitou dobu, po které znovu zkontroluje stav daného vstupu. Časová konstanta ochrany je zvolena 200 ms. Lze ji obejít pomocí dvou krátkých pulzů jdoucích přesně 200 ms po sobě. Pravděpodobnost takového náhodného jevu však lze označit za nulovou, potažmo tuto ochranu za dostatečnou. Po úspěšném vyhodnocení je zavolána funkce pro zapnutí samotného displeje, nastavení všech periférií a pracovního režimu obvodu. Popis jednotlivých registrů, které se nastavují při inicializaci, je v komentářích samotného programu, proto je zde popsán jen zhruba. Inicializace probíhá následovně:

- Vypnutí periférií
- Nastavení výhřevu
- Nastavení UART
- Nastavení ADC
- Nastavení časovače
- Zapnutí displeje

Ihned na začátku inicializace se vypnou všechny nepotřebné funkce mikrokontroleru jako DAC, komparátory, časovače apod. Následně proběhne nastavení dvou bran jako výstupů, pro spínání vyhřívání sond. Poté se nastaví komunikace asynchronní sériovou linkou. Vybraný kontrolér používá univerzální sběrnici, kterou lze nastavit do několika režimů. Tuto sběrnici je třeba zapnout, nastavit do režimu USART a povolit výstup. S nastavením datového vstupu je to složitější, protože PIC má signál TX (datová linka vysílače-transmitter) definován pouze jako vnitřní signál, bez přiřazené vstupně/výstupní brány. O přiřazení signálů a bran se stará tzv. PPS modul kontroléru. Pro výstupní signály funguje tak, že každá brána má svůj speciální funkční registr, do kterého se zapíše hodnota náležící k danému signálu. Například potřebný signál TX

reprezentuje hodnota 0x10. Pokud je třeba, stejně jako v tomto konkrétním případě, nastavit TX na výstup C6, musí se do registru RC6PPS zapsat hodnota 0x10. Zároveň je nutné mít nastavenou bránu C6 jako digitální výstup. Podobně volné přiřazení lze zajistit i pro vstupní signály. V případě vstupu je situace opačná, kdy se do registru signálu (například RX) zapíše hodnota reprezentující bránu, na kterou je daný signál přiveden. Nakonec se nastaví velikost přenosového rámce na 8 bitů a rychlost přenosu. Přenosová rychlost potřebná pro displej je 115200 Baud. Proto je nastaven časovač do 16 bitového režimu, pro nižší chybu a zajištění nízké přenosové rychlosti při vysoké taktovací frekvenci samotného MCU. Samotná frekvence se pak definuje nastavením hodnoty registru SPBRGL. Potřebná hodnota se určí dle následujícího vztahu (4). Výsledná hodnota se musí však zaokrouhlit na celé číslo.

$$SPBRGL = \frac{\frac{FOSC}{Baud}}{16} - 1 = \frac{\frac{32e6}{115200}}{16} - 1 = 16,36 \quad (4)$$

Správná funkce byla ověřena i pomocí logického analyzátoru.

Dále se pak nastavuje ADC převodník. Na všech branách, které jsou použity jako vstupy ADC je nastaven analogový režim a jsou nastaveny jako vstupní brány. Výsledky měření jsou po inicializaci zarovnány vlevo. Převodník je spuštěn do režimu, kdy provede při zapnutí pouze jeden převod, nepracuje v kontinuálním režimu. Referenční napětí je zvoleno napájecí, není tedy třeba připojovat vnější napětíovou referenci pro měření, časování je pak nastaveno pomocí děličky dle doporučení výrobce na dělení frekvence oscilátoru 32. Důležité je zakázání přerušení od AD převodníku. Přerušení je totiž nutné generovat od časovače, který je poslední funkcí kontroléru, která je nastavena.

Časovač má zapnutou předděličku hodinového signálu 1/8 a následně je použita ještě dělička 1/4. Celkově dělení hodinového signálu je 1/32. Frekvence samotného časovače tak činí 1 MHz. Nastavení počítadla není použito, je využit plný rozsah časovače a počítá od 0 do maximální hodnoty, kdy vygeneruje přerušení při přetečení. Vybraný MCU je dle výrobce zařazen do střední třídy kontrolérů. To z praktického hlediska znamená, že disponuje pouze jediným vektorem přerušení. Z tohoto důvodu je zakázáno přerušení od ADC převodníku, aby nebylo nutné řešit detekci původu přerušení.

Posledním krokem inicializace zařízení je počkat, dokud se nezapne samotný displej a dle zvoleného pracovního režimu mu odeslat instrukci, do jakého režimu se má přepnout. Funkce displeje společně s vybranými instrukcemi je popsána v následující podkapitole věnující se displeji. Potřebné zpoždění bylo experimentálně určeno na 170 ms, kdy displej zareagoval při dvaceti z dvaceti pokusů. Úspěšnosti 50 % zapnutí bylo dosaženo již při zpoždění 155 ms, lze tedy počítat s jistou tolerancí v řádu desítek milisekund. Nastavená hodnota zpoždění je tedy 200 ms, aby byla vytvořena bezpečná rezerva i v případě ověřené spolehlivé funkce s menším zpožděním. Přístroj má tedy vždy zapnuty všechny funkce v obou režimech. V režimu stopky by bylo možné nastavit jako analogový vstup pouze vybranou bránu, na které bude připojena lambda sonda. To by však nepřineslo spolehlivější funkci či výraznou úsporu energie. Funkce se odlišuje pouze vysláním pokynu displeji a následně pak pracovním režimem samotného kontroléru.

V příložené knihovně je kromě inicializace také funkce pro zápis instrukce do displeje. Tato funkce má dva parametry. Prvním je text, který se v přesné podobě zapíše jako instrukce, co má displej provést. Druhým parametrem je pak číslo, které se v případě některých instrukcí musí taktéž poslat do sběrnice po příkazu jako parametr funkce.

Pokud se funkci předá číslo 255, není odeslána displeji žádná další hodnota, ale pouze textový řetězec. Této možnosti je využíváno například při nastavení barvy textu. Pokud je jako argument jiná číselná hodnota, je rozdělena na stovky, desítky a jednotky. Dále jsou pak odeslány příslušná místa dle počtu cifer v argumentu funkce. Při čísle v řádu desítek, se odešlou pouze desítky a jednotky, případně jen jednotky nebo všechna tři místa. Tato čísla je nutné odeslat v ASCII kódu, aby byla správně přeložena displejem. Na konec jakéhokoliv přenosu jsou přidány tři hodnoty 255 pro oddělení jednotlivých příkazů displeji. Podrobnější vysvětlení a pospání je opět přímo v samotném kódu.

Při režimu měření se nejprve změří hodnoty lambda na jednotlivých sondách a následně hodnoty podtlaku.

Měřicí smyčka:

- Lambda 1
- Lambda 2
- Lambda 3
- Lambda 4
- Zarovnání výsledku vpravo
- Tlak 1
- Tlak 2
- Tlak 3
- Tlak 4
- Zarovnání výsledků vlevo

Lambdy se měří první z toho důvodu, že po inicializaci je AD převodník nastaven na kanál první lambda sondy. Při režimu stopek tedy není třeba nic nastavovat, inicializace vše připraví pro další použití. Při testování přístroje bylo pomocí přidaného počítadla zjištěno, že mezi jednotlivými výpisy na displej proběhne 250-260 cyklů měření. Díky vysokému počtu měření a následnému průměrováním hodnot se odstraní vliv šumu a elektromagnetického rušení od motoru a dalších součástí motocyklu. Pokud by se průměrovalo všech 250 hodnot, mohlo by při plně bohaté směsi dojít k tomu, že součet naměřených hodnot by přesáhl maximální hodnotu šestnáctibitového datového typu integer. Proto bylo přistoupeno k algoritmu, který průměruje pouze část naměřeného celku, a to v průběhu samotného měření. Tím se také zrychluje reakce přístroje na změnu, pokud se v průběhu prováděných měření aktualizuje výstupní hodnota z CJ125. Pokud bylo provedeno méně než 20 měření, průměruje se vynásobením dosavadní průměrné hodnoty počtem měření, poté se přičte aktuální naměřená hodnota a vydělí inkrementovaným počtem měření. Při proběhnutí většího počtu měření se tento algoritmus nahrazuje odečtením jedné dvacetiny dosavadního průměru a přičtením dvacetiny naměřené hodnoty. Tato změna zajišťuje, že pokud dojde během jednotlivých měření ke změně hodnot na posledních deset cyklů, stihnou se tyto promítnout do zobrazené hodnoty. Po naměření jedné lambda sondy je třeba přenastavit vstup ADC na vývod s další sondou. Po spuštění samotného měření se ve smyčce kontroluje nastavení příznaku, namísto generování vektoru přerušení. Po nastavení příznaku se teprve naměřená hodnota odečte a zpracuje. Takto proběhne čtveřice měření, po které je třeba nastavit zarovnání výsledku vpravo pro měření tlaků.

Naměřené hodnoty na tlakových čidlech jsou dostatečně malé, aby se neměnily hodnoty dvou MSB při desetibitovém měření. Proto jsou výsledky zarovnány vpravo

a čten je pouze registr s nižšími bity. Takto změřené výsledky mají dostatečnou přesnost. Nejdůležitější jsou tyto hodnoty při volnoběžných otáčkách, které činí 1250-1500 ot/min. Jelikož měření probíhá s frekvencí 1,25 kHz, tedy 75000krát za minutu, není třeba jakékoliv optimalizace procesu měření tlaku. Měřené hodnoty jsou mechanicky tlumeny zmenšením vnitřního průřezu hadice, stejně jako je tomu u přístroje CARBTUNE, který platí za špičku mezi analogovými přístroji. Zaznamenány jsou pouze maximální hodnoty podtlaku, které jsou následně porovnány. Velikost tolerance při porovnání se nastavuje změnou parametru na začátku kódu pro mikrokontroler, je tedy jednoduše změnitelná pro zpřesnění měření či naopak zvýšení tolerance.

V průběhu výše popsané měřicí smyčky běží na pozadí časovač nastavený na interval 65 ms, který je maximálním intervalem, který je možné nastavit při zvolené taktovací frekvenci. Při každém vygenerovaném přerušení se přepnou logické hodnoty na výstupech řídicích vyhřívání lambda sond a inkrementuje se počítadlo. V případě režimu stopek se kontroluje stav tlačítka pro zaznamenání času na kolo. Při každém třetím přerušení se spustí vyhodnocení naměřených hodnot. Frekvence vyhodnocování je tímto způsobem nastavena na 5 Hz, což je stejná frekvence, jakou používá CJ125 pro aktualizaci výstupních hodnot.

Vyhodnocení naměřených hodnot probíhá následovně:

- Výpočet a zápis poměru 1-2 válců
- Výpočet a zápis poměru 2-3 válců
- Výpočet a zápis poměru 3-4 válců
- Zápis hodnoty lambda 1
- Nastavení barev lambdy 1
- Zápis hodnoty lambda 2
- Nastavení barev lambdy 2
- Zápis hodnoty lambda 3
- Nastavení barev lambdy 3
- Zápis hodnoty lambda 4
- Nastavení barev lambdy 4
- Nulování naměřených hodnot

Při zpracování naměřených hodnot se nejprve vypočítá rozdíl maximálních hodnot dvou sousedních válců. Tento rozdíl se poté porovná se velikostí tolerance, a dle toho, zda je nižší či vyšší tlak v prvním ze dvou porovnávaných válců, se zobrazí na displeji příslušný symbol. Tato vyhodnocení se provedou pro všechny tři dvojice válců. Následně se vyhodnotí naměřené hodnoty lambda sond. Naměřené hodnoty jsou osmibitové, tedy z rozsahu 0-255. Tyto hodnoty reprezentují AFR od 9,0 do 19,0, tedy sto hodnot. Proto je třeba změřenou hodnotu přepočítat na zobrazitelný rozsah, potažmo vypočítat procentuální hodnotu z měřeného rozsahu. Pro zobrazení naměřených hodnot se kromě samotného grafického vyjádření používá i změna barvy symbolů a grafu. Pokud je naměřená hodnota menší než 10 % rozsahu, jsou číslice a graf modré, pokud je hodnota 10-90 % rozsahu, pak jsou zelené a při vysokých hodnotách červené. Poté se odešlou konkrétní hodnoty do displeje k zobrazení. Konkrétní podoba příkazů je popsána v kapitole displeje.

V režimu stopek se průběžně kontroluje pouze jedna lambda sonda. Přístroj sám nedetekuje, na kterém z vývodů je připojena, proto je nutné mít zapojen správný

konektor. Při naměření hodnoty vyšší nebo rovné 99 % se zobrazí varovný nápis STOP přes celý displej.

Hlavní smyčka stopek:

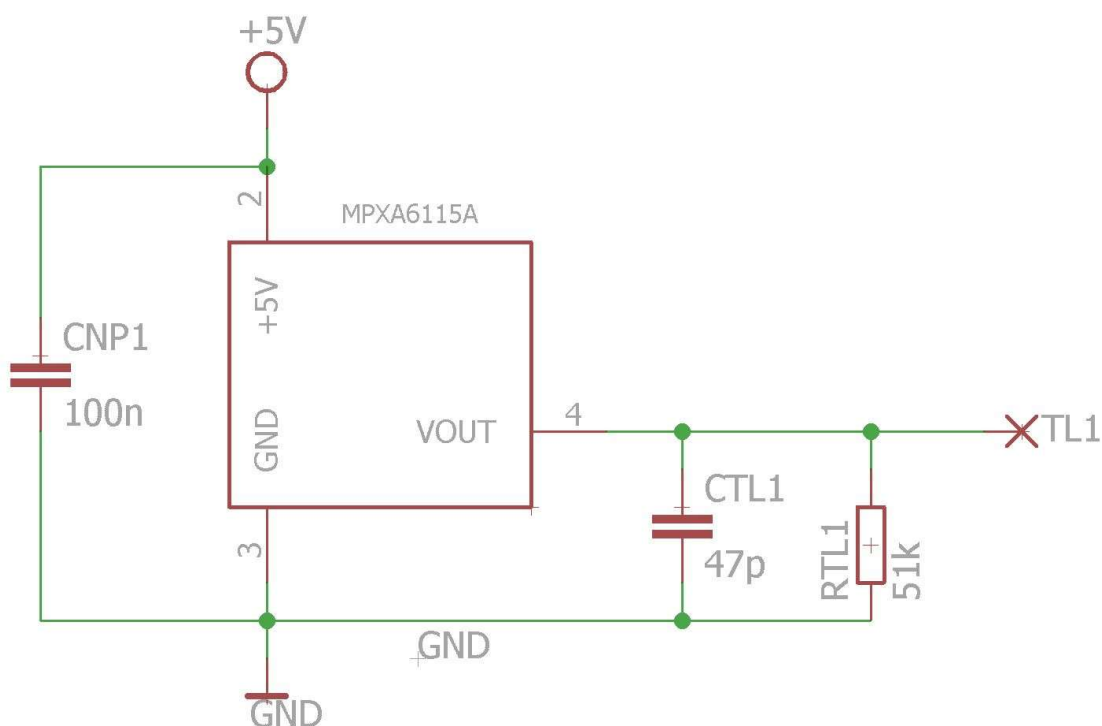
- Měření lambdy 1
- Kontrola otáčkoměru
- Kontrola tachometru

Dále je v hlavní smyčce kromě měření AFR také měření frekvence signálů na otáčkoměru a tachometru přístrojové desky. Při změně hodnoty z logické 0 na logickou 1 dojde k inkrementování počítadla a zaznamenání nastavené hodnoty. Poté se při dalších měřeních čeká, dokud se signál opět nezmění do logické 0. Krok otáčkoměru je stanoven na 140 ot/min, dle možnosti zobrazení 100 hodnot a celkového rozsahu otáčkoměru 14000 ot/min. S podobnou přesností pracují i některé profesionální závodní monitory, není tedy nutnost řešit zvyšování rozlišení přístroje.

Při přerušení dojde ke kontrole naměřených hodnot lambda, případnému vyslání varování. Při normální funkci se vypočítá procentuální hodnota otáček, která se odešle do displeje k zobrazení na grafu a opět dojde k určení barvy grafu na základě nastavených hranic. Hranice jsou uvedeny v kapitole testování přístroje společně s grafy. Dále se pak podle poměru otáček a rychlosti vypočte zařazený rychlostní stupeň. Tyto vztahy byly opět určeny experimentálně a jsou tedy uvedeny v kapitole testování.

3.9 Měření tlaku

Z použitých zapojení zbývá už jen zmínit obvod pro měření tlaku, resp. použité komponenty pro filtrování naměřeného signálu. Zde je použit filtrovací kondenzátor pro napájení samotného senzoru společně s paralelní kombinací kapacitoru s rezistorem pro filtrování výstupního signálu. Rezistor se stará o vybíjení náboje na vodiči a kondenzátoru, kondenzátor pak odstraňuje prudké změny a špičky ve výstupním signálu. Takto upravený signál pak lze přivést přímo na AD převodník. Zapojení společně s tabulkou použitých komponent je níže na obr. 17. Jedná se o zapojení prvního tlakového čidla, proto jsou všechny součástky označeny číslicí 1.



obr. 18: zapojení tlakového čidla

Označení	Hodnota	Pouzdro	Popis
MPXA6115A		SO8	Tlakové čidlo
CNP1 - CNP4	100 nF	0805	Kapacitor
CTL1 – CTL4	47 pF	0805	Kapacitor
RTL1 – RTL4	51 kΩ	0805	Rezistor
R2 – R4	0 Ω	1206	Zkratovací rezistor

Tabulka 6: komponenty tlakového čidla

V průběhu testování může dojít k úpravě jednotlivých hodnot součástek v obvodech. Uvedené hodnoty jsou orientační, nicméně při testech v laboratorních podmínkách se osvědčily. V kapitole testování jsou zaznamenány i výsledky z praktických testů a vyhodnocení možných úprav zapojení vzhledem ke spolehlivosti funkce přístroje.

3.10 Dotykový displej

Obecný popis displeje a jeho ovládání je v teoretickém úvodu, grafický návrh pak v předchozí kapitole, zde je pouze popis jeho konkrétní funkce a nastavení.

Nultá stránka je ponechána pouze s černým pozadím. Na této straně se čeká na nastavení pracovního režimu příkazem pro otevření příslušné strany. Měřením pomocí logického analyzátoru bylo zjištěno zpoždění zpětné vazby z displeje v rozmezí 100-150 ms. Data displeji jsou odesílána v sériích instrukcí, které nastavují všechny níže popsané prvky. Celá tato sada instrukcí se odesílá 14,5 ms. Z tohoto důvodu není využita duplexní

komunikace, ale pouze jednosměrná, od MCU k displeji, a informace o nastavené barvě se odesílají v každém balíku dat, přestože nemusí dojít ke změně barvy textu. Tato data jsou vysílána právě z důvodu, kdyby v jednom z přenosů došlo k chybě, aby se při dalším cyklu chyba napравила a nastavila se správná barva. Při rychlosti zpětné vazby totiž nelze nijak určit, která z instrukcí byla špatně odeslána či přijata. V programu je pět stran včetně černé úvodní. Další jsou měření (measure), stopky (timer) a dvě varovné strany (warning_rd a warning_bk). Pro volbu režimu měření je tedy třeba po zapnutí displeje poslat po sběrnici příkaz „page measure“. Tím dojde k zobrazení měřicí obrazovky.

Měřicí obrazovka vypadá graficky dle návrhu v první kapitole, jen má bílé písmo a černé pozadí. Pozadí je nastaveno jako jednobarevné, přes které se vykreslí barevné pruhy. K tomu slouží příkaz „fill“, tedy vyplň, umístěný v kartě „Postinitialize Event“, tedy události po zapnutí, dané strany. Tuto kartu mají pouze strany, jiné objekty nemají možnost nastavení těchto událostí. Pro vykreslení levého modrého pruhu je použitý příkaz „fill 75,0,45,480,31“. Ten vykreslí obdélník s počátkem na souřadnicích 75, 0 o velikosti 45x480 px barvou 31, tedy modrou. Stejně jsou vykresleny i další obdélníky. Přerušení barevných pruhů, které je vidět na displeji je způsobeno překrytím souvislé barevné plochy progress barem, tedy sloupcovým grafem. Pro překrytí je použito v postinitialize event nastavení hodnoty grafu na 0. Aktualizací hodnoty se samotný objekt dostane do popředí a překryje obdélníky. V levé části zobrazovací plochy jsou jednotlivá čísla válců. Ta jsou vložena jako textová pole nazvaná t0–t4.



obr. 19: měřicí obrazovka

Pro každý válec je zobrazen sloupcový graf, tzv. progress bar. U těchto objektů nazvaných j0–j3 se mění hodnota i barva grafu. V každém vyhodnocovacím cyklu, který

vykonává řídicí MCU se vysílají objektům hodnoty i barva, kterou mají být vyplněny. Samotný displej disponuje časovačem, který by šlo využít pro spuštění skriptu vyhodnocujícím barvy objektů na displeji. Toto vyhodnocení však trvá déle, než přijmout data od kontroléru a přebarvit dané objekty. Skript byl spouštěn jak časovačem, tak i příkazem od kontroléru. V obou případech vykonání instrukcí trvalo příliš dlouho pro správnou funkci a objekty zůstávaly bílé, jen jednou za několik vteřin blikla správná barva. Použití skriptu přímo v displeji bylo tedy zavrženo.

Mezi jednotlivými ukazateli jsou umístěny šipky nahoru či dolů nebo znak rovnosti pro znázornění vzájemného poměru tlaků mezi dotčenými válci. Tyto objekty jsou v displeji uloženy jako obrázky s rozměrem 60x60 px. Na stránce jsou pak umístěny objekty „picture“ tedy obrázek, označené jako p0-p5. Dvojice tvoří p0 s p3, p1 s p4 a p2 s p5. Instrukce jsou po sběrnici vysílány každému objektu zvlášť, ale v každém cyklu se aktualizuje všech šest obrázků. Tato funkce byla opět původně zkoušena pomocí skriptu, kdy se přes sběrnici řídila pouze trojice obrázků a druhá trojice se aktualizovala pomocí časovače.

Poslední skupinou objektů jsou dvě číselná pole a zaškrťovací políčko. Číselná pole slouží pro zápis číselné hodnoty lambda. Jedno zobrazuje celočíselnou část, druhé pak desetinné místo. Samotné číselné pole v tomto displeji neumí zobrazit desetinné číslo a textové pole má problémy se zarovnáním textu. Každému znaku je totiž přiřazen pomyslný obdélník. V důsledku to znamená, že úzké znaky jako l, I, či desetinná tečka mají za sebou větší mezeru než ostatní znaky. Z tohoto důvodu je číslo rozděleno na dvě pole. Jak bylo řečeno, i tečka zabírá plochu jako velké písmeno, proto je desetinná tečka nahrazena malým čtvercem. Ten je reprezentován zaškrťovacím čtvercovým políčkem, které má stejnou barvu jako číslice. Samotné číslice mají pak barvu jako graf náležející stejnému válci. Při aktualizaci číslíkových polí dojde k překrytí desetinné tečky pozadím, proto je nutné barvu tečky aktualizovat jako poslední znak z této trojice. Celá čísla mají pevnou délku dva znaky a objekty jsou nazvané n0, n2, n4 a n6. Desetinná místa jsou pouze jednomístná pole n1, n3, n5 a n7. Stejně jako grafům se těmto objektům mění atributy „val“ a „pco“. Desetinným tečkám c0-c3 se pak mění pouze barva popředí, tedy „pco“.

Dalším režimem jsou závodní stopky a jednoduchá přístrojová deska. Stopky jsou na straně nazvané „timer“. Z této strany lze přepnout na varovnou obrazovku „warning_rd“ či „warning_bk“.



obr. 20: varovná obrazovka

Obě varovné strany obsahují přes celou plochu textové pole s nápisem STOP. Warning_rd má červené pozadí, Warning_bk pak černé. Na obou stranách běží v pozadí časovač nastavený na periodu 0,5 s, který přepíná mezi sebou obě strany. Tím vzniká dojem blikání nápisu. Tento jev by šlo realizovat také přenastavením barev textu a pozadí, ale takový způsob se v praxi neosvědčil. Při překreslování barev celé plochy displeje bylo viditelné překreslování po čtvrtinových plochách místo celého displeje najednou. Přepínáním jednotlivých stran je docíleno blikání celé zobrazovací plochy. Každý objekt, který je na displeji může spustit naprogramovaný skript pomocí dvou událostí. Těmi jsou stisknutí a uvolnění tlačítka. Na popisovaných varovných stranách je textové pole nastaveno tak, že při stisku tlačítka přepnou zpět na stranu časovače.



obr. 21:stopky

Plocha časovače obsahuje progress bar podobný tomu z předchozího případu měření, jen nejsou kolem něj vykresleny barevné plochy a limity barev má nastaveny jinak. Dále je v levé části velká číslice symbolizující zařazený rychlostní stupeň. Tyto číslice jsou uloženy i s pozadím o rozměru 240x320 px jako obrázek ve vnitřní paměti displeje. Každá číslice je v provedení bílého textu na černém pozadí a bílého textu na červeném pozadí. Při dosažení vysokých otáček se tak nejen zobrazí horní grafický ukazatel červeně, ale zároveň zčervená i pozadí číslice.

V pravé části je pak trojice číslicových ukazatelů stopek. Ty jsou vytvořeny stejným způsobem, jako číslicové ukazatele v případě měření. Minuty a vteřiny jsou dvoumístná čísla, oddělovací dvojtečka a desetinná tečka oddělující měření desetin jsou pak tlačítka. Stopky zobrazují čas s přesností na desetinu vteřiny. Díky nepřesnosti vnitřního oscilátoru dochází k náhodnému pozvolnému předcházení či zpoždování. Pokusy bylo zjištěno, že při měření času 6 h je přesnost ± 3 s. Tento pokus byl proveden čtyřikrát a uvedená tolerance je extrémní odchylka která byla zjištěna. Vzhledem k tomu, že stopky jsou určeny jako časomíra na okruh, budou měřit čas v řádu jednotek minut, v extrémních případech až desítky minut. V případě uvažování měřeného úseku 20 min je odchylka 0,16 s. Samotné stopky jsou spouštěny tlačítkem, což vnáší do měření chybu reakční doby jezdce, která se pohybuje v případě autora v rozmezí 0,27-0,4 s. Tato hodnota byla měřena pro reakční dobu při krizovém brždění na automobilovém simulátoru. Chyba obsluhy je tedy větší než chyba samotného měření. Navíc je tato odchylka počítána při extrémně dlouhém čase, kdy v reálných podmínkách budou měřit časové úseky až desetkrát kratší. Samotné stopky jsou řízeny pomocí tlačítek, která jsou

černá a umístěná v levém horním rohu displeje. Pro spuštění stopek slouží tlačítko „I“. Při jeho prvním stisku dojde ke spuštění stopek, při dalším stisknutí se pouze opíše aktuální hodnota času do pole nejlepší čas. V dalších cyklech již probíhá výpočet rozdílu časů a jeho zobrazení do spodního řádku. Při překonání rekordu je nový nejrychlejší čas zobrazen v horním řádku rekordu a mezičas je zobrazen se zeleným pozadím. Při dosažení horšího času je pozadí mezičasu červené, při vyrovnání rekordu pak černé.

4 MECHANICKÁ KONSTRUKCE ZAŘÍZENÍ

Vzhledem k určení zařízení, kdy nemá sloužit jako náhrada profesionálních přístrojů, ale jako levná pomůcka pro příležitostné domácí použití, byla jeho konstrukce přizpůsobena a zjednodušena a použity postupy nevhodné pro sériovou výrobu. Desky plošných spojů jsou použity pouze jednovrstvé, pro zjednodušení jejich výroby v domácích podmínkách, součástky jsou voleny větších rozměrů pro možnost ručního pájení, řídicí kontrolér je pak zvolen THT. Dále to zjednodušuje možnost programování, protože není třeba řešit oddělení programovacích vývodů od sběrnic v obvodu. Právě použití SPI komunikace a diagnostiky závad obvodů sond je jedno z možných dalších vylepšení. Na druhou stranu použití THT obvodu přináší nový problém s mechanickým uchycením obvodu a odolností proti vibracím. V průběhu vývoje se zařízení měnilo zásadním způsobem, některé z těchto změn jsou zde zmíněny a vysvětleny, pro vysvětlení některých zdánlivě chybných kroků nebo problému řešených zbytečně složitě.

4.1 Napájecí zdroj

Z elektrického hlediska je zdroj popsán v předchozí kapitole zde zbývá vyřešit ještě mechanickou ochranu a připojovací konektory. O krytí a mechanickou ochranu se stará krabička společně se zalévací hmotou, která má zajistit pevné uchycení součástek a přírodních kabelů, zabránit uklepání vodičů připájených k desce, ochranu proti prachu a navlhnutí obvodu. V krabičce jsou použity kabelové průchodky s průměrem 9 mm. Pojistky jsou použity standartní nožové, jako se používají běžně v motocyklech. Jsou voleny z toho důvodu, aby v případě poruchy bylo možné použít záložní pojistky z povinné výbavy motocyklu. Samotná krabička má navrženo víčko dostatečně těsné pro zaručení aretace, které je navíc zajištěno lepidlem. Vzhledem k použití zalévací hmoty nemá rozebíratelná krabička smysl.

Pro nižší napětí jsou zvoleny vodiče s průřezem $0,25 \text{ mm}^2$ pro přívody 12 V pak $0,75 \text{ mm}^2$. Všechny vodiče jsou měděné. Použité kabelové průchodky jsou schváleny pro stupeň krytí IP67. Výstupní vodič z napěťového zdroje je osazen konektorem AMP superseal s pěti vývody. Připojeny jsou +12 V, +5 V a společný GND, kdy 12 V větev a zemní svorky jsou zdvojeny pro větší spolehlivost při dlouhodobé zátěži. AMP superseal jsou jedny z nejlevnějších automotive konektorů s aretací a krytím IP67. Navzdory ceně jsou však dostatečně spolehlivé a hojně je používají i firmy vyrábějící automobily či stavební techniku. Tímto konektorem je přivedeno napájecí napětí k řídicí desce pro měření. Samotný napájecí regulátor je umístěn pod sedlem v přihrádce na povinnou výbavu a připojen je na vodič vedoucí k zadnímu světlu. Za tímto účelem musí být pochopitelně posílena pojistka příslušného okruhu. Pro plnohodnotné měření se přístroj připojuje přímo na motobaterii. Připojení příslušenství k některému ze světel je běžnou praxí. Děje se tak z důvodu možnosti vypnutí příslušenství při startování motoru. V případě, že by bylo sepnuto vyhřívání všech čtyř lambda sond, byla by autobaterie ve chvíli startování zatížena dalšími až 16 A, což by mohlo zapříčinit nedostatečný výkon pro startér. Další napájecí vodič s napětím 5 V je veden pod kapotáží až pod přístrojovou desku, kde slouží k napájení navigace Wayteq Xrider. Pro tento účel je použit kabel i s konektorem z původního poddimenzovaného napájení dodaného v setu s navigací.

Dále je pak do krabičky pro napájecí adaptér umístěna patice pro dvě nožové pojistky. Jedna je připojena na průchozí 12 V větev a druhá slouží pro ochranu vstupu regulátoru. Na základě testů jsou zvoleny pojistky 2 a 5 A pro 5 resp. 12 V. V případě větších nároků na proudový odběr 5 V větve je možno použít i 3 A pojistku. Do budoucna bude pravděpodobně vytvořeno jedno napájení pro navigaci umístěné za přístrojovou deskou, napojené na obrysové světlo a druhé napájení bude pro diagnostickou jednotku s vypínači jednotlivých výhřevů disponující možností sledovat palubní napětí. Tento regulátor se bude přes dvoupinový konektor připojovat přímo na autobaterii, podobně jako tomu bylo při testování celého zařízení a ladění motoru.



obr. 22: krabička napájecího zdroje s pojistkami

4.2 CJ125

V předchozí kapitole návrhu je popsána funkce obvodu pouze na základě technické dokumentace od výrobce, která je ve srovnání s dokumentací jiných firem velice stručná a strohá. U firmy BOSCH je relativně běžnou praxí že technická dokumentace pouze nastiňuje možnosti produktů, a pro bližší informace jsou poskytována školení, konzultace a odborná asistence pro firmy. Stejně tak i použitý obvod CJ125 není primárně určen pro domácí projekty ale spíše pro automotive průmysl. Při vyvíjení diagnostické jednotky byly zjištěny některé podstatné skutečnosti, které nebyly v dokumentaci zmíněny, jako například výchozí nastavení celého obvodu. Předně jakákoliv chyba vypne veškeré výstupy lambda sondy, a to včetně chyby vyhřívání, která by se měla dle dokumentace ignorovat.

Chyba vyhřívání vypne obvod a po krátkém čase se sám resetuje a pokusí se opět zkontrolovat, zda chyba přetrvává. Není tedy nutné číst diagnostický registr, stačí určitou dobu počkat. Ke smazání ostatních chyb je třeba přečíst registr, ve kterém jsou uloženy. Dalším podstatným zjištěním bylo, že celý obvod je od výrobce nastaven tak, že funguje bez potřeby jakéhokoliv zásahu pomocí SPI sběrnice. Ta slouží pouze pro diagnostiku

případného problému nebo pro nastavení nestandardních parametrů měření, případně pro nastavení zpětných vazeb a proudů jednotlivých bran. Poslední důležitou věcí je, že sice lze měřit hodnotu R_i , dle které lze určit stav vyhřívání lambda sondy, ale měření je se studenou sondou zkresleno jen minimálně, a díky výfukovým plynům a použití na motocyklovém motoru, který není provozován při nízkých teplotách okolí, se sonda prohřeje dostatečně rychle, aby nebylo třeba tuto hodnotu měřit. Samotné sondy jsou zahřáté během několika vteřin, což se o studeném spalovacím motoru říci nedá. Konkrétně uvažované motory jsou náchylnější na provoz za studena, kdy při neopatrném přidání plynu motor zhasne. Lze tedy předpokládat že při vyjetí je již vše zahřáto na provozní teplotu. Dokonce bylo testováno vyhřívání pouze pomocí výfukových plynů, a i to bylo dostatečné pro přesné měření na desetinu AFR.

Samotná deska plošného spoje je navržena tak, aby byl její rozměr shodný s řídicí deskou, a mohly tak být do krabičky umístěny nad sebe. Jedna deska obsahuje kontrolér pro jednu lambda sondu. Lze tak jednoduše výrobou dvou desek a drobnou úpravou softwaru upravit měření pro dvouválcový motor, případně přidáním dalších obvodů pro motor s vyšším počtem válců, než je původně navrženo. Na to však nejsou připraveny vývody z řídicí desky. Obvod CJ125 má vyvedeny vývody pro SPI komunikaci, která může být v případě zájmu dodělána. Stejně tak na řídicí desce jsou tyto vývody připraveny. Obvod je celý vytvořen na jednovrstvé desce s jednostrannou SMD montáží. Všechny obvody jsou umístěny ve společné krabičce s řídicím kontrolerem. Pro připojení lambda sondy slouží kabel osazený šestivývodovým konektorem BOSCH UEGO, kterým jsou prodávané sondy běžně osazeny. Samotná deska není příliš minimalizována, je navržena na stejný rozměr, jaký má deska řídicího obvodu, z důvodu mechanické montáže desek na stejné body nad sebe.

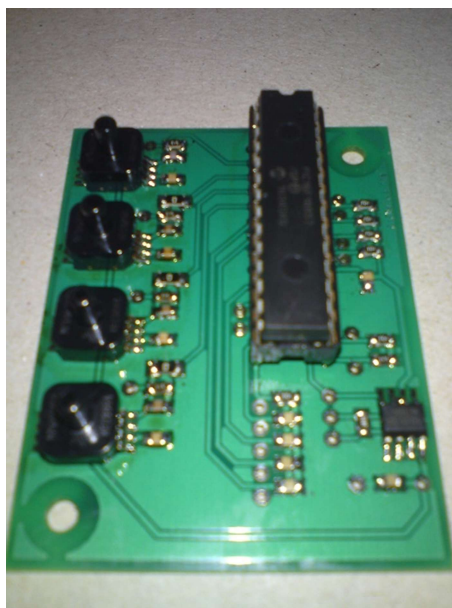


obr. 23: DPS CJ125

Krabička je opět vybavena kabelovými průchodkami a vytisknuta na tiskárně z materiálu PLA.

4.3 Řídicí obvod

Stejně jako obvod CJ125 má DPS rozměry 46x60,5 mm. Obvod je jednostranný s kombinovanou montáží, kvůli použití MCU v THT technologii. Montážní otvory pro šrouby M3 mají shodnou rozteč, všechny obvody tak lze umístit nad sebe a spojit pomocí dvojice šroubů či závitových tyčí. Mezi jednotlivé desky jsou vytištěny distanční sloupky. Z vývodů jsou zapojeny pouze napájecí vodiče, výstupy sběrnice RS-485 a vstupy pro měření AFR. Ostatní připravené plošky jsou buď diagnostické, nebo pro komunikaci pomocí SPI.



obr. 24: DPS řídicího obvodu



obr. 25: složená řídicí jednotka bez kabelových průchodek

4.4 Zobrazovací jednotka

Samotná zobrazovací jednotka nevyžaduje osazení či výrobu DPS. Vyřešit stačí krabici. Ta je opět nakreslena a vytištěna. Kabelová průchodka pro vodič byla použita opět s vnitřním průměrem 9 mm. Samotné utěsnění dotykové plochy je vyřešeno tak, že čelní plocha má z vnitřní strany vybrání. Do tohoto vybrání se vystříhne folie, vloží se s gumovým těsněním do krabičky a zajistí se přitlačením přídržného rámečku displejem. Použita je folie durofol o tloušťce 0,25 mm. Mezi samotnou zobrazovací plochou a folií je vzduchová mezera 0,5mm. Vzhledem k nízké frekvenci ovládání displeje dotykem nebylo zatím na zařízení pozorováno vytahání či poškození folie. Při stisku tlačítka se jeví jako poměrně tuhá, při použití kožené rukavice však jezdec nemá v konečcích prstů úplný cit a displej mačká nechtěně více než bez rukavic. Při ovládání v rukavicích byla citlivost displeje více než dostačující. Celá krabička byla opět zavičkována a zalepena. Uvnitř je přítomen přijímač pro sběrnici RS-485. Tento je proveden pouze na malém adaptéru pro dané pouzdro. Za tímto účelem nebyla vytvářena speciální DPS pro použití s jedním obvodem a jedním rezistorem.



obr. 26: Displej s krabičkou

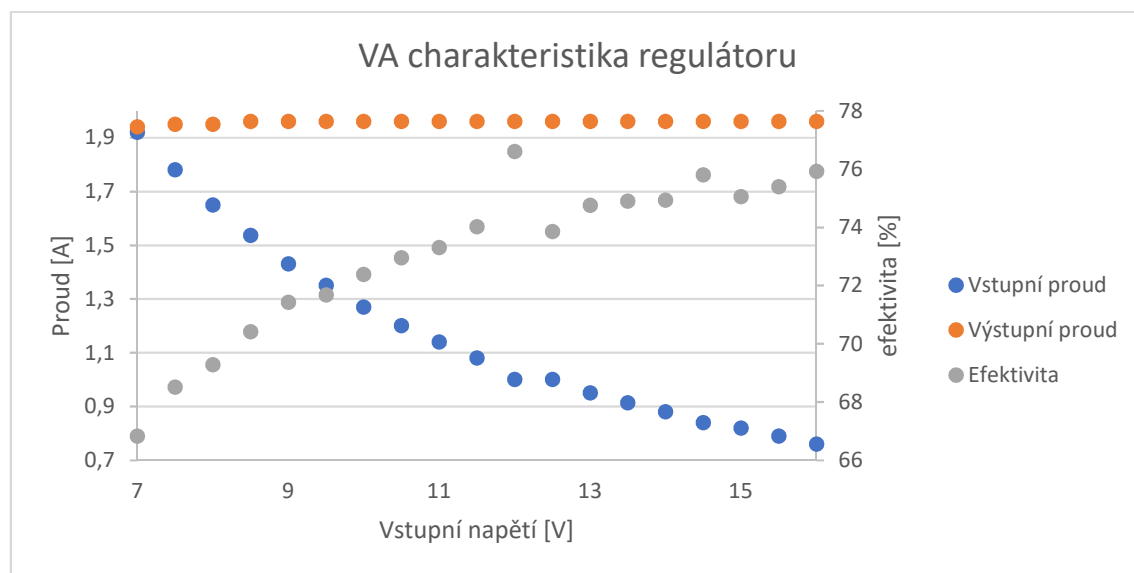
5 TESTOVÁNÍ

Tato kapitola se věnuje popisu proběhlých testů, jak na jednotlivých modulech, tak i na celém zařízení. Kromě testů samotné funkce přístroje se věnuje i srovnávání výsledků dosažených pomocí nového přístroje, s hodnotami naměřenými pomocí dostupných přístrojů popsanych v teoretickém úvodu. Bohužel se nepodařilo domluvit spolupráci s některým ze servisů disponujících motorovou brzdou pro změření výkonové křivky před a po seřízení motoru pomocí popsaneho přístroje.

5.1 Napájení

Tento modul je jen drobná část, ale jeho spolehlivost má zásadní vliv na spolehlivost celého zařízení. Proto je nutné nepodcenit jeho testování a důkladně prověřit jeho funkci. Pro elektrické testy byl jako zátěž použit keramický rezistor $3.3\ \Omega$, 10 W a zapojení LCD s příslušným MCU. Těmito spotřebiči bylo dosaženo odběru 2 A, tedy více než dvojnásobek očekávaného odběru. Během testování byl pro napájení použit digitální laboratorní zdroj s měřením napětí a proudu, Korad KA3005D. Pro měření výstupního napětí byl použit minivoltmetr neznámého původu, jehož přesnost byla nejprve ověřena kalibrovaným měřidlem. Při napětí 5 V se údaje na obou přístrojích lišily o 0,02 V. Minivoltmetr je tedy pro plánované použití vyhovující. Pro měření proudu byl použit multimetr ProsKit MT-5211.

Nejprve byly ověřeny vlastnosti samotného obvodu a závislost vstupních a výstupních hodnot napětí a proudu. Výsledky měření jsou v následujícím grafu, společně s efektivitou regulátoru.

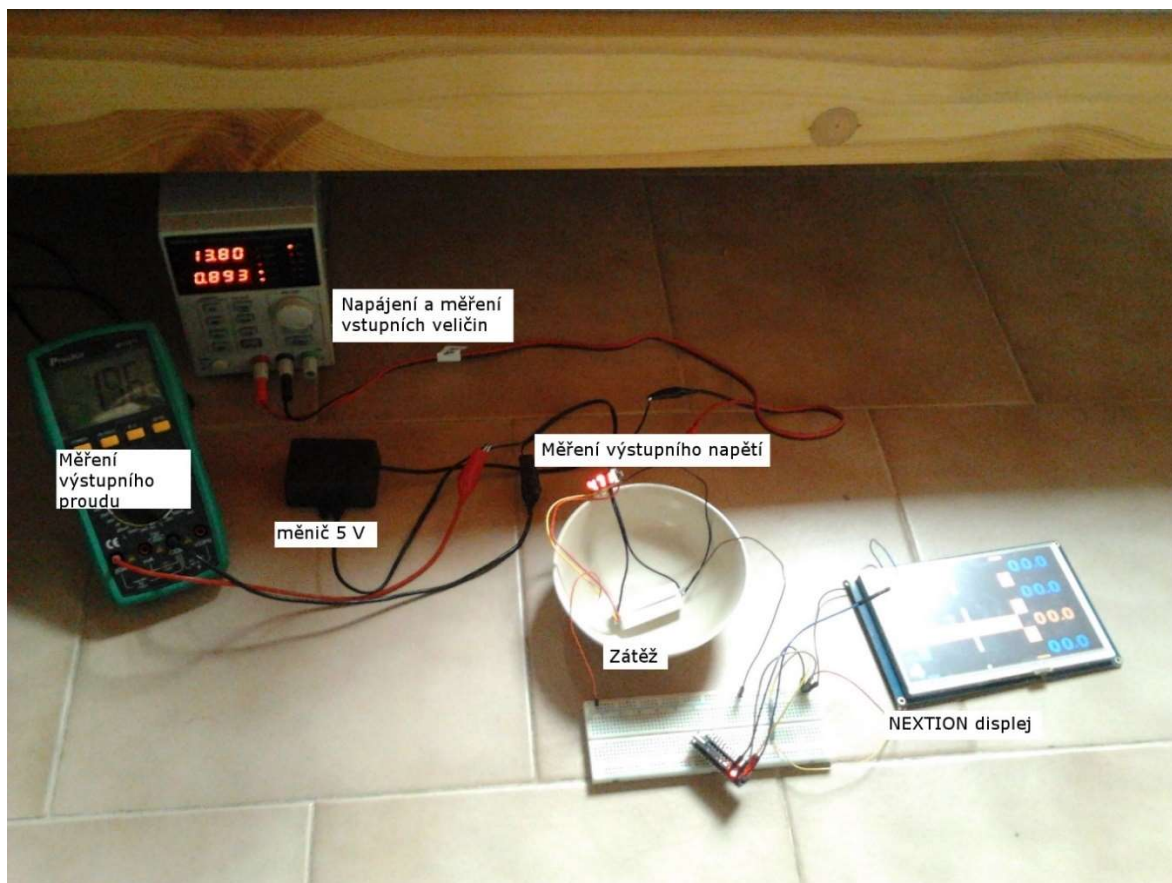


graf 1: VA charakteristika regulátoru

Měřený rozsah byl úmyslně větší než uvažované napájecí napětí. Některé levnější komerční regulátory mají problém poskytnout dostatečně vysoké výstupní napětí při napájení 11,5 V, na které může napětí palubní sítě klesnout při volnoběžných otáčkách. Při plných otáčkách motoru by nemělo napětí stoupnout nad hodnotu 14 V, testování bylo

tedy provedeno od 7 do 16 V. Zároveň byly vypočteny hodnoty efektivity. V reálném provozu je třeba počítat s efektivitou 74-76 %.

Dále pak byla ověřena stabilita obvodu při dlouhodobém zatížení. Test byl proveden při teplotě 20 °C a probíhal po dobu 12 h. Obvod byl zapouzdřen a zatížen proudem 2 A. Test byl proveden pro napětí 10 V a 16 V. Napětí palubní sítě motorových vozidel se pohybuje v rozmezí 12-14 V, testovaná napětí jsou z většího rozsahu. Při měření nebyla zaznamenána odchylka v naměřených hodnotách napětí a proudů na začátku a konci testu. Obvod si tedy s časem a rostoucí teplotou vlivem ztrát zachovává své elektrické vlastnosti.

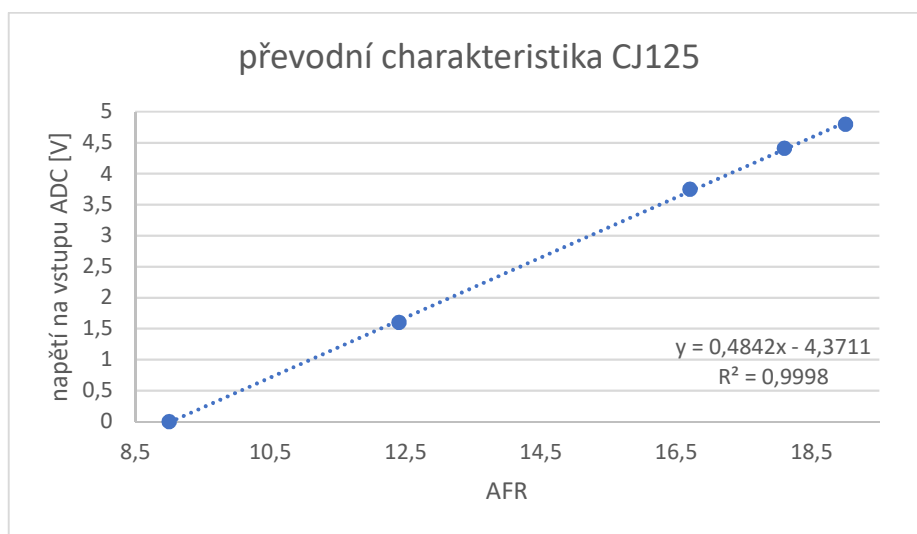


obr. 27: měřicí uspořádání pro měření zdroje

Posledním testem byl test krytí přístroje. Vzhledem k umístění bude přístroj vystaven odstříkující vodě a vodní tříšti. Díky k dostupnosti množství kabelových průchodek, pouzder a metodice měření byl při návrhu stanoven stupeň krytí IPx7, který je jednoduše ověřitelný i v amatérských podmínkách. Jako ochrana proti vodě byla zvolena utěsněná a zalepené krabice. Zároveň v automotive průmyslu je standardem elektroniku zalévat do izolačních či teplovodivých hmot, které po vytvrzení zajišťují také odolnost vůči vibracím a rázům. Díky vyplnění krabice zalévací hmotou je dosaženo jak voděodolnosti, tak prachotěsnosti. Po dokázání stupně krytí IPx7 je tedy předpokládán stupeň krytí IP67. Test byl proveden ponořením testovaného obvodu do bazénu s vodou, do hloubky 1,5 m na dobu 30 minut. Norma stanovuje odolnost do hloubky 1 m po dobu půl hodiny, která byla dodržena, větší hloubka byla zvolena dle hloubky dostupného bazénu. Ihned po vytažení byl obvod otestován na základní funkce

5.2 CJ125

Test funkce tohoto obvodu spočíval v jeho kalibraci a porovnáním naměřených hodnot s druhým přístrojem. Pro srovnatelné výsledky měření je třeba poskytnout pro oba přístroje co možná nejpodobnější podmínky. Měření proběhlo tak, že na stojan byla umístěna lambda sonda, do určité vzdálenosti od plamene petrolejového hořáku. Vzdálenost byla volena tak, aby bylo možné změřeni několika hodnot z rozsahu sondy. Nejprve byla sonda připojena na komerční přístroj Stack ST3401 a poté na testovaný přístroj. Touto metodou bylo provedeno měření v pěti bodech pro ověření správnosti funkce přístroje. S měřenou přesností na desetiny AFR nebyla zjištěna odchylka mezi jednotlivými CJ125 a lambda sondami. Experimentem bylo zjištěno, že výstup obvodu je linearizovaný (viz graf 2). Dalším testem bylo při tomto uspořádání otestovat rychlost změny měřené hodnoty. Test byl proveden sfouknutím plamenu. Při hašení je třeba dbát na to, aby proudící vzduch nebyl pod tlakem puštěn do čerpací komory, ale aby změna hodnoty byla co možná nejvíce způsobena čerpacím článkem. Poté byl plamen opět zapálen a byla sledována rychlost snížení měřené hodnoty. Zatímco při snížení hodnoty bylo třeba u komerčního přístroje stejně jako u navržené jednotky přibližně 0,5 s, při zhasnutí plamenu změna rychleji proběhla při použití navrženého zařízení. Tento jev může být způsoben použitým kontrolérem CJ125, který je pravděpodobně schopen čerpat větší proud než ST3401. Při reálném testu na vozidle jsou hodnoty komerčního přístroje stálejší, u navrženého přístroje více oscilují. Je tak obtížnější zaznamenat konkrétní naměřené hodnoty, lze však lépe díky použití grafického ukazatele zaznamenat přechodové jevy při prudké změně polohy škrticí klapky. Dále bylo testováno vyhřívání sond. Nejprve při pokojové teplotě, jak dlouho průměrně trvá výhřev sondy na provozní teplotu. Při teplotě okolí 20 °C lze předpokládat prohřátí sondy za 12 s. Posledním testem na výhřev bylo jeho úplné odpojení. V tomto případě sonda při pokojové teplotě neměřila, resp. kontrolér odpojil měření. Avšak při odpojení výhřevu na motocyklu dostačovala samotná teplota výfukových plynů k tomu, aby se sonda vyhřála na provozní teplotu a měřila stejné hodnoty jako při zapnutém vyhřívání i při umístění sondy do tlumiče výfuku, a ne přímo na začátek svodu.



graf 2: převodní charakteristika CJ125

5.3 Měření tlaku

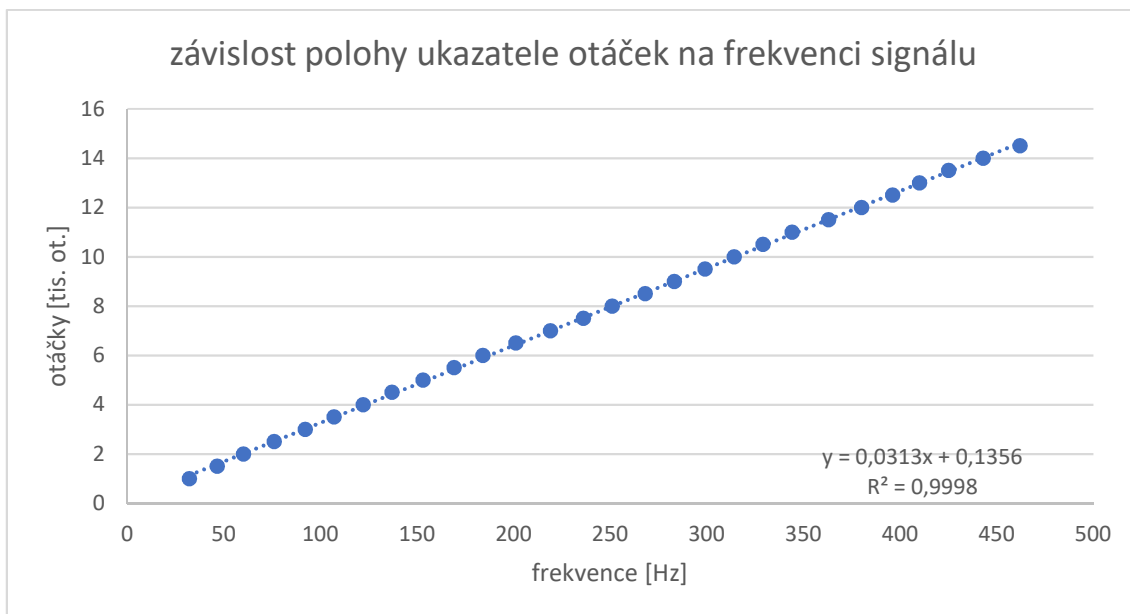
Test této funkce byl opět proveden srovnávací metodou. Jelikož není cílem měření konkrétní hodnota, ale pouze porovnání extrémních hodnot, je klíčové nastavení správné tolerance pro rozdíl naměřených hodnot v jednotlivých válcích. Nejprve byly otestovány jednotlivé senzory. Všechny byly připojeny na jednu podtlakovou hadici, ve které byl vytvořen podtlak a byly sledovány odchylky jednotlivých senzorů. Testovací podtlak byl vytvořen odhadem v několika hodnotách, nejsou měřeny konkrétní hodnoty tlaku. Nebyla zjištěna prokazatelná měřitelná odchylka mezi jednotlivými senzory. V kódu jsou použity korekční hodnoty, ty jsou však odhadnuty dle zjištěných oscilací měřených hodnot a mohou být způsobeny rušením v obvodu či samotným ADC převodníkem.

Další test probíhal pomocí použití Y spojek na podtlakové hadice, kdy byl zároveň připojen přístroj zkonstruovaný a analogový Carbtune Pro, popsáný v teoretickém úvodu. Záměrným rozladěním byla porovnána hranice, při které mají přístroje společnou přesnost. Vzhledem k tomu, že Carbtune neustále osciluje kolem ideální hodnoty, je jeho přesnost dána pečlivostí a šikovností obsluhy, kdežto přístroj digitální poskytuje možnost přesnějšího seřízení. Nevýhodou zkonstruovaného přístroje je, že má pouze třístavový výstup. Tím může dojít při neznalosti konstrukce karburátorů či při prohození přírodních hadic k tomu, že místo zmenšení rozdílu v synchronizaci bude tento obsluhou zvětšován. Nicméně obsluha by měla být natolik znalá problematiky, aby věděla, zda má daný šroub povolit či dotáhnout. V přiloženém firmwaru pro řídicí MCU je přednastavena hodnota, kdy je možné dosáhnout stabilně vyrovnaného stavu, avšak s co nejmenší tolerancí. Proto je možné u jiného motoru, že s tímto nastavením bude docházet k oscilacím mezi jednotlivými stavy. Tomu lze zabránit změnou příslušného parametru v kódu, jak je popsáno v předchozí kapitole či komentáři zdrojového kódu.

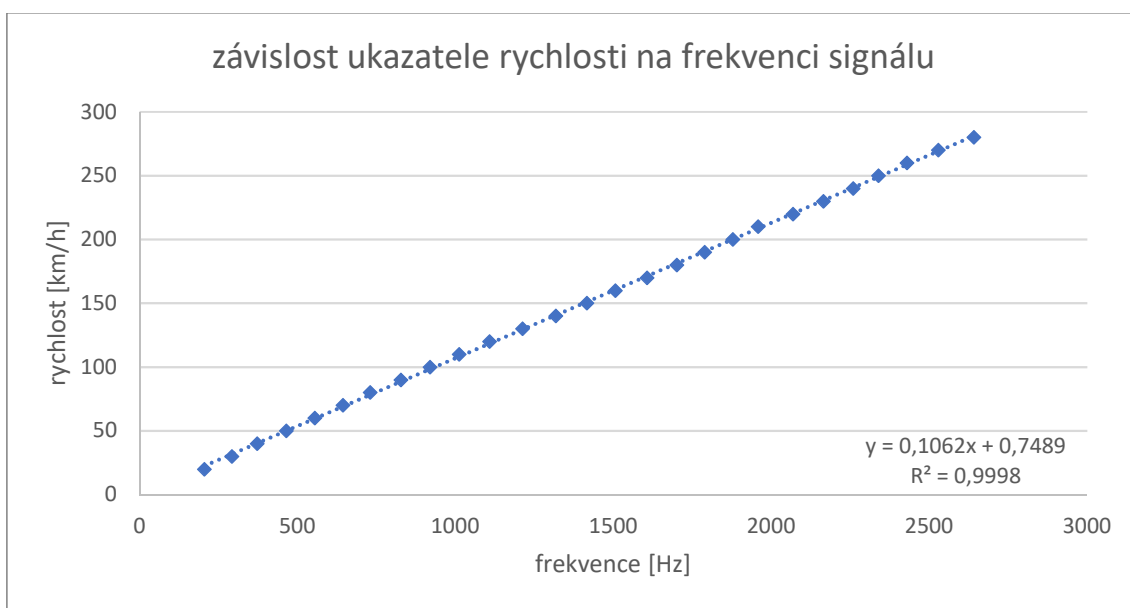
5.4 Režim stopek

V tomto režimu je třeba otestovat spolehlivost tlačítka a přesnost stopek. Při měření obvyklých časů kolem dvou minut nebyla zaznamenána odchylka od času naměřeného jinými stopkami. Při časech řádově delších byla zaznamenána odchylka několika málo vteřin. Pro praktické použití větší chybu do měření zanáší samotný uživatel nepřesností mačkání tlačítka. Samotné tlačítko bylo testováno při krátkém i dlouhém stisku, a to opakovaně po dobu několika minut. Během funkce nebyl zaznamenán jediný problém s tlačítkem či vytvořeným programem stopek.

Větším oříškem bylo správné nastavení ukazatele zařazeného rychlostního stupně a otáčkoměru. Vzhledem k obtížnosti měření frekvence řídicího signálu za jízdy motocyklu, byla použita metoda reverzního inženýrství, kdy se zkoumalo chování ukazatele na známý podnět. Nejprve byly ze servisní příručky stroje identifikovány potřebné vodiče pro napájení a signál ručkového ukazatele. Poté byly tyto vodiče k ukazateli připojeny a pomocí generátoru obdélníkového signálu byla zjištěna frekvenční charakteristika samotného ukazatele. Potřebné budičí napětí bylo zjištěno vyšší než 7 V a zobrazovaná hodnota je nezávislá na střídě signálu. Ověřena byla střída v rozsahu 20-80 %, jak umožnil generátor. Zjištěné závislosti jsou na následujících dvou grafech (2 a 3).



graf 3: frekvenční závislost otáčkoměru



graf 4: frekvenční závislost tachometru

V obou případech byla zjištěna lineární závislost. Vztahy pro výpočet, společně s hodnotou regrese jsou uvedeny v grafech. Jelikož se jedná o ručkové přístroje, bylo odečítání hodnot zatíženo velkou chybou odečtu.

Posledním krokem k otestování a nastavení je nastavení ukazatele zařazeného rychlostního stupně. Za tímto účelem byl vytvořen program, který na displeji ukazuje poměr naměřené hodnoty rychlosti a otáček. Dříve bylo dokázáno, že frekvence pro řízení tachometru je řádově vyšší než pro otáčkoměr, proto byl výpočet nastaven takto, aby byl výsledek větší než 1. Na základě naměřených údajů byly určeny meze pro jednotlivé rychlostní stupně. Všechny hodnoty jsou shrnuty v následující tabulce 7.

	naměřeno	minimum	maximum
1. rychlost	3,04	2,5	3,4
2. rychlost	3,84	3,41	4,34
3. rychlost	4,84	4,35	5,28
4. rychlost	5,72	5,29	6,2
5. rychlost	6,68	6,21	7,1
6. rychlost	7,52	7,11	8

Tabulka 7: poměr rychlosti a otáček

6 ZÁVĚR

V rámci této práce se podařilo realizovat funkční přístroj pro měření bohatosti směsi jednotlivých válců a jejich synchronizaci. Jak je zdokumentováno a uvedeno v předchozích kapitolách, navržené zařízení dosahuje minimálně stejné přesnosti jako komerčně dostupné přístroje určené pro domácí podmínky. V případě synchronizace válců dosahuje dokonce přesnějších výsledků než komerční přístroj CARBTUNE PRO. Co se týče měření času, toto je prováděno s náhodnou odchylkou, která se však projeví až při měření časových úseků deseti až stonásobně delších, než pro které je přístroj konstruován, a svou funkcí určen.

Na jaře roku 2017 bylo provedeno čištění karburátorů ultrazvukem, a jejich celková kontrola. Při této příležitosti bylo zjištěno, že karburátory jsou upraveny pro vyšší výkon a pro otevřený laděný výfuk. Po výměně samotného výfuku byly karburátory přetryskovány na základě citu a zkušenosti majitele, bez jakéhokoliv měření či ověření správnosti nastavení. O rok později, v rámci testování navrženého přístroje bylo toto nastavení upraveno. Volba hlavních trysek zůstala beze změny, přestože motor je provozován na lehce chudší směs, než je udávaný stechiometrický poměr. Při chudší směsi o 0,3-0,4 AFR je možno dosáhnout vyššího výkonu než při stechiometrické směsi, za cenu většího zahřívání motoru. Problémy s přehříváním však nebyly zaznamenány ani během loňských tropických dnů. Oproti všem dostupným materiálům byly karburátory osazeny tryskami s větším rozdílem mezi vnitřními a vnějšími válci. Tato volba je však dle měření vyhovující. Volnoběžný okruh byl více otevřen pro obohacení směsi při studeném motoru, kdy je v současné době motor nastaven na mírně bohatou směs. Díky tomu se zlepšily studené starty po delším stání. Poloha jehel byla upravena, kdy jehly na vnitřních válcích byly umístěny výš než na válcích vnějších. Tím se při provozu obohatila směs vnitřních válců, a na vnějších došlo k jejímu ochuzení. Částečně se tak snížil rozdíl ve velikosti zvolených hlavních trysek. Dále byla provedena synchronizace válců s postupným snižováním tolerance rozdílu mezi jednotlivými válci. Po seřízení pomocí CARBTUNE byly měřeny rozdíly mezi válci 40 (přímo odečtená digitální hodnota z ADC). Při seřízení pomocí navrženého přístroje tyto rozdíly bylo možné snížit až na 15. Při takové přesnosti však již silně záviselo na teplotě motoru a okolního vzduchu. Takto přesná synchronizace je sice nastavitelná, ale na přístroji se při malých odchylkách okolních podmínek mění měřená hodnota. Pro praktické používání byla tedy zvolena tolerance 30. Po seřízení bylo možné pozorovat zlepšení chodu motoru v malých otáčkách a rovnoměrnější průběh výkonu. Motor PC25e je znám svým charakteristickým prudkým nárůstem výkonu při 6,5 a 10 tis. Otáčkách. Tyto skoky se povedlo částečně eliminovat.

V současné době vzniká i verze pro dvouválcový motor, kde místo spodních dvou grafů budou zobrazeny přesné hodnoty podtlaku. Dále by pro popisovanou verzi bylo možné graficky znázornit, zda je u použitých karburátorů nutné šroub povolit či dotáhnout, aby nedošlo k omylu při použití třístavového ukazatele. Dále by pak bylo vhodné umístit spínací tlačítko pro stopky do rukojeti motocyklu, aby bylo možné pouhým stisknutím ukazováku u kraje řídítka spustit časomíru. V těchto místech se levé řídítko obvykle nedrží, nehrozí tak mimovolné stisknutí tlačítka. Dalším vylepšením by bylo přidání paměti nejlepších časů pro různé okruhy, a nezobrazovat pouze data z aktuální jízdy.

LITERATURA

- [1] obr 1: rozvody DOHC [cit. 14. 2. 2018]; dostupné z:
<http://www.bastler.cz/ventilove-rozvody/>
- [2] obr. 2: řez CV karburátorem [cit. 1.9.2017] Dostupné z:
<http://www.dudeworld.com.au/ARTICVCARB.HTML>
- [3] obr. 3: vodní synchronizace, cit. 5.10.2018 Dostupné z:
<https://www.villagehiddentreasures.com/diy-carburetor-synchronizer/>
- [4] obr.4: manometrická synchronizace [cit. 5.10.2017] Dostupné z:
<https://forums.ninja250.org/viewtopic.php?t=62411>
- [5] obr. 9: doba převodu při různé frekvenci MCU [cit. 10.10.2017] Dostupné z:
<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/41364E.pdf>
- [6] Product Information Lambda Probe Interface IC-CJ125 [cit. 5.10.2017]
Dostupné z: http://www.bosch-semiconductors.de/media/automotive_electronics/product_information/CJ125_Product_Info.pdf
- [7] Lambda Sensor LSU 4.2 [cit. 1.9.2017], dostupné z: http://www.bosch-motorsport.com/media/catalog_resources/Lambda_Sensor_LSU_42_Datasheet_51_en_2779111435pdf.pdf
- [8] How 5-Wire Sensors Work [cit. 3.9.2017], dostupné z:
<http://wbo2.com/lsu/lsuworks.htm>
- [9] LM2596 Simple Switcher [cit. 18.2.2018], dostupné z:
<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm2596.pdf>
- [10] Wideband Lambdasensor Interface with Bosch CJ125 V3.1 [cit. 1.8.2017], dostupné z: [http://www.breitband-lambda.de/files/LSU4.2%20CJ125%20SMD%20V3.1%20Documentation%20\(ENG%20Rev%20A\).pdf](http://www.breitband-lambda.de/files/LSU4.2%20CJ125%20SMD%20V3.1%20Documentation%20(ENG%20Rev%20A).pdf)
- [11] DIY Digital Vacuum Gauge [cit. 5.2.2018], dostupné z:
<http://www.instructables.com/id/DIY-Digital-Vacuum-Gauge/>
- [12] MPXx6250A [cit. 23.4.2018] <https://www.nxp.com/docs/en/datasheet/MPXH6250A.pdf>
- [13] PIC16(L)F18857/77 [cit. 23.10.2017]
[http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/PIC16\(L\)F18857_77%20Data%20Sheet_%20DS40001825C.pdf](http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/PIC16(L)F18857_77%20Data%20Sheet_%20DS40001825C.pdf)

SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

CV	(choke valve)	Škrticí klapka
DOHC	(double over head valve)	Rozvod dvěma hřídeli
H-D	(Harley - Davidson)	Americký výrobce motocyklů
AFR	(Air Fuel Ratio)	Poměr paliva a vzduchu; veličina bez jednotky
LCD	(liquid crystal display)	Display z tekutých krystalů
SPI	(serial peripheral interface)	Sériové rozhraní pro periferie
PWM	(Pulse Width Modulation)	Šířkově modulovaný signál
ADC	(Analog/Digital Converter)	Převodník analogového signálu na digitální
DPS		Deska plošného spoje

SEZNAM OBRÁZKŮ

obr. 1: rozvody DOHC; převzato z [1]	8
obr. 2: řez CV karburátorem; převzato z [2].....	10
obr. 3: Úzkopásmová lambda sonda; převzato z [7].....	11
obr. 4: širokopásmová lambda sonda; převzato z [7]	13
obr. 5: schéma kontroléru lambda sondy; převzato z [7].....	13
obr. 6: vodní synchronizace; převzato z [3].....	20
obr. 7: manometrická synchronizace; převzato z [4].....	20
obr. 8: carbttune pro	21
obr. 9: základní blokové schéma přístroje	25
obr. 10: návrh měřicí obrazovky.....	27
obr. 11: návrh grafiky stopek.....	28
obr. 12: blokové schéma celého přístroje	34
obr. 13: schéma napájecího zdroje.....	35
obr. 14:výkres DPS napájecího zdroje.....	35
obr. 15: schéma bloku CJ125.....	37
obr. 16:schéma zapojení mikrokontroléru	41
obr. 17: výběr pracovního režimu.....	43
obr. 18: zapojení tlakového čidla.....	48
obr. 19: měřicí obrazovka	49
obr. 20: varovná obrazovka	51
obr. 21:stopky	52
obr. 22: krabička napájecího zdroje s pojistkami	55
obr. 23: DPS CJ125	56
obr. 24: DPS řídicího obvodu	57
obr. 25: složená řídicí jednotka bez kabelových průchodek	57
obr. 26: Displej s krabičkou.....	58
obr. 27: měřicí uspořádání pro měření zdroje.....	60
obr. 28: DPS řídicího obvodu	71
obr. 29: Schéma obvodu CJ125	72
obr. 30: DPS CJ125	72
obr. 31: použité karburátory Keihin po čištění	74
obr. 32: Pohled na karburátory v motocyklu bez vzduchového systému	75

obr. 33: Přístrojová deska motocyklu	75
obr. 34:DPS připravené na osazení.....	76
obr. 35: Složená řídicí část elektroniky	76
obr. 36: Složená krabička napájecího regulátoru.....	77

PŘÍLOHY

Výkresová dokumentace

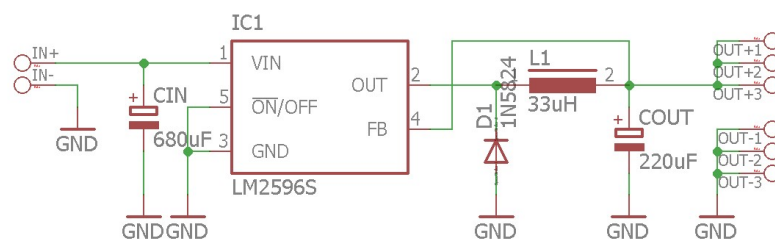
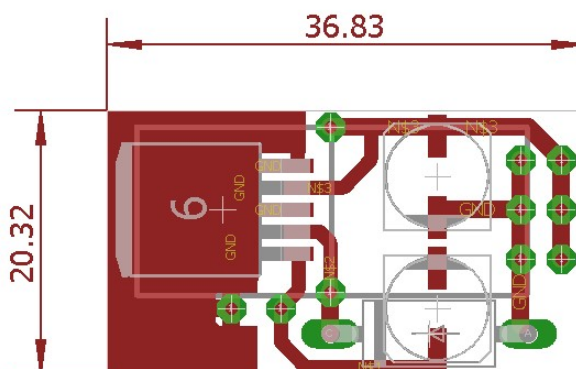


schéma 1: napájecí DC měnič



PCB 1: napájecí DC měnič

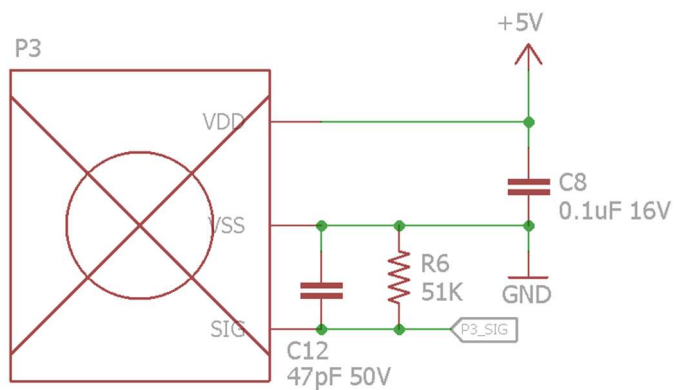


Schéma 2: zapojení senzoru tlaku

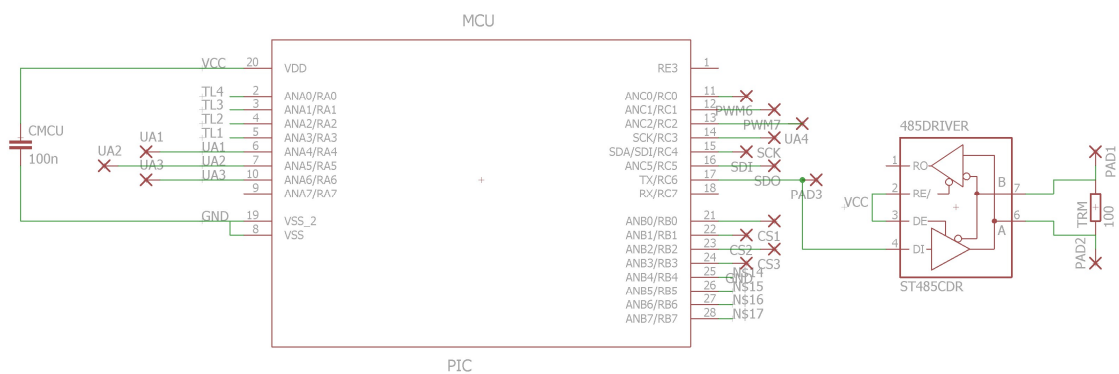
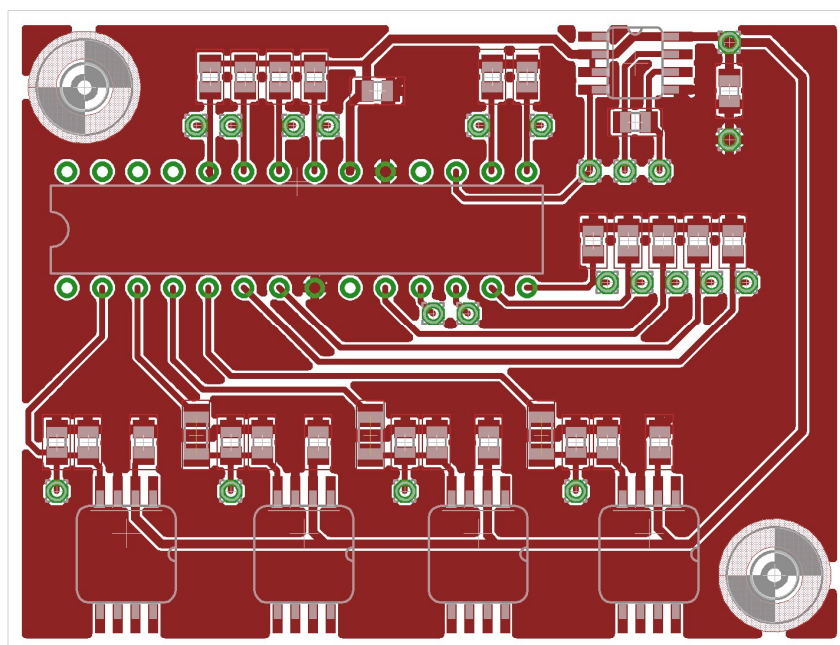


Schéma 3: PIC16F18857



obr. 28: DPS řídicího obvodu

Seznam součástek

Napájecí zdroj

Označení	Hodnota	Pouzdro	Popis
IC1	LM2596S-5.0	D2PAK-5	DC-DC měnič
C _{in}	680 uF	10 mm	Vstupní kapacitor
C _{out}	220 uF	10 mm	Výstupní kapacitor
D1	1N5824	DO201	Usměrňovací dioda
L1	33uH	12 x 10 mm	Tlumivka

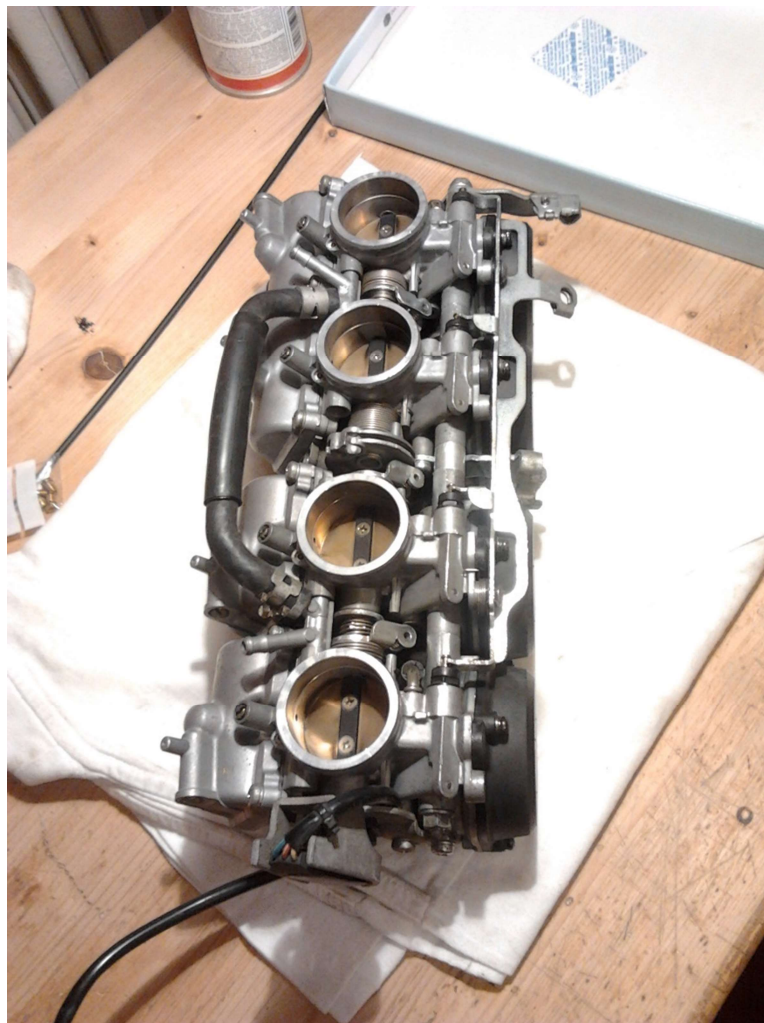
Obvod tlakového čidla

Označení	Hodnota	Pouzdro	Popis
P3	MPXH6250A	98ARH99089A	Senzor absolutního tlaku
C12	47 pF	0603	Kapacitor
C8	0.1 uF	0603	Kapacitor
R6	51 kΩ	0603	rezistor

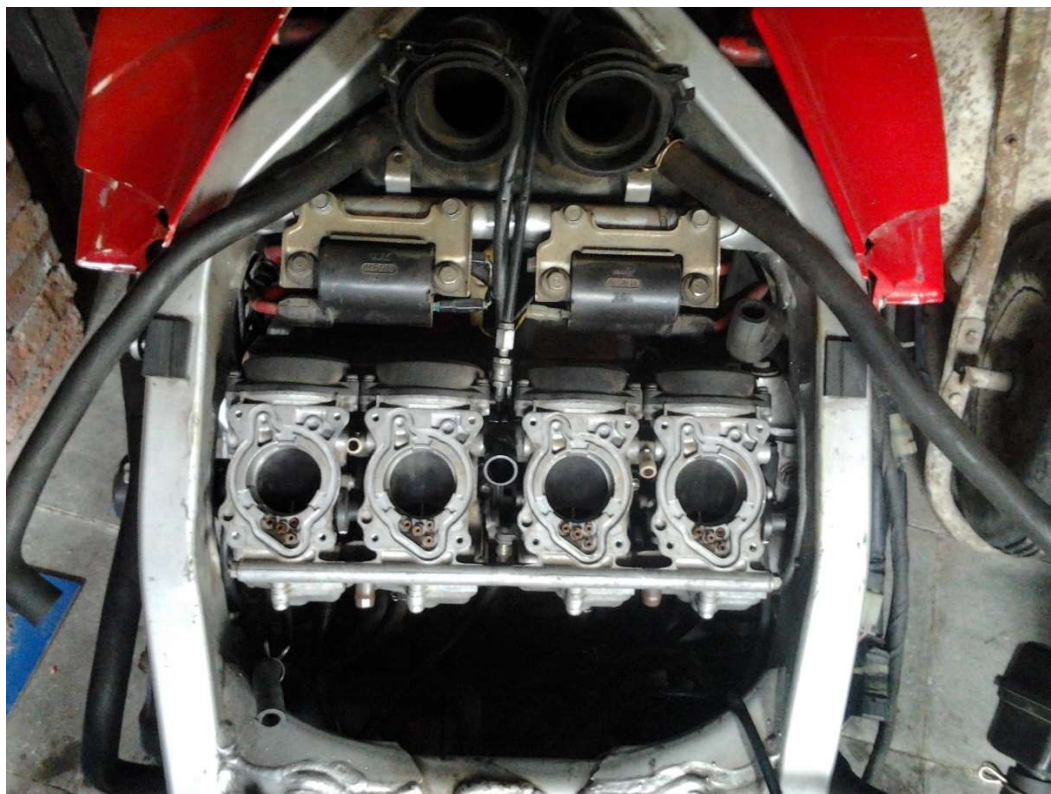
Obvod CJ125

Označení	Hodnota	Pouzdro	Popis
CJ125	CJ125	SOIC24	Kontrolér lambda sondy
CPUMP	2.2 nF	0805	Kapacitor
CM, CF	100 nF	0805	Kapacitor
CUN, CUA, CUR, CVUB, CVCC	33 nF	0805	Kapacitor
CRST	1 nF	0805	Kapacitor
RF, R _{UP}	100 kΩ	0805	Rezistor
R _{UN} , R _{US/UP}	4,7 kΩ	0805	Rezistor
R _{IA/UP}	470 kΩ	0805	Rezistor
R _{AP}	61,9 Ω	0805	Rezistor
RDHD	6.8 kΩ	0805	Rezistor
R _{RS/VM}	82.5 Ω	0805	Rezistor
RD, ROSZ, R _{RM}	10 kΩ	0805	Rezistor
Q1	AOD480	TO252	NMOS
RJMP1, RJMP2	0 Ω	1206	Rezistor

Obrazová dokumentace



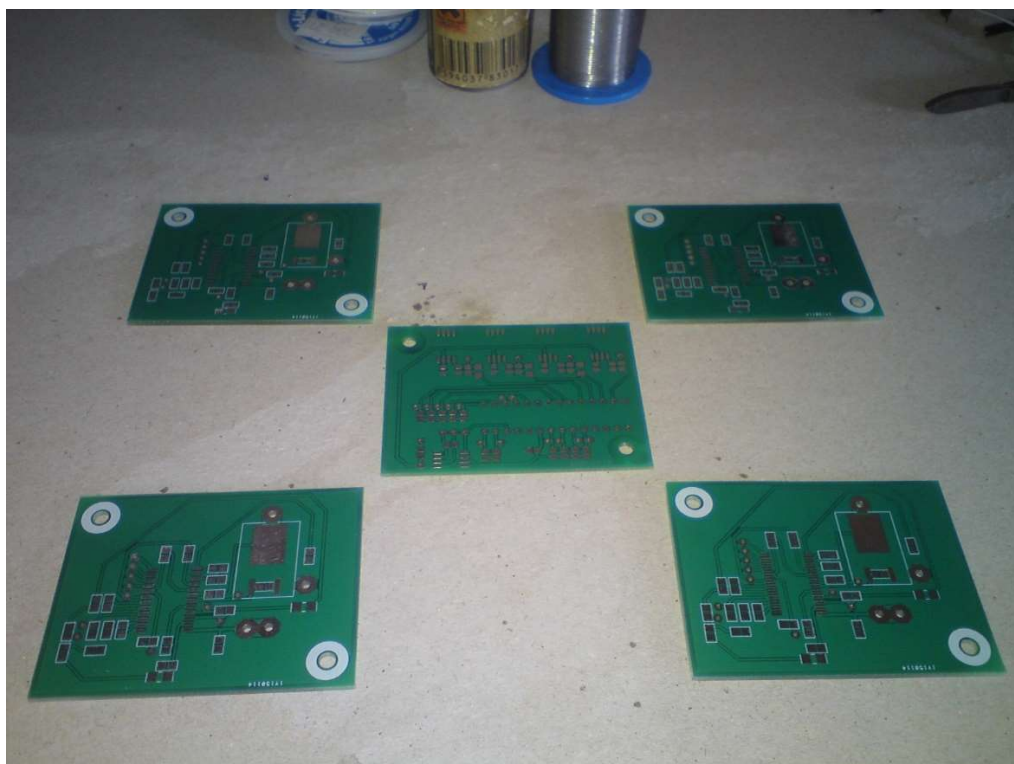
obr. 31: použité karburátory Keihin po čištění



obr. 32: Pohled na karburátory v motocyklu bez vzduchového systému



obr. 33: Přístrojová deska motocyklu



obr. 34:DPS připravené na osazení



obr. 35: Složená řídicí část elektroniky



obr. 36: Složená krabička napájecího regulátoru