

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA APLIKOVANÉ ELEKTRONIKY A TELEKOMUNIKACÍ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Tester vstřikovacích trysek

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Tomáš LINHART**
Osobní číslo: **E14N0105P**
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Dopravní elektroinženýrství a autoelektronika**
Název tématu: **Tester vstřikovacích trysek**
Zadávací katedra: **Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací**

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

Cílem diplomové práce je problematika řízení a testování vysokotlakého vstřikovacího systému Common-rail u dieselových motorů. Praktická část se bude zaměřovat na navržení a vytvoření funkčního systému pro testování vstřikovacích trysek.

1. Prostudujte princip činnosti vysokotlakého vstřikovacího systému Common-rail.
2. Navrhněte konstrukční řešení mechatronického systému pro testování vstřikovačů.
3. Navrhněte vhodnou metodu pro řízení vstřikovacích trysek, kterou by bylo možné ověřit jejich správnou funkci.
4. Proveďte testovací měření navrženého systému.
5. Diskutujte dosažené výsledky.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího

Rozsah kvalifikační práce: 40 - 60 stran

Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

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

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Václav Koucký, CSc.

Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací

Datum zadání diplomové práce:

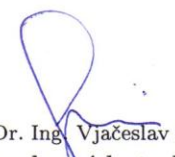
15. října 2015

Termín odevzdání diplomové práce:

16. května 2016


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




Doc. Dr. Ing. Vjačeslav Georgiev
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2015

Abstrakt

Předkládaná diplomová práce je zaměřena na problematiku řízení a testování vysokotlakých vstřikovacích systémů Common-Rail. V úvodu se práce zabývá popisem jednotlivých komponentů vstřikovacího systému. Čtenář je seznámen se strukturou a funkcí tohoto vysokotlakého palivového systému dieselových vozidel. V následující části práce je rozepsán postup návrhu vlastního obvodového a konstrukčního řešení mechatronického systému realizovaného mikrokontrolérem určeného pro testování vstřikovačů Common rail.

Klíčová slova

Common-Rail, DRV, regulátor tlaku, snímač tlaku, elektromagnetický vstřikovač, piezoelektrický vstřikovač, čerpadlo, zásobník tlaku, mikropočítač, LCD displej, maticová klávesnice.

Abstract

This thesis focuses on high-pressure fuel system Common-Rail injectors, their control and testing. The first part brings description of the system components, its structure and introduces the function of high-pressure fuel system within diesel powered vehicles. The rest of this work follows the procedure of designing circuits and structure to create own mechatronic system with built-in microcontroller designed for Common-Rail injector testing.

Key words

Common-Rail, DRV, regulator, pressure sensor, electromagnetic injector, piezoelectric injector, pump, common rail, microcontroller, LCD display, matrix keyboard.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně pod vedením Ing. Václava Kouckého, CSc. s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

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

.....
podpis

V Plzni dne 6.5.2016

Bc. Tomáš Linhart

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Václavu Kouckému, CSc. za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce.

Obsah

OBSAH	8
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	10
ÚVOD	12
1 CHARAKTERISTIKA SYSTÉMU COMMON RAIL	14
1.1 PRINCIP ČINNOSTI SYSTÉMU.....	15
1.2 SUBSYSTÉMY PRO ŘÍZENÍ VYSOKÉHO TLAKU PALIVA.....	18
1.2.1 <i>Dávkovací ventil paliva</i>	18
1.2.2 <i>Vysokotlaký regulátor paliva</i>	20
1.2.3 <i>Snímač vysokého tlaku paliva</i>	22
1.3 PALIVOVÁ ČERPADLA	23
1.3.1 <i>Vysokotlaké čerpadlo</i>	23
1.3.2 <i>Podávací elektrické čerpadlo</i>	23
1.4 VSTŘIKOVAČE COMMON-RAIL	24
1.4.1 <i>Elektromagneticky ovládaný vstřikovač</i>	26
1.4.2 <i>Piezelektricky ovládaný vstřikovač</i>	28
2 TESTY VSTŘIKOVAČŮ	30
2.1 PORUCHY SYSTÉMU.....	30
2.2 PŘEHLED TESTOVACÍCH ZAŘÍZENÍ.....	33
2.2.1 <i>Měření na vozidle</i>	33
2.2.2 <i>Tester vstřikovačů</i>	35
3 MĚŘENÍ NA MOTORU COMMON-RAIL	38
3.1 MĚŘENÍ PARAMETRŮ REGULÁTORU VYSOKÉHO TLAKU NAFTY	38
3.2 MĚŘENÍ PARAMETRŮ SNÍMAČE VYSOKÉHO TLAKU NAFTY	39
3.3 MĚŘENÍ PARAMETRŮ ELEKTROMAGNETICKY OVLÁDANÝCH VSTŘIKOVAČŮ	40
4 STRUKTURA NAVRHOVANÉHO ZAŘÍZENÍ	41
4.1 BLOKOVÉ SCHÉMA STRUKTURY SYSTÉMU	42
4.2 AKTIVACE ELEKTROMAGNETICKÉHO VENTILU	43
5 OBVODOVÉ ŘEŠENÍ	47
5.1 POŽADOVANÉ PARAMETRY	47
5.2 BLOKOVÉ SCHÉMA	47
5.3 POPIS JEDNOTLIVÝCH ČÁSTÍ ZAPOJENÍ	47
5.3.1 <i>Napájení</i>	47
5.3.2 <i>Jednočipový mikročítač</i>	49
5.3.3 <i>Spínání dolní skupiny tranzistorů</i>	49
5.3.4 <i>Spínání horní skupiny tranzistorů</i>	51
5.3.5 <i>Připojení vstřikovačů</i>	52
5.3.6 <i>Uživatelské rozhraní</i>	52
5.3.7 <i>Připojení HW piezelektricky ovládaných vstřikovačů</i>	54
6 DESKA PLOŠNÉHO SPOJE	55
6.1 DPS ŘÍDICÍ A VÝKONOVÉ ČÁSTI.....	55
6.2 DPS KONEKTORŮ PRO PANEL PŘÍSTROJE	57
7 MECHANICKÁ KONSTRUKCE	57

8	FIRMWARE	60
8.1	VÝVOJOVÝ DIAGRAM	60
8.2	POPIS ŘÍZENÍ	61
8.2.1	<i>Odvzdušnění palivového okruhu.....</i>	<i>61</i>
8.2.2	<i>Měření tlaku paliva.....</i>	<i>62</i>
8.2.3	<i>Řízení regulátoru tlaku paliva.....</i>	<i>63</i>
8.2.4	<i>Řízení vstřikovače</i>	<i>65</i>
8.3	POPIS OVLÁDÁNÍ	67
9	ZKUŠEBNÍ TESTY	69
9.1	TEST MNOŽSTVÍ PALIVA	71
9.2	TEST TĚSNOSTI VENTILU	72
9.3	TEST TVARU PAPERU	73
	ZÁVĚR.....	75
	SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	77
	PŘÍLOHY	1
	PŘÍLOHA A – KOMPLETNÍ SCHÉMA ZAPOJENÍ.....	1
	PŘÍLOHA B – DPS VÝKONOVÉ A ŘÍDICÍ ČÁSTI (PŘEDLOHA A OSAZOVACÍ VÝKRES)-TOP	2
	PŘÍLOHA C – DPS VÝKONOVÉ A ŘÍDICÍ ČÁSTI (PŘEDLOHA A OSAZOVACÍ VÝKRES)-BOTTOM	3
	PŘÍLOHA D – SCHÉMA ZAPOJENÍ KONEKTORŮ	4
	PŘÍLOHA E – DPS KONEKTORŮ	5
	PŘÍLOHA F – SEZNAM POUŽITÝCH SOUČÁSTEK	6
	PŘÍLOHA G – VÝKRES ČELNÍHO PANELU ZAŘÍZENÍ.....	8
	PŘÍLOHA H – VÝKRES MECHANICKÉ KONSTRUKCE	9
	PŘÍLOHA I – FOTODOKUMENTACE VÝSLEDNÉHO ZAŘÍZENÍ.....	10
	PŘÍLOHA J - FIRMWARE.....	14

Seznam symbolů a zkratk

Symboly

D [%]	.....	Střída
I [A]	.....	Elektrický proud
I_D [A]	.....	Proud Drainem tranzistoru MOSFET
N [-]	.....	Počet bitů A/D převodníku
p [bar]	.....	Tlak
p [MPa]	.....	Tlak
P [W]	.....	Elektrický výkon
R [Ω]	.....	Elektrický odpor
$R_{DS(ON)}$ [Ω]	.....	Odpor v sepnutém stavu tranzistoru MOSFET
t_{ON} [ms]	.....	Čas sepnutí
T [ms]	.....	Perioda signálu
U [V]	.....	Elektrické napětí
U_{IN} [V]	.....	Vstupní hodnota elektrického napětí A/D převodníku
U_{REF} [V]	.....	Referenční hodnota elektrického napětí A/D převodníku
U_{DS} [V]	.....	Napětí mezi Drain a Source tranzistoru MOSFET

Zkratky

A/D	.....	Analog/Digital
ADC	.....	Analog to Digital Converter
CAN	.....	Controller Area Network
CR	.....	Common Rail
D/A	.....	Digital/Analog
ECU	.....	Engine Control Unit
EDC	.....	Electronic Diesel Control
DPH	.....	Daň z přiznané hodnoty
DPS	.....	Deska plošných spojů
DRV	.....	Druckregelventil
HDI	.....	High-pressure Direct injection

<i>D2PACK</i>	.....	Typ pouzdra pro SMT montáž
<i>HW</i>	.....	Hardware
<i>I/O</i>	.....	Input/Output
<i>Kč</i>	.....	Koruna česká
<i>LCD</i>	.....	Liquid Crystal Display
<i>MCU</i>	.....	Microcontroller Unit
<i>MOSFET</i>	.....	Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor
<i>OBD</i>	.....	On-Board Diagnose
<i>OCR</i>	.....	Output Compare Register
<i>PCB</i>	.....	Printed Circuit Board
<i>PSA</i>	.....	Peugeot Société Anonyme
<i>PWM</i>	.....	Pulse-Width Modulation
<i>SMD</i>	.....	Surface Mounted Device
<i>SMT</i>	.....	Surface Mounted Technology
<i>SPI</i>	.....	Seriál Peripheral Interface
<i>THT</i>	.....	Through-Hole Technology
<i>TQFP44</i>	.....	Typ pouzdra pro SMT montáž
<i>V/V</i>	.....	Vstup/Výstup
<i>ZD</i>	.....	Zener Diode

Úvod

Tato diplomová práce se zabývá z pohledu dnešní doby nejrozšířenějším systémem přímého vstřikování paliva Common-Rail, který je využíván v celé řadě vznětových motorů. Zástavba těchto motorů je typická u osobních a nákladních automobilů, ale též motory s tímto systémem vstřikování paliva pohání lodě, zemědělské stroje a různé typy stavebních a těžkých těžebních strojů.

Dané téma vzniklo na základě autorova zájmu o automobilové systémy, se kterými je spojena dlouhodobá praxe v rámci servisu a diagnostiky osobních automobilů. Taktéž motivací pro zpracování dané problematiky bylo vytvoření systému, kterým by bylo možné ověřit funkčnost vysokotlakých vstřikovačů Common-Rail, u kterých jsou často poruchy vzniklé v důsledku nečistot a špatné kvality pohonných paliv. Toto téma je z autorova pohledu velice zajímavé a taktéž považované za přínosnou dílenskou pomůcku pro hledání závad v okruhu palivového systému. Tato práce by taktéž mohla být užitečná ve výuce jako učební pomůcka pro demonstraci funkce elektronicky řízených palivových systémů.

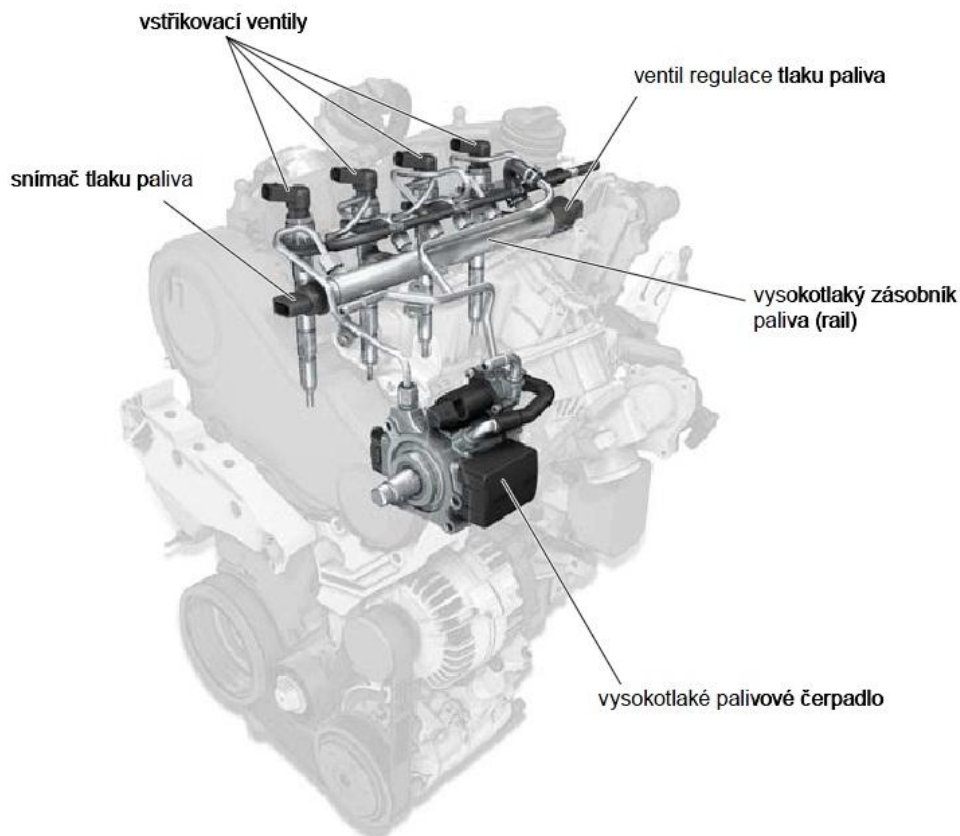
Cílem této práce, která se zabývá návrhem a konstrukcí mikrokontrolérem řízeného testeru pro vysokotlaké vstřikovače, je vytvoření funkčního zařízení, kde je kladen důraz na jednoduchost a přívětivost uživatelského rozhraní. Pro komunikaci s obsluhou je použit LCD displej a klávesnice. Součástí práce je i popis funkce Common rail systému a s ním spojen rozbor jednotlivých komponentů, které tvoří tento celek a jsou taktéž využity u navrhovaného testovacího zařízení. Malou zmínkou je též velmi stručný přehled zkušebních zařízení na trhu.

Na začátku projektu bylo důležité obecné seznámení se s palivovými systémy a bližší studium vysokotlakých čerpadel, snímačů provozních veličin, regulátorů a především vysokotlakých vstřikovačů, které tvoří jádro systému. Pro realizaci funkčního zařízení bylo potřebné definovat požadavky na výběr komponentů vysokotlakého okruhu paliva. Dále definovat požadavky na výběr elektronických součástí a v neposlední řadě provést požadavky z hlediska mechanické konstrukce, která je nutnou součástí pro funkci systému. Velmi důležitým krokem bylo provést řadu měření na třech vybraných vozidlech vybavených

systémem Common rail, kde se u měření protínaly klasické metody měření s využitím osciloskopu a taktéž se využívalo měření parametrů pomocí OBD diagnostiky.

Návrh a realizace testovacího zařízení lze rozdělit na několik částí. Prvním krokem je řešení mechanické konstrukce, která spojuje celek systému a vytváří schránku pro umístění elektronických komponentů, kterými jsou deska plošného spoje, zdroje a komponenty pro komunikaci s obsluhou. Následuje část palivového okruhu, kde je nutné zabývat se propojením jednotlivých komponentů systému Common rail. Část obvodového řešení se zabývá výběrem elektronických součástek, senzorů a akčních členů, tvorbou obvodového zapojení a návrhem desky plošného spoje. Poslední částí je tvorba firmwaru pro řízení jednotlivých komponentů, kde mezi hlavní se řadí DRV regulátor vysokého tlaku paliva, snímač vysokého tlaku nafty a vysokotlaké vstřikovače, které chceme testovat. Spojením jednotlivých subsystémů vzniká mechatronický systém pro testování vstřikovacích trysek Common-Rail tester.

1 Charakteristika systému Common rail



Obr. 1.1 Zástavba komponentů Common-Rail systému do motoru [1]

Systém vysokotlakého vstříkovaní, který nese název Common-Rail, je velkou modernizací v oblasti vstříkovaní paliva. Nahrazuje klasické mechanické systémy vstříkovaní, u kterých se mechanický vstříkovač otevírá s dosažením pevně nastaveného tlaku. Ten je stanoven tuhostí elementu vstříkovače a vhodnou polohou natočení elementů čerpadla, které se odvíjí od otáček motoru. Tlak dosahuje 130 barů. Na druhou stranu systém Common rail pracuje s tlakovým zásobníkem, kde je tlak nezávislý na otáčkách motoru a vstříkovaném množství. Dosáhnout je možné až devatenáctkrát vyššího tlaku než u klasických vstříkovačů. Vstříkované množství, okamžik a doba otevření vstříkovače je dána elektronickou řídicí jednotkou ECU. Řídicí jednotka na základě složitých výpočtů a uložených hodnot z celé řady subsystémů určí, kdy dojde ke vstříknutí paliva do válců motoru.

Zástavba systému do vozidel přináší řadu výhod. Palivo je do válců vstříkováno pod vysokým tlakem až 250 MPa a díky tomu dochází k jemnému rozptýlení paliva. Dávku paliva lze díky

velmi rychlému a přesnému elektronickému otevírání vstřikovačů rozdělit až na tři dávky, které jsou do motoru dodávány za sebou řádově v jednotkách milisekund. Dávkování je tedy rozděleno na pilotní vstřik sloužící k předehřátí spalovacího prostoru, hlavní vstřik a při použití filtru pevných částic je aplikován dovstřik, kterým je zvýšena teplota výfukových plynů a dochází tak k regeneraci filtru pevných částic. Mezi další výhody se řadí tišší a měkčí chod motoru, snížení emisí a snížení spotřeby paliva.

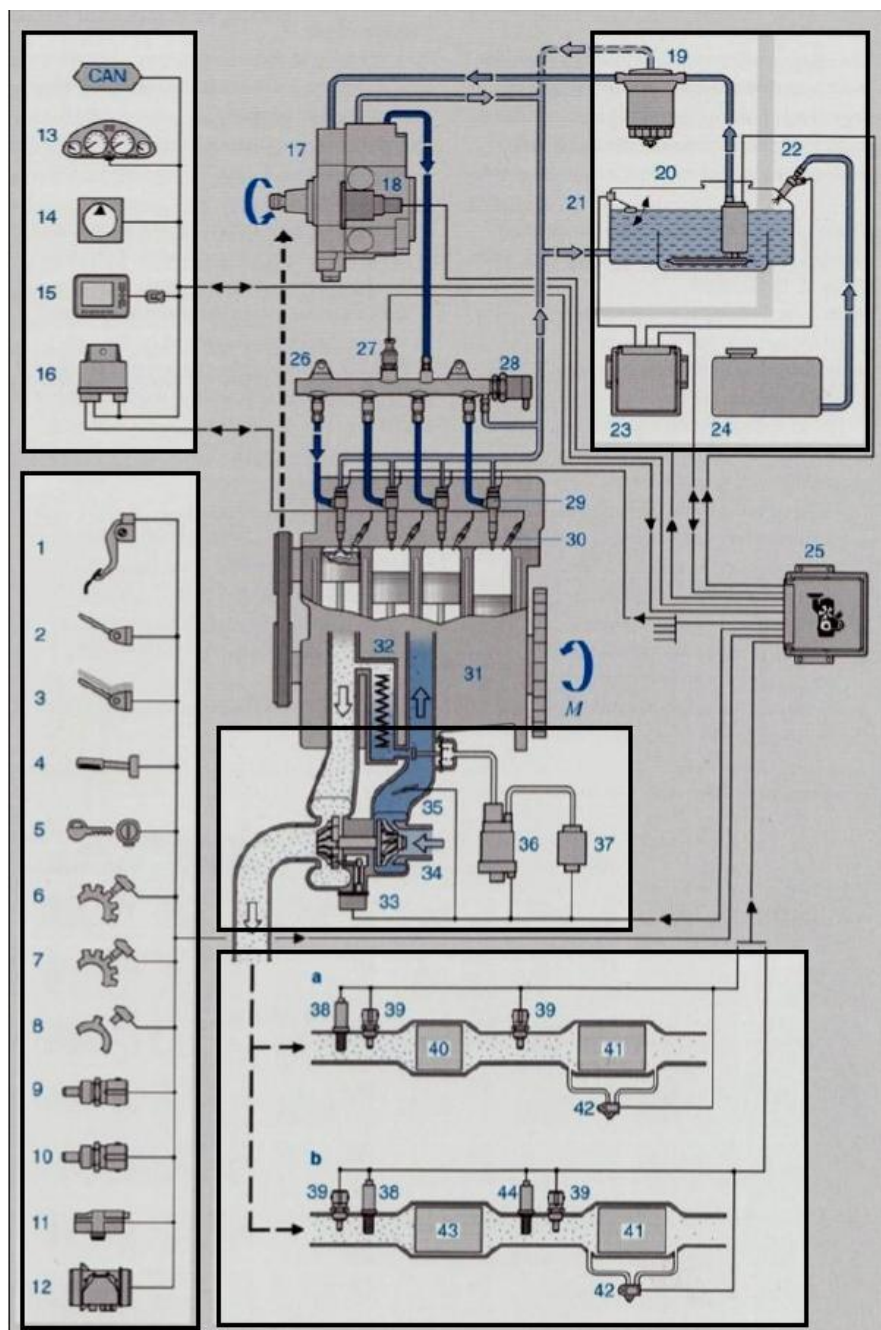
Systém je uveden do sériové výroby od roku 1997, ovšem první prototyp vznikl koncem 60. let. Následný vývoj pokračoval v letech 1976-1992 a koncem roku 1993 byly zakoupeny patenty firmou Robert Bosch, která je jedním z předních dodavatelů tohoto systému dodnes [2]. Celý systém prošel řadou modernizací. Hlavním zlepšováním je neustálé zvyšování tlaku. První generace systému pracuje s tlakem v rozmezí 135 až 160 MPa. U čtvrté generace dosahuje tlak přes 200 MPa. Mezi další vylepšení se řadí zlepšování regulace, umístění regulačních ventilů a v posledních letech aplikace piezoelektrických vstřikovačů, které dosahují v porovnání s elektromagnetickými kratších vstřikovacích časů. Rozvoj probíhá neustále až do současnosti. [3]

Hlavním požadavkem pro správnou funkci a delší životnost je vysoká kvalita paliva. Předpokladem pro bezporuchový provoz je použití speciálně přizpůsobených palivových filtrů a jejich pravidelná výměna dle předepsaných intervalů. Nutností je vyhnout se nekvalitní naftě, která při obsazení drobných částic nečistot způsobí opotřebení součástí vstřikovací soustavy a vzniklé potíže mohou vést až k zničení jednotlivých komponentů. Projevy závad jsou různého charakteru. Mezi hlavní projevy patří nízký výkon, problémy při startu, problémy při volnoběhu, příliš vysoké množství paliva ve zpětném okruhu, zvýšení kouřivosti, atd. Tyto závady časem vedou až k úplnému vypínání motoru. Vstřikovače je potřeba demontovat a provést zkoušku funkčnosti.

1.1 Princip činnosti systému

Pro správnou funkci motoru a dosažení optimálního spalování je řídicí jednotkou vypočteno přesné množství paliva a určení počátku vstřiku. Při výpočtu je nutné dbát na různé provozní veličiny, se kterými jsou spojeny provozní režimy, kterými jsou start, jízda, regulace volnoběhu, regulace omezení otáček, ad. Z toho vyplývá, že vstřikování paliva Common rail je velmi rozsáhlým a složitým systémem tvořeným velkým počtem snímačů a akčních členů.

Systém klade nároky též na výpočetní výkon, velmi pečlivou a přesnou regulaci a na precizní elektronické řízení vstřikování.



Obr. 1.2 Snímače a akční členy Common-Rail systému [3]

- **Snímače**

Mezi senzory provozních veličin patří různé snímače teplot. Jedná se o snímání teploty chladicí kapaliny, nafty, nasávaného vzduchu, oleje. Důležitým snímačem je senzor otáček a polohy klikového a vačkového hřídele, kdy při jejich výpadku není možné spustit motor. Dalšími snímači jsou snímač polohy pedálu akcelerace, snímač hmotnosti nasávaného

vzduchu, snímač plnicího tlaku turbodmychadla, snímač tempomatu, snímač tlaku paliva, snímač diferenciálního tlaku filtru pevných částic, atd.

- **Akční členy**

Jádrem jsou samotné vstřikovače elektromagnetické či piezoelektrické. Mezi další akční členy patří žhavicí svíčky, ventil omezování plnicího tlaku, ventil zpětného vedení plnicího tlaku, ventil zpětného vedení výfukových plynů, ventil škrticí klapky a elektrické palivové čerpadlo.

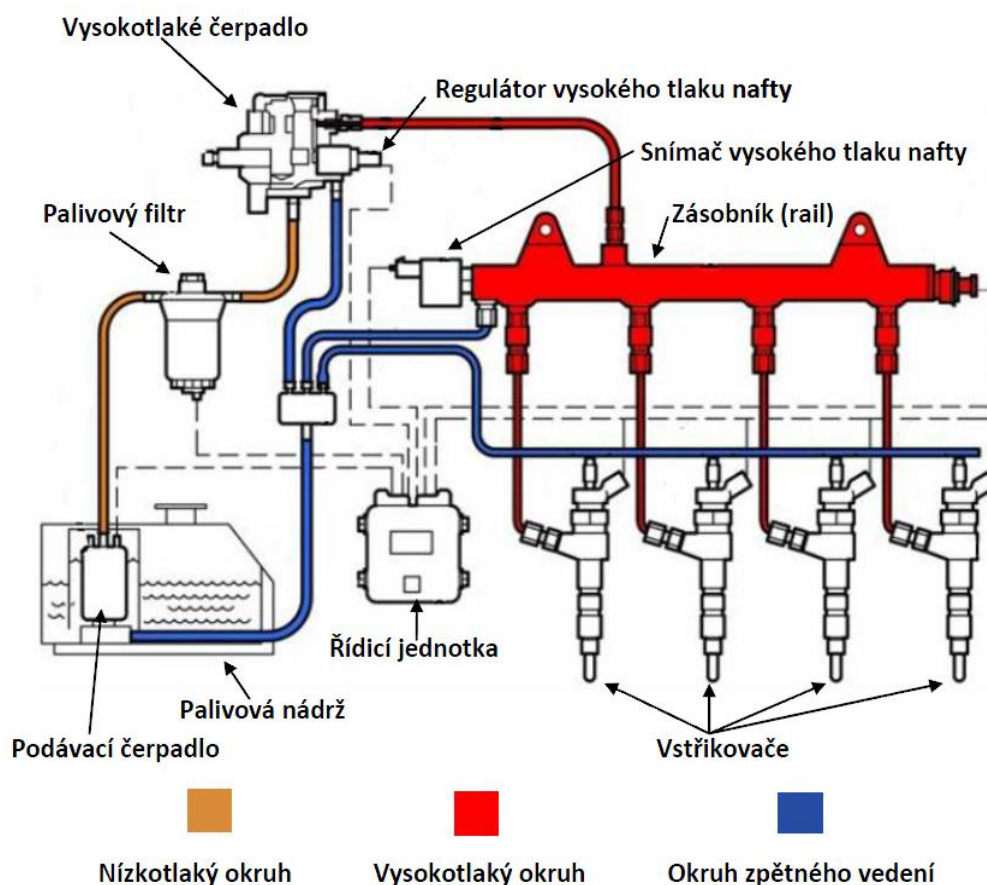
- **Řízení a regulace**

Důležitým regulačním procesem je regulace množství paliva, regulace žhavení a dožhavení, regulace recirkulace výfukových plynů a regulace plnicího tlaku.

Z obrázku (*Obr. 1.2*) je zřejmá rozsáhlost systému Common rail a náročnost řízení systému. Z důvodu zjednodušení a použití totožných komponentů při konstrukci testovacího zařízení, je dále věnována pozornost pouze komponentům, které tvoří jádro tohoto systému. Podrobnější popis je věnován regulátoru vysokého tlaku nafty, snímači vysokého tlaku nafty a vstřikovačům. Právě tyto komponenty jsou použity na zařízení pro testování vstřikovačů. Jedná se o komponenty demontované z motoru Common-Rail 2,0 HDI, který je pohonnou jednotkou některých typů vozidel PSA.

Princip těchto subsystémů je znázorněn na obrázku (*Obr. 1.3*), který zobrazuje propojení palivového okruhu, do kterého jsou zabudovány jednotlivé komponenty. V okruhu nízkého tlaku je z palivové nádrže přes palivový filtr dodáváno palivo o tlaku 1,5 barů pomocí podávacího elektrického čerpadla k vysokotlakému čerpadlu. Vysokotlaké čerpadlo dodává bez ohledu na otáčky maximální možný tlak, který je regulován DRV regulátorem vysokého tlaku. Dle požadavku od řídicí jednotky otevírá zpětný palivový chod, a tudíž se na vstřikovače dostává požadované množství paliva, jehož tlak je měřen snímačem vysokého tlaku, který je umístěn na společném zásobníku.

Tímto principem, který je jádrem řízení bez ohledu na zbylé senzory a akční členy u dieselových motorů, je řízeno navrhované zařízení pro testování vstřikovacích trysek. Blok řízení je vlastním návrhem autora s ohledem na skutečné funkce reálného systému.



Obr. 1.3 Princip funkce vstřikování [16]

1.2 Subsystémy pro řízení vysokého tlaku paliva

Řízení a regulace tlaku jsou jádrem vstřikovacího systému Common rail. Regulátor vysokého tlaku slouží k zvyšování či snižování tlaku paliva. Snímač vysokého tlaku zajišťuje aktuální hodnoty tlaku v zásobníku a dávkovací ventil zajišťuje omezení dodávky paliva do okruhu vysokého tlaku.

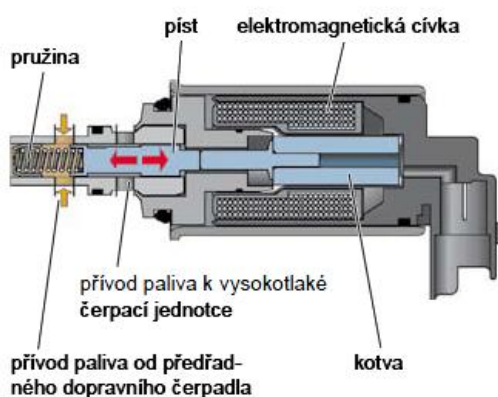
1.2.1 Dávkovací ventil paliva

Vysokotlaké čerpadlo, které je dimenzované na maximální dodávku paliva, způsobuje ztráty z důvodu vzniku přebytku paliva, které je pro danou spotřebu nevyužité a proudí zpět do palivové nádrže. Z tohoto důvodu je aplikován dávkovací ventil, který při volnoběhu nebo částečném zatížení odpojí jeden ze tří elementů vysokotlakého čerpadla. Vysokotlaká jednotka tak stlačuje pouze potřebné množství pro daný provozní režim. Elektromagnetický ventil je ovládán pomocí signálu PWM od řídicí jednotky.



Obr. 1.4 Umístění dávkovacího ventilu na vysokotlakém čerpadle použitým na navrhovaném zařízení [4]

Způsob řízení se liší dle konstrukce čerpadla a konstrukce použitého ventilu. Tím je možné zaměnit aktivovaný a neaktivovaný stav. Použité čerpadlo má ventil v aktivním stavu při režimu nízkého odběru paliva, kdy není potřeba využívat plný výkon čerpací jednotky. Cívkou je ovládán ventil, který uzavírá přívod paliva k jednomu ze tří elementů čerpadla a tím dochází k jeho odpojení. V neaktivním stavu není ventil napájen a tím otevírá průchod paliva a čerpadlo stlačuje palivo na plný výkon pomocí kompletní sestavy tří pístů. U systémů odlišné konstrukce lze tyto stavy zaměnit a v aktivním stavu je výkon maximální a naopak ve stavu, kdy není jednotka napájena, dochází k uzavření vedení a tím k snížení dodávané dávky paliva.



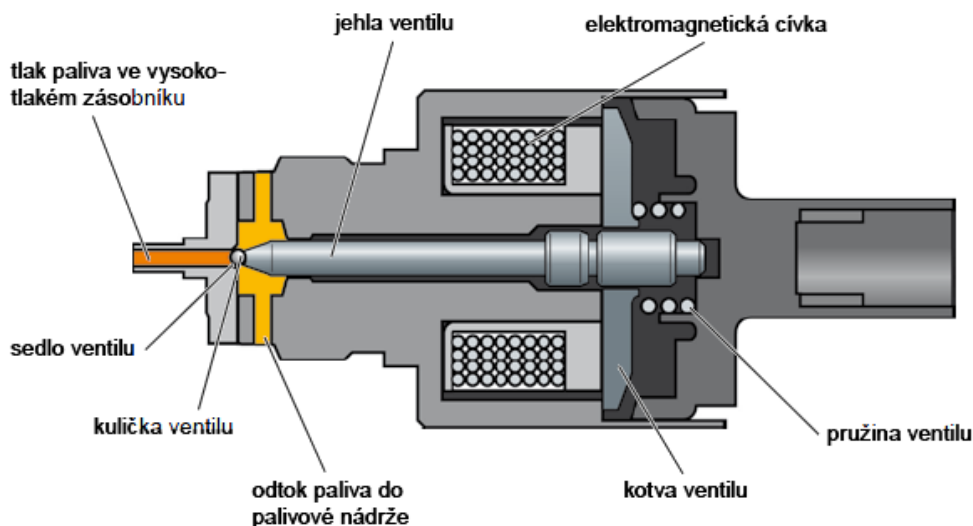
Obr. 1.5 Struktura ventilu dávkování paliva [1]

1.2.2 Vysokotlaký regulátor paliva



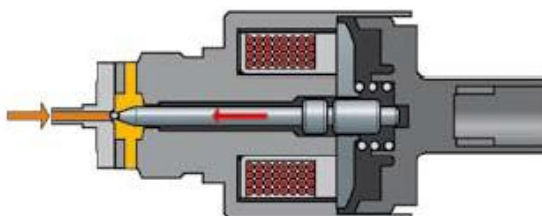
Obr. 1.6 DRV regulátor vysokého tlaku paliva [4]

Úkolem regulačního ventilu je udržovat tlak v zásobníku na požadované hodnotě. Ventil je ovládán PWM signálem s periodou 1 ms, kde se změnou středy se mění tlak v zásobníku. Bez přívodu napájení otevírá ventil zpětný odvod paliva a tím dochází k snižování tlaku. Naopak se zvětšující se střidou ventil uzavírá tento okruh a tlak ve vysokotlaké části roste. Konstrukčně se jedná o cívku s odporem 3,6 Ω , kde kotva je spojena s jehlou ventilu, která tlačí do sedla kuličku a tím dochází k regulaci paliva. Z důvodu velmi jemného systému s průměrem otvoru 0,7 mm je před ventil aplikován kovový filtr s otvory o průměru 60 μm , který má schopnost zabránění průniku nečistot do okruhu regulačního ventilu a tím zabrání poškození jeho funkce. Průtok regulačního ventilu dosahuje až 205 l/h a maximální proudový odběr je 2 A. Umístěn může být na vysokotlakém čerpadle či rovnou na společném zásobníku paliva.

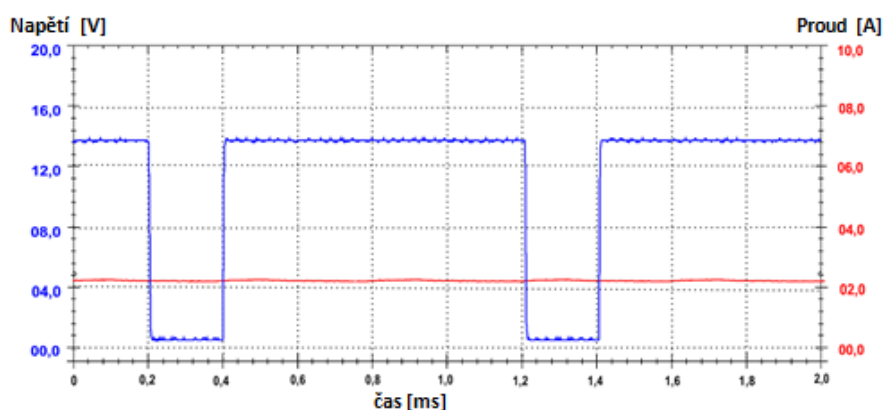


Obr. 1.7 Vnitřní struktura regulátoru tlaku paliva [1]

Při napájení ventilu dochází k jeho aktivaci a tím ke zvýšení tlaku paliva. Kotva ventilu je přitažena k cívce a jehla stlačuje kuličku do sedla. Tím dochází k uzavření zpětného vedení paliva k palivové nádrži. Množství paliva odtékajícího do nádrže je regulováno změnou střídy PWM signálu.



Obr. 1.8 Aktivovaný stav [1]



Obr. 1.9 Průběh napětí a proudu při aktivovaném regulátoru tlaku [11]

V neaktivním stavu klesá tlak paliva ve vysokotlakém palivovém okruhu. Jehla ventilu je tlakem vytvářeným od vysokotlakého čerpadla odtačována a palivo proudí zpětným potrubím do palivové nádrže.



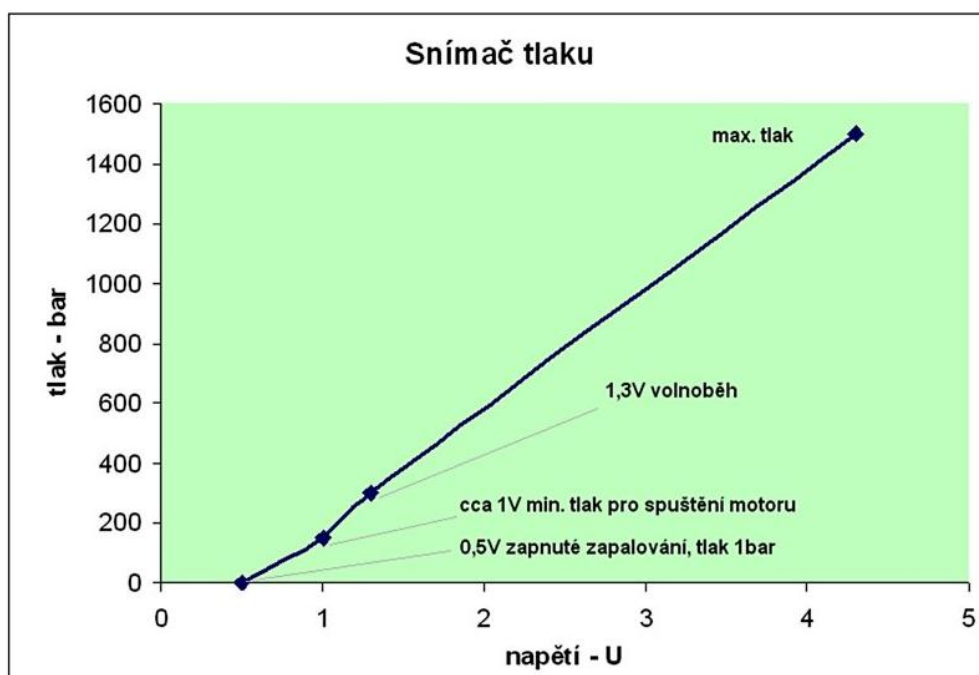
Obr. 1.10 Neaktivovaný stav [1]

1.2.3 Snímač vysokého tlaku paliva



Obr. 1.11 Snímač vysokého tlaku paliva [4]

Měření tlaku v zásobníku paliva je realizováno pomocí snímače tlaku s lineárním výstupem napájeným napětím 5 V. Senzor je tvořen membránou, na které jsou v můstkovém zapojení upevněny tenzometry. Při působení tlaku dochází k deformaci membrány, a tudíž se mění odpor. Napětí na můstku je v rozsahu 0 až 80 mV, které je zesíleno na výslednou hodnotu 0 až 5 V. Tato hodnota je snímána řídicí jednotkou, která vypočte na základě změny napětí hodnotu tlaku. Naměřená hodnota tlaku je porovnána s údajem uloženým v řídicí jednotce a dle požadavku od řidiče, sešlápnutím plynového pedálu, se provádí korekce tlaku řízením elektromagnetického regulátoru tlaku. Hodnota maximálního tlaku je odvíjena od generace Common-Rail vstřikovacího systému.



Obr. 1.12 Změna napětí způsobena změnou tlaku paliva [5]

1.3 Palivová čerpadla

1.3.1 Vysokotlaké čerpadlo

Skládá se ze třech pístů, které jsou vzájemně natočené o 120°. Každý element obsahuje sací a výtlačný ventil. Pohyb pístu je realizován pomocí hřídele, která je poháněna od motoru vozidla přes ozubené kolo klínovým řemenem, nebo je umístěné přímo na vačkové hřídeli. Čerpadlo je dimenzováno na největší možné zatížení. Po překročení otáček motoru 800 ot/min dodává maximální tlak paliva, na který je konstruované. Součástí čerpadla je dávkovací ventil, který slouží k odpojení jednoho výtlačného pístku. Čerpadlo pracuje s odpojením tohoto ventilu do dvou třetin maximálního výkonu. Hlavní funkcí vysokotlakého čerpadla je za všech podmínek a ve všech provozních režimech dodávat potřebné množství paliva do zásobníku, a tím v něm uchovávat systémový tlak. O mazání čerpadla se stará samotné palivo. Součástí některých čerpadel je též předřadné dopravní čerpadlo, které má za úkol dodávat tlak paliva, které je přiváděno z palivové nádrže do vysokotlakého čerpadla. Pokud není vysokotlaké čerpadlo vybaveno tímto zubovým mechanickým čerpadlem, je potřeba aplikovat přímo do palivové nádrže podávací elektrické čerpadlo.



Obr. 1.13 Vysokotlaké čerpadlo se zabudovaným podávacím čerpadlem [4]

1.3.2 Podávací elektrické čerpadlo

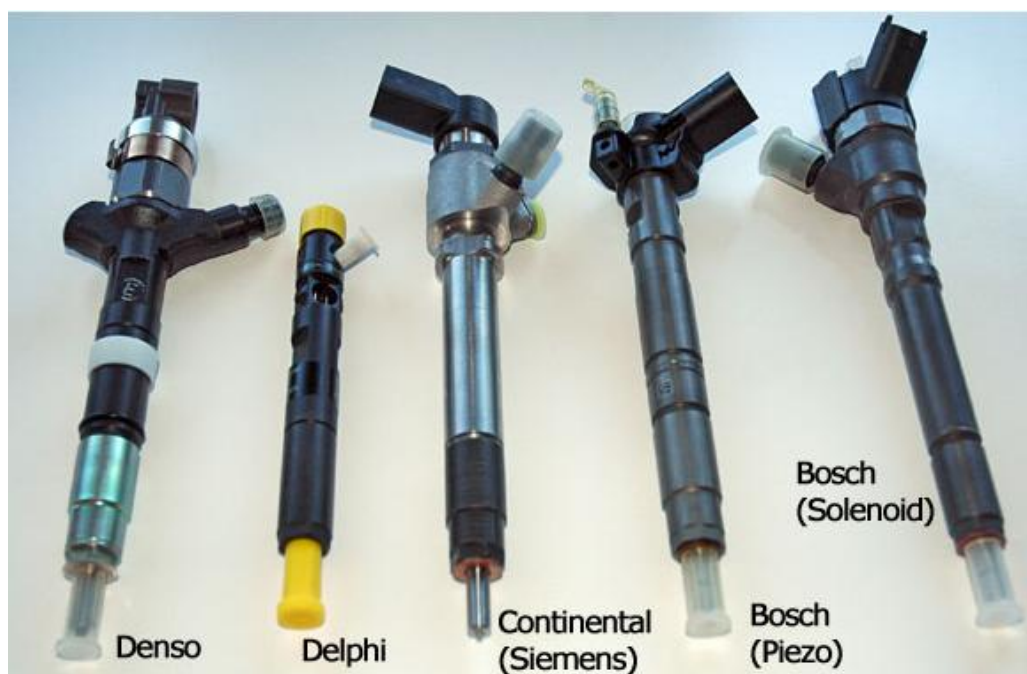
Přes jemný čistič vytlačuje palivo z nádrže pod tlakem 1,5 barů. Úkolem je po otočení klíčku vytvořit potřebný tlak v nízkotlakém okruhu a tento tlak udržet do doby nastartování vozidla. Při jízdě je nutností neustále dopravovat palivo k vysokotlakému čerpadlu.



Obr. 1.14 Podávací čerpadlo použité na navrhovaném zařízení [6]

Na výše uvedeném obrázku (Obr. 1.14) je zobrazeno podávací pomocné čerpadlo, které je použité na testovacím zařízení. Jedná se o elektrické čerpadlo napájené napětím 12 V s maximálním odběrem 1,8 A a výkonem 70 l/h, které pracuje s tlakem 0,1 MPa.

1.4 Vstřikovače Common-Rail



Obr. 1.15 Ukázka rozdílných typů vstřikovačů Common rail [8]

U systému Common rail (společná lišta) jsou jednotlivé vstřikovače pomocí krátkých, bezešvých, ocelových trubek propojeny se společným vysokotlakým zásobníkem paliva (rail),

který je zásobován palivem od vysokotlakého čerpadla. Vstřikovače jsou zabudovány přímo v hlavě válců pomocí speciálních upínačů a utěsněny pomocí měděných těsnících podložek. [3]

Vstřikovače jsou ovládány elektromagneticky, nebo piezoelektricky. Vstřikovací proces je zahájen impulzem od řídicí jednotky motoru. Množství vstřikovaného paliva určuje délka doby otevření vstřikovače a tlak v zásobníku paliva. Systém dokáže velmi rychle reagovat na různé provozní stavy motoru díky velmi rychlým spínacím časům v řádu desetin milisekund.

Jednou z hlavních výhod je nezávislost vstřikovacího tlaku na otáčkách motoru a množství vstřikovaného paliva. Vstřikovací tlak lze libovolně regulovat dle provozních režimů motoru. Tvorba kvalitní směsi je dosažena vysokým vstřikovacím tlakem. Výhodou je též flexibilita průběhu vstřikování, kde díky rychlosti spínání je možné hlavní vstřik doplnit předvstřikem a sekundárními vstřiky. Tyto technologické pokroky příznivě snižují spotřebu paliva, zvyšují výkon, snižují škodlivé emise ve výfukových plynech a motor má kultivovaný chod.



Obr. 1.16 Řez elektromagnetickým vstřikovačem (vlevo)
a piezoelektrickým vstřikovačem (vpravo) [10]

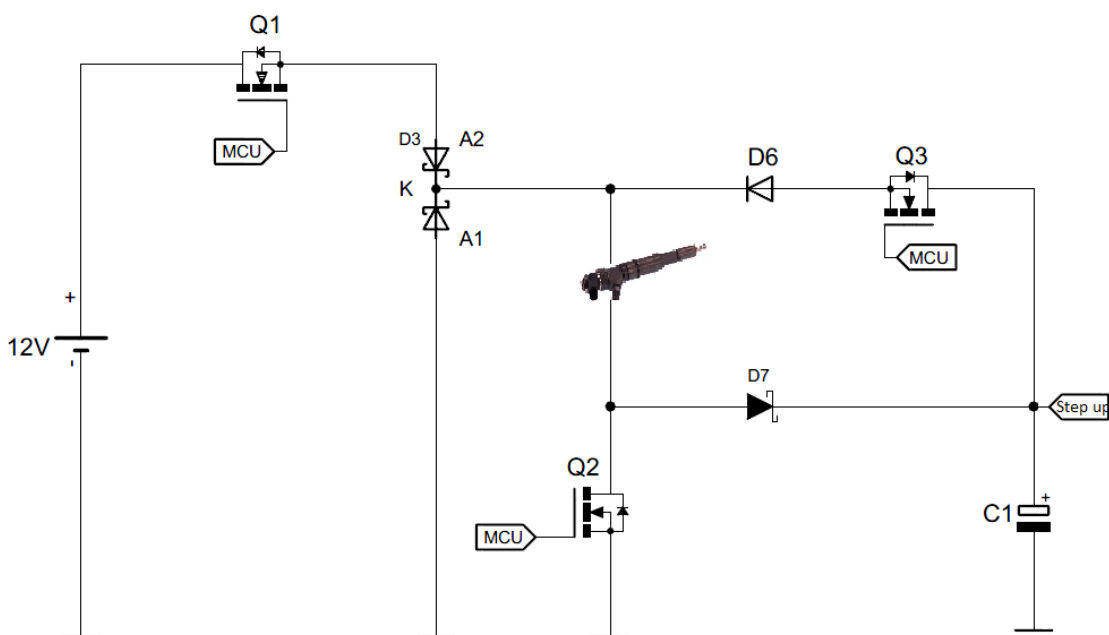
1.4.1 Elektromagneticky ovládaný vstřikovač

Je tvořen vstřikovací tryskou a pouzdem vstřikovače s elektromagnetickým ventilem a hydraulickým servosystémem. Pro zahájení vstřikování, kdy je potřeba rychlého otevření elektromagnetického ventilu, je nutné vstřikovač aktivovat zvýšeným proudem. Proud je snížen na udržovací úroveň v okamžiku dosažení maximálního zdvihu trysky. Není-li vstřikovač napájen, dojde k ukončení procesu vstřikování a vstřikovač je uzavřen. Spouštění elektromagnetického ventilu (otevření vstřikovače) se dělí do pěti spouštěcích fází. Během těchto fází dojde k nastavení průběhu napětí a proudu, od kterých se odvíjí vstřikované množství paliva.

- **Elektrické vlastnosti**

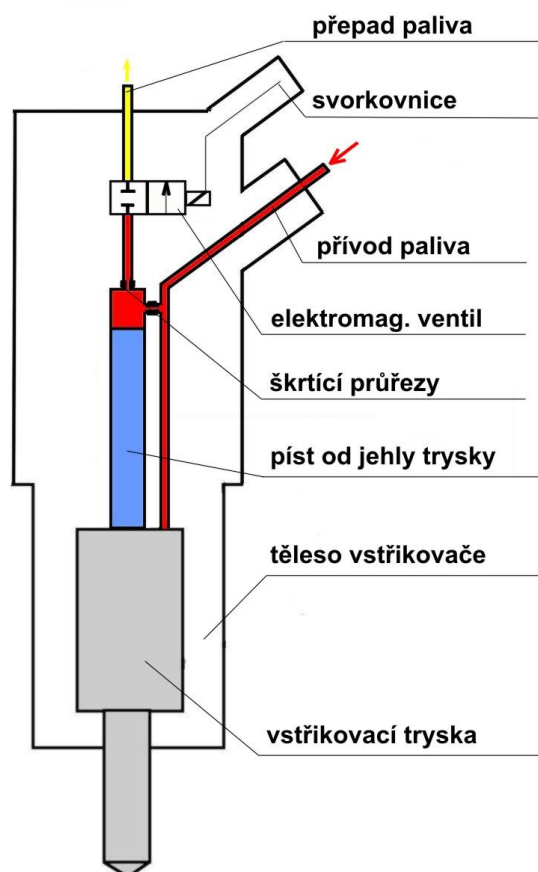
Vstřikovače jsou napájeny napětím z olověného akumulátoru 12 V. Ve fázi otevření je potřeba napětí 80 V, kterého je dosaženo pomocí zvyšovače napětí. V této fázi otevření odebírá vstřikovač proud 20 A. Odpor cívky vstřikovače je dle typu v rozmezí 0,4 Ω až 0,8 Ω .

- **Elektrické schéma zapojení**



Obr. 1.17 Zjednodušené zapojení jednoho vstřikovače Common rail

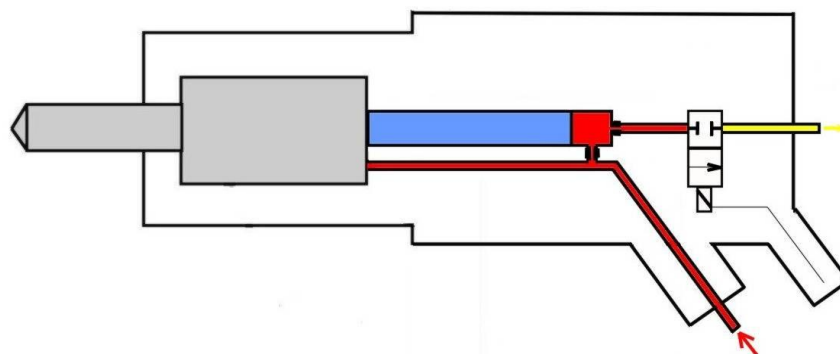
- **Principální zjednodušené schéma konstrukce**



Obr. 1.18 Zjednodušené vnitřní uspořádání vstřikovače Common rail [7]

- **Uzavřený vstřikovač**

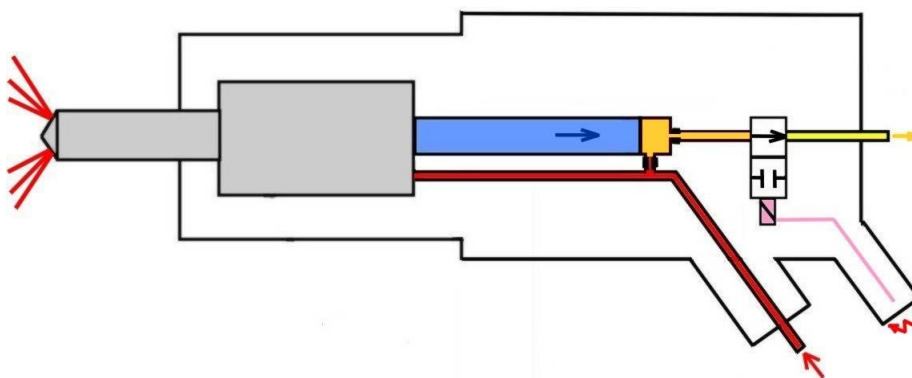
Elektromagnetický ventil není napájen. Odtokový kanál je uzavřen. Tryska vstřikovače je též uzavřena, jelikož tlak paliva je stejný na jehlu shora jako tlak paliva pod kuželovou částí jehly trysky. [7]



Obr. 1.19 Uzavřený vstřikovač [7]

- **Otevřený vstříkovač**

Kotva elektromagnetického ventilu otevírá odtokový škrťací otvor při rychlé aktivaci elektromagnetického ventilu pomocí 80 V a 20 A. Tímto otvorem odtéká palivo k nádrži a vlivem poklesu tlaku se tlakem paliva na kuželovou část jehly trysky otevírá vstříkovačí tryska. Palivo je nyní vstříkováno do válců motoru pod přibližně stejným tlakem, který je v zásobníku paliva. Více o vnitřní konstrukci vstříkovače v [7].



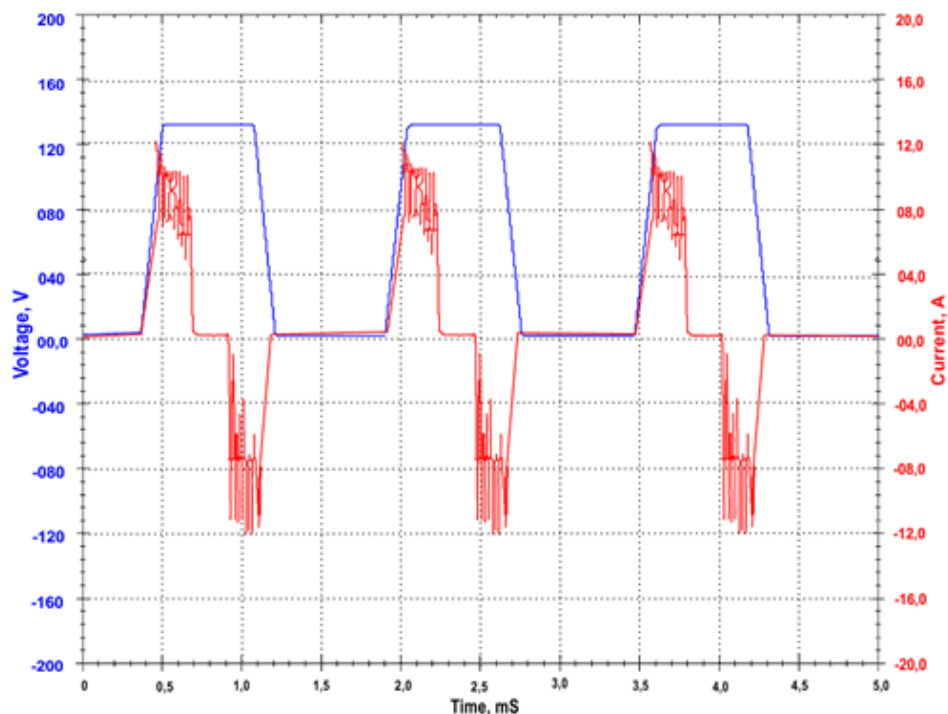
Obr. 1.20 Otevřený vstříkovač [7]

1.4.2 Piezoelektricky ovládaný vstříkovač

Využívá piezoelektrického jevu. Piezoelektrický prvek do tvaru válce je složen z přibližně 400 tenkých keramických fólií. Přivedením elektrického napětí na krystal vzniká deformace, která je využívána pro otevírání trysky vstříkovače. Deformací se rozumí prodloužení piezoelektrického členu o přibližně 0,04 mm a tento zdvih je dále mechanicky převeden přibližně na 0,08 mm. Mezi základní konstrukční části patří piezoelektrický modul, hydraulický převodník, servoventil a modul trysky. Piezoelektricky ovládaný vstříkovač přináší řadu výhod. Velkou výhodou oproti elektromagnetickému vstříkovači je snížení mechanických sil, které vznikají z důvodu stlačení pístku. Lepší stability vstříkování je dosaženo díky snížení vnitřního tření zmenšením pohyblivých částí. Ke zvýšení účinnosti též přispívá snížení prodlevy mezi elektrickým impulzem a hydraulickou odezvou trysky. Systém dokáže v porovnání s elektromagnetickými akčními členy spínat až čtyřikrát rychleji a tím rozdělit vstříkovanou dávku paliva až na sedm vstříků. To přináší přesné dávkování malého množství paliva s cílem snížení spotřeby paliva, snížení hluku motoru a snížení emisí výfukových plynů. [3]

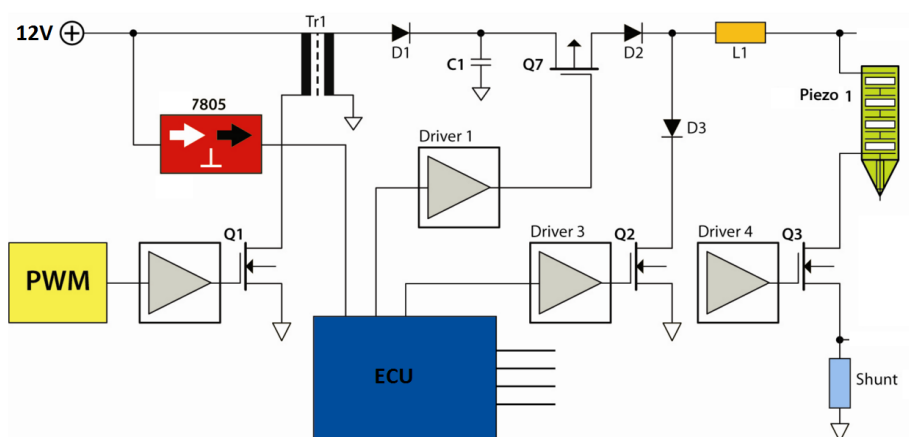
- **Elektrické vlastnosti**

Vstřikovač po celou dobu otevření je napájen elektrickým napětím o velikosti 150 V, kterého je dosaženo pomocí měniče, který zvyšuje napětí olověného akumulátoru 12 V. Z hlediska elektrického proudu v okamžiku otevření teče el. proud 12 A a v okamžiku zavření mínus 12 A. Odpor piezoelektrického vstřikovače je dle kondice v rozmezí 150 až 210 k Ω .



Obr. 1.21 Průběh napětí a proudu piezoelektrickým vstřikovačem [11]

- **Blokové schéma zapojení**



Obr. 1.22 Blokové schéma zapojení jednoho piezoelektrického vstřikovače [11]

Tab. 1.1 Základní vlastnosti Common rail vstřikovačů

Vstřikovací tlaky	135 – 220 MPa
Otevírací tlaky vstřikovací trysky	15 – 35 MPa
Zdvih jehly vstřikovací trysky	30 – 250 μm
Doba aktivace vstřikovače	100 – 1600 μs
Časové zpoždění reakce vstřikovače	80 – 260 μs
Výrobní tolerance dílů	0,5 – 4 μm
Rychlost zdvihu jehly	1 – 3 m/s
Počet vstřiků na jeden spalovací cyklus	2 – 7 vstřiků
Počet vstřikovacích otvorů trysky	5 – 10 otvorů
Velikost vstřikovacích otvorů trysky	98 – 400 μm
Průměr rozstříknutých kapek paliva	9 – 30 μm
Velikost aktivčního proudu solenoidu	20 – 27 A
Velikost přidržného proudu solenoidu	16 – 13 A
Napětí elektromagnetických vstřikovačů	12 – 80 V
Napětí piezoelektrických vstřikovačů	110 – 200 V

2 Testy vstřikovačů

Předpokladem pro využívání moderních systémů vstřikování Common rail je používání kvalitního paliva. Nutným předpokladem pro zvýšení životnosti systému je tankovat kvalitní palivo, kvalitní motorovou naftu, která může často obsahovat organické a anorganické částice či vodu. U těchto systémů je vyžadována vysoká účinnost filtrace s použitím palivového filtru, u kterého je důležitá pravidelná výměna dle servisních intervalů.

2.1 Poruchy systému

Hlavní příčinou poruch je především již zmíněné nekvalitní palivo. Drobné nečistoty obsažené v palivu způsobují opotřebení komponentů vstřikovacího systému. V důsledku vzniku poškození těchto komponentů dochází ke změně množství paliva dodávaného vstřikovací soustavou do motoru. Dalším z problémů je výskyt vody v palivu. Obsah vody v naftě způsobí korozi a může vést až k zadření jednotlivých částí systému vlivem snížení schopnosti mazání. Zpracováním nekvalitního paliva vstřikovacím systémem, nebo nevhodným způsobem filtrace a nedodržováním pravidelných servisních intervalů může dojít k poruše veškerých subsystémů palivové soustavy. Problémy se vyskytují především u vysokotlakých vstřikovačů. Častý výskyt poruch je také u regulátorů vysokého tlaku nafty a k poškození dochází i u vysokotlakých čerpadel a podávacích dopravních čerpadel nafty. Problémy v palivovém okruhu u vznětových motorů mohou být také způsobeny provozem na bionaftu.

Projevy závady jsou řidičem často vnímány především jako nepravidelný chod motoru, nízký výkon a výskyt černého kouře za vozidlem. Mezi následky patří především nárůst vnitřního tření, poškození vstřikovacích otvorů a netěsnosti ventilů vstřikovače.

- ***Nárůst vnitřního tření***

Zvýšené vnitřní tření má za následek pomalou reakci vstřikovače. Tato závada má jako nejčastější příčinu nekvalitní používání paliva, které obsahuje malé částice nečistot či vodu. Nekvalitní obsah paliva způsobuje snížení mazací schopnosti a tím dochází k nárůstu vnitřního tření. Vlivem zvýšení vnitřního tření nestačí vstřikovač reagovat na pokyny od řídicí jednotky motoru. Možnou příčinou závady je též nedodržení čistoty při údržbě palivové soustavy a tím zanesení částic do palivového okruhu. Řidič pocítí poškození tohoto druhu zvýšenou hlučností motoru, nárůstem spotřeby paliva, kolísáním volnoběžných otáček a výskytem problémů při startu. Vstřikovač je nutné vyměnit za jiný kus, nebo provést výměnu vnitřních elementů a následně kalibrovat.

- ***Poškozené a zanesené otvory***

Usazené nečistoty ve vnitřním prostoru vstřikovače nebo zbytky spalování na špičce trysky způsobují zanesení či poškození vstřikovacích otvorů trysky. Při poškození vnitřních otvorů dochází k vážnoucí reakci ventilu a jehly trysky. Příčinou tohoto problému je často voda v palivu, špatná kvalita paliva, špatný způsob filtrace, nekvalitní palivový filtr a případně nedodržování servisních intervalů výměny filtrů. K zanesení vrcholu vstřikovače dochází často kvůli nevhodným přísadám v palivu, výskytu motorového oleje v sání a používáním biodieselu. Poruchy způsobené poškozením a zanesením otvorů vnímá řidič zvýšenou kouřivostí motoru, klepáním motoru, nepravidelným spalováním a snížením výkonu. Zanesením otvorů vstřikovače dochází k špatnému rozprášení paliva, kdy vzniká nepravidelný paprsek vstřikovaného paliva do motoru. Nepravidelným paprskem směřujícím do jedné části ve válci motoru dochází k lokálnímu přehřívání a může dojít k propálení pístu.



Obr. 2.1 Zanesený vrchol vstříkovače

- ***Netěsnost ventilu***

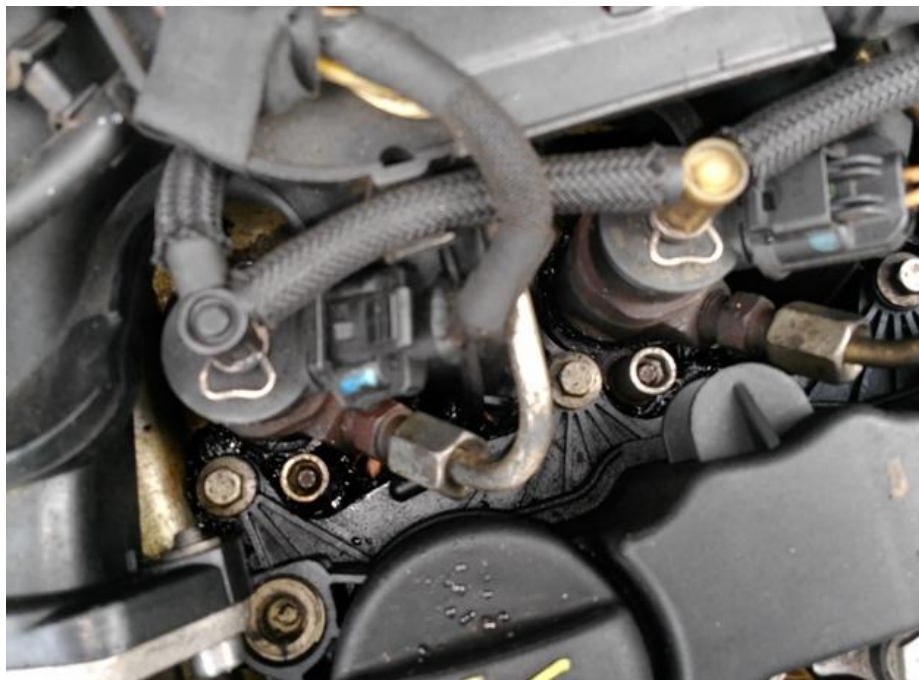
Poškozením sedla řídicího ventilu vzniká nadměrný přeпад paliva do zpětného okruhu k palivové nádrži. Důvodem je nedostatečná filtrace a tankování nekvalitního paliva. Závada se projevuje zhasínáním motoru, nastávají problémy při startu a nelze dosáhnout plného výkonu. Následkem netěsnosti je také ztráta paliva do válců motoru, která způsobuje problémy při startu a může vést až ke zničení motoru.

Problém netěsnosti ventilu se objevuje nejen u vstříkovačů, ale také u regulátoru vysokého tlaku paliva. Při požadavku na plný výkon motor přechází do nouzového režimu. Netěsností ventilu při požadavku na vyšší výkon nelze plně utěsnit zpětný odvod paliva a tím putuje část paliva zpět do nádrže a nikoliv k vstříkovačům a následně do válců motoru, proto nelze vyvinout plný výkon a řídicí jednotka motoru má za úkol splnit přechod do nouzového režimu.

- ***Chybná montáž***

Při chybné montáži, při které není splněna podmínka volby utahovacího momentu a tím je vstříkovač přetažen nebo utážen více na jedné straně než na straně druhé, nebo nejsou použity těsnicí měděné podložky, které musí být před montáží zahřáté na požadovanou teplotu z důvodu vytvoření dokonalé těsnosti mezi sedlem vstříkovače a hlavou válců, dochází

k výskytu zbytků spalování na vnějším povrchu vstřikovače. Projevem je především vznik karbonu kolem těsnicí podložky vstřikovače, nízký výkon motoru a výskyt černého kouře.



Obr. 2.2 Zbytky spalování na vnějším povrchu vstřikovače vlivem chybné montáže

2.2 Přehled testovacích zařízení

Poruchy systému Common rail mají velmi podobné příčiny, které často souvisejí s kvalitou paliva. Při výskytu poruchy je řešením výměna vstřikovače, výměna vnitřních dílů či jeho důkladné vyčištění speciální technologií pomocí ultrazvuku. Pro určení způsobu opravy je nutné provést diagnostiku a měření. Zkoušku nelze provést pomocí běžné zkoušky klasických vstřikovačů, které jsou dnes nahrazeny vstřikovači Common rail. Při testování je aplikován odlišný postup. Zkoušku funkce vstřikovače lze provést pomocí diagnostické cesty využitím OBD diagnostiky, při nedostupnosti diagnostiky lze aplikovat sadu pro porovnání množství přepadu paliva a v okamžiku, kdy nelze již motor nastartovat je nutné aplikovat speciální diagnostický tester vysokotlakých vstřikovačů.

2.2.1 Měření na vozidle

Při příčinách směřujících k poruše vstřikovačů je možné provést měření na vozidle bez nutnosti demontáže vstřikovačů. Nutnou podmínkou je chod motoru. Pokud lze motor nastartovat, nabízejí se dvě možnosti provedení kontroly, avšak jedná se pouze o metody informativní nikoliv přesné, které slouží pouze k tomu, že informují o možné chybě, nebo

říkají, že je vstřikovač v pořádku. Při náznaku chyby nelze pomocí těchto metod přesně určit, o jakou poruchu se jedná. Takto získaná informace o poruše vstřikovače vede k jeho demontáži a následnému detailnímu měření na speciálním testeru nebo k jeho výměně za nový díl.

- **Měření korekce dávky vstřikovače pomocí diagnostického přístroje**

Požadované vstřikované množství (dávka)	15	mm ³ /vstřik
korekce dávky vstřikovače 1	0.51	mm ³ /vstřik
korekce dávky vstřikovače 2	1.29	mm ³ /vstřik
korekce dávky vstřikovače 3	-0.35	mm ³ /vstřik
korekce dávky vstřikovače 4	-1.61	mm ³ /vstřik

Obr. 2.3 Měření korekce dávky vstřikovačů pomocí profesionálního diagnostického přístroje

Pomocí diagnostiky lze zobrazit korekce dávky pro jednotlivé vstřikovače, kterou se rozumí snížení nebo zvýšení základní vstřikované dávky, aby byl zajištěn klidný chod motoru při volnoběžných otáčkách. Pokud se nachází korekce dávky v rozmezí -5 až +5 mm³/vstřik, není vstřikovač poškozen. Pokud korekční dávka překračuje tento rozsah, je nutné vstřikovač vyměnit, jelikož může být poškozený nebo ucpaný. Měření je vhodné provádět diagnostickým přístrojem určeným pro danou značku vozidla.

- **Měření množství přepadu paliva**

Orientační měření lze realizovat pomocí sady na měření přepadového množství z jednotlivých vstřikovačů, kde místo hadičky pro přepad paliva se nasadí hadička s měřicí nádobkou pro měření množství přepadu paliva. Při volnoběžných otáčkách by se měly nádoby plnit palivem rovnoměrně. Při poruše se baňka napojená na poškozený vstřikovač plní rychleji než ostatní. Poškozený vstřikovač naplní baňku rychle po nastartování motoru. V porovnání s nádobkou u vstřikovače bez poruchy je za stejnou dobu naplněna pouze čtvrtina objemu nádoby. Tímto měřením nelze odhalit vnitřní závady, ale orientačně lze určit, který

vstřikovač je poškozený, avšak i vadný vstřikovač lze při zkoušce touto metodou považovat jako neporušený, jelikož nelze stanovit, zda vstřikovač nepropouští palivo do válce motoru.



Obr. 2.4 Testovací sada pro měření množství přepadu paliva určená až pro šestiválcový motor [6]

2.2.2 Tester vstřikovačů

Při poruše vstřikovacího systému, kdy již není možné nastartovat motor a provést test diagnostickým přístrojem či pomocí měření přepadů paliva, je nutné demontovat vstřikovače a následně provést jejich umístění do speciálního přístroje pro diagnostiku vysokotlakých Common rail vstřikovačů a provést zkoušku funkčnosti.

Přístroje na trhu se liší především cenou a modularitou, kde se rozlišují typy, které umí otestovat pouze samotné vstřikovače, typy pro otestování celého palivového systému vozidla včetně vysokotlakého čerpadla a přístroje, kde je možné provádět mimo testu i kalibrace a čištění. Právě tímto rozdělením se odvíjejí ceny. V první řadě jsou tyto diagnostická zařízení dodávána výrobcí, kteří také vyrábí vysokotlaké vstřikovače, avšak je možné se setkat i se zařízeními pouze od výrobce dílenské techniky nikoliv specialistou na palivové systémy.

K základním operacím testeru pro diagnostiku vstřikovačů vznětových motorů patří test vstřikovače při různém nastavení tlaku paliva a odměření množství vstřikovaného paliva. Důležitým testem je vizuální kontrola kvality a tvaru vstřikovaného paprsku. Tento test říká, zda nejsou ucpané otvory trysky. Testovacím zařízením je možné provést zkoušku těsnosti vstřikovače. U uzavřeného vstřikovače by nemělo docházet k dávkování paliva, není-li vstřikovač otevřen řídicím signálem. Testy je vhodné aplikovat pro určené hodnoty tlaků, ke kterým jsou hodnoty vstřikovaného množství od výrobce, aby bylo možné vyhodnotit výsledek zkoušky.

- ***Bosch EPS 200***

Diagnostický přístroj pro testování vysokotlakých vstřikovačů od předního výrobce palivových systémů Bosch s automatickým zkušebním postupem umožňuje testovat vstřikovače od výrobce Bosch. Je doplněn také upínacím zařízením pro test produktů od jiných výrobců. Pro typy od výrobce Bosch obsahuje databázi hodnot, se kterými se srovnají naměřené parametry. Zkušební tlak paliva dosahuje až 180 MPa. Diagnostikovat lze solenoidový i piezoelektrický typ vstřikovače. Cena zařízení včetně příslušenství adaptérových sad pro upnutí vstřikovačů jiných výrobců činí 500 000 Kč bez DPH. [13]



Obr. 2.5 Bosch EPS 200 [13]

- **PQ 1000**

Je diagnostický přístroj od výrobce dílenské techniky UNIVER s funkcí testování elektromagnetických vstřikovačů. Mezi parametry přístroje patří napájecí napětí pro vstřikovače 80 V, modulace šířky pulzů 0 až 6000 μ s, tlak paliva až 180 MPa. Cena včetně ultrazvukové čističky je 71 880 Kč bez DPH. [14]



Obr. 2.6 UNIVER PQ 1000 [14]

V tabulce (Tab. 2.1) jsou uvedeny pro názornost orientační internetové ceny oprav dílů Common rail systému a ceny diagnostických zkoušek. Ceny jsou uvedeny informativně, kde záleží na daném typu vozidla a typu vstřikovacího zařízení.

Tab. 2.1 Základní vlastnosti Common rail vstřikovačů [12]

	Cena [Kč]
Regulátor tlaku paliva	3000 až 15000
Repase vstřikovače	Od 3500
Vstřikovač	6000 až 15000
Test čerpadla	1800
Test vstřikovače	Od 500

3 Měření na motoru Common-Rail

Před návrhem a realizací vlastního systému je důležité realizovat měření na motoru s Common rail vstřikovacím systémem z důvodu identifikace systému. Jako měřicí přístroje jsou použity digitální osciloskop včetně proudové sondy, multimetr a diagnostický přístroj pro měření provozních veličin pomocí OBD. Během měření je důležité získat průběhy napětí a proudu na subsystémech vstřikovacího okruhu, které se mění se změnou otáček motoru a změnou tlaku paliva. Diagnostika slouží k měření tlaku při změně otáček a osciloskop k měření průběhu napětí a proudu, které přísluší aktuálním hodnotám tlaku paliva. Charakteristiky elektrických hodnot a jejich závislosti na provozních hodnotách vozidla jsou obtížně dostupné v literatuře. Jednotlivé literární prameny uvádějí rozdílné parametry, tudíž je důležitým krokem realizovat měření. Měření je realizováno na motoru 2,0 HDI Common rail s elektromagneticky ovládanými vstřikovači. Z důvodu různého nájezdu kilometrů vozidla je měření realizováno na třech vozidlech totožné motorizace s různou ujetou celkovou kilometrovou vzdáleností, aby byly vyloučeny odchylky, které by mohly nastat z důvodu rozdílné kondice jednotlivých komponentů vlivem jejich používání.

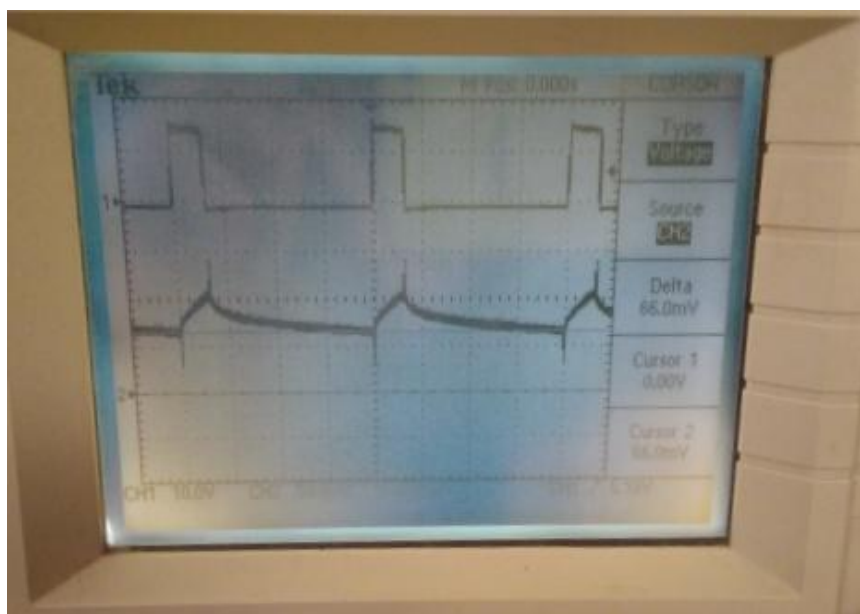
3.1 Měření parametrů regulátoru vysokého tlaku nafty

Regulátor je napájen elektrickým napětím o velikosti 15 V, které je zvyšováno měničem z napětí oloveného akumulátoru 12 V. Maximální proudový odběr je 2 A při maximálním tlaku paliva. Řízení je realizováno pomocí signálu PWM změnou střídy. Akcelerací se prodlužuje doba sepnutí, roste střída PWM signálu a tím se zvyšuje tlak paliva.

Diagnostickým přístrojem jsou získány hodnoty tlaku paliva ve vysokotlakém zásobníku a pomocí osciloskopu průběh PWM signálu, kde jsou důležité časy sepnutí při periodě signálu 1 ms. Naměřeny jsou pouze nutné parametry pro konstrukci testovacího zařízení.

Tab. 3.1 Naměřené a dopočtené hodnoty DRV regulátoru

Tlak paliva [bar]	Perioda T [ms]	Doba sepnutí t_{ON} [μs]	Střída D [%]
298	1	180	18
424	1	230	23
573	1	270	27
722	1	300	30
832	1	340	34
1020	1	390	39
1161	1	430	43
1255	1	450	45



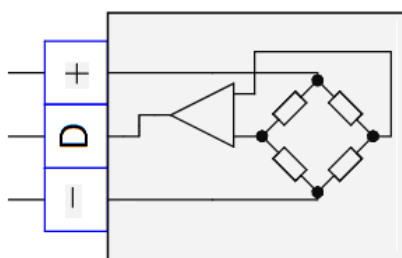
Obr. 3.1 Průběh napětí (CH1) a proudu (CH2) regulátorem tlaku při tlaku paliva 298 bar (volnoběžné otáčky motoru)

otáčky motoru	835	ot/min
synchronizace váčkového hřídele s klikovým hřídelem	Ano	
Měřený tlak paliva	298	bar
rozdíl mezi změřeným tlakem paliva a požadovaným tlakem paliva	-14	bar

Obr. 3.2 Naměřené hodnoty tlaku paliva při volnoběžných otáčkách motoru

3.2 Měření parametrů snímače vysokého tlaku nafty

Snímač je napájen napětím 5 V. Vnitřní zapojení odporového můstku ve formě přístrojového zesilovače zesiluje výstupní napětí v rozsahu 0 až 5 V. Při změně tlaku dochází ke změně výstupního napětí. Závislost je lineární.

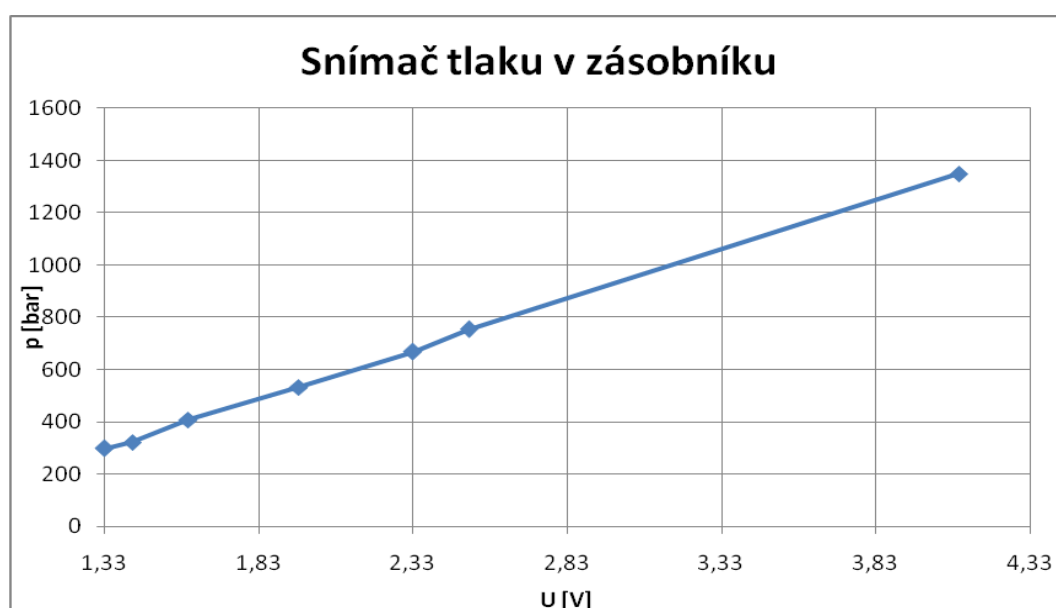


Obr. 3.3 Vnitřní zapojení snímače tlaku paliva [17]

Multimetrem je měřeno napětí na výstupu snímače, které se mění se změnou tlaku paliva, který je při měření měřen diagnostickým přístrojem. Naměřené hodnoty odpovídají katalogovým, které jsou ve formě grafu (*Obr 1.12*) zmíněny v první kapitole. Tyto hodnoty byly také ověřeny pomocí ručičkového měřiče tlaku.

Tab. 3.2 Naměřené hodnoty napětí a tlaku – měření snímače tlaku

Napětí - U [V]	Tlak [bar]
1,33	298
1,42	322
1,45	350
1,6	408
1,96	533
2,33	667
2,51	753
4,1	1350

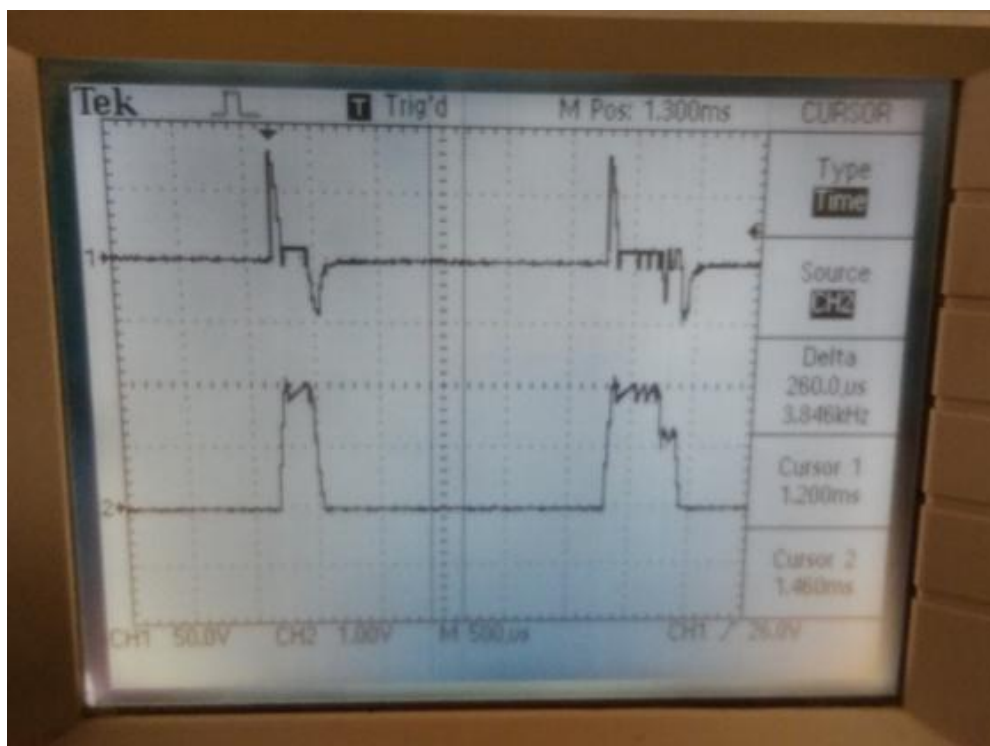


Obr. 3.4 Naměřená charakteristika snímače tlaku

3.3 Měření parametrů elektromagneticky ovládaných vstřikovačů

Řídicí signál pro vstřikovač je rozdělen do pěti fází. Při měření je důležité změřit hodnoty napětí a časů pro jednotlivé fáze. Důležitým parametrem je doba trvání impulsu, která se zvyšuje s rostoucími otáčkami, s rostoucím tlakem paliva. Delší impuls drží vstřikovač déle otevřen a do válců motoru se dostává větší množství paliva. Měření se zabývá pouze impulzem hlavního vstřiku, jelikož z hlediska testování není potřebné znát průběh trvání předvstřiku paliva a sekundárních vstřiků. Naměřené hodnoty napětí se aplikují pro testování všech typů elektromagneticky ovládaných vstřikovačů. Naměřené hodnoty doby otevření jsou pouze pro daný typ vstřikovače. Tato hodnota se mění dle testovaného typu vstřikovače dle

katalogu testovacích hodnot. Avšak naměřené hodnoty je nutné znát pro realizaci spínacího cyklu.



Obr. 3.5 Naměřený průběh napětí (CH1) a proudu (CH2) elektromagnetickým vstřikovačem

4 Struktura navrhovaného zařízení

Navrhované zařízení slouží pro provedení zkoušky funkčnosti elektromagnetických vstřikovačů Common rail, avšak na desce plošného spoje jsou vyvedeny potřebné piny mikrokontroléru k rozšíření pro ovládání piezoelektrických vstřikovačů. Piny jsou napojeny do konektoru společně s napájecím napětím a zemí, kde je možné následně připojit hardware pro testování piezoelektricky ovládaných vstřikovačů.

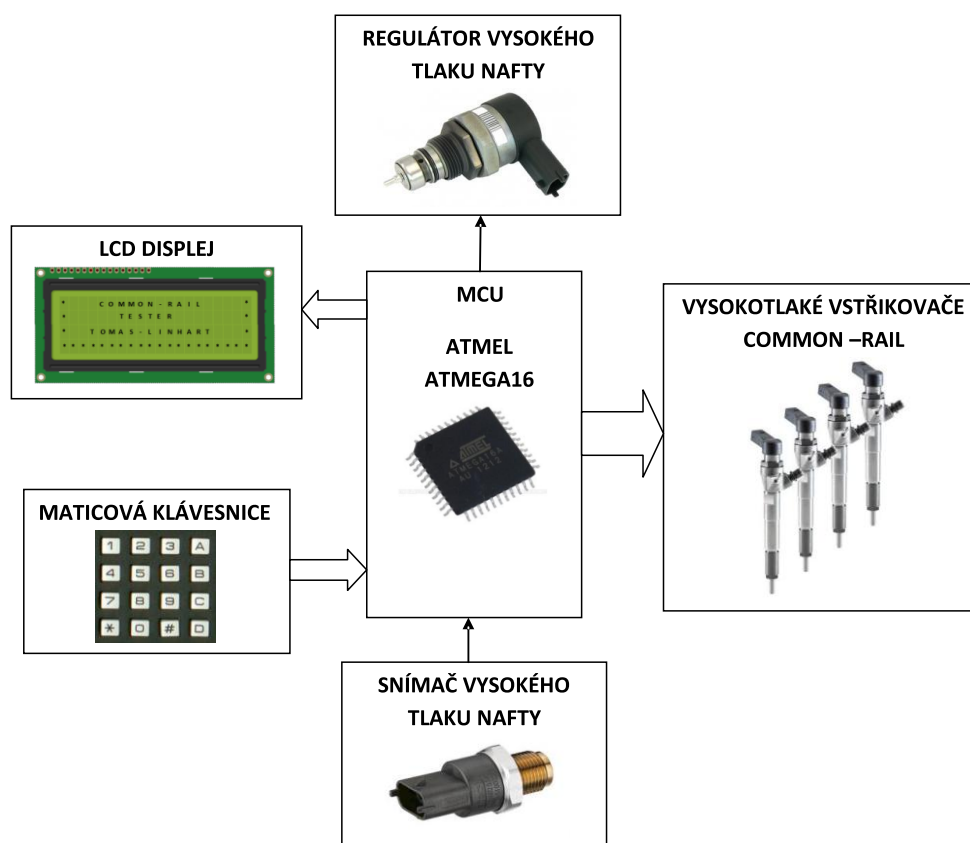
Testovat lze elektromagnetické vstřikovače, ke kterým jsou dostupná testovací data. Navrhovaným testerem je možné provést zkoušku těsnosti, při které je nastaven požadovaný tlak paliva a nedojde k otevření vstřikovače. Tím lze vyhodnotit, zda zkoušený vstřikovač neprosakuje. Realizovat lze i test tvaru paprsku pro jednotlivé tlaky paliva. Hlavním testem je test množství vstřikovaného paliva při různě nastaveném tlaku dle testovacích dat, která jsou dána výrobcem pro jednotlivé vstřikovače.

Testovací zařízení je řízeno mikrokontrolérem Atmel. Struktura palivového okruhu je složena z komponentů demontovaných z reálného vznětového motoru Common rail. Struktura funkce systému je následující. Obsluha umístí do navrhovaného zařízení demontované vstřikovače z vozidla, u kterých vzniklo podezření na jejich nesprávnou funkci. Dle daného typu vstřikovače je následně pomocí klávesnice na LCD displeji testeru zadán požadovaný tlak pro zkoušku. Požadovaný tlak je nastaven dle regulátoru tlaku, který je umístěn na vysokotlakém čerpadle, které je běžně používáno u diesellového motoru Common rail. Čerpadlo je spojeno hřídelí s asynchronním motorem, který zajišťuje chod čerpadla. Vysokotlaké čerpadlo je prakticky zařízení pro zvyšování tlaku paliva, tudíž je nutné mu dodávat palivo z nádržky s naftou pomocí elektrického podávacího čerpadla. Tlak paliva je měřen ve vysokotlakém zásobníku snímačem tlaku. Zařízení není plně automatické a tak výsledky testu musí zpracovat obsluha. Při testu paprsku paliva obsluha kontroluje, zda tvar paprsku odpovídá předpokladům. Při testu těsnosti je nutné zaměřit se na vrchol vstřikovače a kontrolovat zda nedochází k úniku paliva. Při testu množství paliva je také nutná přítomnost obsluhy, jelikož palivo je vstřikováno do nádržek určených pro testy vstřikovačů a je nutné dle rysek na nádobce vždy porovnat hodnotu s katalogovou hodnotou. Výsledné vyhodnocení a měření by bylo vhodné realizovat plně automaticky, avšak malé množství vstřikovaného paliva, které je řádově 1 až 60 mm³ je velmi náročné zpracovat automaticky a případné řešení by bylo neekonomické.

4.1 Blokové schéma struktury systému

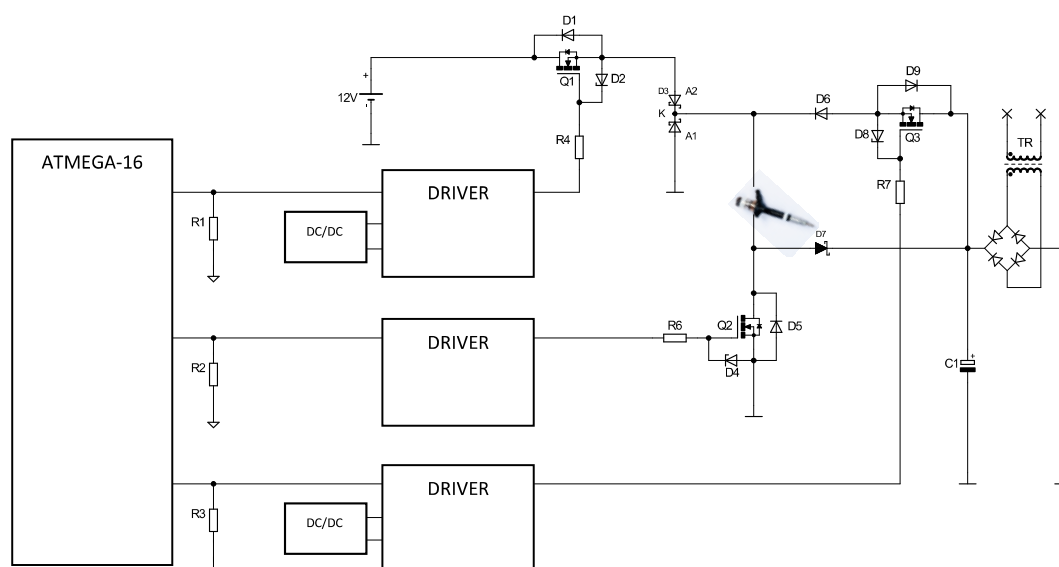
Jádrem systému je mikrokontrolér Atmel Atmega16. Pro následné použití zařízení je důležitá jednoduchost a přehlednost uživatelského rozhraní. Vybrán je podsvícený LCD displej o velikosti 20 znaků a 4 řádky. Pro zadávání hodnot je použita maticová klávesnice o velikosti 4x4. Zbytek zařízení z hlediska vytvoření tlaku, řízení tlaku a měření tlaku, je postaven na základě komponentů demontovaných ze zmíněného motoru 2,0 HDI Common rail. Snímač tlaku je napájen napětím 5 V z lineárního stabilizátoru napětí 7805. Výstup snímače je přímo připojen na A/D převodník MCU. Regulátor tlaku, který potřebuje pro svoji práci 15 V, je napájen DC/DC měničem typu STEP UP. Spínán je pomocí PWM signálu generovaného z PWM pinu MCU. Jednotlivé vstřikovače jsou spínány na základě spínacího cyklu pomocí sady výkonových tranzistorů. Automobilový olověný akumulátor je nahrazen průmyslovým zdrojem 12 V a 25 A od firmy Mean Well. Součástí pro chod systému je podávací čerpadlo napájené také ze stejnosměrného zdroje Mean Well 12 V. Jako další zdroj

je použit toroidní transformátor pro fázi otevření vstřikovače, ve které je potřebné přivést na vstřikovač zvýšené napětí.



Obr. 4.1 Blokové schéma testovacího zařízení

4.2 Aktivace elektromagnetického ventilu

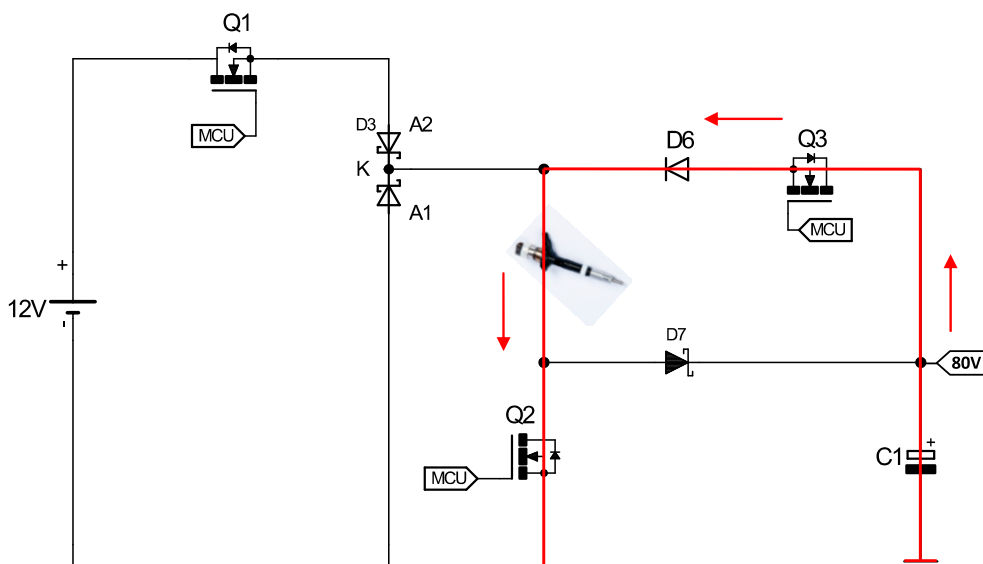


Obr. 4.2 Zapojení jednoho vstřikovače

Spouštění elektromagnetického ventilu je rozděleno na následujících pět fází. Vhodným spínáním pro jeden vstřikovač třemi tranzistory lze dosáhnout požadovaného průběhu signálu (*Obr. 3.5*).

- ***Fáze otevření***

Pomocí zvýšeného napětí a to až na hodnotu 80 V lze zvýšit proud tekoucí do vstřikovače. Zvýšení proudu na hodnotu 20 A je důležité pro přesné stanovení počátku vstřiku. S rostoucím proudem roste rychlost otevření vstřikovače. Zvýšené napětí je u navrhovaného zařízení řešeno toroidním transformátorem, usměrněním a následným uchováním energie v baterii kondenzátorů. Mikrokontrolérem je napětí 80 V na vstřikovač přivedeno sepnutím tranzistoru Q_3 . Tranzistor Q_1 , který slouží pro přivedení napětí 12 V, je v této fázi neaktivní. Tranzistorem Q_2 je vybrán jeden ze čtyř testovaných vstřikovačů, na který je v této fázi přivedeno napětí 80 V a tím je požadovaný vstřikovač otevřen. Čas trvání této fáze je 80 μ s.

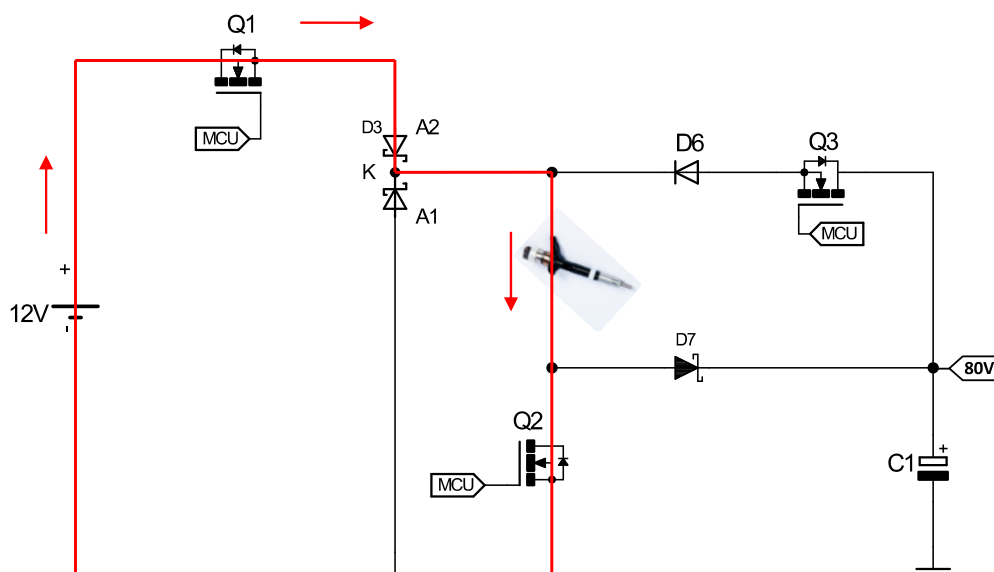


Obr. 4.3 Aktivace vstřikovače - Fáze otevření

- ***Fáze přitahovacího proudu***

Vstřikovač je vybrán tranzistorem Q_2 a rozepnutím tranzistoru Q_3 je vstřikovač odpojen od zvýšeného napětí 80 V. V této fázi je využito napětí 12 V, které je na vybraný vstřikovač přivedeno pomocí sepnutí tranzistoru Q_1 . Proud je nepřímo regulován na hodnotu 20 A pomocí PWM signálu, kterým je řízen tranzistor Q_1 . Doba trvání PWM signálu, která určuje

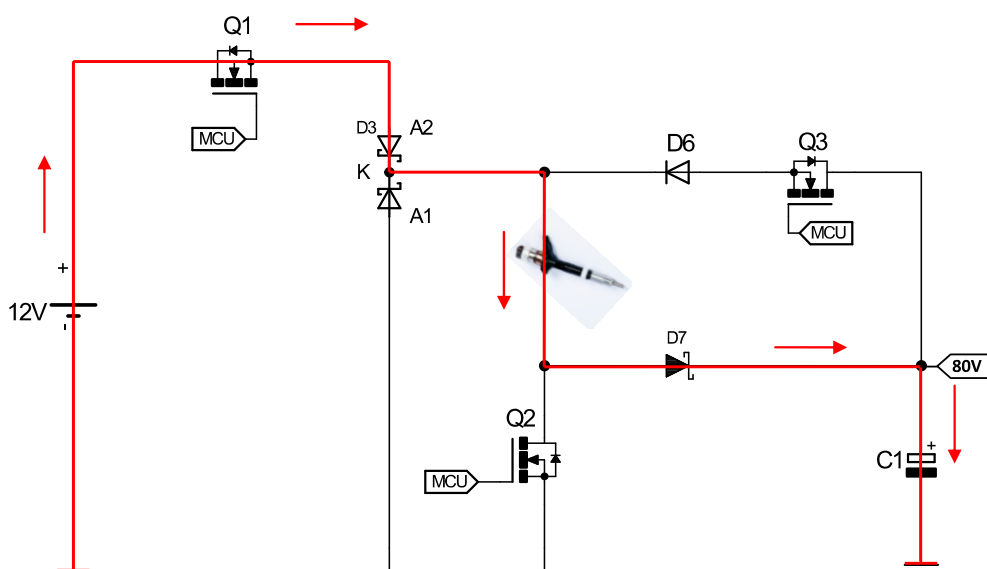
dobu trvání této fáze, je 300 μ s. Touto fází jsou pokryty předvstřík paliva, sekundární vstříky a slouží pro udržení vstřikovače v otevřeném stavu během hlavního vstřiku paliva.



Obr. 4.4 Aktivace vstřikovače - Fáze přitahovacího proudu

- **Fáze přechodu k fázi udržování proudu**

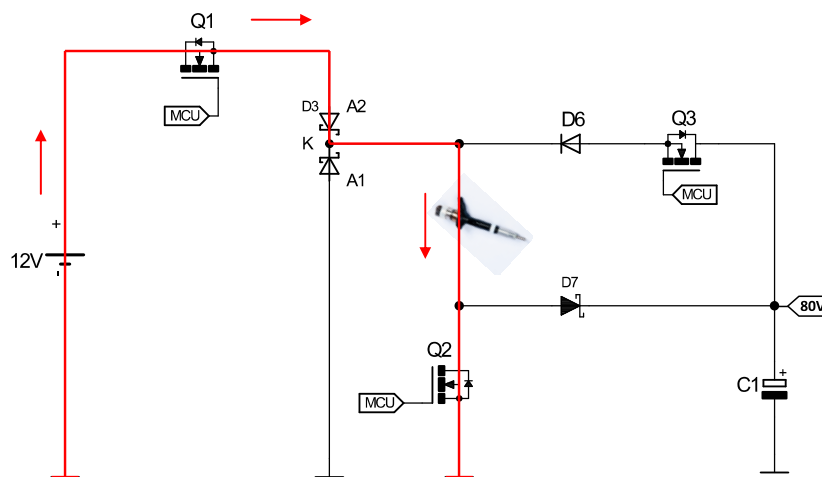
V tomto okamžiku je potřebné přejít z hodnoty proudu 20 A na hodnotu 13 A. Rozpojením tranzistoru Q_2 je energie z cívky ukládána v kondenzátoru C_1 .



Obr. 4.5 Aktivace vstřikovače - Fáze přechodu k fázi udržení proudu

- **Fáze udržování proudu**

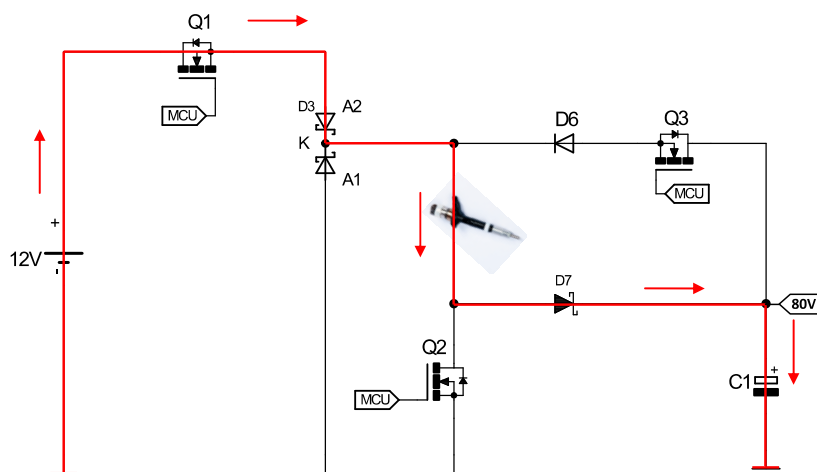
Tato fáze určuje dobu otevření vstřikovače. Vybraný vstřikovač je připojen tranzistorem Q_2 . Pomocí tranzistoru Q_1 je nepřímo regulován proud na hodnotě 13 A z důvodu omezení ztrát ve vstřikovači. Doba trvání fáze, kdy je proud udržován, ovlivní společně s tlakem paliva velikost dávky paliva.



Obr. 4.6 Aktivace vstřikovače - Fáze udržování proudu

- **Fáze vypnutí**

V této fázi je vstřikovač vypnut a tím dochází k ukončení vstřikování paliva. Rozpojen je tranzistor Q_2 . Přebytek energie z cívky vstřikovače je využit k nabíjení kondenzátoru. Následným odpojení tranzistoru Q_1 je vstřikovač odpojen od zdroje.



Obr. 4.7 Aktivace vstřikovače - Fáze vypnutí

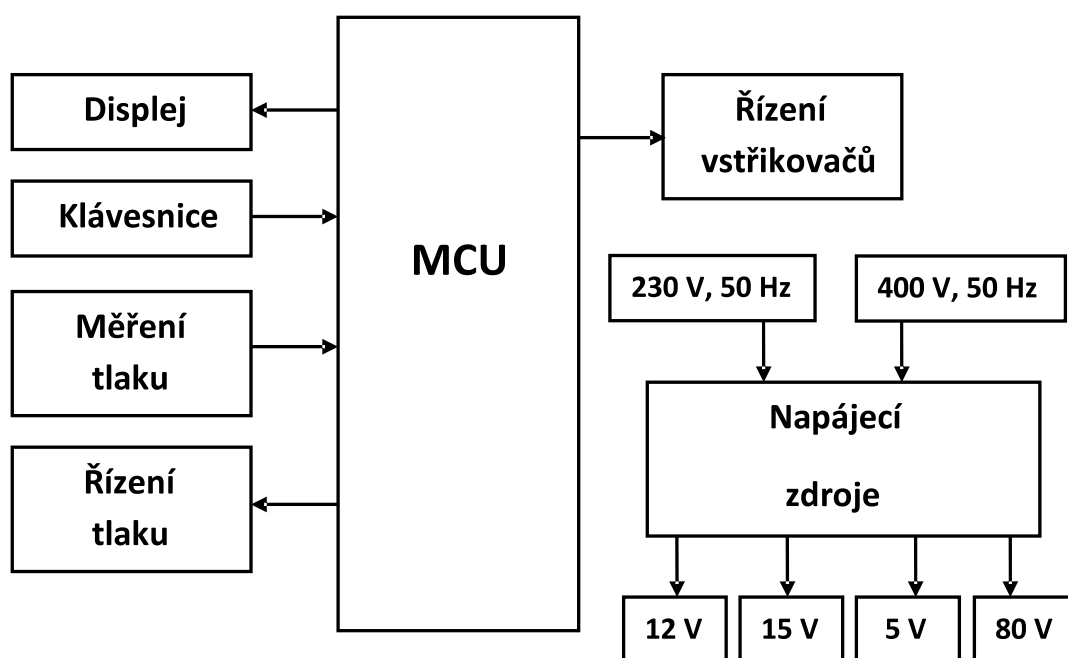
5 Obvodové řešení

5.1 Požadované parametry

Tab. 5.1 Základní parametry navrhovaného testeru

Zdroje napětí	12 V
	5 V
	15 V
	80 V
	3x400 V, 50 Hz
	230V, 50 Hz
Maximální proudový odběr	25 A

5.2 Blokové schéma

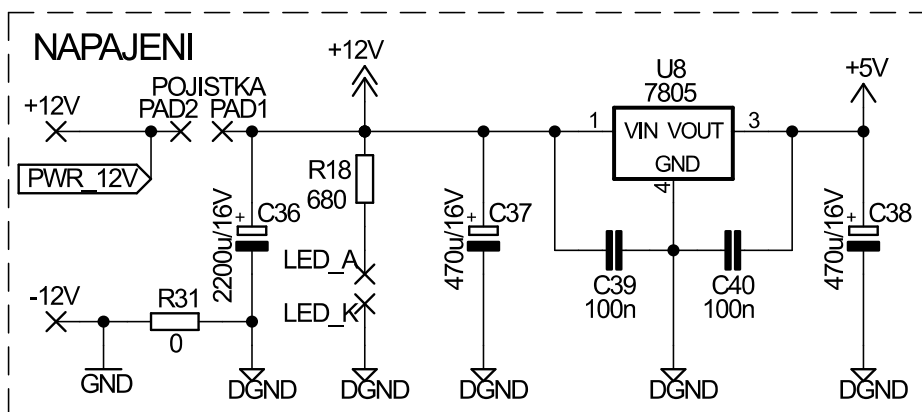


Obr. 5.1 Blokové schéma testovacího zařízení

5.3 Popis jednotlivých částí zapojení

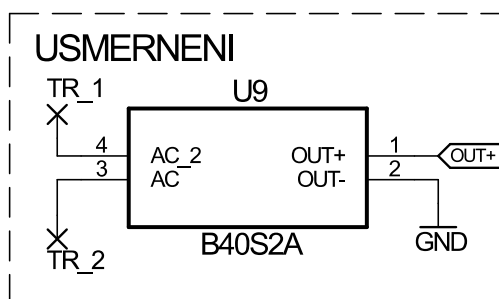
5.3.1 Napájení

Napájení testeru vstřikovačů je rozděleno na několik částí. Olověný akumulátor je nahrazen průmyslovým zdrojem napětí 12 V a 25 A. Zdroj slouží pro napájení vstřikovačů, budičů tranzistorů, DC/DC konvertorů a stabilizátoru napětí 7805. Napětí 5 V slouží pro napájení logických obvodů, snímače tlaku a LCD displeje.



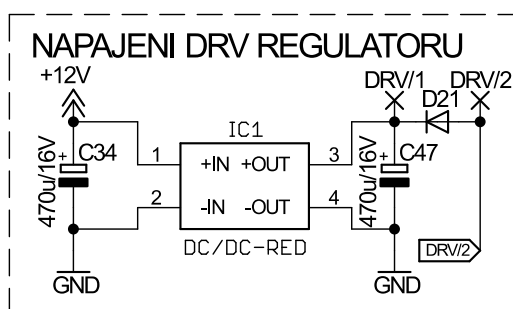
Obr. 5.2 Blok napájecího napětí 12 V a 5 V

Pro vytvoření napětí přibližně 80 V, které je potřebné pro fázi otevření vstřikovače, je použit toroidní transformátor 230 V/55 V 60 VA, kde napětí po usměrnění můstkovým usměrňovačem je uloženo v baterii vytvořené ze čtyř kondenzátorů 4700 uF/100 V. Zapojení do obvodu je znázorněno na obrázku (Obr. 4.2).



Obr. 5.3 Usměrnění napětí pro fázi otevření

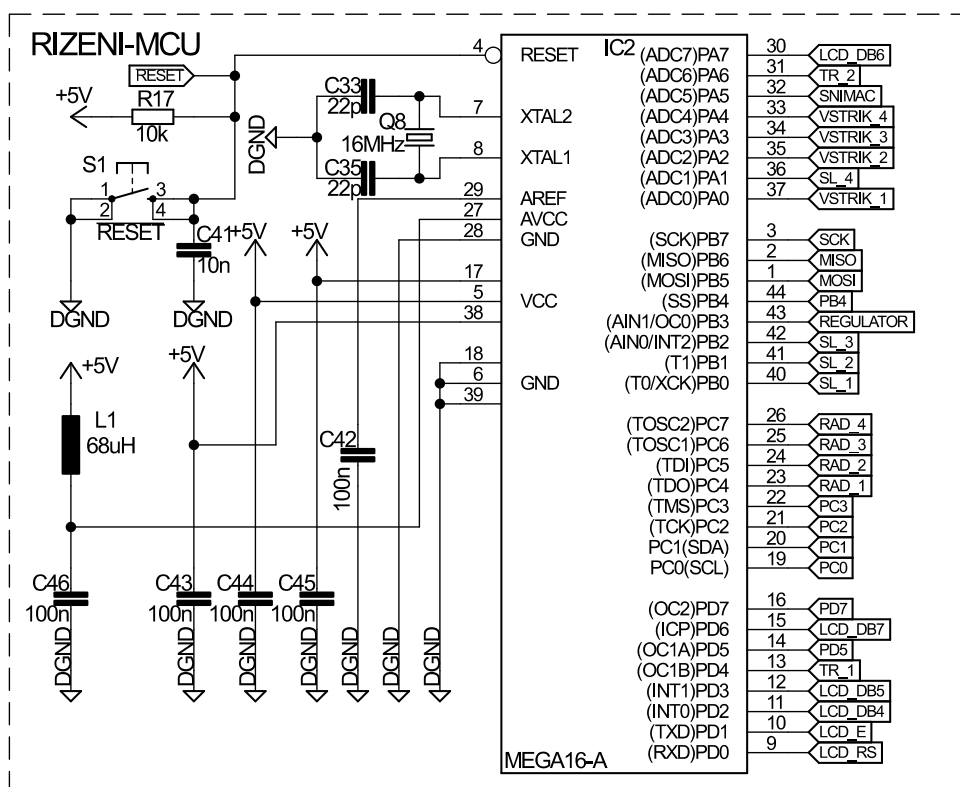
Pro napájení regulátoru tlaku je potřebné napětí 15 V, které je realizováno pomocí DC/DC konvertoru Step Up. V zapojení dioda D_{21} slouží pro odstranění rušivých napěťových špiček, které vznikají při rozpínání ventilu regulátoru, který má induktivní charakter.



Obr. 5.4 Napájení regulátoru – zapojení DC/DC konvertoru 15 V/2 A

5.3.2 Jednočipový mikročítač

Řízení testeru je realizováno pomocí mikrokontroléru od firmy Atmel. Zvolen byl model ATmega16A-AU. Volba uvedeného mikrokontroléru z rodiny AVR MEGA je především z důvodu nízké ceny, znalostí tohoto obvodu a dostatečným výpočetním vybavením pro danou aplikaci. Pouzdro je vybráno TQFP44 určené pro SMT montáž. Pro danou aplikaci stojí za zmínku z katalogových hodnot uvést následující parametry: kmitočet taktování 16 MHz, 4x PWM kanál, 8kB FLASH paměti, 512 B EPROM paměti, 1 kB SRAM paměti, SPI rozhraní a pro uvedené využití dostatečný počet I/O (32 pinů). Více parametrů lze najít v datasheetu [15].



Obr. 5.5 Zapojení mikrokontroléru

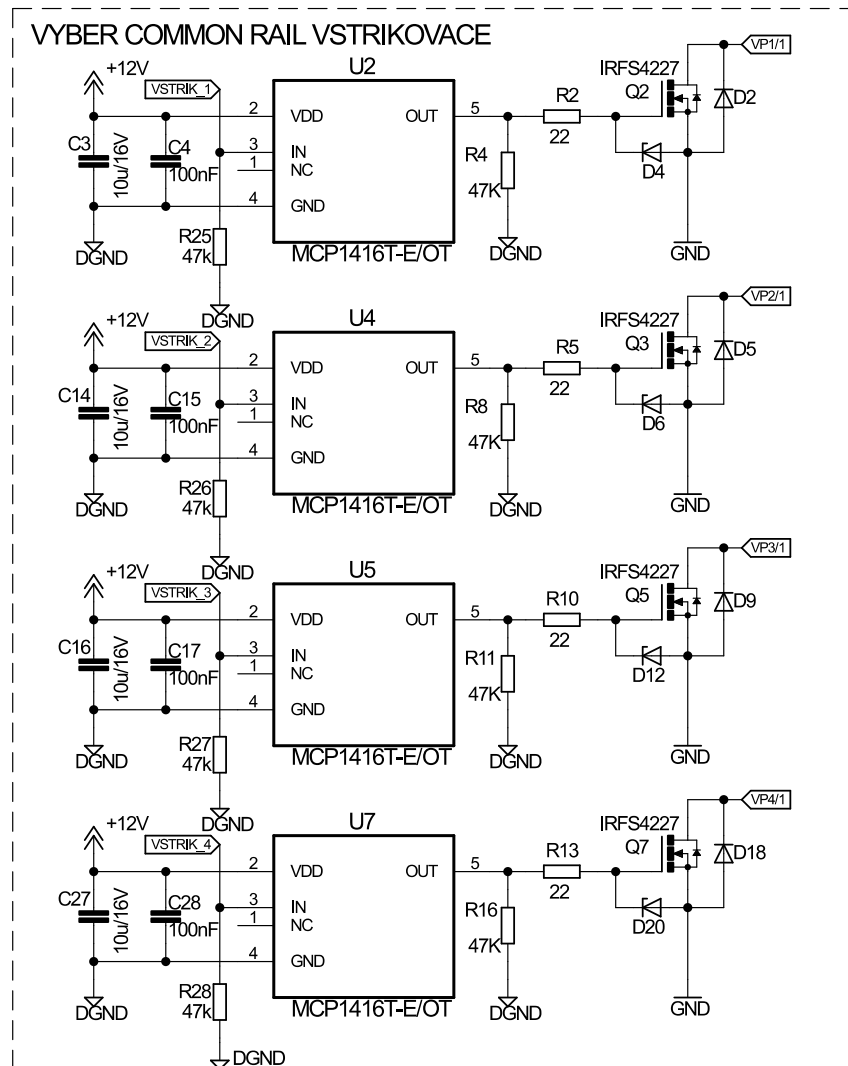
Externí krystal 16 MHz je ve standardním zapojení s kondenzátory 22 pF. Analogové napájení mikrokontroléru je od číslicového oddělené LC filtračním článkem.

5.3.3 Spínání dolní skupiny tranzistorů

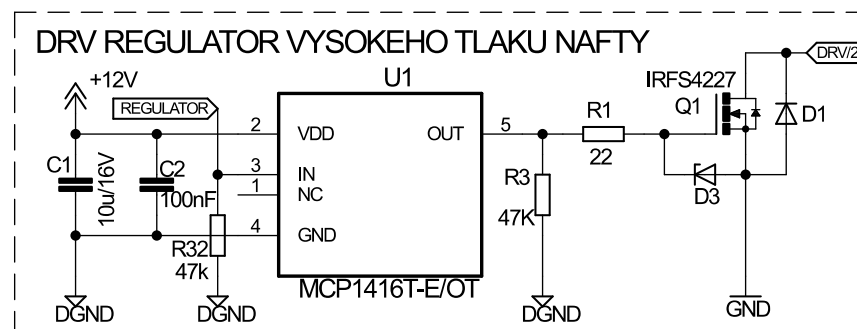
Pro spínání čtveřice vstřikovačů, konkrétně pro výběr vstřikovače a pro spínání regulátoru tlaku jsou použity budiče MCP1416 a výkonové N-MOSFET tranzistory IRFS4227 v pouzdře D2PACK. V tabulce (Tab. 5.2) jsou uvedeny základní parametry zvoleného tranzistoru.

Tab. 5.2 Parametry tranzistoru IRFS4227

Proud drainu	62 A
Napětí U_{DS}	200 V
Výkon	330 W
Odpor v sepnutém stavu	26 m Ω



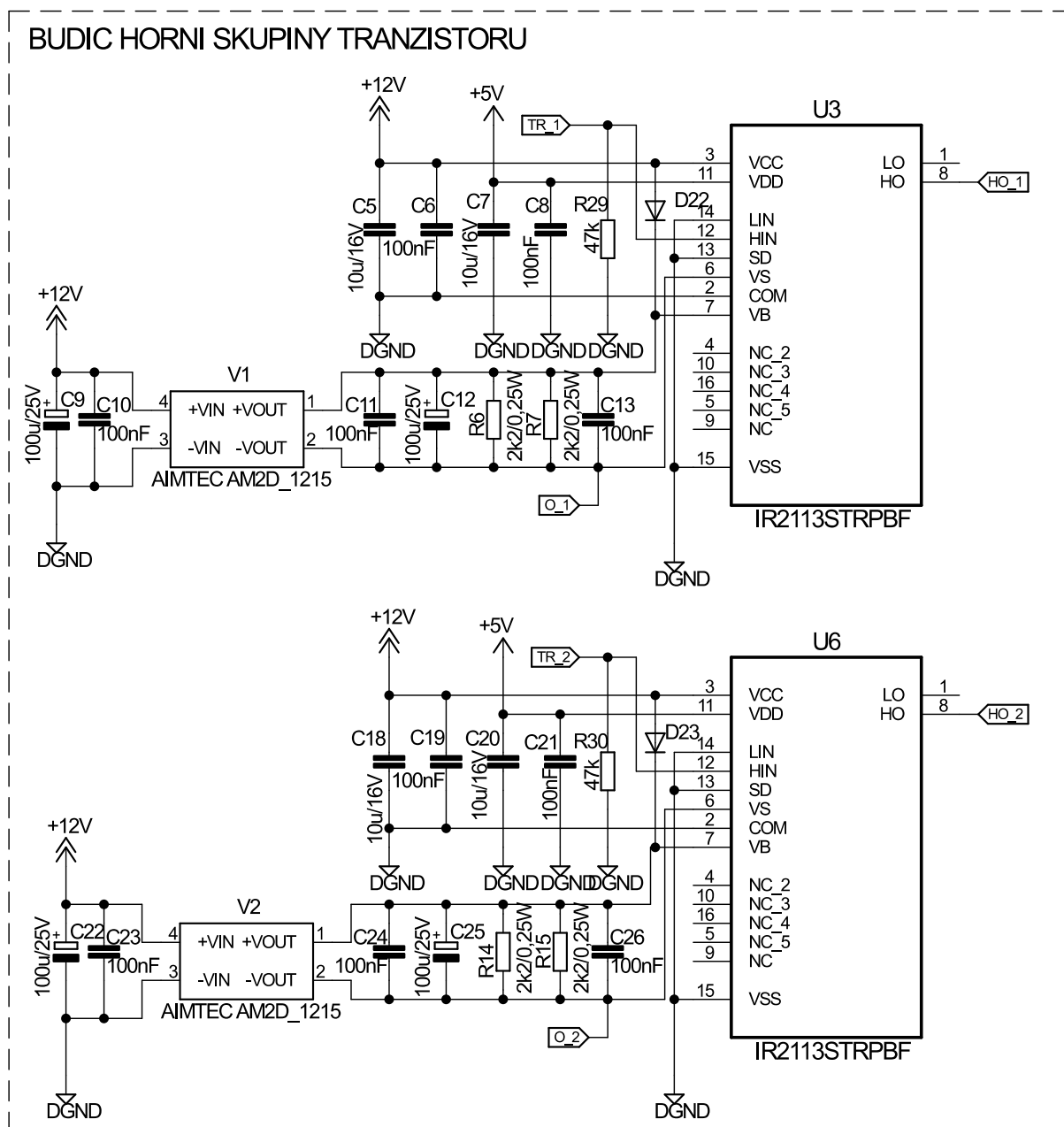
Obr. 5.6 Aktivace vybraného vstřikovače



Obr. 5.7 Řízení regulátoru tlaku paliva

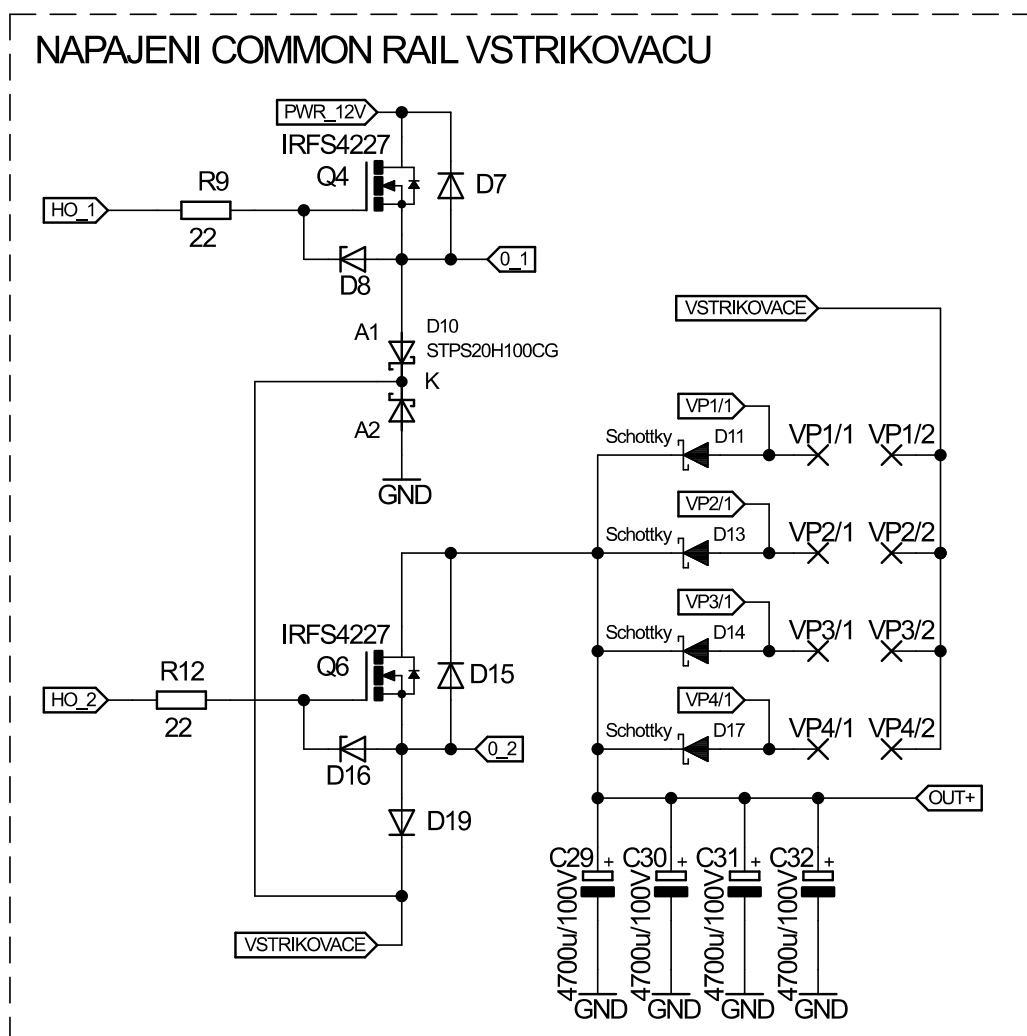
5.3.4 Spínání horní skupiny tranzistorů

Při spínání tranzistorů Q_4 a Q_6 je důležité volit budiče určené pro spínání horní skupiny tranzistorů, kde je řešené galvanické oddělení pomocí DC/DC konvertoru. Jako budič tranzistorů je volen typ IR2113. Tento problém nastává u spínání tranzistorů, které přivádějí na vstřikovač napětí ze zdroje 12 V, nebo zvýšené napětí 80 V ve fázi otevření.



Obr. 5.8 Budiče horní skupiny spínacích tranzistorů

5.3.5 Připojení vstřikovačů



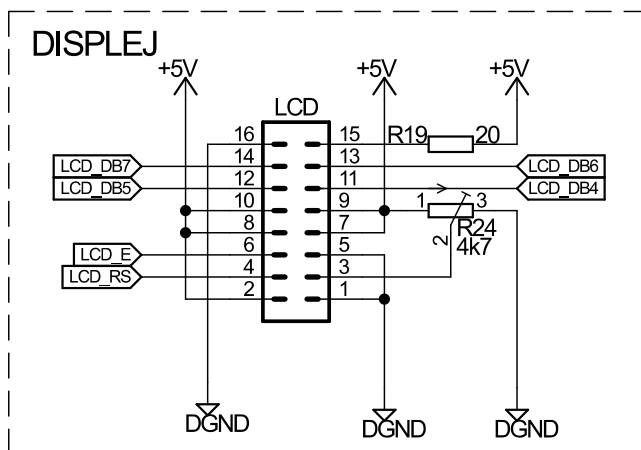
Obr. 5.9 Připojení vstřikovačů

Tranzistory Q_4 a Q_6 na uvedeném zapojení slouží pro přivedení napětí na vstřikovače. Baterie kondenzátorů C_{29} , C_{30} , C_{31} a C_{32} slouží pro uchování zvýšeného napětí 80 V. Kondenzátory jsou připojeny na usměrňující můstek.

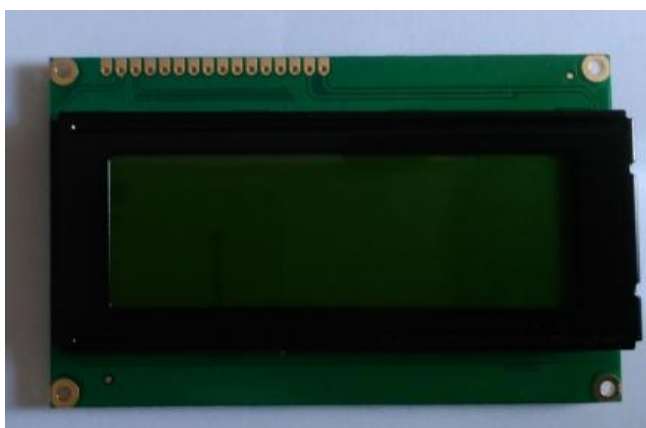
5.3.6 Uživatelské rozhraní

5.3.6.1 Zobrazovací jednotka

Pro zobrazení informací je použit alfanumerický LCD displej od výrobce RAYSTAR OPTRONIC. Displej má 4 řádky o délce 20 znaků. Řízen je řadičem ST0666, který je klonem často rozšířeného řadiče HD44780. Displej je připojen k mikrokontroléru pomocí šesti vodičů. V zapojení odpor R_{19} o hodnotě 20 Ω slouží k utlumení jasu a pomocí trimru R_{24} je možné měnit kontrast.



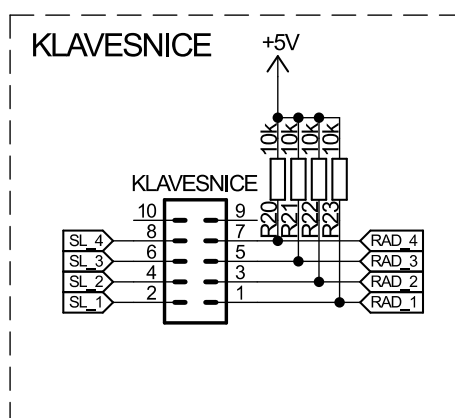
Obr. 5.10 Zapojení konektoru k připojení LCD displeje



Obr. 5.11 Použitý LCD zobrazovač

5.3.6.2 Ovládací jednotka

Pro snadnou instalaci je vybrána fóliová samolepicí klávesnice s maticovým uspořádáním o velikosti 4 řádky a 4 sloupce, kde celá sestava není plně využita, ale je počítáno s budoucím rozšířením.



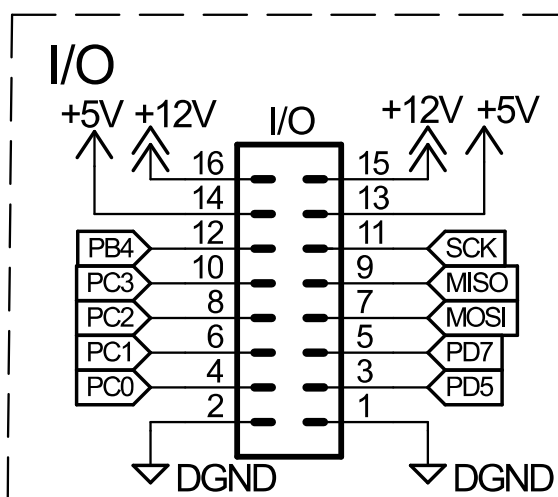
Obr. 5.12 Zapojení maticové klávesnice



Obr. 5.13 Použitá maticová klávesnice s rozměry 4x4

5.3.7 Připojení HW piezoelektricky ovládaných vstřikovačů

Pro budoucí rozšíření zařízení o testování piezoelektricky ovládaných vstřikovačů je připraven konektor obsahující 16 pinů. Pro budoucí propojení hardwaru (desky plošného spoje) je obsažen konektor s napájením 12 V a 5 V, PWM signálem od MCU, signálovou zemí DGND a dále obsahuje dalších 10 pinů od mikrokontroléru.



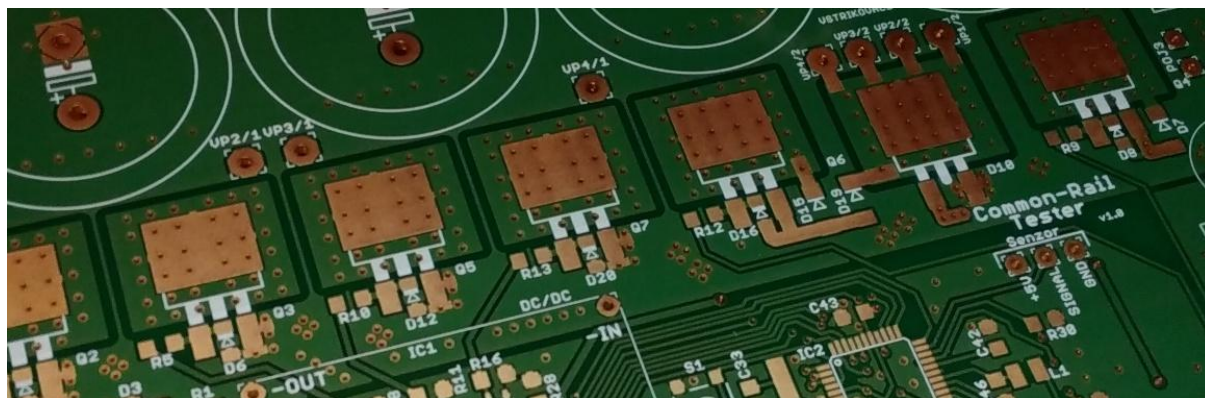
Obr. 5.14 Rozšiřující konektor pro propojení DPS pro piezoelektricky ovládané vstřikovače

6 Deska plošného spoje

Pro navrhované zařízení vznikly dvě desky plošných spojů. Návrh desky plošného spoje a následná realizace je zaměřena především na DPS obsahující výkonovou a řídicí část. Druhou deskou plošného spoje je realizována konektorová část určená pro umístění do panelu přístroje. Motivy a osazovací výkresy jsou obsaženy v příloze této práce.

6.1 DPS řídicí a výkonové části

Je realizována na dvouvrstevném plošném spoji. Použita je SMT montážní technologie. Z důvodu spínání vysokých proudů ve výkonové části je oddělena signálová a výkonová zem. Spojení zemí *GND* a *DGND* je realizováno rezistorem R_{31} (Obr. 5.2) s nulovým odporem, kterým jsou země propojeny v jednom bodě DPS. Ve výkonové části desky plošného spoje je též odkryta nepájivá maska z důvodu pocínování spojů určených pro spínaný proud.



Obr. 6.1 Chladící polygony pro MOSFET tranzistory (TOP)

Chlazení spínacích tranzistorů, u kterých jsou použity pouzdra D2PACK, je realizováno pomocí dvou polygonů vytvořených v obou vrstvách DPS, které jsou vzájemně propojeny pomocí prokůvů. Z důvodu vytvoření chladících polygonů není možné využít celý prostor desky ve vrstvě BOTTOM.

Připojení průmyslového zdroje napětí 12 V a toroidního transformátoru je realizováno pomocí pájecích plošek. Též připojení vstřikovačů, regulátoru tlaku paliva a snímače tlaku paliva je realizováno pomocí pájecích plošek. Periferní zařízení (LCD, klávesnice) jsou připojeny pomocí THT konektorů. Dalšími konektory jsou konektor o velikosti šesti pinů pro programování a konektor s šestnácti piny pro budoucí připojení DPS určené k řízení

piezoelektrických vstřikovačů. K osazení DC/DC měniče určeného na napájení regulátoru slouží propojovací lišty.



Obr. 6.2 DPS řídicí a výkonová část – vrstva BOTTOM

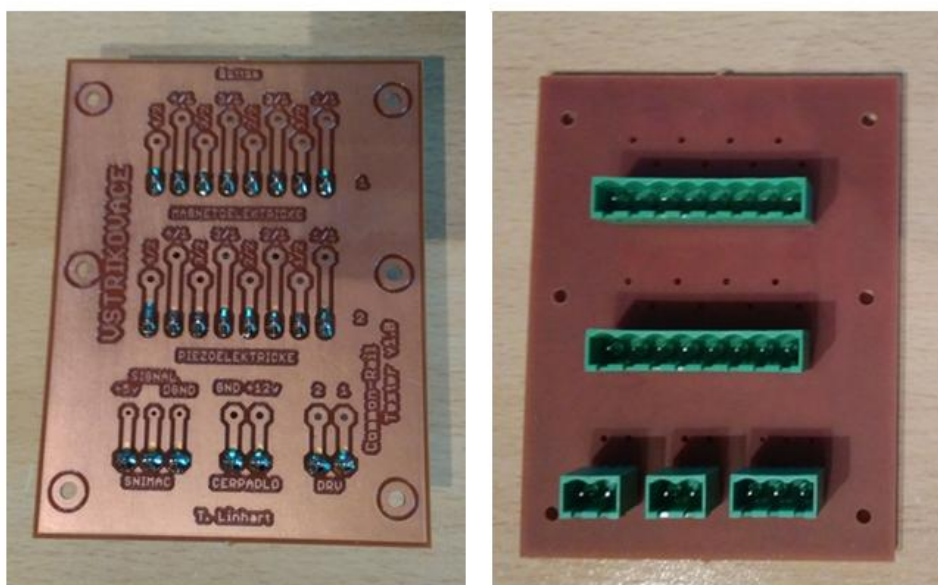


Obr. 6.3 DPS řídicí a výkonová část – vrstva TOP

Pro DPS je zvolen obvyklý sklo-epoxidový laminát FR-4 o tloušťce 1,5 mm, kde tloušťka mědi je 18 μm . Deska oboustranně obsahuje nepájivou masku a servisní potisk. Z důvodu stability povrchu je volena povrchová úprava ENIG.

6.2 DPS konektorů pro panel přístroje

Z důvodu propojení hlavního plošného spoje s okolím je realizována jednoduchá DPS obsahující pouze konektory pro propojení s regulátorem tlaku, čidlem tlaku, průmyslovým zdrojem napětí, dopravním čerpadlem a vstřikovači. Tato DPS je umístěna na panelu zařízení pomocí distančních sloupků. Z vytvořených otvorů na panelu vyčnívají pouze svorkovnice.

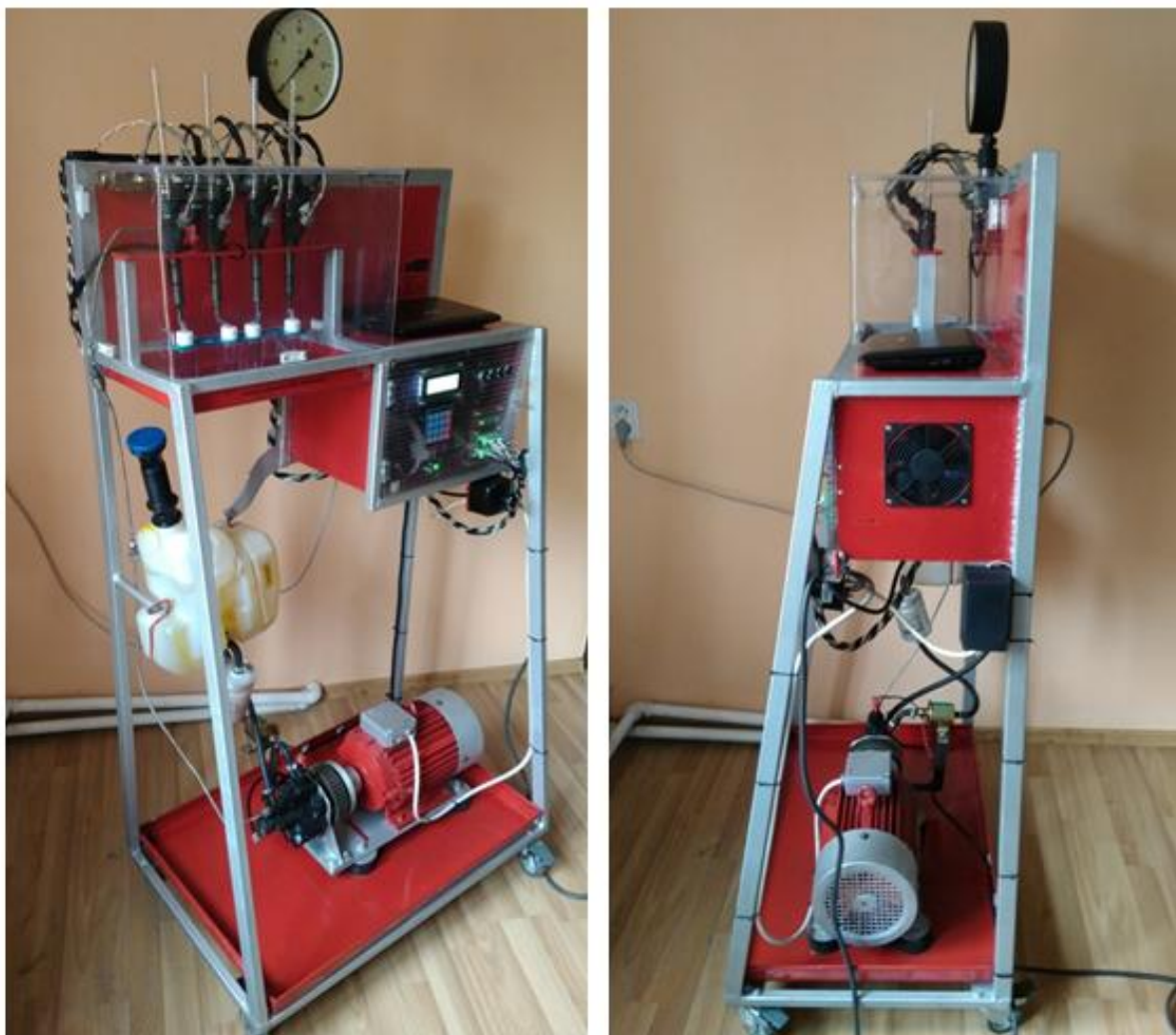


Obr. 6.4 DPS konektorové části

7 Mechanická konstrukce

Je důležitou součástí navrhovaného zařízení. Na mechanickou konstrukci je kladen vysoký důraz. Pro spojení částí palivového systému demontovaných ze vznětového motoru vzniká robustní konstrukce určená do dílenských prostorů. Konstrukce je postavena z ocelových jeleků 20x20x2 mm a 30x20x2 mm. K vytvoření pracovní plochy, boxu pro umístění elektroniky a zdroje napětí slouží ocelový plech o tloušťce 1,5 mm. Oblast pro usazení vstřikovačů je realizována z ocelové pásky 50x5 mm. Z důvodu zabránění úniku paliva při montáži a demontáži vstřikovačů je též z plechu vyrobena vana pro sběr paliva. Vysokotlaké čerpadlo je propojeno ocelovou hřídelí s pomocí gumových simerinků s asynchronním

motorem, který je umístěn ve spodní části zařízení. Nádržka s palivem je propojena pomocí elektrického čerpadla s vysokotlakým čerpadlem. Vysokotlaký palivový okruh je propojen pomocí tlakových, bezešvých, ocelových trubek. Oblast nízkého tlaku paliva je realizována pomocí nízkotlakých hadic o vnitřním průměru 6 mm a 8 mm. Pracovní prostor vstřikovačů je z důvodu testování paprsku uzavřen průhledným plexisklem o tloušťce 2 mm, které je jednoduše demontovatelné pomocí přichytných magnetů.



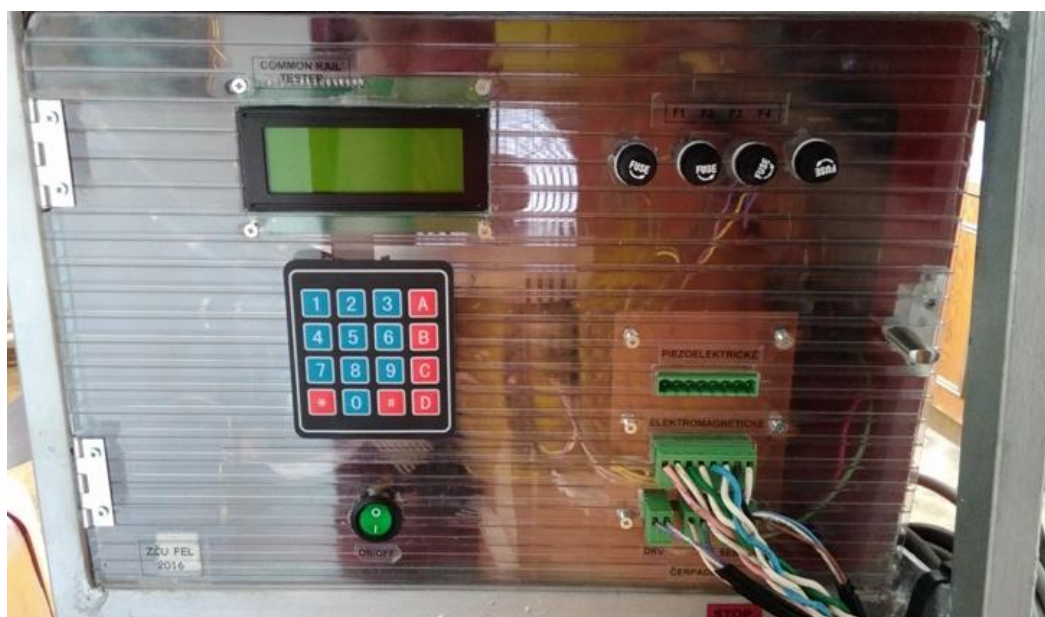
Obr. 7.1 Navržený Common–Rail tester

Pro zdroje a řídicí elektroniku je vytvořena schránka, která obsahuje aktivní chlazení pomocí ventilátoru 120x120 mm, který je umístěn v boční stěně zařízení. Přední panel je otevírací pro snadný přístup k elektronickému zařízení a je realizován pomocí vyztužené desky z plexiskla o tloušťce 8 mm. V panelu jsou umístěny konektory, pojistková pouzdra, tlačítko pro zapnutí a vypnutí přístroje a uživatelské rozhraní, které je tvořeno maticovou klávesnicí

a LCD displejem. Plexisklo je aplikováno především z důvodu snadné realizace otvorů pro uvedené komponenty a též je zvoleno z důvodu designu, kdy v dnešní době je též pěkný vzhled a design jedním z prodejních faktorů zařízení. Kombinace barev, stříbrné na rám zařízení a červená na větší plochy, je volena z důvodu vytvoření atraktivního vzhledu zařízení.



Obr. 7.2 Rozmístění komponentů



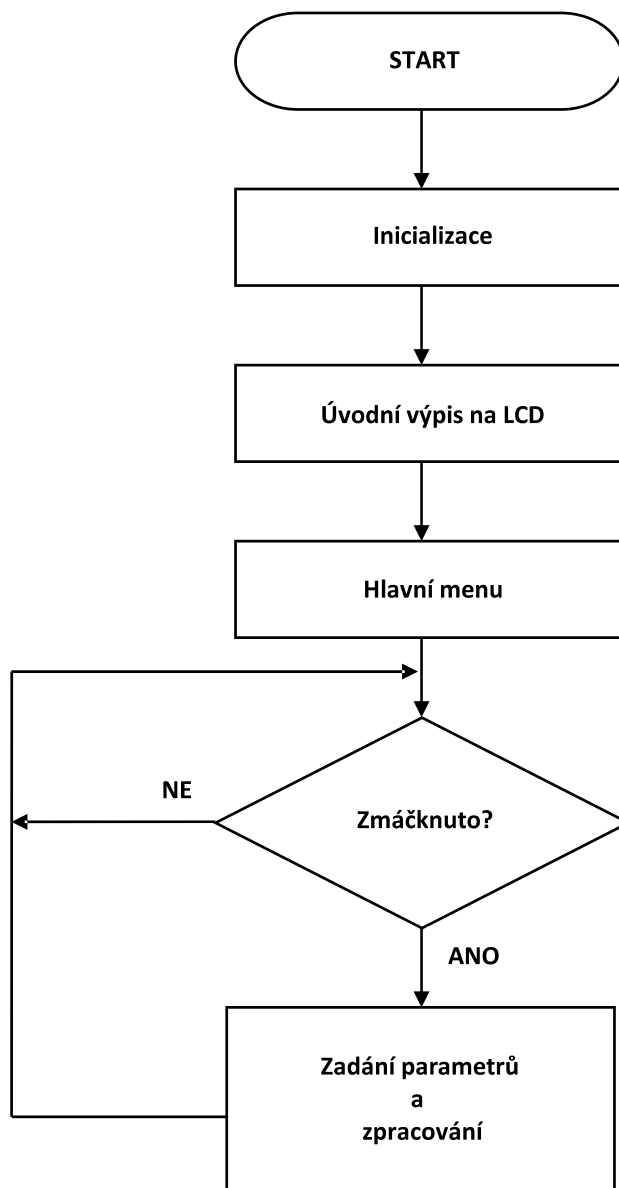
Obr. 7.3 Pohled na přední panel

Kompletní fotodokumentace vzniklého zařízení je uvedena v příloze I. V příloze G je také výkres čelního panelu a přílohou H je celkový výkres základní sestavy konstrukce.

8 Firmware

Program řízení a ovládání Common-Rail testeru je vytvořen v programovacím jazyce C ve vývojovém prostředí Atmel Studio 6.1. Výsledný program je součástí přílohy J.

8.1 Vývojový diagram



Obr. 8.1 Vývojový diagram

Po startu, inicializaci LCD, inicializaci A/D převodníku, aktivaci a nastavení směru pinů nastává úvodní výpis na LCD displej. Po úvodním výpisu je zobrazen na LCD vstup do uživatelského menu. Je-li stisknuta klávesa pro vybranou volbu, je tento úkol zpracován. Není-li stisknuta klávesa, čeká se na její zmáčknutí. Podrobné zadávání parametrů a zpracování požadavků je popsáno v kapitole 8.3 na obrázku (Obr. 8.11).

8.2 Popis řízení

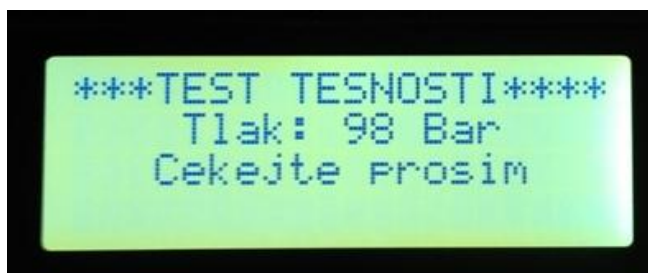
Uživatel má v menu možnost výběru testu vstřikovače. V nabídce je test množství paliva, test těsnosti a test tvaru paprsku. Tyto tři testy je možné realizovat prozatím na elektromagnetickém typu vstřikovače. Z nabídky je také možné vybrat úkol s názvem odvzdušnění systému. Tento proces je nutné vybírat při každé výměně kterékoliv součástky palivového okruhu. Proces odvzdušnění se především aplikuje po výměně testovaných vstřikovačů z důvodu odstranění vzduchu z palivového okruhu, který se objeví v okruhu mezi vstřikovačem a vysokotlakým čerpadlem při rozpojení palivového okruhu.

8.2.1 Odvzdušnění palivového okruhu

Po rozpojení palivového okruhu je nutné v hlavním menu vybrat možnost odvzdušnění. Po tomto výběru je uživatel upozorněn, aby otevřel palivový okruh na stanoveném místě dle vzniklé mechanické konstrukce. Otevření palivového okruhu je potvrzeno stiskem příslušné klávesy. Poté, co jsou vzduchové bubliny vytlačeny, je odvzdušnění ukončeno stiskem levé funkční klávesy.

Volbou odvzdušnění v hlavním menu a následným potvrzením pomocí stanovené klávesy je aktivována vlastní funkce pro obsluhu procesu odvzdušnění. Tato funkce má za úkol nastavit tlak v okruhu, který se periodicky mění mezi definovanými hodnotami, které jsou nastavené pomocí pole hodnot tlaků. Dochází neustále k zvyšování a snižování tlaku. Tato funkce využívá funkci pro řízení regulátoru tlaku paliva. Funkce je ukončena stisknutím definované klávesy. Po jejím ukončení je funkcí pro řízení regulátoru snížena střída PWM modulace a tím otevřen okruh zpětného vedení paliva, tudíž tlak se již dále nezvyšuje a okruh vysokého tlaku ke vstřikovačům je nyní odvzdušněn a připraven pro spuštění zvoleného testu, který je možné vybrat na následujícím výpisu obrazovky. Zvolený postup řízení při odvzdušňování palivového okruhu simuluje reálnou situaci, která vzniká na motoru při zásahu do okruhu vedení paliva.

8.2.2 Měření tlaku paliva



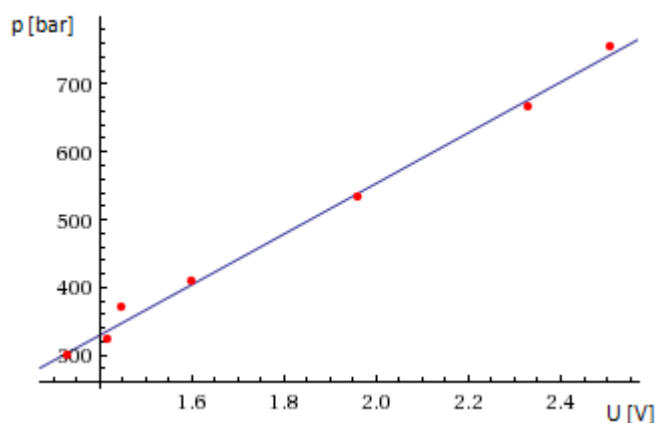
Obr. 8.2 Měření tlaku paliva pomocí A/D převodníku při volbě testu těsnosti

Tlak v palivovém okruhu je měřen pomocí senzoru tlaku s analogovou výstupní hodnotou v rozsahu 0 až 5 V. Měřená hodnota je zpracována pomocí A/D převodníku mikrokontroléru s desetibitovým rozlišením a externím referenčním napětím 5 V.

Pomocí lineární regrese naměřených parametrů tlaků v závislosti na napětí je stanovena rovnice pro výpočet tlaku ze vstupní hodnoty napětí, která je důležitá pro výpočet výstupní digitální hodnoty pro A/D převodník.

Ze vstupních hodnot, kterými jsou dvojice vyjadřující body v grafu, kde na pozici X je hodnota napětí ve voltech a na pozici Y tlak v jednotkách barů, je po zadání do matematického programu zjištěna rovnice vyjadřující závislost tlaku na napětí.

Pro vstupní hodnoty (1,33;298), (1,42;322), (1,45;370), (1,6;408), (1,96;533), (2,33;667), (2,51;753), které jsou vyznačené a proložené v grafu (Obr. 8.3), je dopočtena rovnice (1.1).



Obr. 8.3 Proložení naměřených bodů – Snímač tlaku [18]

$$p = 373,506 * U - 193,596 \quad (1.1)$$

Po vyjádření hodnoty vstupního napětí z rovnice pro výpočet výstupní digitální hodnoty pro A/D převodník (1.2) a následně dosazením této upravené rovnice (1.3) do získané rovnice (1.1) je získána výsledná rovnice (1.4), která je důležitá pro práci s hodnotou tlaku, která se mění dle změny napětí čteného ze senzoru tlaku.

$$ADC = \frac{U_{IN} * 2^N}{U_{REF}} = \frac{U_{IN} * 2^{10}}{5} \quad (1.2)$$

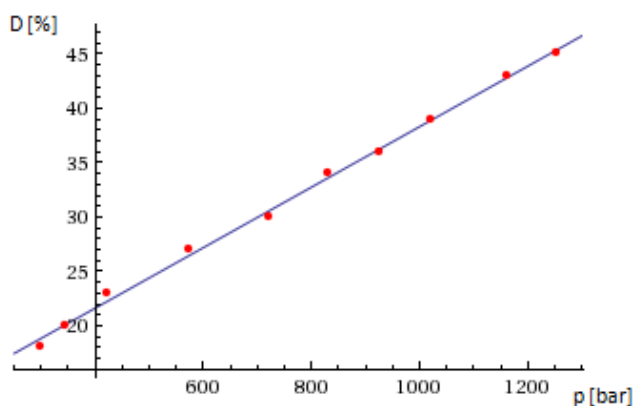
$$U_{IN} = \frac{ADC * 5}{2^{10}} = \frac{ADC * 5}{1024} \quad (1.3)$$

$$p = 373,506 * \frac{ADC * 5}{1024} - 193,596 \quad (1.4)$$

8.2.3 Řízení regulátoru tlaku paliva

Množství dodávky paliva je závislé na regulátoru tlaku, který zavřením okruhu zpětného vedení paliva zvýší tlak na vstřikovač a naopak otevřením tohoto okruhu tlak klesá. Regulátor tlaku je řízen pomocí PWM modulace změnou střídání s periodou signálu 1 ms.

Lineární regresí naměřených hodnot, kde na pozici X je měřený tlak v barech a na pozici Y střída v procentech, je stanovena rovnice. Ze vstupních hodnot (298;18), (346;20), (424;23), (573;27), (722;30), (832;34), (925;36), (1020;39), (1161;43), (1255;45), které jsou zobrazeny v grafu (Obr. 8.4), je získána výsledná rovnice (1.5) pro výpočet střídání dle obsluhou zadané hodnoty tlaku.



Obr. 8.4 Proložení naměřených bodů – DRV regulátor [19]

$$D = 0,0278123 * p + 10,485 \quad (1.5)$$

Hodnota porovnávacího registru pro PWM s rozlišením 8 bitů je v rozsahu 0 až 255, kde 0 odpovídá střídě 0 % a 255 střídě 100 %. Z toho důvodu je důležitý přepočet střídý na hodnotu OCR (1.6).

$$OCR = \frac{255}{100} * 0,0278123 * p + 10,485 \quad (1.6)$$

Dle zvolené hodnoty tlaku, který je zadán obsluhou, je poté nastavena střída, která nastaví regulátor tlaku a tím dochází k nastavení tlaku paliva.

Funkcí pro řízení regulátoru tlaku paliva je nastaven mód rychlé PWM modulace, předdělička 64, která je dopočítána pro dosažení periody PWM signálu 1 ms a výpočet OCR pro zadané hodnoty tlaku dle rovnice (1.6).

Zadávání hodnoty tlaku pomocí maticové klávesnice je v příslušné části zdrojového kódu ošetřeno, aby bylo možné zadávat pouze hodnoty tlaku ve stanoveném intervalu, který je možné měnit změnou konstanty v hlavičce kódu. Řešení této ochrany je takové, že pokud je zadána hodnota tlaku mimo předdefinovaný interval, tak na displej není vypsán typ klávesy pro pokračování ve výběru (Obr. 8.5) a tím není možné pomocí žádné z kláves nastavit hodnotu tlaku mimo definovaný interval a tím nenastane nastavení regulátoru a nelze pokračovat ve spuštění testu. Při zadání správné hodnoty, která leží v daném intervalu lze v testu pokračovat (Obr 8.6).



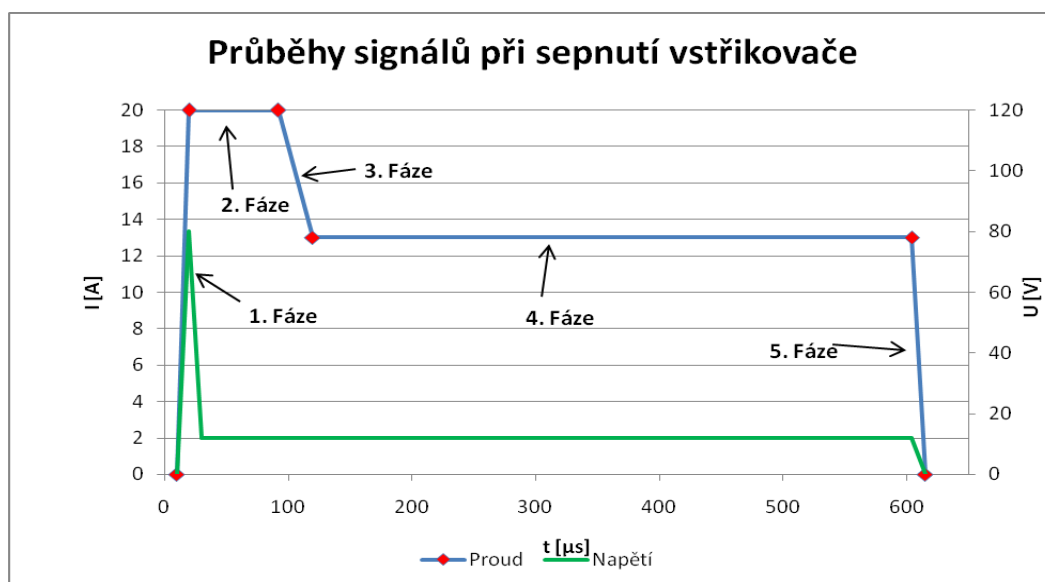
Obr. 8.5 Zadaná hodnota tlaku mimo stanovený interval – nelze potvrdit



Obr. 8.6 Správně zadaná hodnota tlaku – lze potvrdit pomocí OK

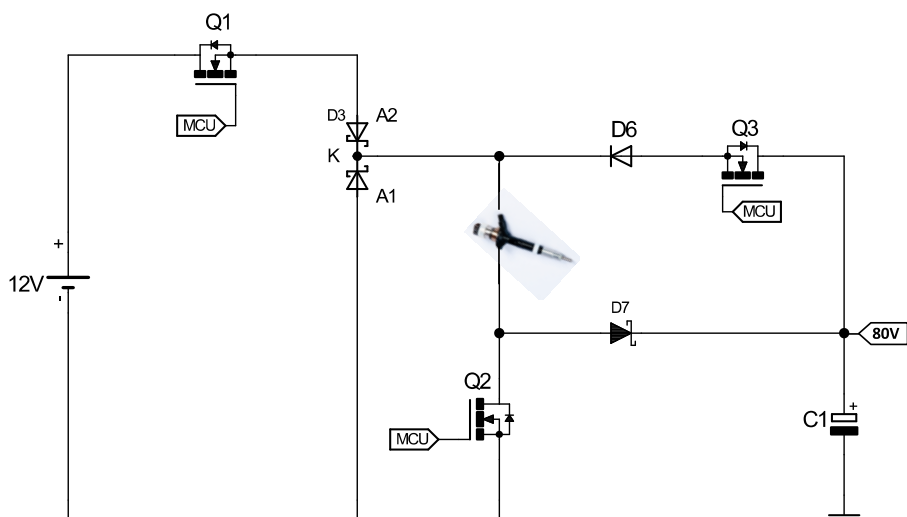
8.2.4 Řízení vstřikovače

Pro otevření vstřikovače je nutné vytvořit definovaný tvar průběhu signálu (Obr. 8.7). Pro dosažení potřebného tvaru signálu je proces spínání rozdělen do pěti spínacích fází. V každé fázi je mikrokontrolérem vykonáno rozlišné nastavení výstupních pinů, které ovládají šest spínacích tranzistorů, které jsou potřebné pro ovládání čtveřice vstřikovačů. Dvojice tranzistorů má za úkol připojení potřebného zdroje napětí a zbylé čtyři jsou určené pro výběr vstřikovače. Zapojení skupiny těchto tranzistorů je uvedeno v první kapitole a následně řešení průchodu signálu pro stanovení potřebného tvaru signálu je řešeno ve čtvrté kapitole.



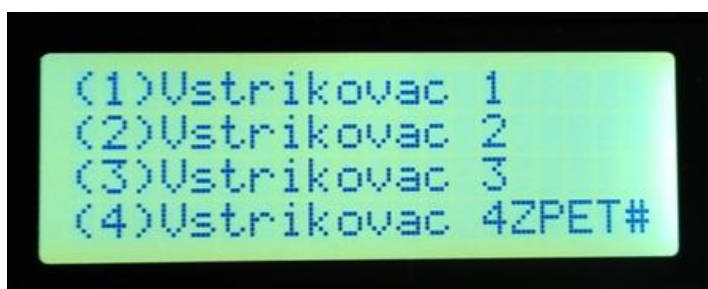
Obr. 8.7 Ideální tvary napěťového a proudového signálu pro ovládání vstřikovače

Výběrem požadovaného vstřikovače obsluhou v uživatelském menu je předáno do funkce pro sepnutí vstřikovače číslo vstřiku. Dle zadaného čísla se otevírá tranzistor, který přísluší pro vstřikovač číslo jedna až čtyři. V následujícím popisu je pro jednoduchost popisu vybrán vstřikovač číslo jedna, který je spínán tranzistorem Q_2 připojeným přes budič na vývod mikrokontroléru PA0. Tranzistor Q_1 , který je připojen na PD4, slouží pro přivedení napětí 12 V, které nahrazuje olověný akumulátor vozidla. Tranzistor Q_3 , připojený na PA6, slouží pro přivedení zvýšeného napětí pro rychlé otevření vstřikovače. Pin PD4 umožňuje mód PWM modulace, který je využit pro regulaci ve spínací fázi označené jako 2. fáze přitahovacího proudu a 4. fáze udržování proudu.



Obr. 8.8 Spínání jednoho ze čtyř vstřikovačů

V první fázi, kdy je potřeba rychle otevřít vstřikovač přivedením napětím od kondenzátoru C_1 , je pevně ve funkci nastavena mikrokontrolérem doba sepnutí tranzistoru Q_3 a v případě volby vstřikovače číslo 1 je pomocí switch case vybrán pin mikrokontroléru ovládající v tomto případě příslušný tranzistor Q_2 , kde výběr je realizován na základě čísla vstřikovače, který byl vybrán obsluhou v uživatelském menu (Obr. 8.9).



Obr. 8.9 Výběr vstřikovače v uživatelském menu

V další fázi dochází pouze k přepojení zdrojů, kdy je potřeba připojit ke vstřikovači zdroj napětí 12 V a regulovat nepřímo proud pomocí PWM na hodnotu 20 A. Při přepínání tranzistorů jsou využity ochranné časy pomocí instrukce pro zpoždění o jeden hodinový takt. Řízení třetí a páté fáze je podobné jako předešlé, tudíž je popis věnován rovnou čtvrté fázi spínání. Ve čtvrté fázi dochází k udržování proudu na hodnotě 13 A. Řešením je spínání příslušného tranzistoru pomocí PWM s pevně stanovenou hodnotou střídý. Doba trvání PWM odpovídá době trvání této fáze a je zadána uživatelem při spuštění testu. Zadávání tohoto času je ošetřeno proti možnosti zadání nevhodné hodnoty, která není v daném intervalu. Toto řešení je obdobné jako v případě zadávání tlaku.



Obr. 8.10 Nesprávně zvolená doba otevření – nelze potvrdit

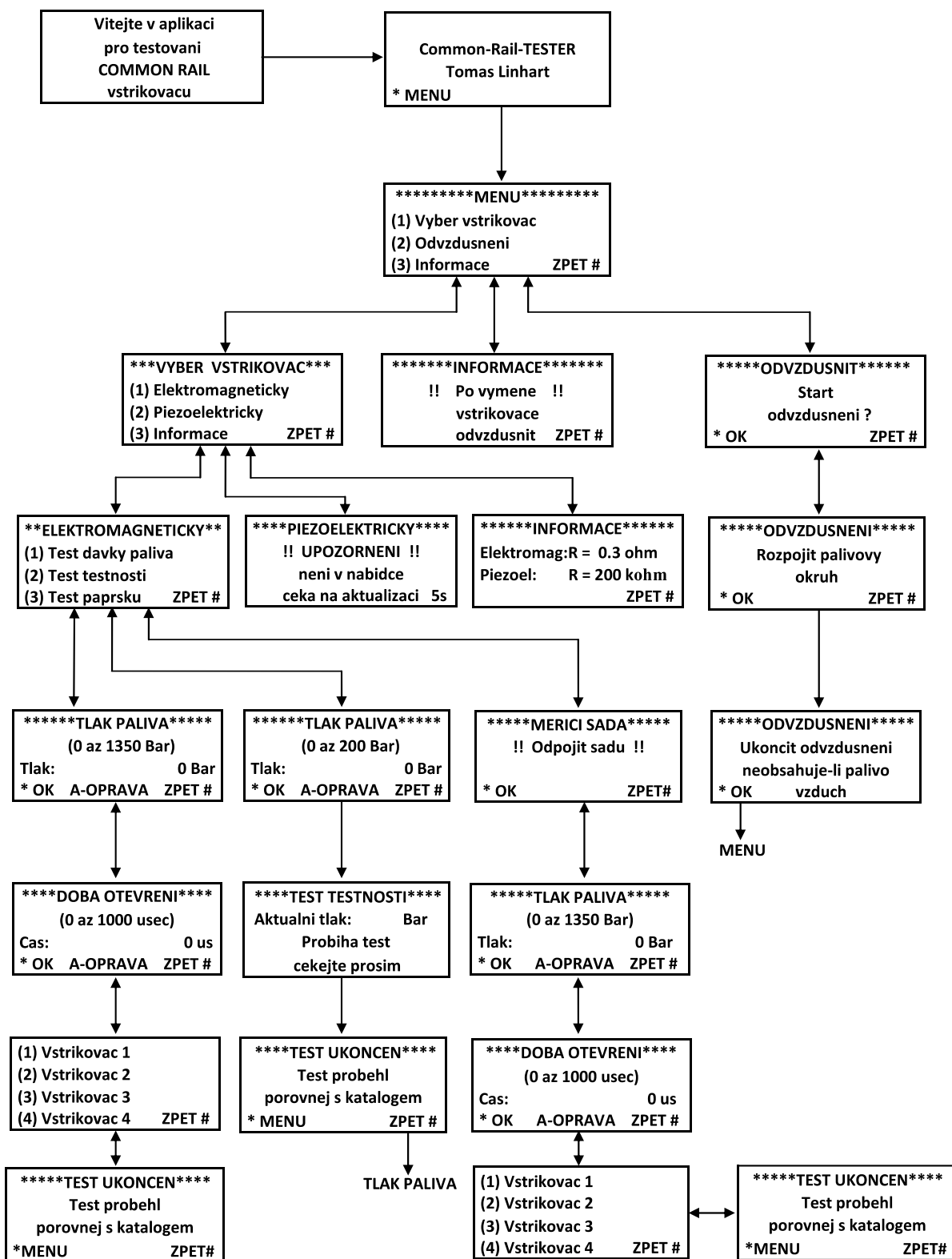


Obr. 8.10 Správně zadaná doba otevření – lze pokračovat

8.3 Popis ovládání

Pomocí již zmíněné maticové klávesnice je možný průchod v celém menu. Klávesy s číslicí jsou určeny pro zadávání hodnoty tlaku a doby otevření. Číselné klávesy jsou také použity pro potvrzení volby, u které je uvedena příslušná číslice. Z dostupných kláves obsahujících písmena je využita pouze klávesa s písmenem A, která slouží pro opravu například nesprávně či nevhodně omylem zadaných hodnot. Ostatní písmena jsou nevyužitá, ale tato velikost je volena z důvodu budoucího možného rozšíření. Intuitivně je zvolena hvězdička jako levá funkční klávesa, která slouží ve většině případů pro potvrzení volby a pokračování průchodu v menu. Pravou funkční klávesou je zvolen křížek, který má význačně funkci návratu zpět

v uživatelském menu. Průchod celým menu při různých zvolených volbách je zobrazen na následujícím obrázku (Obr. 8.11).



Obr. 8.11 Kompletní uživatelské menu a možný pohyb mezi jednotlivými volbami

9 Zkušební testy



Obr. 9.1 Výpis na LCD s výběrem testu vstřikovače

Pro vybraný vstřikovač je možné aplikovat jeden ze tří testů (Obr. 9.1). Pomocí vzniklého testovacího zařízení je realizováno několik testů pro vybraných šest vstřikovačů COMMON RAIL, které jsou demontované celkem ze třech motorů s různým kilometrovým nájezdem a různou kondicí, která se odvíjí především od kvality používaného paliva a jeho případným doplněním pomocí vhodného aditiva. Z testovaných vstřikovačů jsou tři vstřikovače plně funkční. U jednoho vstřikovače je porucha těsnosti elementu vstřikovací trysky. Další z vybraných vstřikovačů nepřesně dávkuje palivo, jelikož vnitřní opotřebení způsobuje vysoké vnitřní tření. Poslední testovaný vstřikovač je porušen z hlediska poškození otvorů vstřikovací trysky a také je poškozen ventil zpětného vedení paliva.



Obr. 9.2 Vstřikovače připravené k provedení testů

U vybraných vstřikovačů jsou provedeny zmíněné testy. Aplikovaný je test množství paliva pro stanovený tlak a dobu otevření vstřikovače, test těsnosti ventilu a test tvaru paprsku. Pro zapojení vstřikovačů do palivového okruhu testeru je použita sada, která obsahuje několik různých typů nástavců na vedení zpětného okruhu paliva vstřikovače. Tento měřicí set obsahuje také dvě sady nádobek pro měření dávky paliva. Pro měření těsnosti ventilu a tvaru paprsku je tato sada demontována a jsou použity klasické nádoby pro sběr paliva, které vstřikovač při testech vydává.



Obr. 9.3 Zapojení vstřikovačů a měřicí sady pro test tvaru paprsku



Obr. 9.4 Kufř s měřicí sadou a zapojení vstřikovačů při měření množství paliva

9.1 Test množství paliva

Cílem tohoto testu je porovnat množství paliva vydaného vstřikovačem s katalogovou hodnotou, která je uvedena pro daný vstřikovač v určitém rozmezí hodnot pro definovaný tlak paliva a dobu otevření vstřikovače.

Funkce je ověřena na čtveřici vstřikovačů typu 0445110085, kde pro hodnotu tlaku 800 barů a dobu otevření vstřikovače 590 μs , je udáno množství paliva v rozmezí 35,3 až 41,3 mm^3 . Aby bylo možné realizovat pohodlné vyhodnocení této prakticky zanedbatelné dávky paliva, která činní v dolní hranici 0,0353 ml, je tento test opakován několikrát po sobě a následně při vyhodnocení je naměřená dávka paliva podělena počtem opakování.



Obr. 9.5 Test množství paliva

U vstřikovače číslo 1, který je bez poruchy, je naměřeno 40 ml paliva. Vydělením počtem opakování je hodnota 0,040 ml a po převodu na mililitry krychlové dostáváme hodnotu 40 mm^3 , která je v rozmezí katalogové hodnoty a tímto lze ověřit, že daný vstřikovač je opravdu bez poruchy. Podobným postupem lze ověřit bezporuchovost u vstřikovače číslo 3, u kterého je výsledná hodnota 37,5 mm^3 nafty. Vstřikovač číslo 2 s poruchou těsnosti ventilu nelze prakticky úplně uzavřít, tudíž palivo je propuštěno neustále a lze již pohledem vidět, že dávka paliva přesahuje katalogovou hodnotu. Dávka paliva je 47,5 mm^3 , tento vstřikovač je porušen. Porucha je také u vstřikovače číslo 4, kde naměřené množství paliva je 25 mm^3 .

U tohoto vstřikovače je problém s těsností ventilu, který uzavírá zpětné vedení paliva. Zde ventil špatně těsní a tím nejde palivo k trysce, která dávkuje naftu do motoru, ale palivo putuje rovnou do přeřadu a poté zpět do palivové nádrže.



Obr. 9.6 Nadměrné množství paliva ve zpětném vedení

9.2 Test těsnosti ventilu

Tento test se zabývá těsností ventilu trysky dávkující palivo do válce motoru. Test těsnosti zpětného vedení paliva nelze tímto testem realizovat a je nutné ho realizovat předešlou metodou (Obr. 9.6).

Netěsnost ventilu trysky bývá častým a závažným problémem, jelikož v okamžiku, kdy by měl být vstřikovač plně zavřený, tak tomu tak není a palivo je stále propuštěno do motoru.

Při testu je odpojena měřící sada a pod jednotlivé vstřikovače jsou umístěny pouze nádoby, které slouží pro sběr paliva, které prosakuje z poškozeného vstřikovače, který vlivem poškození nelze úplně uzavřít. Testem je nastaven tlak paliva, který lze zadat v omezeném intervalu hodnot. Tlak je nastaven a následně ponechán v okruhu určitou dobu. Během této doby jsou vstřikovače uzavřeny a nemělo by docházet k úniku paliva.



Obr. 9.7 Test těsnosti

Test těsnosti je aplikován po delší dobu, aby bylo možné zaznamenat výsledky tohoto měření. Na obrázku (Obr. 9.7) jsou zobrazeny výsledky testu těsnosti a lze vidět, že uzavřeným vstřikovačem číslo 2 prosakuje palivo. Tento vstřikovač je nefunkční.

9.3 Test tvaru paprsku

Test se zabývá pouze tvarem paprsku bez ohledu na možný protitlak, který nastává ve válci motoru při kompresi. Tento tlak je přibližně 3 MPa dle kondice motoru. Palivo je vstřikováno do válce pod tlakem, který je přibližně rovný tlaku v zásobníku paliva. Ten je například při volnoběžných otáčkách motoru 29,8 MPa, tudíž vstřikovaný paprsek může být tímto protitlakem ovlivněn. Tato problematika je řešena již při konstrukci a tento test se touto problematikou nezabývá. Test tvaru paprsku řeší jen tvar z hlediska, zda je či není poškozená tryska, a tudíž zda vstřikovač dávkuje palivo rovnoměrně v okolí vstřikovací trysky.

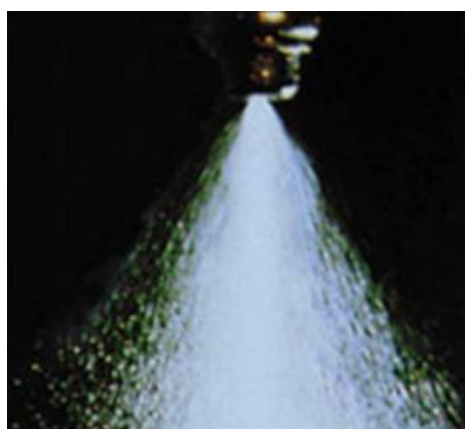
Při tomto testu je obsluhou možné vybrat požadovanou hodnotu tlaku a délku doby otevření vstřikovače. Po spuštění testu je důležitá kontrola paprsku obsluhou. Správný tvar paprsku by měl rozprášit palivo do všech směrů kolem trysky vstřikovače. Obsluha musí kontrolovat, zda palivo není dávkováno pouze v některé oblasti trysky. Takový vstřikovač má poškozené otvory trysky, nebo pouze mohou být ucpané nečistotami obsaženými v palivu, nebo nečistotami, které jsou produkovány vlivem špatného spalování. To bývá nejčastěji způsobené nekvalitním palivem.

Počet otvorů trysky bývá u vstříkovače 5 až 10 dle konkrétního typu. Testovaný typ vstříkovače obsahuje 6 otvorů. Již pouhým pohledem na nečistoty usazené na vrcholu vstříkovací trysky je možné tvrdit, že předložený vstříkovač by mohl mít ucpané otvory trysky.



Obr. 9.8 Zanesený vrchol trysky testovaného vstříkovače

Na obrázku (*Obr. 9.8*) je vidět zanesený vrchol testovaného vstříkovače vlivem špatného spalování. Tento vstříkovač po spuštění testu tvaru paprsku dávkoval palivo pouze v levé polovině trysky, tudíž lze prohlásit, že z celkových šesti otvorů trysky je polovina otvorů zanesená, proto je palivo dávkováno pouze částí trysky. Tento vstříkovač nevyhověl testu tvaru paprsku.



Obr. 9.9 Požadovaný tvar paprsku paliva nepoškozeného vstříkovače [7]

Závěr

Cílem této diplomové práce bylo prostudovat problematiku vstřikovacího systému COMMON RAIL a následně vytvořit zařízení určené pro řízení a testování vstřikovačů. Po zhotovení popisovaného zařízení byla jeho funkce ověřena realizací testů u vybraných vstřikovačů.

První část práce je věnována teoretickému popisu, který vystihuje principy a funkce jednotlivých komponentů. Popsány jsou zde i poruchy systému, testy vstřikovačů a uveden je rovněž i základní přehled dostupných prostředků na trhu včetně ceny, které jsou určeny pro realizaci testů systémů Common rail. Informace o struktuře a řízení tohoto palivového systému jsou v literatuře obtížně dostupné a zároveň byly velmi důležité pro realizaci obvodového řešení a následně k zhotovení firmwaru pro řízení vstřikovačů. Potřebné informace pro realizaci testeru byly získány řadou měření na osobních vozidlech se vznětovým motorem Common rail a to pomocí OBD diagnostiky, kterou byly získány provozní parametry, které byly doplněny naměřenými průběhy pomocí osciloskopu s využitím proudové a též napěťové sondy.

Druhá část popisuje vlastní návrh testovacího zařízení. Tato část je věnována popisu struktury navrhovaného zařízení. Zde je popsáno blokové schéma navrženého zařízení a jednotlivé spínací fáze pro otevření vstřikovače. Následuje část zabývající se obvodovým řešením, ve které jsou rozebrány jednotlivé bloky. Po popisu obvodového řešení byl popsán návrh desky plošného spoje výkonové a řídicí části. Dalším bodem je pouze základní popis mechanické konstrukce, která je důležitou součástí pro realizaci testů vstřikovačů. Po popisu mechanické konstrukce byl popis věnován návrhu firmwaru, kde bylo vytvořeno uživatelské rozhraní pro komunikaci s obsluhou zařízení. Dále je řešeno řízení vstřikovačů, měření tlaku paliva a řízení tlaku paliva. V poslední části jsou popsány testy, které byly spuštěny na zkonstruovaném testovacím zařízení a zároveň které ověřují funkčnost zařízení.

Zkonstruovaný tester vstřikovacích trysek Common rail je schopný provést tři testy u elektromagnetických vstřikovačů. Mimo těchto testů má uživatel možnost provést proces odvodu palivového okruhu po výměně testovaných vstřikovačů a v každé části menu je možnost volby informací, které obsahují návod pro danou volbu. Výběr z nabídky menu,

zadávaní hodnot tlaků a časů je umožněno pomocí klávesnice a čtyřřádkového LCD displeje. Provedeným měřením byla ověřena funkčnost navrženého systému pro testování vstřikovačů.

O přínosu této práce lze uvažovat v souvislosti s demonstrací systému Common rail, který by mohl být například přiblížen studentům na zkonstruovaném zařízení v rámci výuky elektronických automobilových systémů. Avšak hlavním záměrem této práce bylo vytvořit zařízení pro testování vstřikovačů, které bude mít uživatelsky přívětivé ovládání a svou robustností bude vhodné do dílenského prostředí, kde bude sloužit pro hledání závad v palivovém systému vozidel a tím bude vhodně doplňovat diagnostické zařízení.

Námětem pro budoucí rozšíření je především doplnit řídicí obvody pro zkoušku piezoelektrických vstřikovačů. To je považováno za důležité doplnění testeru. Pro tento rozšiřující hardware jsou připraveny piny mikrokontroléru a aktuální deska plošného spoje pro elektromagnetické vstřikovače obsahuje konektory pro budoucí propojení. Také firmware je připraven pro rozšíření a v nabídce menu již je připravená volba pro test piezoelektrického vstřikovače. Zajímavým rozšířením by bylo automatizovat měření množství paliva a také vyhodnocení tvaru paprsku, avšak tento krok rozšíření již není považován za důležitý, jelikož pro chod zařízení je důležitá neustálá přítomnost obsluhy a případné řešení by bylo neekonomické.

Výsledkem této diplomové práce je funkční a ověřený vzorek testeru vstřikovacích trysek, který je první verzí. U další verze by bylo vhodné při návrhu realizovat některé úpravy, které vznikly až při ožívání této první verze testovacího zařízení. Vzniklé zařízení je funkční a bude využito v praxi.

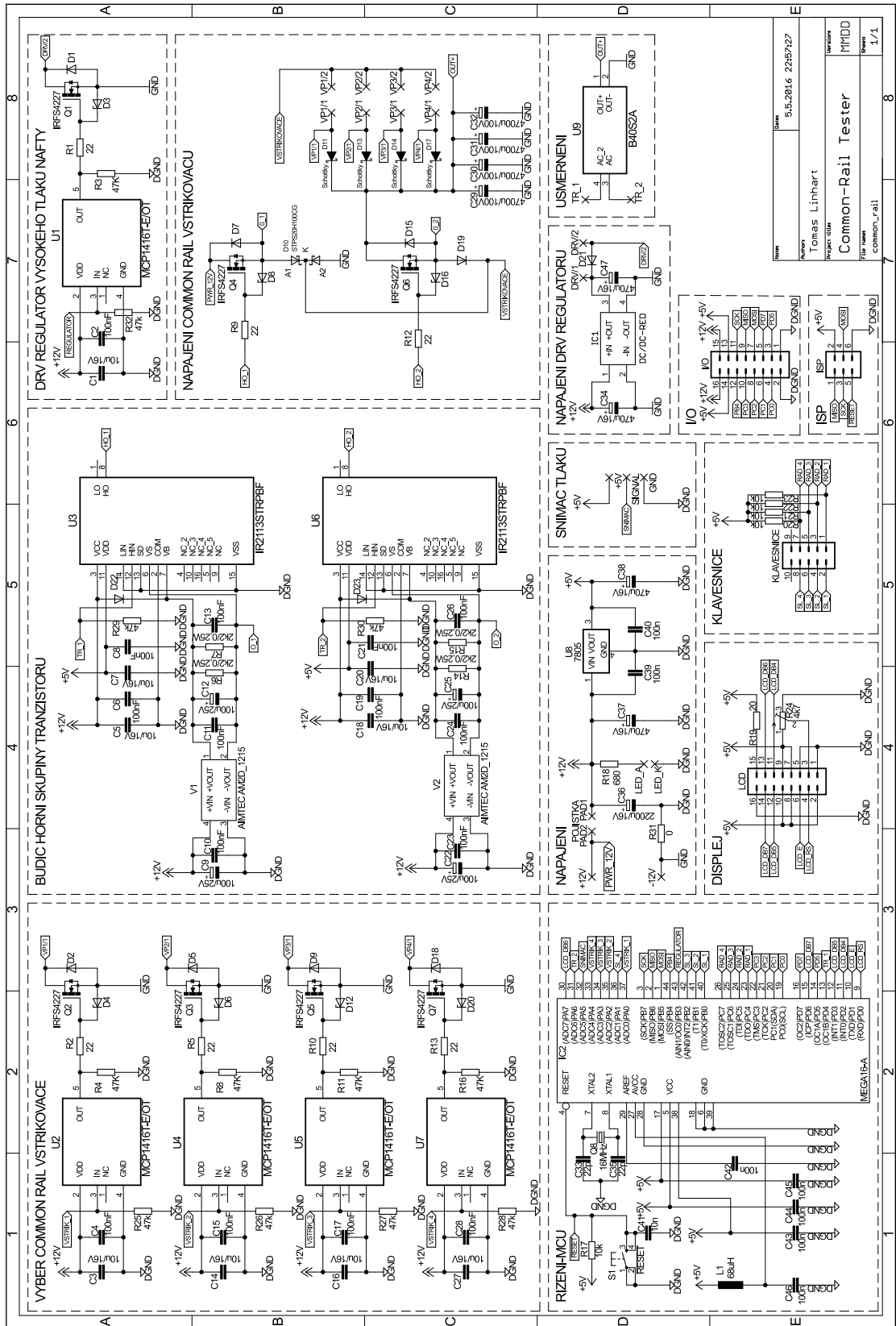
Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] *Příručka - Vznětové motory 1,2; 1,6 a 2,0: Škoda Service*. Mladá Boleslav: ŠKODA AUTO a.s., 2010.
- [2] *Common rail: Wikipedia*. [online]. 2015 [cit. 2015-11-21]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Common_rail>
- [3] *Systém vstřikování s tlakovým zásobníkem Common Rail pro vznětové motory*. Praha: Robert Bosch, 2005. ISBN 80-903132-7-2.
- [4] *Common rail: DieselSystem*. [online]. 2015 [cit. 2015-11-22]. Dostupné z: <<http://www.dieselsystems.cz>>
- [5] *Diagnostika Common rail: Auto PROFITEAM*. [online]. 2015 [cit. 2015-11-28]. Dostupné z: <<http://www.autoprofiteam.cz/diagnostcl.php>>
- [6] *Electric Fuel Pump: Ebay*. [online]. 2015 [cit. 2015-11-28]. Dostupné z: <<http://www.ebay.com/itm/12V-Electric-Fuel-Pump-Low-Pressure>>
- [7] *Palivová soustava vznětového motoru: Učební příručka*.
- [8] *Opravy vstřikovačů: AUTO. CZ*. [online]. 2015 [cit. 2015-12-29]. Dostupné z: <<http://www.auto.cz/technika/>>
- [9] *Automotive Handbook Robert Bosch GmbH*. Plochingen: Wiley, 2010. ISBN 978-1-119-97556-4
- [10] *Common rail: DODGE-CLUB*. [online]. 2015 [cit. 2015-12-30]. Dostupné z: <<http://cs.dodge-club.net/search.php?commonrail>>
- [11] *Common rail injector - piezo: DITEX*. [online]. 2016 [cit. 2016-01-07]. Dostupné z: <<http://www.autoditex.com/Knowledge-base/index.html#CRIP>>
- [12] *Common rail - ceny: Heureka*. [online]. 2016 [cit. 2016-01-30]. Dostupné z: <<http://www.heureka.cz/?h%5Bfrazek%5D=common+rail+&f=22>>
- [13] *Tester vstřikovačů EPS200: Bosch-Automotiv*. [online]. 2016 [cit. 2016-02-03]. Dostupné z: <https://cz-ww.bosch-automotive.com/cs/products_workshopworld/testing_equipment_products/diesel_system_testing_testingequipment_products/eps_200/eps_200_dieselsystem_testingequipment_products_workshopworld>
- [14] *Common rail PQ 1000: UNIVER*. [online]. 2016 [cit. 2016-01-30]. Dostupné z: <<http://univer.cz/pristroj-pro-diaagnostiku-vstrikovacu-vznetovych-motoru-common-rail-pq-1000-id1849>>
- [15] *ATmega16: Atmel*. [online]. 2016 [cit. 2016-02-06]. Dostupné z: <http://www.atmel.com/Images/Atmel-8154-8-bit-AVR-ATmega16A_Datasheet.pdf>

-
- [16] *Common rail diesel fuel systems: SlideShare*. [online]. 2016 [cit. 2016-02-18]. Dostupné z: <<http://www.slideshare.net/amgadradhihadi/common-rail-diesel-fuel-systems>>
- [17] *Firemní literatura Peugeot*
- [18] *WolframAlpha: Linear regression*. [online]. 2016 [cit. 2016-04-2]. Dostupné z: <[http://www.wolframalpha.com/input/?i=linear+regression+\(1.33,+298\),\(1.42,+322\),\(1.45,+370\),\(1.6,+408\),\(1.96,533\),\(2.33,667\),\(2.51,753\)](http://www.wolframalpha.com/input/?i=linear+regression+(1.33,+298),(1.42,+322),(1.45,+370),(1.6,+408),(1.96,533),(2.33,667),(2.51,753))>
- [18] *WolframAlpha: Linear regression*. [online]. 2016 [cit. 2016-04-2]. Dostupné z: <[http://www.wolframalpha.com/input/?i=linear+regression+\(298,+18\),\(346,+20\),\(424,+23\),\(573,+27\),\(722,30\),\(832,34\),\(925,36\),\(1020,+39\),\(1161,43\),\(1255,45\)](http://www.wolframalpha.com/input/?i=linear+regression+(298,+18),(346,+20),(424,+23),(573,+27),(722,30),(832,34),(925,36),(1020,+39),(1161,43),(1255,45))>

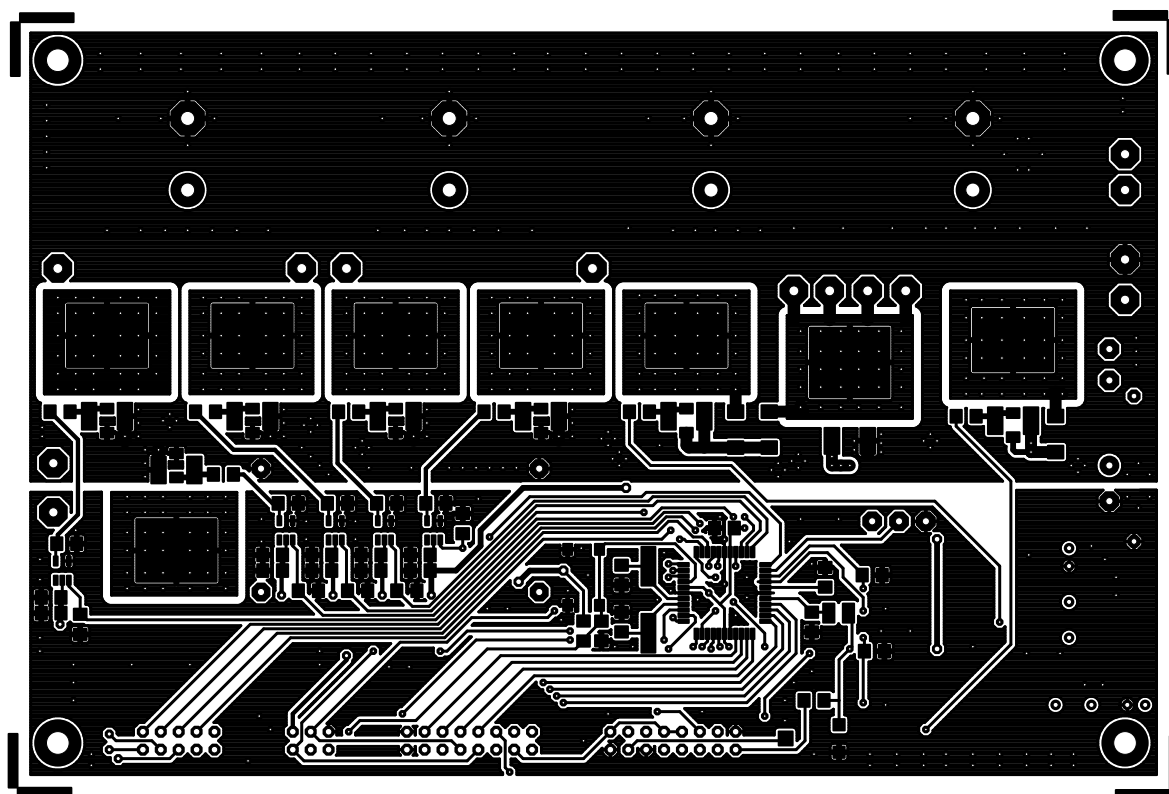
Přílohy

Příloha A – Kompletní schéma zapojení

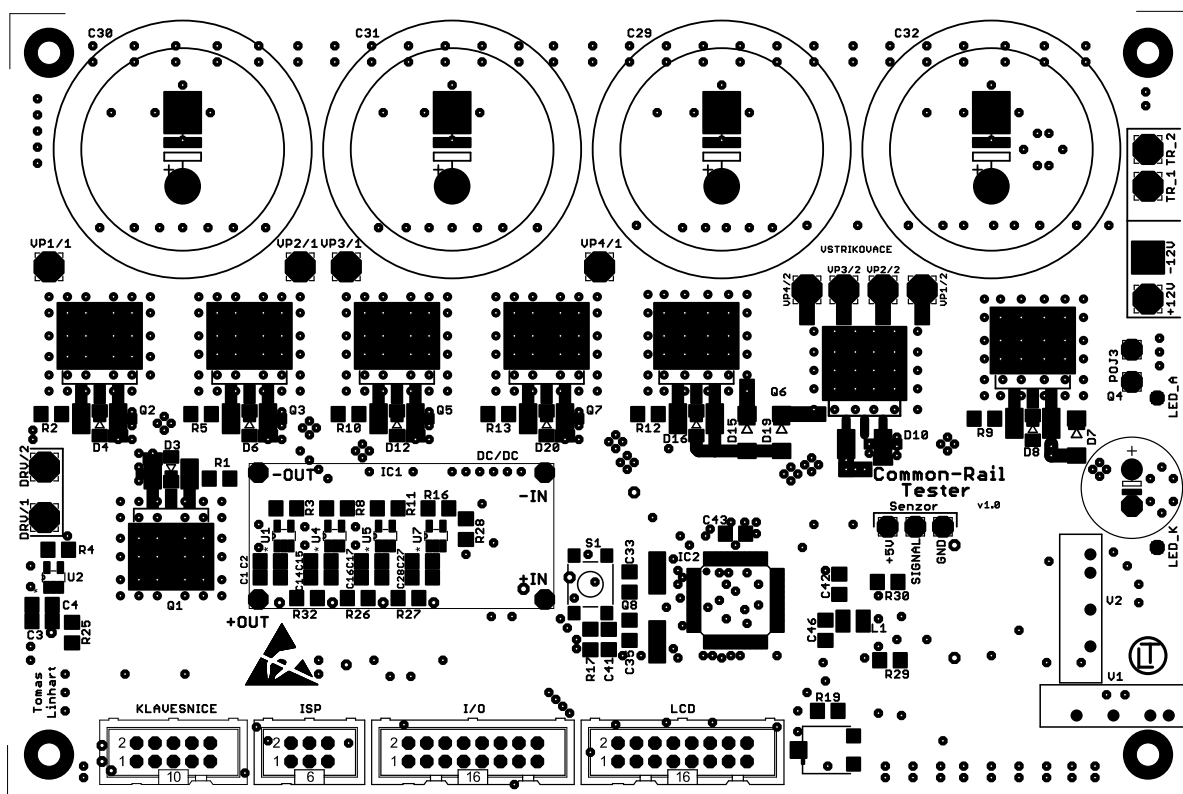


Obr. A.1 Kompletní schéma zapojení

Příloha B – DPS výkonové a řídicí části (předloha a osazovací výkres)-TOP

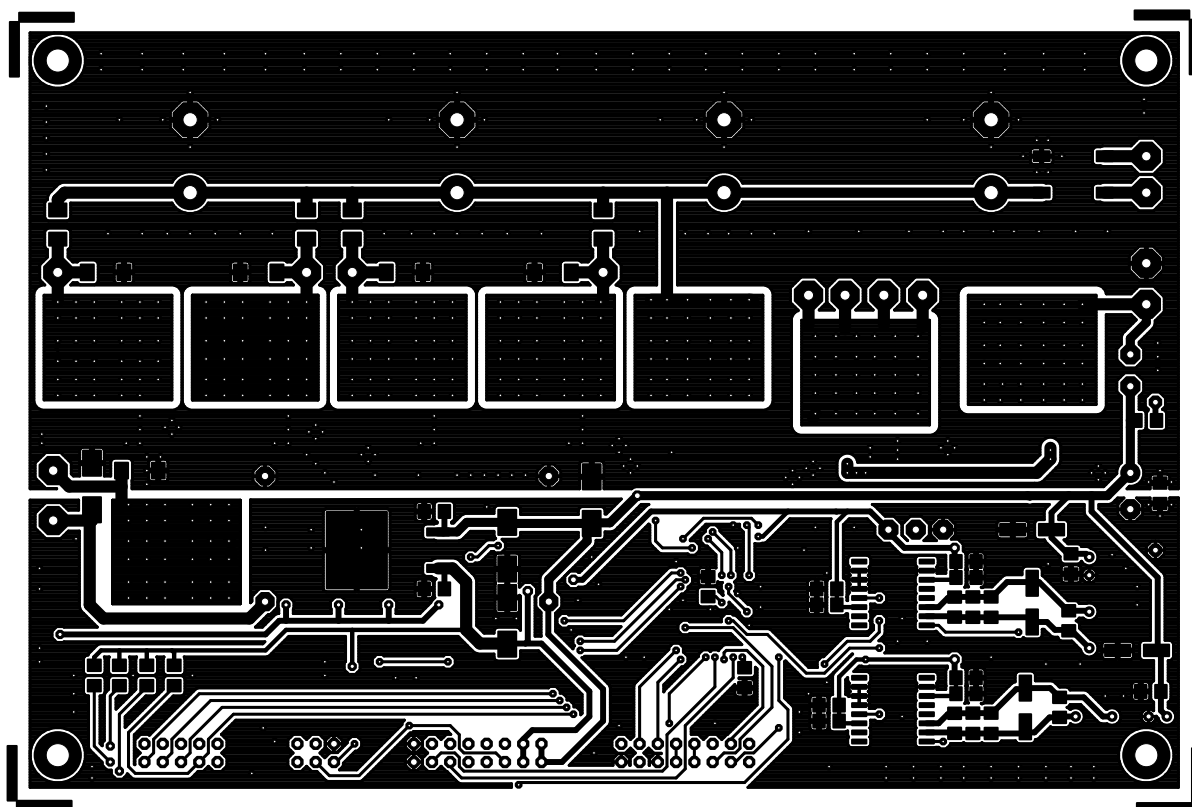


Obr. B.1 Předloha DPS výkonové a řídicí části - TOP

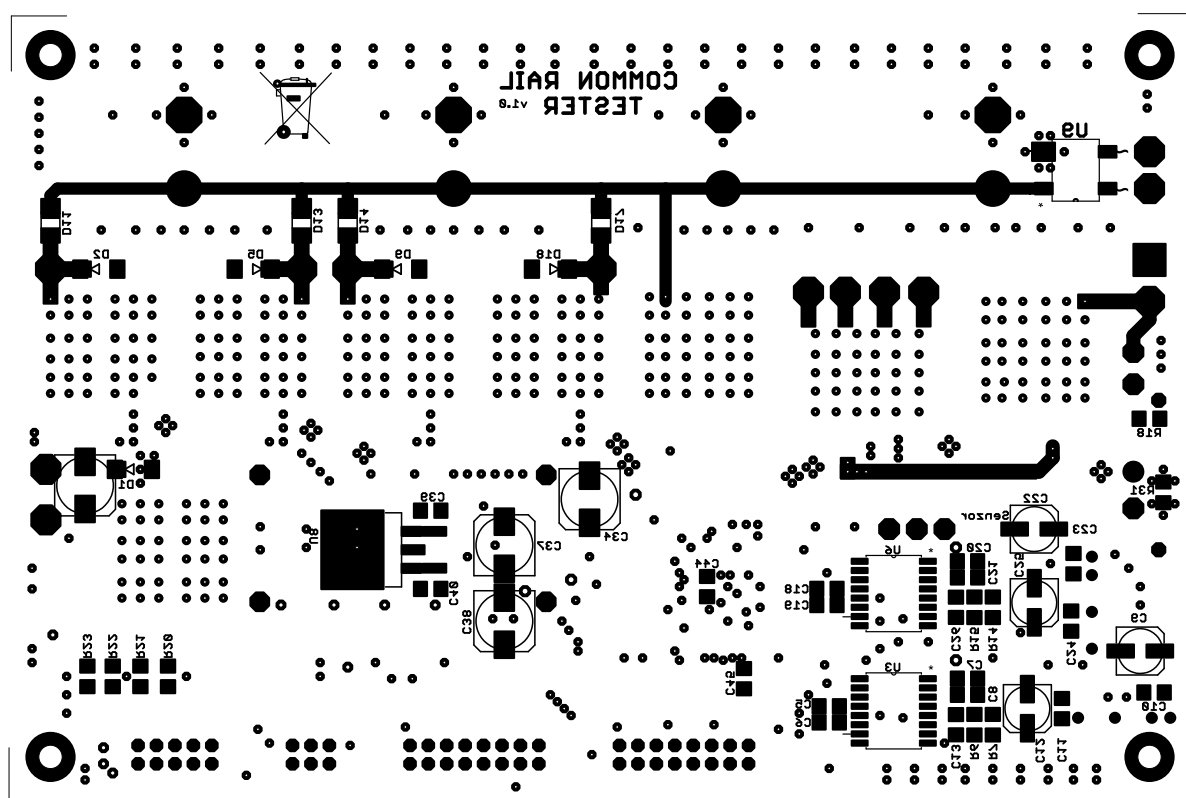


Obr. B.2 Osazovací výkres DPS výkonové a řídicí části - TOP

Příloha C – DPS výkonové a řídicí části (předloha a osazovací výkres)-BOTTOM

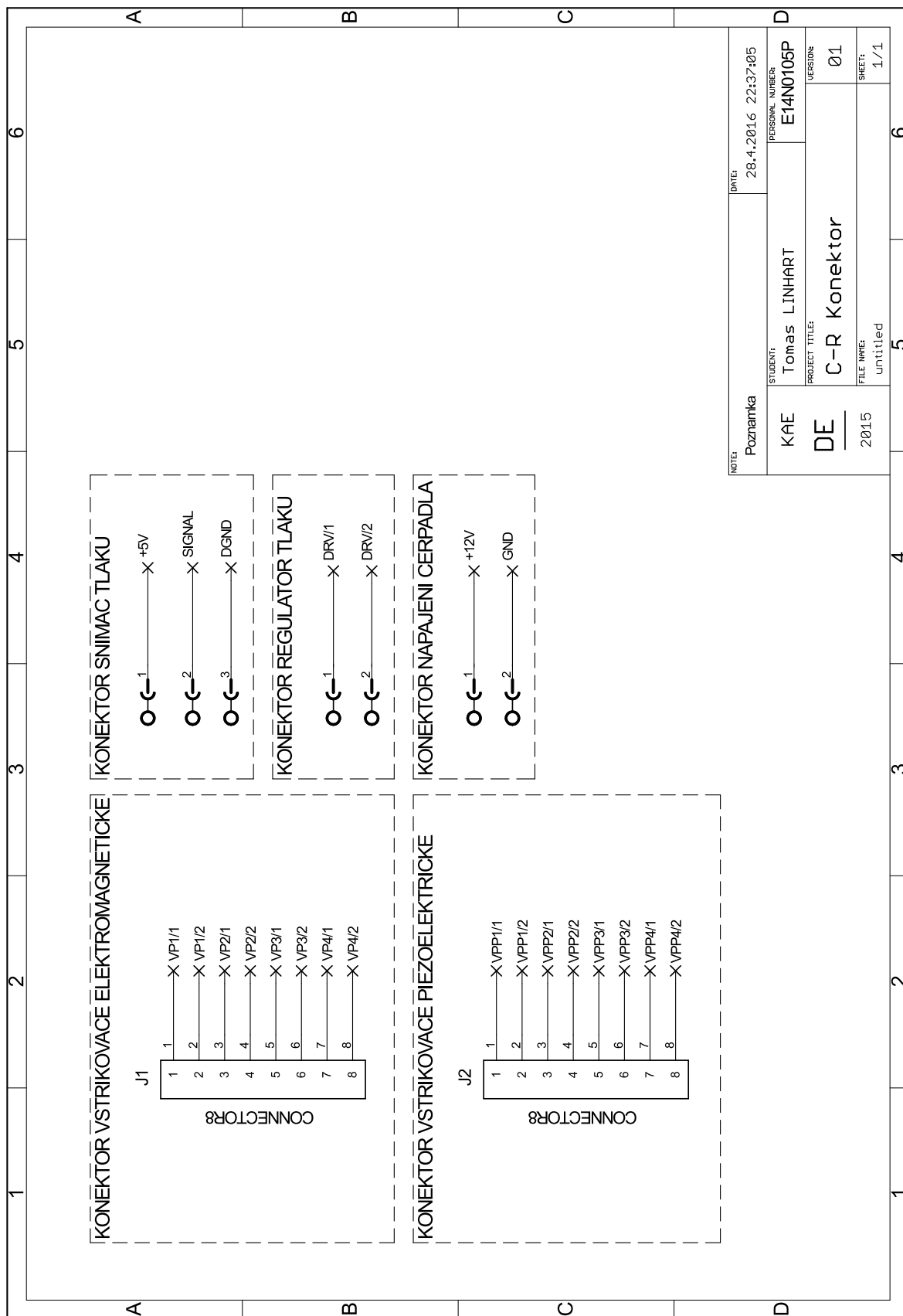


Obr. C.1 Předloha DPS výkonové a řídicí části - BOTTOM



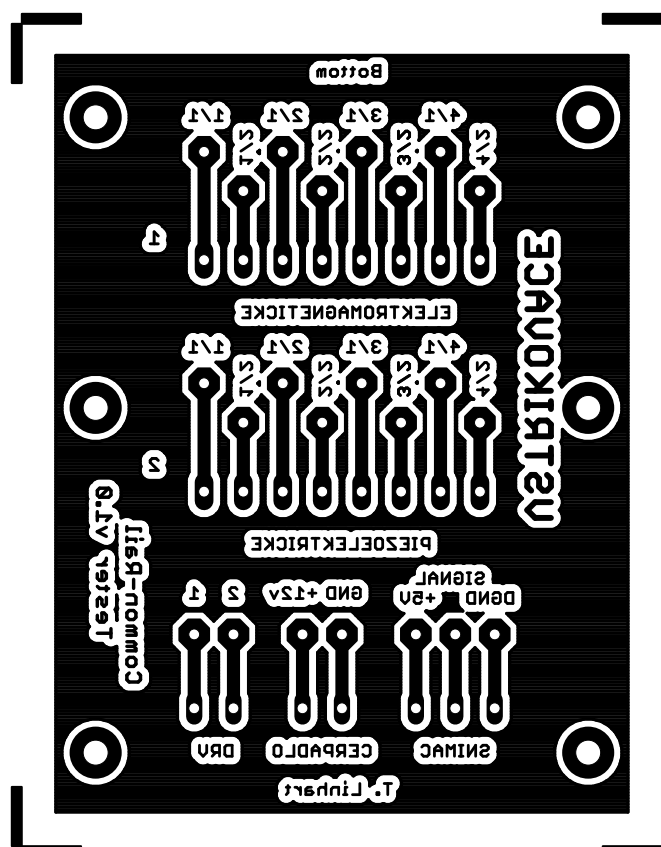
Obr. C.2 Osazovací výkres DPS výkonové a řídicí části - BOTTOM

Příloha D – Schéma zapojení konektorů

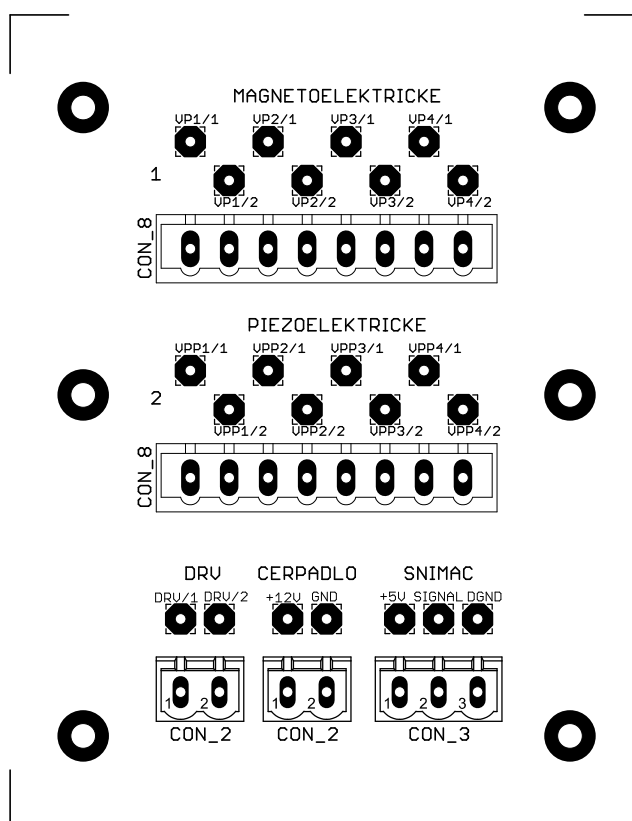


Obr. D.1 Zapojení konektorů na čelní panelu zařízení

Příloha E – DPS konektorů



Obr. E.1 Předloha DPS konektorové části



Obr. E.2 Osazovací výkres DPS konektorové části

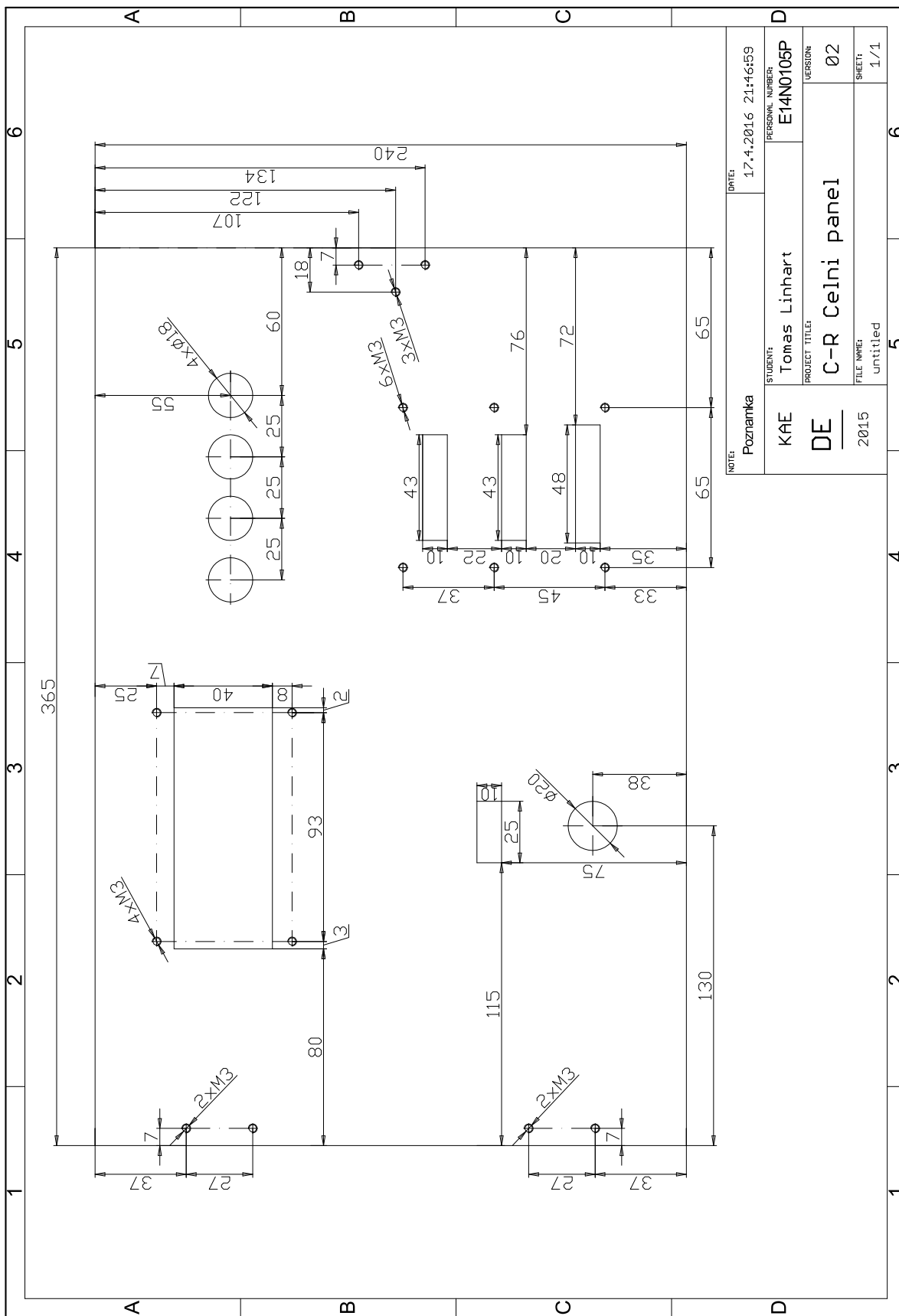
Příloha F – Seznam použitých součástek

Tab. F.1 Seznam použitých součástek

Součástka	Hodnota	Popis
C1, C3, C5, C7, C14, C16, C18, C20, C27	10u/25V	Keramický kondenzátor, 25V, 1206
C2, C6, C8, C10, C11, C13, C14, C15, C17, C19	100n	Keramický kondenzátor, 50V, 1206
C21, C23, C24, C26, C39, C40, C42, C43, C44, C45	100n	Keramický kondenzátor, 50V, 1206
C9, C12, C22, C25	100u/25V	Elektrolytický kondenzátor, 6x7,7mm
C29, C30, C31, C32	4700u/100V	Elektrolytický kondenzátor, 35x40mm
C33, C35	22p	Keramický kondenzátor, 50V, 1206
C34, C37, C38, C47	470u/16V	Elektrolytický kondenzátor, 8x10mm
C36	2200u/16V	Elektrolytický kondenzátor, 12x20mm
C41	10n	Keramický kondenzátor, 50V, 1206
D1, D2, D5, D7, D9, D15, D18, D21	S2D	Usměřňovací dioda, DO214AA
D3, D4, D6, D8, D12, D16, D20	S1D	Zenerova dioda, MELF
D10	STPS20H100CG	Usměřňovací Schottky DUAL, D2PACK
D11, D13, D14, D17	US1D	Usměřňovací Schottky, DO214AC
IC1	XTW-SY-8	DC/DC, 15V, 2A
IC2	ATMEGA16A-AU	MCU, TQFP44
I/O	BHR-16	Signálová zásuvka, 16-pin, 2,54mm
I/O - 01	AWP-16	Signálový konektor, 16-pin, 2,54mm
ISP	T821106A1S10	Signálová zásuvka, 6-pin, 2,54mm
ISP - 01	T812106A101C	Signálový konektor, 6-pin, 2,54mm
KLAVESNICE	AWP-10	Signálová zásuvka, 10-pin, 2,54mm
KLAVESNICE - 01	T821110A1S10U	Signálový konektor, 10-pin, 2,54mm
Konektor, síťový filtr	FEH51104	EURO konektor s filtrem
L1	68u	Tlumivka, 1210
LCD	BHR-16	Signálová zásuvka, 16-pin, 2,54mm
LCD - 01	AWP-16	Signálový konektor, 16-pin, 2,54mm
LCD displej	RC2004A	20x4 znaků
Maticová klávesnice	KB1604	4x4
Plochý kabel	AWG 28-16G	2,54mm
Pouzdro pojistek	PTF 5030	Držák pojistky 5x20mm do panelu
Propojovací lišta	ZL 2029-20	Rozteč 2,54mm
Q1, Q2, Q3, Q4, Q5, Q6, Q7	IRFS4227	MOSFET, D2PACK
Q8	16MHz	Krystal
R1, R2, R5, R9, R10, R12, R13	22R	SMD rezistor, 1206
R3, R4, R8, R14, R16, R25, R26, R27, R28, R29, R30, R32	47k	SMD rezistor, 1206
R6, R7, R14, R15	2k2	SMD rezistor, 1206
R17, R20, R21, R22, R23	10k	SMD rezistor, 1206
R18	680R	SMD rezistor, 1206
R19	20R	SMD rezistor, 1206
R24	4k7	Potenciometr 6,5x6,5x3,6mm
R31	0R	SMD rezistor, 1206
S1	DTSM-61R-V-B	Tlačítko, 6,2x6,2mm

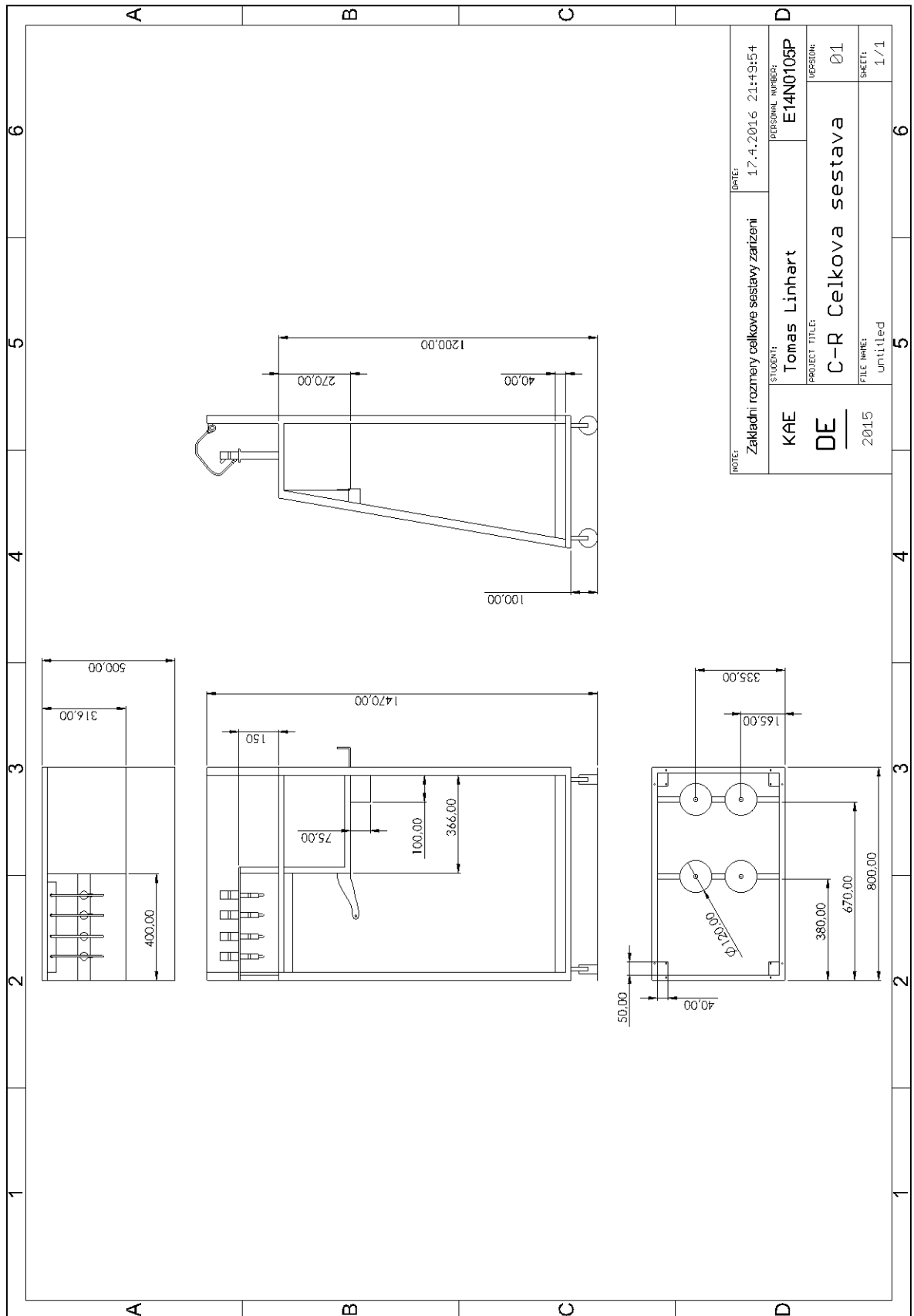
Síťový kabel	CYSY 3x1,5	Kabel s PVC izolací
Sloupek distanční	DA 30MM	M3, 30mm
Spínač kolébkový	SCI-R13	ON/OFF, s doutnavkou
Svorkovnice + konektor	DEGSON-2EDG	2-pin, 5mm
Svorkovnice + konektor	DEGSON-2EDG	3-pin, 5mm
Svorkovnice + konektor	DEGSON-2EDG	8-pin, 5mm
TR1	55149-P1S2	Toroidní transformátor 60VA
U1, U2, U4, U5, U7	MCP1416	Budič, SOT23-5
U3, U6	IR2113	Budič, High Side, SO16
U8	7805	Stabilizátor, 1,5A, D2PACK
U9	B125S2A	Usměrňovací můstek, 2,3A, SMD
V1, V2	AM2D-1215SZ	DC/DC 15V, 132mA
Zdroj napětí	SP-320-12	12V, 25A

Příloha G – Výkres čelního panelu zařízení



Obr. G.1 Kompletní výkres čelního panelu zařízení

Příloha H – Výkres mechanické konstrukce



Obr. H.1 Výkres celkové sestavy

Příloha I – Fotodokumentace výsledného zařízení

Obr. I.1 Kompletní a výsledná podoba testeru vstříkovačích trysek



Obr. 1.2 Tester vstřikovacích trysek – pohled zepředu



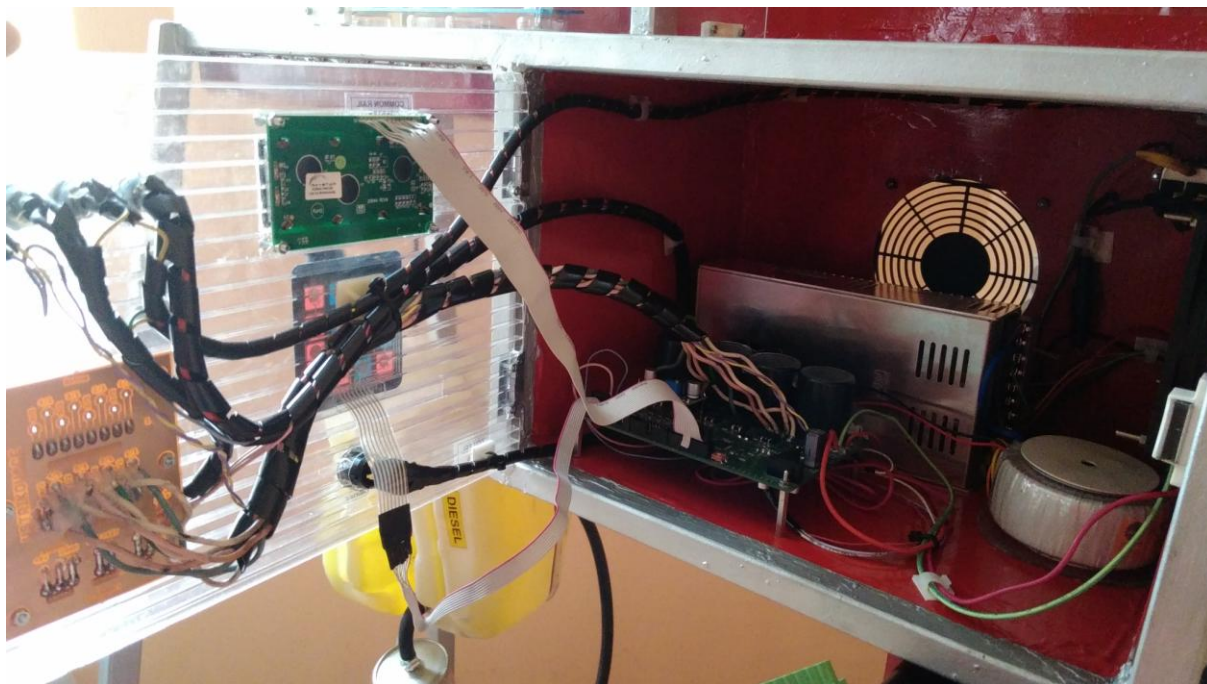
Obr. 1.3 Tester vstřikovacích trysek – pohled zezadu



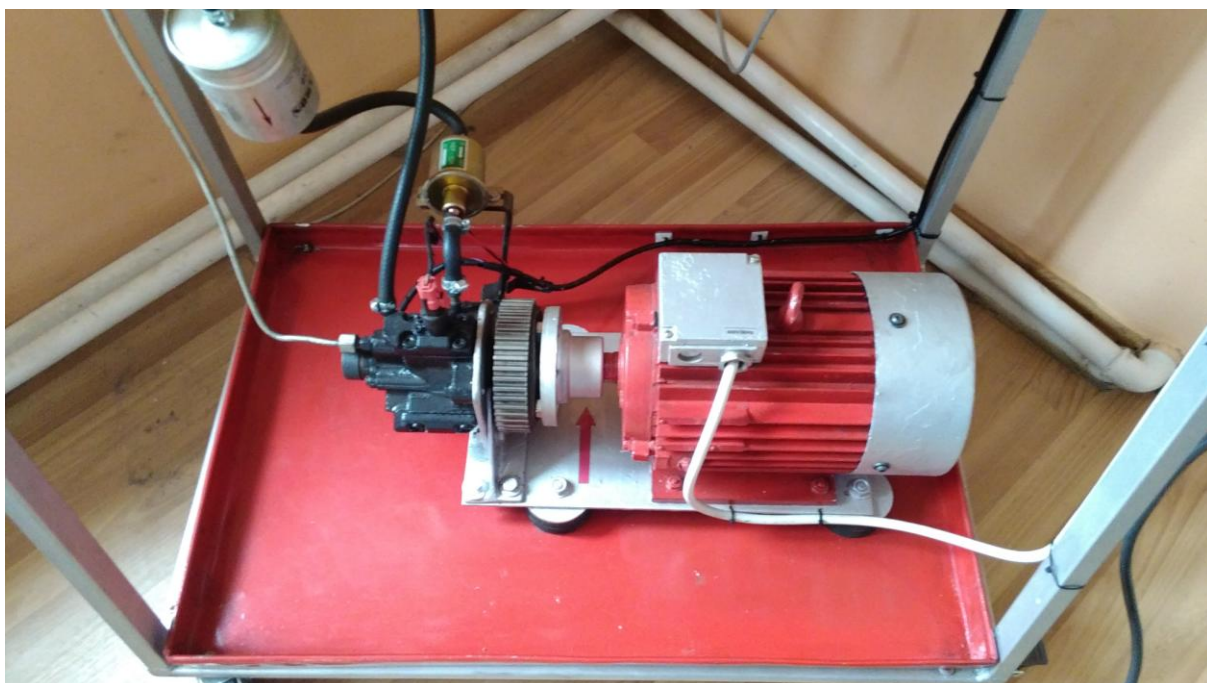
Obr. 1.4 Tester vstřikovacích trysek – pohled z levého boku



Obr. 1.5 Tester vstřikovacích trysek – pohled z pravého boku



Obr. 1.6 Rozmístění komponentů v čelním panelu a ve schránce pro elektroniku



Obr. 1.7 Čerpadlo Common rail poháněné asynchronním motorem

Příloha J - Firmware

Přílohou je CD obsahující kompletní firmware a kompletní verzi této diplomové práce včetně veškeré dokumentace v elektronické podobě.