

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

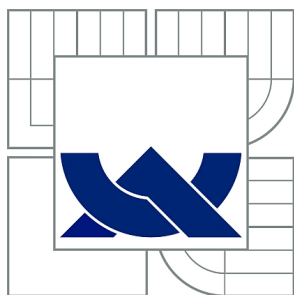
PALUBNÍ POČÍTAČ PRO AUTOMOBIL

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

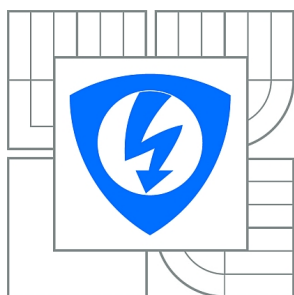
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. ONDŘEJ LUTERA

BRNO 2012



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

PALUBNÍ POČÍTAČ PRO AUTOMOBIL

BOARD COMPUTER FOR CAR

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

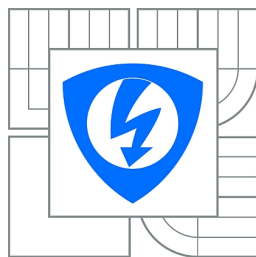
Bc. ONDŘEJ LUTERA

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. TOMÁŠ MACHO, Ph.D.

BRNO 2012



**VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ**

**Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií**

Ústav automatizace a měřicí techniky

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Kybernetika, automatizace a měření

Student: Bc. Ondřej Lutera

ID: 106604

Ročník: 2

Akademický rok: 2011/2012

NÁZEV TÉMATU:

Palubní počítač pro automobil

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Seznamte se s problematikou palubních počítačů pro osobní automobily.
2. Navrhněte koncepci palubního počítače pro osobní automobil vyhodnocující ujeté vzdálenosti, spotřebu paliva atd. Uvažujte záznamy pro více řidičů. Nakreslete blokové schéma.
3. Zvolte vhodný mikrokontrolér, zobrazovací jednotku, způsob zálohování získaných dat a způsob vyčítání dat do přenosného počítače.
4. Navrhněte obvodové schéma palubního počítače a vypočtěte hodnoty jednotlivých součástek.
5. Navrhněte desku plošných spojů a vytvořte výrobní dokumentaci.
6. Palubní počítač realizujte.
7. Pro palubní počítač vytvořte potřebné softwarové vybavení a odlaďte je.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

MOTEJL, Vladimír. Vstřikovací zařízení zážehových motorů. Třetí rozšířené vydání. České Budějovice: Koop, 2001. 237 s. ISBN 80-7232-141-2.

Termín zadání: 6.2.2012

Termín odevzdání: 21.5.2012

Vedoucí práce: Ing. Tomáš Macho, Ph.D.

Konzultanti diplomové práce:

doc. Ing. Václav Jirsík, CSc.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

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

ABSTRAKT

Práce se zabývá návrhem a realizací palubního počítače pro osobní automobily, který disponuje víceuživatelským režimem a záznamem měřených dat. Měření je provedeno pomocí přímého napojení na snímače a vstřikovače motoru. Měřené signály zpracovává a vyhodnocuje mikrokontrolér firmy Atmel Atmega128A. Aktuálně měřené i zaznamené údaje jsou zobrazeny na grafickém LCD.

KLÍČOVÁ SLOVA

Automobil, palubní počítač, Atmega128A, mikrokontrolér, LCD, DOGL128, SD karta, iButton

ABSTRACT

This thesis deals with the design and implementation of car computer with multi-user mode and data recording. The measurement is performed by using a direct connection to the sensors and fuel injector of engine. The measured signals are processed and evaluated by Atmel Atmega128A microcontroller. Measured and recorded data are displayed on the graphical LCD.

KEYWORDS

Car, car computer, Atmega128A, AVR, microcontroller, LCD, DOGL128, SD card, iButton

LUTERA, Ondřej *Palubní počítač pro automobil*: diplomová práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav automatizace a měřicí techniky, 2012. 101 s. Vedoucí práce byl Ing. Tomáš Macho, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma „Palubní počítač pro automobil“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

Brno

.....

(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu diplomové práce panu Ing. Tomáši Machovi, Ph.D. za odborné vedení, konzultace, trpělivost a podnětné návrhy k práci.

Brno

.....

(podpis autora)

OBSAH

Úvod	12
1 Systémy vstřikování paliva	13
1.1 Vstřikovací systémy zážehových motorů	13
1.1.1 Systém Bosch Mono-Motronic	13
1.1.2 Systém Bosch Motronic	14
1.1.3 Systémy přímého vstřikování paliva	16
1.2 Vstřikovací systémy vznětových motorů	17
1.2.1 Systém čerpadlo-tryska	17
1.2.2 Systém Common rail	19
2 Snímače provozních veličin	20
2.1 Hallův snímač	20
2.2 Indukční snímač	20
2.3 Snímač stavu palivové nádrže	21
3 Měření provozních veličin	22
3.1 Požadavky na měření	22
3.2 Vyčítání měřených veličin	23
4 Koncepce palubního počítače	24
4.1 Požadavky na palubní počítač	24
4.2 Blokové schéma palubního počítače	24
4.3 Mechanické uspořádání	27
4.3.1 Společná deska plošných spojů	27
4.3.2 Několik desek plošných spojů umístěných u LCD	27
4.3.3 Rozdělená koncepce desky s MCU a desky vstupů	27
5 Elektronika palubního počítače	28
5.1 LCD modul	28
5.1.1 LCD DOGL128W-6	28
5.1.2 Deska s LCD	29
5.2 Hlavní modul s mikrokontrolérem	29
5.2.1 Mikrokontrolér Atmega128A	29
5.2.2 Měřicí vstupy mikrokontroléru	30
5.2.3 Zařízení na sběrnici 1-Wire	35
5.2.4 Zařízení na sběrnici i2c	37
5.2.5 Galvanicky oddělené USB	40

5.3	Modul s micro-SD kartou a mini-USB konektorem	42
5.3.1	Obvody pro micro-SD kartu	42
5.3.2	Vstupní konektor mini-USB	43
5.4	Modul s ovládacími prvky	43
5.4.1	Realizace ovládání	43
5.5	Vstupní modul	45
5.5.1	Napájecí část palubního počítače	45
5.5.2	Vstupní části palubního počítače	50
5.5.3	Deska vstupů a napájecích zdrojů	51
6	Software palubního počítače	52
6.1	Koncepce software	52
6.2	Obsluha LCD	53
6.2.1	Knihovna LCD	53
6.2.2	Knihovna gui grafického rozhraní	53
6.3	Knihovna car_meas - měření provozních hodnot	54
6.3.1	Data konfigurace a kalibrace	54
6.3.2	Měření doby otevření vstřikovače, ujeté vzdálenosti a otáček motoru	55
6.3.3	Měření nádrže	56
6.3.4	Aplikační rozhraní knihovny car_meas	57
6.4	Knihovna timer - systémový časovač	58
6.4.1	Aplikační rozhraní knihovny timer	58
6.5	Obsluha SD karty	58
6.5.1	Knihovna SD/SDHC	58
6.5.2	Aplikační rozhraní storage	58
6.6	Knihovny zařízení sběrnice 1-wire	60
6.6.1	Knihovna 1-wire a DS18B20	60
6.6.2	Knihovna ibutton	60
6.6.3	Knihovna serial_num	60
6.7	Knihovna temp	60
6.8	Knihovny zařízení na sběrnici i2c	61
6.8.1	Knihovna RTC pcf8563	61
6.8.2	Knihovna budiče PCA9530	61
6.9	Knihovna backlight	62
6.10	Knihovna ovládání keys	62
6.11	Knihovna user - správa uživatelů	63
6.12	Správa napájení pwrctrl	64
6.13	Hlavní smyčka aplikace	65
6.14	Shrnutí vlastností	67

7	Dosažené výsledky	68
8	Závěr	70
	Literatura	72
	Seznam symbolů, veličin a zkratk	75
	Seznam příloh	77
A	Elektrické parametry PP	78
B	Připojení do automobilu Seat Arosa	79
B.1	Připojení vstřikovače	79
B.2	Připojení na čidla nádrže, kilometrů a otáček	79
C	Snímky obrazovek a menu	81
D	Foto dokumentace	84
E	Výrobní dokumentace	86
E.1	Hlavní modul	86
E.1.1	Rozpis materiálu	86
E.1.2	Výkresy desky	91
E.2	LCD modul	92
E.2.1	Rozpis materiálu	92
E.2.2	Výkresy desky	94
E.3	Modul vstupů	95
E.3.1	Rozpis materiálu	95
E.3.2	Výkresy desky	97
E.4	Modul s micro-SD kartou	98
E.4.1	Rozpis materiálu	98
E.4.2	Výkresy desky	98
E.5	Modul ovládání	100
E.5.1	Rozpis materiálu	100
E.5.2	Výkresy desky	100

SEZNAM OBRÁZKŮ

1.1	Vstřikovač Mono-Motronic [1]	14
1.2	Průběh napětí na svorce vstřikovače při volnoběžných otáčkách [1]	14
1.3	Porovnání systémů vstřikování a) simultánní b) skupinové c) sekvenční [1]	15
1.4	Průběh napětí na vstřikovači Seat Arosa při volnoběhu. Doba otevření 4,4 ms, sonda 10x, překmit 53 V. Měřeno pomocí ručního digitálního osciloskopu DSO nano s 1MS/s	16
1.5	Přímé vstřikování benzínu [1]	17
1.6	Vstřikovací ventil systému PD [8]	18
1.7	Elektromagnetický ventil u systému Common Rail [5]	19
2.1	Hallův snímač [4]	20
2.2	Indukční snímač [4]	20
2.3	Průběh napětí na snímači nádrže v automobilu Seat Arosa. Perioda impulzů 30 ms, šířka impulzů 700 μ s. Výška impulzu 2,8 V pro 1/2 nádrže. Velikost nádrže 34 l.	21
4.1	Blokové schéma palubního počítače	25
5.1	Modul s LCD	28
5.2	Zapojení vstupu pro měření doby otevření optočlenu vstřikovače	32
5.3	Vstupní část měření stavu nádrže	33
5.4	Standardní dvou vodičové připojení čidel DS18B20 [15]	36
5.5	iButton čtečka a čip DS1990R	36
5.6	Zapojení výstupu sběrnic 1-wire	37
5.7	Zapojení obvodu reálného času PCF8563	39
5.8	Zapojení obvodu regulace jasu PCA9530	40
5.9	Galvanicky oddělené USB	41
5.10	Pohled na hlavní desku s mikrokontrolérem a s připojenou deskou micro-SD a mini-USB	41
5.11	Zapojení micro-SD karty	42
5.12	Zapojení tlačítek a enkodéru	44
5.13	Pohled na palubní počítač s připojeným modulem tlačítek	44
5.14	Koncepce napájecího zdroje	47
5.15	LM2574 doporučené zapojení [12]	47
5.16	Zapojení napájecí části s DC-DC měničem	48
5.17	Napájecí část palubního počítače	49
5.18	Zapojení vstupu vstřikovače vlevo a vstupu ostatních čidel vpravo	50
5.19	Výsledná deska vstupů	51
6.1	Koncepce software, knihovny a aplikační rozhraní	52

6.2	Vlevo obrazovka pro zobrazení provozních hodnot, vpravo příklad menu s aktivní editací hodnoty	54
6.3	Vývojový diagram hlavní smyčky aplikace	66
B.1	Připojení palubního počítače na vstříkovač v automobilu Seat Arosa. . . .	79
B.2	Konektor přístrojové desky [32]	80
C.1	Hlavní obrazovky s provozními hodnotami.	81
C.2	Vlevo hlavní menu, vpravo menu osobní nastavení.	81
C.3	Menu se záznamy uživatele, vlevo data pro daný rok, vpravo další úroveň, tj. měsíce pro daný rok.	81
C.4	Menu se záznamy uživatele, vlevo data pro daný měsíc, vpravo další úroveň, tj. data pro daný den. Poslední obrázek jsou načtená data pro jednu trasu.	82
C.5	Menu nastavení systému. Jednotlivé obrazovky tak, jak se postupně pohybuje kurzor směrem dolů. Poslední obrázek je část sub-menu pro kalibraci nádrže.	82
C.6	Sub-menu Správa uživatelů. Následují obrázky konfigurace uživatele Admin tak, jak se pohybuje kurzor směrem dolů.	83
C.7	Sub-menu Senzory teploty, slouží pro správu a detekci připojených čidel. . . .	83
C.8	Menu systémových informací, slouží pro přímý výpis stavů čtených z čítačů za periody měření	83
D.1	Hlavní modul s USB a mikro SD kartou	84
D.2	Vstupní modul	84
D.3	LCD modul	85
D.4	Pohled na palubní počítač	85
E.1	Horní vrstva plošných spojů	91
E.2	Spodní vrstva plošných spojů - stranově otočeno	91
E.3	Horní vrstva plošných spojů	94
E.4	Spodní vrstva plošných spojů - stranově otočeno	94
E.5	Horní vrstva plošných spojů	97
E.6	Spodní vrstva plošných spojů - stranově otočeno	97
E.7	Horní vrstva plošných spojů vlevo a spodní vrstva vpravo	98
E.8	Horní vrstva plošných spojů vlevo a spodní vrstva vpravo	100

SEZNAM TABULEK

5.1	Pravdivostní tabulka funkce měření délky otevření vstřikovače	31
5.2	Tabulka dovolených napájecích napětí hlavních periférií a proudových odběrů	45
A.1	Tabulka elektrických parametrů prototypu palubního počítače	78
B.1	Význam jednotlivých pozic konektoru [32].	80
E.1	Seznam materiálu pro hlavní modul	87
E.2	Seznam materiálu pro modul LCD	92
E.3	Seznam materiálu pro modul vstupů	95
E.4	Seznam materiálu pro modul s mikro-SD kartou	98
E.5	Seznam materiálu pro modul ovládání. Pokud není uvedeno, lze použít kondenzátory na napětí min. 10 V.	100

ÚVOD

S nástupem moderních spalovacích motorů, které jsou řízeny elektronickými řídicími jednotkami, se začaly postupně objevovat jednoduché palubní počítače zobrazující spotřebu, dojezd či jejich průměrné hodnoty. Tyto byly často součástí výbavy v automobilech vyšších tříd.

Dnes nalezneme palubní počítač téměř ve všech nově vyrobených automobilech. Takový palubní počítač je ovšem vybaven jen základními měřicími funkcemi a jednoduchým programovým vybavením. Stále po našich silnicích jezdí mnoho automobilů, které tento výdobytek moderní doby nemají ať už z důvodu stáří automobilu nebo z důvodu záměrné absence palubního počítače u automobilů nižších tříd či nižších kategorií výbav.

Cílem je navrhnout takový palubní počítač automobilu, který by byl přizpůsobitelný většině moderních spalovacích motorů s minimálním zásahem do elektroniky automobilu. Palubní počítač by měl umožnit zpracování a ukládání dat pro více uživatelů. Na rozdíl od běžných továrních palubních počítačů budou poskytovány rozšířené informace o provozních hodnotách a lepší možnosti pro individuální přizpůsobení počítače uživatelem.

První část této práce se věnuje vstřikovacím systémům a typům snímačů provozních veličin, které lze najít v osobních automobilech. Následuje část věnovaná stanovení požadavků na měření provozních veličin a způsobu jejich získání. Po vytvoření koncepce palubního počítače a jeho mechanického uspořádání následuje kapitola věnovaná návrhu zapojení elektroniky a návrhu desek plošných spojů palubního počítače.

Následující kapitola čtenáře seznamuje se softwarovou částí palubního počítače. V této části je nastíněna koncepce software a jsou popsány vytvořené knihovny a aplikační rozhraní, které společně poskytují hlavní aplikaci prostředky pro měření, zpracování a zobrazení měřených veličin.

Poslední kapitola se věnuje diskuzi dosažených výsledků a praktickému testování v automobilu Seat Arosa.

1 SYSTÉMY VSTŘIKOVÁNÍ PALIVA

1.1 Vstřikovací systémy zážehových motorů

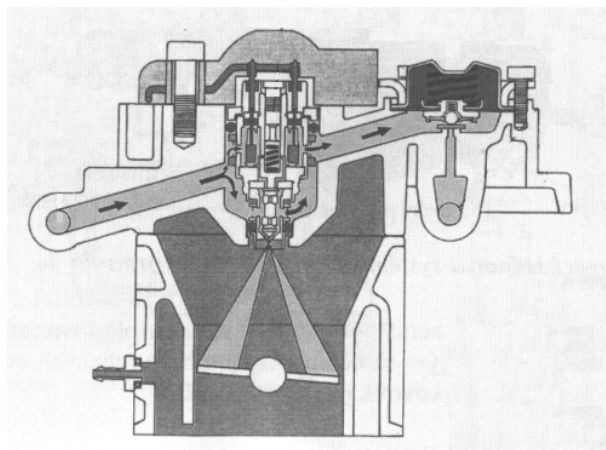
Během posledních 20-ti let vývoje vznikly různé typy vstřikovacích systémů, které se liší méně či více způsobem dávkování paliva. Přesné dávkování mají na starost vstřikovací ventily motoru, které jsou řízeny elektronickými impulzy z výkonových koncových členů řídicí jednotky. Protože tlak mezi palivem a sacím potrubím bývá regulován na konstantní hodnoty, je dávka paliva přímo úměrná době otevření ventilu.

Vzhledem k velkému množství typů vstřikovacích systémů budou popsány systémy firmy Bosch, které jsou v současné době nejvíce rozšířené. Ostatní typy systémů či systémy od jiných předních výrobců jsou víceméně principiálně stejné.

1.1.1 Systém Bosch Mono-Motronic

Je jednobodový vstřikovací systém, který se dnes řadí ke starším systémům. Tyto systémy již nejsou v moderních automobilech nasazovány a to hlavně z důvodu emisních norem a efektivity dávkování paliva. Jádrem systému je řídicí jednotka, která vyhodnocuje hodnoty snímačů a řídí chod motoru. Vstřikovací subsystém se skládá z jediného vstřikovacího ventilu, který je umístěn v sání před škrtkací klapkou viz obrázek 1.1. Tento je ovládán řídicí jednotkou a dávkuje palivo pro všechny válce motoru. Doba sepnutí vstřikovacího ventilu je vypočítána na základě úhlu nastavení škrtkací klapky a signálu otáček motoru. Aby bylo vstříknuté množství paliva přímo úměrné době otevření ventilu, je tlak paliva regulován tlakovým regulátorem, který udržuje konstantní rozdíl mezi tlakem v sání a tlakem paliva. Rozdíl tlaku je regulován na hodnotu 1 bar (100 kPa). Tlakový regulátor se nachází vpravo od vstřikovače na obrázku 1.1. Pokud je tlak mezi sáním a příívodem paliva ke vstřikovači konstantní, je pružinou odtok paliva uzavřen. Pokud tlak paliva vzroste, nebo se zvýší podtlak v sání, pak dojde k pohybu pružiny a palivo odtéká zpět do palivové nádrže tak dlouho, dokud nedojde k vyrovnaní tlaku a uzavření odtoku pružinou.

Je-li vstřikovač neaktivní, naměříme na jeho svorkách napětí oproti společné záporné svorce 10-14 V. Jedna ze svorek vstřikovače je po otočení klíčku v zapalování přímo napojena na rozvod palubního napětí baterie 12 V, které samozřejmě vlivem stavu akumulátoru či vlivem dobíjení kolísá přibližně v rozsahu 10-14 V. Druhá svorka vstřikovače je napojena na koncový stupeň řídicí jednotky, který v okamžik vstřiku vstřikovač jednoduše uzemní a tím vznikne na vstřikovači potenciál, který vybudí elektromagnetický obvod a tento otevře ventil. Průběh napětí na řízené svorce vstřikovače lze vidět na obrázku 1.2. Budič nejprve uzemní svorku, což je doba, po kterou je ventilem rozprašováno palivo do sání. Po opětovném odepnutí svorky je patrný nárůst napětí, které může dosahovat špičkové hodnoty až 60 V. Vyšší napětí je omezeno ochrannými prvky na výstupu



Obr. 1.1: Vstřikovač Mono-Motronic [1]

budiče řídicí jednotky. Toto napětí vzniká v cívce elektromagnetického obvodu vlivem zaniknutí proudu cívkou při rozpojení okruhu.



Obr. 1.2: Průběh napětí na svorce vstřikovače při volnoběžných otáčkách [1]

Pro změření spotřeby paliva je tedy nutné změřit dobu sepnutí vstřikovacího ventilu, to je dobu, po kterou je svorka ventilu uzemněna. Popisovaný vstřikovací systém lze nalézt v automobilech z počátku 90. let, například v automobilech Škoda Forman.

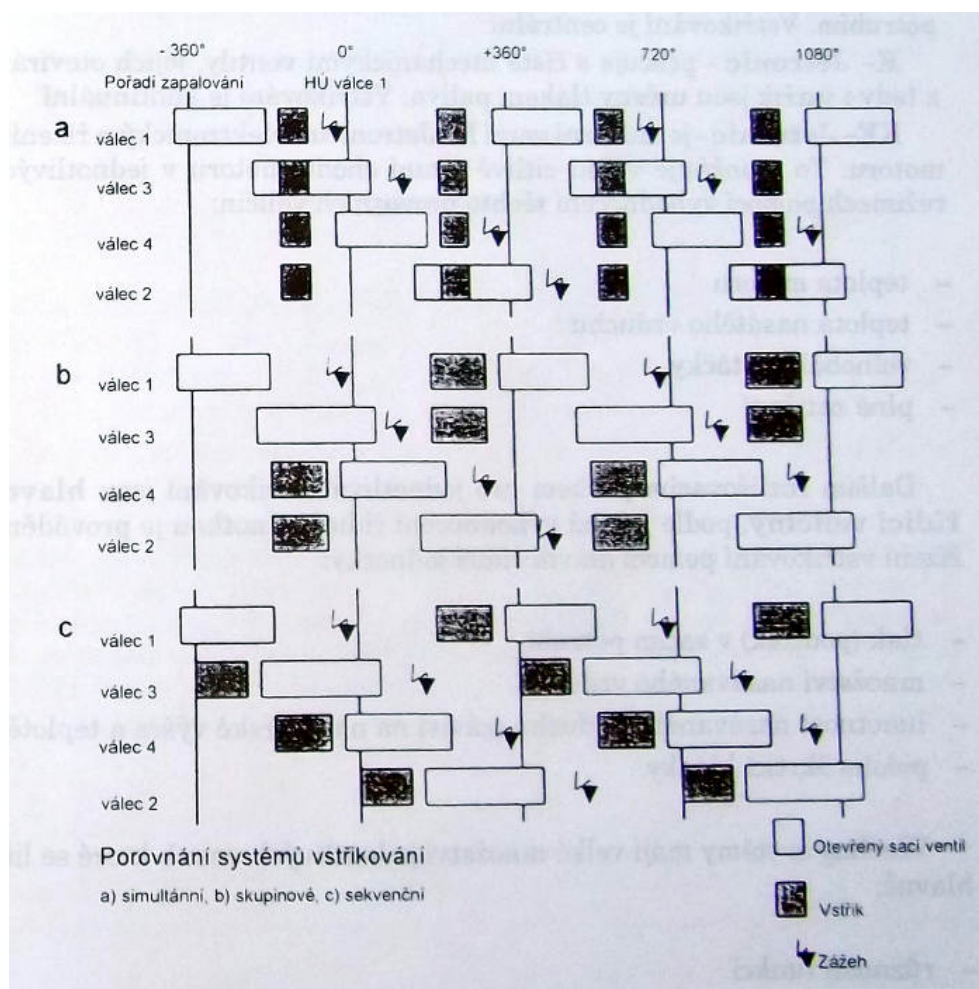
1.1.2 Systém Bosch Motronic

Se řadí mezi systémy s nepřímým vícebodovým vstřikováním paliva a jsou k dnešnímu datu nejrozšířenější i přesto, že je jejich koncepce poměrně stará. V různých obměnách je lze nalézt v automobilech výrobců světových značek. Dle způsobu řízení vstřikovačů existují ještě různé poddruhy, u kterých se dělí vstřikování na:

- simultánní - vstřik paliva ve dvou intervalech pro všechny válce současně, tedy vstřikovače sepnuté současně.

- sekvenční - postupné vstřikování pro jednotlivé válce motoru
- skupinové - dvě skupiny vstřikovačů, vstřikují jednou za cyklus motoru (příklad pro 4 válcový motor)

Vše je názorně vidět z obrázku 1.3, kde jsou rozkresleny doby otevření sacích ventilů, doby otevření vstřikovačů a zážeh ve válci.



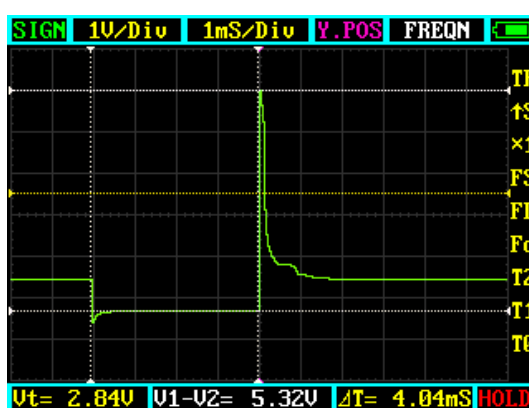
Obr. 1.3: Porovnání systémů vstřikování a) simultánní b) skupinové c) sekvenční [1]

Tyto systémy tedy disponují jedním vstřikovačem na každý válec motoru. Vstřikovače jsou umístěny těsně před sacím ventilem v sacím potrubí. Díky tomu motory dosahují nižší spotřeby a lepších emisí, protože palivo je přesně dávkováno pro každý válec zvlášť a nezůstává na stěnách sání jako v případě jednoho společného vstřikovače v systému Mono-Motronic.

Způsob spínání a měření doby otevření vstřikovacího ventilu je u těchto systémů totožný jako u systému Mono-Motronic s jednobodovým vstřikováním. Všechny vstřikovací ventily vstřikují na jeden cyklus motoru stejné množství paliva do všech válců. U některých jednotek je prováděna korekce doby otevření ventilů i během cyklu ovšem tato

korekce upraví dobu otevření řádově o několik procent. Lze tedy vyhodnocovat dobu otevření jednoho vstřikovače a na základě ní počítat celkovou dobu otevření všech vstřikovačů, aniž bychom se dopustili zásadní chyby měření.

Průběh napětí na vstřikovači je patrný z obrázku 1.4. Nejprve je vstřikovač uzavřen, klidová hodnota napětí na jeho spínané svorce je 14 V. K sepnutí vstřikovače dochází v pozici prvního kurzoru, kdy napětí záporné svorky vstřikovače poklesne k 0 V, čímž je mezi svorkami potenciál 14 V a dojde k průtoku proudu elektromagnetem, který otevře vstřikovač na 4,4 ms. Poté dochází k odpojení záporné svorky což se projeví napět'ovou špičkou indukovanou v elektromagnetickém obvodu vstřikovače. Tato špička je omezena omezovacími obvody budiče řídicí jednotky, v tomto případě na 53 V.



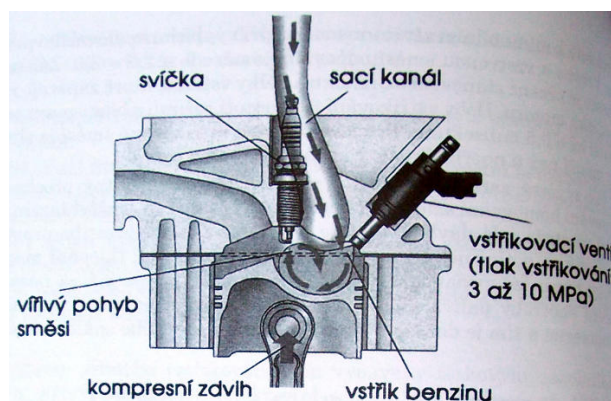
Obr. 1.4: Průběh napětí na vstřikovači Seat Arosa při volnoběhu. Doba otevření 4,4 ms, sonda 10x, překmit 53 V. Měřeno pomocí ručního digitálního osciloskopu DSO nano s 1MS/s

1.1.3 Systémy přímého vstřikování paliva

Tyto systémy se poslední dobou stále více uplatňují v moderních zážehových motorech. V této koncepci je vstřikovač přímo umístěn ve spalovacím prostoru válce. Díky tomu lze lépe ovlivňovat plnění prostoru válce a tím i výkon a spotřebu. Tyto motory dosahují i lepších emisních měření oproti motorům s nepřímým vstřikováním. Na druhou stranu jsou pro výrobu i provoz kladeny větší požadavky na kvalitu materiálu, přesnost výroby a také na kvalitu pohonných hmot.

Příkladem může být systém fuel stratified injection, systém přímého vstřikování paliva (FSI) vyvinutý firmou Bosch. Jedná se o přímé sekvenční vstřikování benzínu pod vysokým tlakem. Vyšší tlaky jsou nutné vzhledem ke kratším dobám, kdy může ventil podávat palivo do spalovacího prostoru během režimu sání směsi. U nepřímého vstřikování mohlo být palivo dávkováno i během zavřeného sání a tím se využívalo delších vstřikovacích dob s nižšími tlaky paliva. Příklad konstrukce válce a sání u motoru s přímým

vstřikováním znázorňuje obrázek 1.5.



Obr. 1.5: Přímé vstřikování benzínu [1]

Vzhledem k vysokým nárokům na tlak paliva a těsnost soustavy je tlak paliva regulován dle zatížení a otáček motoru od 30 do 100 bar (3 - 10 MPa). Vzhledem k této regulaci je problematické měření spotřeby paliva na základě délky vstřiku vstřikovače, protože zde již není tlak konstantní. Navíc některé nejmodernější systémy využívají nových vstřikovačů, kde je elektromagnetický systém nahrazen systémem založeným na piezo-elementech, které dosahují rychlejší odezvy a tím i přesnějšího a jemnějšího časování dodávek paliva. Tyto piezo-elementy využívají speciální budící koncové stupně s vysokým rozkmitem řídicího napětí.

1.2 Vstřikovací systémy vznětových motorů

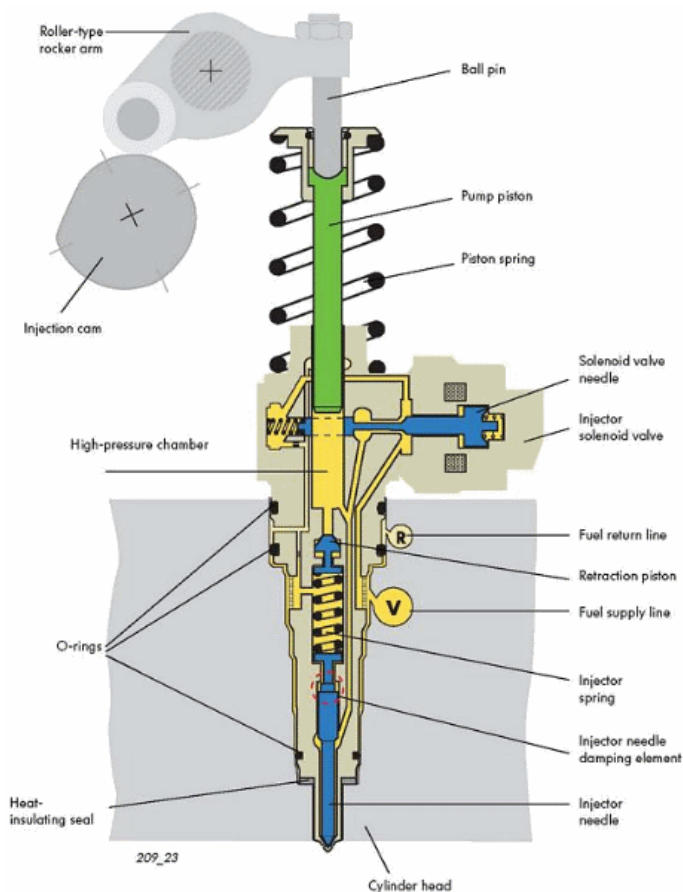
Vznětové motory jsou takové, kde dochází k samovznícení paliva vlivem teploty stlačeného vzduchu, do kterého se palivo vstřikuje. Bavíme-li se o automobilových motorech, pak se jedná o naftu. Aby došlo k samovznícení paliva při vlastním vstřiku, musí být vzduch stlačen značnou kompresí tak, aby jeho teplota byla dostatečná pro vzplanutí paliva. To klade značné nároky na vstřikovací systém motoru, který musí dodávat přesné dávky paliva pod značným tlakem.

Dnes jsou vznětové motory, stejně jako zážehové, řízené elektronickou řídicí jednotkou (ECU). Ta stejně jako u spalovacích motorů řídí mimo jiné i dávkování paliva. Mezi nejrozšířenější druhy se dříve řadil systém čerpadlo-tryska, který je v posledních letech nahrazován systémem common rail pro svou jednoduchost a spolehlivost konstrukce.

1.2.1 Systém čerpadlo-tryska

U systému čerpadlo-tryska se vstřikovací ventil skládá jak z vysokotlakého čerpadla tak elektromagneticky ovládaného přetlakového ventilu. Motory s tímto systémem bývají

označovány jako PD (Pumpe Duse). Díky tomu odpadají vysokotlaká potrubí ke vstřikovací ventilům. Vysoký tlak, vytvářený ve ventilu, může dosahovat až 2400 barů. Tento je vytvářen mechanicky pomocí vačky hnané motorem.



Obr. 1.6: Vstřikovací ventil systému PD [8]

Příklad PD vstřikovací jednotky je na obrázku 1.6. Vačka od motoru tlakuje palivo ve vstřikovacím ventilu. Při uzavřeném ventilu je elektromagnetický okruh sepnutý a drží tak tlak pod krajní mezí pro otevření vstřikovací jehly. Jakmile dojde k odpadnutí elektromagnetu, vzroste tlak paliva. Ten zapříčiní přetlak, který nadzvedne vstřikovací trysku. Počátek a délka vstřiku je tedy určena počátkem rozepnutí a dobou rozepnutí elektromagnetického ventilu, který je ovládán řídicí jednotkou motoru. Takto může být načasováno i více vstřiků paliva během cyklu motoru, čehož se u vznětových motorů využívá pro optimalizaci chodu motoru.

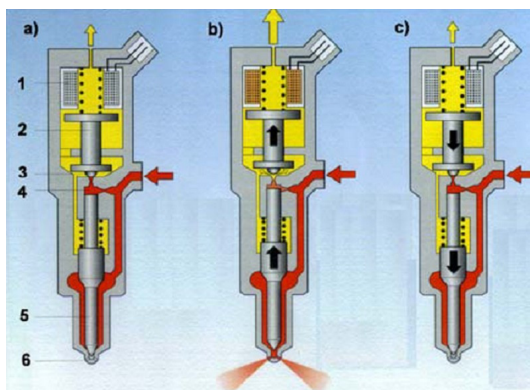
Tento systém se jeví dobře měřitelný na spotřebu paliva dle doby uzavření elektromagnetických okruhů ventilů. Bohužel se nepodařilo vyhledat případně změřit průběhy a amplitudy řídicích signálů z ECU u systémů typu PD.

V dnešní době jsou tyto systémy nahrazeny systémy typu Common Rail, které jsou neustále modernizovány a umožňují splňovat nové přísné emisní normy.

1.2.2 Systém Common rail

U tohoto systému je rozváděno palivo ke vstřikovačům pod vysokým tlakem ze společného (common) potrubí (rail). Systém se tak skládá ze dvou částí. Nízkotlaká část paliva se skládá z palivové nádrže a rozvodů paliva, které nasává podávací čerpadlo. V této části je tlak paliva držen na konstantní hodnotě 400 kPa. Následuje vysokotlaké čerpadlo, které stlačí palivo na vysoký tlak. Tlak může u nejmodernějších systémů dosahovat až 2500 barů (250 MPa). Tento vysokotlaký rozvod je napojen na vstřikovací ventily, které jsou elektronickými impulzy ovládány od ECU.

První verze tohoto systému používaly tlaky okolo 1400 barů, kde se ještě používaly elektromagnetické vstřikovače viz obr. 1.7. Tyto vstřikovače ovšem elektromagnetem neotevírají přímo jehlu, na to není elektromagnet dostatečně silný, proto je jehla ovládána přes hydraulický systém posilovače. Při uzavřeném elektromagnetickém ventilu je v celém objemu komory ventilu stejný tlak. Při otevření elektromagnetického ventilu proudí palivo do zpětného okruhu a díky tomu dojde k diferenci tlaku. Tento přetlak vyvodí sílu, která zvedne jehlu trysky a dojde k aplikaci paliva do spalovacího prostoru.



Obr. 1.7: Elektromagnetický ventil u systému Common Rail [5]

V roce 2003 byla představena další generace systému s vyššími tlaky paliva a vstřikovači založenými na piezo elementech. Dosáhnout lze tak vstřikovacích časů řádově v desítkách až stovkách μs a tím více jak 5 vstřiknutí na jeden cyklus. Díky tomu tyto motory dosahují lepších emisí i klidnějšího chodu. Takové vstřikovače jsou řízeny vyšším napětím vytvářeným pomocí DC-DC měničů. U novějších vstřikovačů s piezo technologií dosahují řídicí impulzy stovek voltů, což znamená použití robustních a výkonných spínacích prvků i kabelů. Posledním nejmodernějším řešením je tzv. hydraulicky posílený vstřikovač (HADI). Takový vstřikovač dokáže posílit tlak paliva až na 2500 barů. Tato koncepce přináší snížení tlaků paliva ve společném rozvodu což znamená menší nároky na materiál apod.

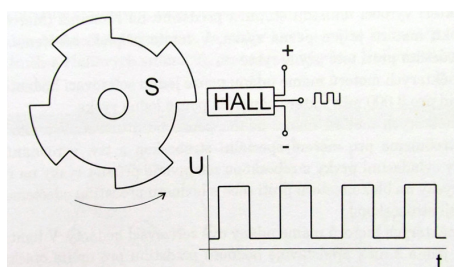
U systémů common-rail není tlak paliva konstantní a tedy nelze jednoduše určit množství vstříknutého paliva na základě délky otevření vstřikovače.

2 SNÍMAČE PROVOZNÍCH VELIČIN

Nyní budou popsány principy snímačů, které se využívají pro měření ujeté vzdálenosti, měření otáček a měření stavu palivové nádrže. Umístění snímačů je nutné vyhledat v elektrické dokumentaci k danému automobilu.

2.1 Hallův snímač

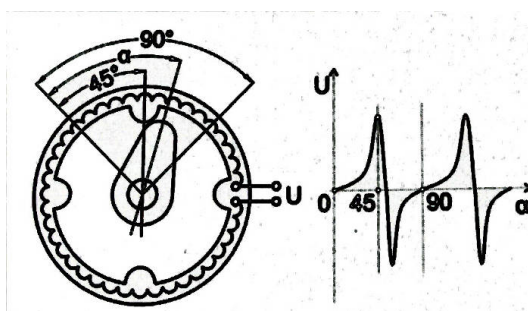
Hallův snímač v tří vývodovém provedení můžeme nalézt na pozici snímače otáček motoru a snímače ujeté vzdálenosti. Vstupy snímače jsou napájecí napětí +12 V a kostra (záporný pól). Výstup je obdélníkový signál s amplitudou dosahující napájecího napětí. Frekvence signálu ze snímače je přímo úměrná rychlosti automobilu.



Obr. 2.1: Hallův snímač [4]

2.2 Indukční snímač

Je založen na magnetické indukci, kdy pohyblivá část se skládá z feromagnetika a pevná část je snímací cívka s permanentním magnetem. Pohybem feromagnetických výběžků se v uzavřeném obvodu cívky indukuje napětí dle zákona elektromagnetické indukce. Frekvence tohoto napětí a amplituda je závislá na rychlosti pohybu.



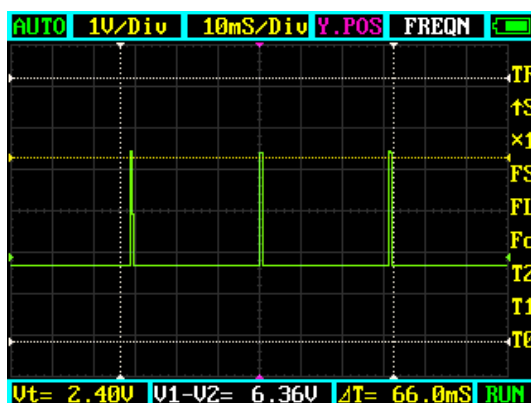
Obr. 2.2: Indukční snímač [4]

2.3 Snímač stavu palivové nádrže

Pro měření stavu nádrže se hojně využívá plovákových palivoměrů s odporovými potenciometry. V závislosti na naplnění nádrže se mění poloha plováku, který je spojen s jezdcem potenciometru a tím je měněn odpor dráhy jezdce.

Na potenciometr bývá připojena přímo palubní deska nebo řídicí jednotka. Výstup je analogový s rozsahem 0 až 5 V. Potenciometr palivoměru je zapojen tak, aby bylo výstupní veličinou napětí nezávislé na velikosti napětí palubní sítě, které může kolísat. Závislost napětí na stavu nádrže je u novějších automobilů lineární. Starší automobily mohou vykazovat nelineární závislost, kterou je potřeba při kalibraci proložit. Dostačující se jeví proložení více přímkami po částech celého průběhu nádrže.

Některé automobily, jako například Seat Arosa, neprovádí měření nádrže spojitě. Měření je prováděno v intervalech řádově ms, kdy je potenciometr plováku připojen na měřicí okruh řídicí jednotky či přístrojové desky a v tomto intervalu je provedeno vyhodnocení stavu nádrže na základě amplitudy napětí.



Obr. 2.3: Průběh napětí na snímači nádrže v automobilu Seat Arosa. Perioda impulzů 30 ms, šířka impulzů 700 μ s. Výška impulzu 2,8 V pro 1/2 nádrže. Velikost nádrže 34 l.

Vlastní připojení snímače palivové nádrže je nutné vyhledat v servisní dokumentaci daného automobilu. Nemusí vždy platit, že samotný snímač je napojen jako ostatní snímače do řídicí jednotky. Starší modely automobilů, jakož i zmiňovaný Seat Arosa, mají snímač napojen přímo na přístrojovou desku automobilu, která nespojitě měří stav nádrže a ihned zobrazuje na analogovém ručkovém ukazateli. Tento typ přístrojové desky lze najít i v automobilech VW Polo či VW Lupo třetí generace 1994-2001 a pravděpodobně i dalších z koncernu Volkswagen.

3 MĚŘENÍ PROVOZNÍCH VELIČIN

V této kapitole jsou postupně rozebrány požadavky na měření provozních veličin automobilu a způsob, jakým budou tyto veličiny získány.

3.1 Požadavky na měření

Uvažovaný palubní počítač by měl dokázat zobrazovat různé druhy spotřeby jako aktuální spotřebu, průměrnou spotřebu tak i například aktuální a průměrné rychlosti, množství spotřebovaného paliva od počátku cesty či stav palivové nádrže a dle ní výpočet dojezdu automobilu, počítadlo kilometrů a podobně. Tento výpis možných funkcí není konečný a slouží pouze pro příklad.

Označme aktuální spotřebu jako Sp_a , ujetou dráhu s_a za čas t a objem spotřebovaného paliva jako V_a , pak aktuální spotřebu lze vypočítat jako:

$$Sp_a = 10^5 \cdot \frac{V_a}{s_a} \quad [l/100km, l, m] \quad (3.1)$$

Aktuální spotřebu paliva Sp_a za 1 hodinu vztaženou k jednotce času t , která udává periodu měření, lze vypočítat jako :

$$Sp_a = 3600 \cdot \frac{V_a}{t} \quad [l/h, l, s] \quad (3.2)$$

Aktuální rychlost v_a lze vypočítat pomocí aktuální ujeté vzdálenosti s_a za jednotku času t což může být perioda měření:

$$v_a = 3,6 \cdot \frac{s_a}{t} \quad [km/h, m, s] \quad (3.3)$$

Poslední výpočet dojezdnosti D_a vztažené k aktuálním hodnotám je pouze příklad. V praxi není vhodné počítat dojezdnost z aktuální hodnoty spotřeby, ale ze spotřeby průměrné vzhledem k tomu, že aktuální spotřeba je značně proměnná hodnota. Stav nádrže značí proměnná N :

$$D_a = 100 \cdot \frac{N}{Sp_a} \quad [km, l, l/100km] \quad (3.4)$$

Otáčky motoru lze měřit přímo na základě frekvence signálu snímače otáček. Z uvedeného lze jednoduše odvodit, že pro kalkulace uvedených hodnot potřebujeme dále měřit nějakým způsobem 4 základní veličiny:

- čas - tento není měřen přímo jako veličina získaná z motoru automobilu, ale bude generován obvodem palubního počítače. Je důležitou veličinou pro výpočty rychlosti či například spotřeby paliva za čas, která je často užívána za předpokladu, že automobil stojí s běžícím motorem.

- dráha - kterou automobil ujede za jednotku času. Na základě ní lze vypočítat rychlost i spotřebu.
- spotřebované palivo - měřené za jednotku času, důležitá veličina pro přímý výpočet spotřeby i dojezdnosti.
- stav nádrže - slouží pro stanovení dojezdnosti.

3.2 Vyčítání měřených veličin

Pro vyčítání měřených veličin bude palubní počítač napojen na elektronický obvod vstřikovače paliva a na snímače ujeté vzdálenosti, otáček motoru a stavu palivové nádrže. Určení spotřebovaného paliva na základě měření doby otevření vstřikovače je proveditelné u osobních automobilů se zážehovými motory s nepřímým vstřikováním paliva do sání. Tyto zážehové motory jsou v dnešní době stále nejrozšířenější a principy systémů různých výrobců automobilů se v zásadě příliš neliší.

Vlivem připojení palubního počítače na snímače a vstřikovač automobilu bude nutné provést kalibraci převodních konstant snímačů a kalibraci převodní konstanty vstřikovače, která je definována jako průtok paliva v kubických centimetrech za jednotku času ccm/min . Tuto hodnotu lze u většiny automobilů zjistit na základě sériového čísla vstřikovače a jeho vyhledaných technických parametrů. Kalibraci ostatních snímačů je nutné provést experimentálně. Pro prvotní kalibraci snímače otáček dobře poslouží otáčkoměr. Pokud automobil nedisponuje otáčkoměrem, pak je nutné buď zjistit otáčky motoru použitím diagnostiky nebo pokud automobil nepodporuje diagnostické rozhraní, tak je nutné použít specializovaného měřicího přístroje. Takový přístroj určí otáčky motoru na základě bezkontaktního snímání elektrických impulzů o napětí řádově kV , které způsobují vznik jiskry na zapalovací svíčke prvního válce motoru.

Kalibraci snímače ujeté vzdálenosti lze provést pomocí srovnání s hodnotami ukazanými rychloměrem a počítadlem kilometrů, které obsahuje přístrojová deska každého automobilu. Přesnější kalibrace lze docílit využitím informačních radarů, které přímo měří a zobrazují rychlost automobilu. Tyto informační radary lze často nalézt u silničních komunikací ve městech či obcích.

Pro kalibraci průběhu snímače nádrže je nutné zjistit průběh závislosti napětí snímače na stavu naplnění nádrže. Při takové kalibraci se jeví jako vhodné natankování maximálního množství paliva, tedy do plného objemu nádrže a při zkalibrovaném vstřikovači postupně vyjízďet natankované palivo. Takto lze kalibrovat hodnoty napětí, měřené snímačem nádrže, k odhadnutým hodnotám stavu nádrže. Odhad stavu nádrže lze určit na základě rozdílu objemu nádrže a spotřebovaného paliva.

4 KONCEPCE PALUBNÍHO POČÍTAČE

Před návrhem elektroniky PP je nutné provést rozbor požadavků na funkce, vytvořit blokové schéma a zvolit mechanickou koncepci zařízení.

4.1 Požadavky na palubní počítač

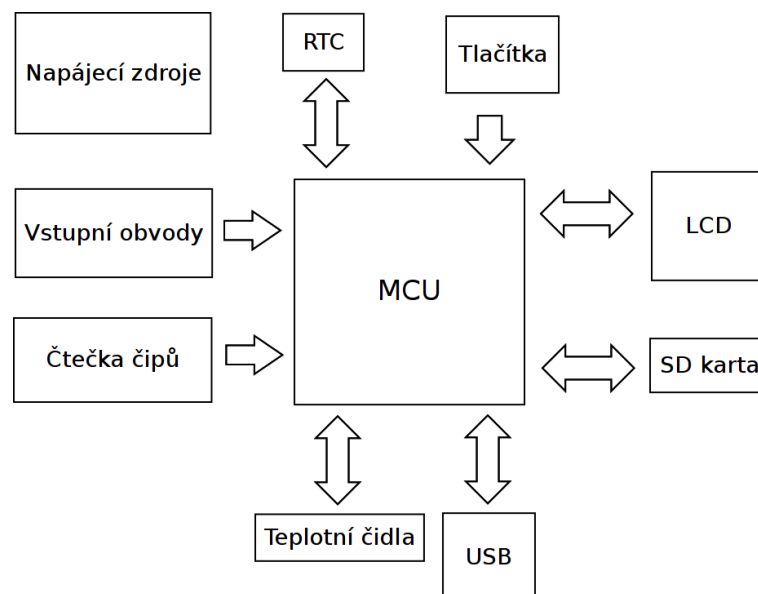
Palubní počítač by měl mít následující funkce, na které je nutno brát zřetel již během návrhu hardware.

- Měření spotřeby, rychlosti, otáček, nádrže, dojezdu, ujeté vzdálenosti, času jízdy
- Ukládání měřených a vypočtených provozních hodnot na zálohovací medium a do EEPROM
- Měření vnitřní a venkovní teploty
- Měření napětí palubní sítě
- Zobrazení údaje o času a datu
- Víceuživatelský režim - kalkulace a záznam provozních hodnot pro každého uživatele. Databáze uživatelů a jejich provozních dat.
- Možnost jednoduchého přihlašování uživatelů pomocí čipů a čtecího zařízení
- Možnost automatického probuzení při startu či interakci uživatele
- Možnost automatického usnutí zařízení při vypnutí motoru a nulové interakci s uživatelem
- Minimální spotřeba v klidovém stavu
- Možnost připojení přenosného počítače
- Možnost aktualizace firmware PP přes přenosný počítač
- Přehledné zobrazení provozních hodnot na grafickém LCD přímo připojeném k PP.
- Regulace podsvícení LCD dle okolního jasu s ohledem na omezení případného oslnění řidiče
- Provoz v rozsahu alespoň -20 °C až +50 °C.

4.2 Blokové schéma palubního počítače

Na základě požadavků lze stanovit přibližné blokové schéma PP viz obr. 4.1. Pro zobrazení provozních hodnot bude sloužit grafický displej, který by měl být dobře čitelný z místa řidiče. Více než barevná hloubka je v tomto případě důležitý kontrast displeje.

Proto byl vybrán monochromatický displej firmy Electronic Assembly DOGL128W-6 [23] s rozlišením 128x64 pixelů a modulární architekturou s možností výměny podsvícení. Tento displej byl svými rozměry 68x51 mm vhodným kandidátem z pohledu



Obr. 4.1: Blokové schéma palubního počítače

spolehlivé viditelnosti a čitelnosti z místa řidiče. Displej je typu STN s rozšířeným teplotním rozsahem a teplotní kompenzací kontrastu v rozsahu $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$. Pro komunikaci s LCD se využívá sériové sběrnice SPI. Aby nedošlo k oslnění řidiče, bude jas podsvícení regulován vzhledem k intenzitě světla v interiéru automobilu. Intenzita okolního světla bude měřena pomocí fotorezistoru a podsvícení bude řízeno pomocí PWM budiče PCA9530, který komunikuje po sběrnici i2c.

Pro ukládání provozních dat bude sloužit SD karta, která byla zvolena díky cenové dostupnosti a značné kapacitě. Dnes jsou cenově dostupné karty s kapacitou řádově jednotek GB, což zaručuje dostatek místa pro ukládání dat palubního počítače. Palubní počítač bude komunikovat s kartou typu SD pomocí sériové sběrnice SPI, přičemž ukládání dat by mělo probíhat do souborů databáze, která bude adresářově orientovaná. Jako souborový systém bude použit FAT32, což zaručí možnost čtení obsahu karty osobním počítačem s operačním systémem Windows i GNU/Linux a ostatními.

Pro ovládání byla zvolena kombinace tlačítek a rotačního enkodéru firmy ZIPPY, který je jako jeden z mála dostupný na českém trhu. Enkodér obsahuje otočnou část pro rozlišení pohybu a pomocné tlačítko ve svém středu, které bude suplovat funkci potvrzovacího tlačítka OK. Enkodér bude doplněn dvojicí mikropínačů, kde první bude sloužit jako tlačítko ESC a druhý jako tlačítko MENU pro vstup do menu s volbami a nastavením palubního počítače.

Obvod reálných hodin (RTC) by měl uchovávat informaci o aktuálním čase a datu. Navíc bude generovat přesnou periodu měření pro měřicí software. Tuto periodu měření bude předávat mikrokontroléru pomocí externího přerušení. Pro tyto funkce byl zvolen obvod PCF8563 [21], který komunikuje po sériové sběrnici i2c.

Na blokovém schématu jsou dále zakresleny vstupní obvody. Tyto obvody slouží pro přizpůsobení tvaru a amplitud měřených signálů. Je zapotřebí omezit amplitudy signálů na hodnoty akceptovatelné logickými obvody a mikrokontrolérem. Některé signály bude nutné tvarově upravit, aby nedocházelo k chybnému zpracování signálů mikrokontrolérem. Úprava bude spočívat v použití logických obvodů s hysterezí, které upraví měřený signál na obdélníkový průběh. Takový průběh lze pak zpracovat čítači mikrokontroléru či logickými vstupy.

Protože by měl palubní počítač umožnit zpracování dat pro více řidičů, je nutné použít nějaký systém přihlášení řidiče při vstupu do automobilu. Takový systém by měl být levný a odolný prostředí, v jakém bude použit. Vzhledem k ceně bylo upuštěno od systémů bezdrátové identifikace a byl zvolen systém iButton firmy Dallas. Tento systém využívá sběrnice 1-wire, která je zakončena čtecím kontaktem a klíčenky iButton, která obsahuje čip s unikátním sériovým číslem. Přihlášení je provedeno přiložením čipu ke čtecímu kontaktu a následným vyčtením sériového čísla a porovnáním tohoto čísla se seznamem sériových čísel známých uživatelů (řidičů).

Pro měření venkovní a vnitřní teploty byly zvoleny digitální snímače teploty DS18B20 [15], které využívají pro komunikaci sběrnice 1-wire. Rozsah měřených teplot je $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $+125\text{ }^{\circ}\text{C}$, přičemž přesnost v tomto rozsahu činí $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$. V rozsahu teplot $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $+85\text{ }^{\circ}\text{C}$ dosahují tato čidla přesnosti $\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Aby bylo možné propojení palubního počítače s přenosným počítačem, bude palubní počítač obsahovat také USB sběrnici. USB sběrnice by měla sloužit pro aktualizaci software nebo pro přístup do databáze naměřených dat. USB rozhraní by mělo být řešeno jako galvanicky oddělené od potenciálu automobilu. USB rozhraní bude založeno na obvodech z řady FT232 firmy FTDI. Tyto obvody slouží jako převodníky rozhraní USB na sériovou linku, kterou lze dobře izolovat pomocí optočlenů.

Mikrokontrolér bude zabezpečovat měření a zpracování naměřených veličin. Bude komunikovat se všemi periferiemi a provádět zápis a čtení dat na paměťovou kartu. Měl by umožňovat komunikaci po všech výše dostupných sériových sběrnících a mít dostatečnou kapacitu FLASH a kapacitu SRAM i EEPROM. Při výběru mikrokontroléru nebude výkon kritickým parametrem. Většinu měření lze provést pomocí integrovaných čítačů, kterých by měl mít mikrokontrolér dostatek. Minimálně budou potřebné 3 čítače pro měření doby otevření vstřikovače, měření impulzů od čidla kilometrů a měření impulzů od čidla otáček. Byl zvolen 8 bitový mikrokontrolér Atmega128A, který obsahuje 128 KB paměti FLASH a 4 KB paměti SRAM i EEPROM. Mikrokontrolér dosahuje výkonu až 16 MIPS při 16 MHz.

Napájecí zdroje budou zabezpečovat dobře vyfiltrované napájecí napětí pro jednotlivé obvody a mikrokontrolér. Při návrhu elektroniky palubního počítače bude muset být kladen důraz na účinnost zdrojů a také na odběr palubního počítače jako celku v režimu snížené spotřeby Power-down.

4.3 Mechanické uspořádání

Před samotným návrhem je nutné zvolit si koncepci zařízení z pohledu mechanické části a provedení desek plošných spojů. Byly uvažovány následující možnosti.

4.3.1 Společná deska plošných spojů

Nejprve byla uvažována koncepce společné desky plošných spojů, kde ovládací prvky a LCD by byly vyvedeny kabeláží na přístrojovou desku. Pokud bychom měli vyvedeno LCD a SD kartu kabeláží na palubní desku, rychlost sériové sběrnice SPI by musela být značně omezena. Bylo by nutné vybavit LCD a SD kartu samostatným MCU, který by prováděl komunikaci s hlavní deskou za pomoci nějakého odolnějšího rozhraní, které by mohlo být například rozhraní RS485. To by s sebou přineslo také zpomalení komunikace, což by se mohlo nepříjemně projevit na časech zápisu a čtení na SD kartu.

4.3.2 Několik desek plošných spojů umístěných u LCD

Pokud bychom měli všechny DPS přímo u LCD, tzn. u přístrojové desky, pak v případě montáže LCD na přístrojovou desku by bylo nutné složitě přivádět relativně tlusté izolované vodiče od měřených snímačů přímo k této desce. Zařízení by vlivem vstupních svorkovnic a zdrojů bylo značně rozměrné, což by mohlo dále zhoršit případnou montáž v automobilu. Na druhou stranu tato koncepce řeší problémy s komunikačními sběrnici, které byly nastíněny v předešlé koncepci.

4.3.3 Rozdělená koncepce desky s MCU a desky vstupů

Koncepce, kdy bude deska elektroniky umístěna těsně pod LCD, se kterým by mohla být přímo spojena konektorem a ne pomocí kabeláže. Poblíž lze umístit jak USB, tak SD kartu i ovládání přístroje. Tato hlavní část by byla propojena s deskou vstupů a zdrojů pomocí plochého kabelu typu AWG, na kterém by se vyskytovaly napětí maximálně úrovně TTL. Desku vstupů by šlo skrýt pod palubní desku.

Díky této konstrukci lze dosáhnout dobré modularity zařízení, lze obejít problémy se sběrnici a rušením. Nakonec byla vybrána právě tato mechanická koncepce. Výsledkem by měla být deska pro LCD, na níž těsně navazuje deska s MCU a periferiemi, která bude propojena plochým AWG kabelem s deskou vstupů a zdrojové části.

5 ELEKTRONIKA PALUBNÍHO POČÍTAČE

V této kapitole bude proveden vlastní návrh a realizace elektroniky palubního počítače pro osobní automobily. Palubní počítač (PP) bude vyvíjen pro zážehové motory s jednobodovým a vícebodovým vstřikováním, na kterých bude možné měřit dobu otevření vstřikovacího ventilu pomocí měření úrovně jeho elektrického řídicího signálu.

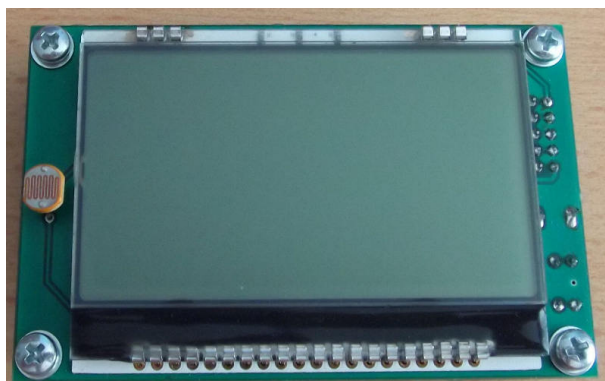
5.1 LCD modul

Nejprve je vhodné navrhnout modul s LCD. Od tohoto modulu se odvíjí mechanické uspořádání hlavní desky s MCU, která bude mít stejné rozměry jako modul s LCD.

5.1.1 LCD DOGL128W-6

Displej vyžaduje napájecí napětí 3,3 V a stejně tak logické úrovně LV-TTL. Teplotní pracovní rozsah displeje výrobce udává na $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$. Displej tedy bude patrně nejslabším článkem celého řetězce a to především při nízkých teplotách, kdy klesá odezva displeje. Podsvícení bylo vybráno s LED oranžové barvy. Podsvícení je nutno napájet zvlášť, přičemž odběr může činit až 200 mA.

Komunikace s displejem probíhá pomocí SPI sběrnice. Z pohledu komunikace je ovšem možné pouze zapisovat data do displeje. Z důvodu modularity byl displej umístěn na pomocnou desku, která zabezpečí napájení a úpravu logických úrovní pro displej. Díky použití budiče 74LVX125 displej akceptuje SPI rozhraní i s TTL 5 V logikou. Pokud by byl displej pevně zaletován do hlavní desky s mikrokontrolérem, bylo by problematické jej případně vyletovat a použít do nového prototypu. Displej má totiž mnoho vývodů a je určen přímo pro zaletování do DPS.



Obr. 5.1: Modul s LCD

5.1.2 Deska s LCD

Modul s LCD obsahuje pomocný budič SPI sběrnice, vlastní napájecí 3,3 V zdroj pro displej a také tranzistor typu MOSFET pro ovládání podsvícení displeje pulzně šířkovou modulací. Pro doplňkovou regulaci jasu byl na desce umístěn snímací foto rezistor, pomocí kterého bude hlavní mikrokontrolér vyhodnocovat úroveň okolního osvětlení a regulovat jas displeje. Schéma zapojení je uvedeno v příloze. Zapojení LCD bylo provedeno dle technické dokumentace výrobce [23]. Na obrázku 5.1 je fotografie výsledné desky LCD, která bude propojena s hlavní deskou přes dutinkovou lištu 2x5 pinů. Díky použití vlastního lineárního stabilizátoru a budiče SPI sběrnice lze modul s LCD napájet i řídit napětím 3,3 až 5 V.

5.2 Hlavní modul s mikrokontrolérem

Hlavní modul bude obsahovat řídicí mikrokontrolér s periferiemi a bude vyhodnocovat signály od modulu vstupů a zdrojů. Modul se vstupy a zdroji bude navržen jako poslední, jakmile budou zřejmé požadavky na napájení všech modulů. Hlavní modul s MCU ovládá okolní moduly s LCD, USB a micro-SD kartou.

5.2.1 Mikrokontrolér Atmega128A

Atmega128A akceptuje napájecí napětí v rozsahu 2,7 V až 5,5 V. Vzhledem k tomu, že periferie jako LCD či SD karta komunikují na 3,3 V LV-TTL úrovni, bylo zvoleno také napájení a tím i úrovně 3,3 V. Napájení MCU a integrovaných obvodů je zabezpečeno přes pomocný CMOS stabilizátor MCP1703, který dále stabilizuje napětí z hlavní napájecí větve. Hlavní napájecí napětí bude přivedené z desky vstupů se zdroji, která bude popsána později. Modul vstupů bude obsahovat předregulaci napájecího napětí na takovou hodnotu, aby na lineárních stabilizátorech modulu s MCU či modulu s LCD nebyl příliš velký úbytek napětí a tím i vyšší ztrátový výkon přeměněný v teplo. Všechny napájecí hlavní i pomocné rozvody jsou z důvodu eliminace špiček a přepětí opatřeny ochrannými transily.

Při návrhu zapojení mikrokontroléru tak i periferních obvodů bylo myšleno na patřičné blokování napájecího napětí, které omezí šíření rušení z napájecích rozvodů do integrovaných obvodů. Pro samotný mikrokontrolér, jakož nejvíce kritický integrovaný obvod, jsou jeho napájecí vývody blokovány keramickými kondenzátory 100 nF, 1 μ F s typem materiálu X7R a jedním kondenzátorem 1 nF s typem materiálu NPO.

Zapojení mikrokontroléru bylo provedeno dle doporučení daných výrobcem v tech. dokumentaci [11]. Jedná se především o maximální povolenou frekvenci oscilátoru pro bezpečný provoz při napájecím napětí 3,3 V. Mikrokontrolér sice umožňuje výkonu až 16

MIPS při 16 MHz frekvenci, ovšem pouze při 5 V napájecím napětí. Při 3,3 V je doporučená maximální frekvence přibližně 10 MHz. MCU lze programovat jak přes standardní ISP rozhraní, tak pomocí rozhraní JTAG, které umožňuje také ladění aplikace.

5.2.2 Měřicí vstupy mikrokontroléru

Na desce vstupů a zdrojů budou připojeny základní přepět'ové ochrany a omezovací diody pro úroveň TTL. Tento přivedený signál je nutné dále upravit na úroveň LV-TTL na straně mikrokontroléru. Taktéž je vhodné zajistit určitou hysterezi logických úrovní, protože vstupní signál nemusí být obecně tvaru obdélníkového.

Proto je před MCU zapojeno hradlo typu NAND 74LVX132, které má na vstupech implementovány klopné obvody s hysterezí. Hradlo akceptuje vstupní úroveň až do 7 V, zatímco výstup je díky napájení 3,3 V typu LV-TTL. Spotřeba hradla by se měla pohybovat do 1 mA. Proč bylo použito hradlo typu NAND bude vysvětleno dále.

Měření doby otevření vstřikovače

U vstupu vstřikovače musíme měřit dobu otevření vstřikovače, tedy měřit dobu trvání elektrického impulsu, který způsobí otevření vstřikovače. Byly uvažovány dva způsoby:

- Časovačem s přerušením - mikrokontrolér umožňuje za pomoci funkce časovače Input-Capture zachytit stav časovače do pomocného registru a poté vyvolat přerušení pro vyzvednutí obsahu tohoto registru. Tato metoda je značně náročná na počet přerušení a výpočetní čas mikrokontroléru. MCU musí stihnout vyzvednout stav registru, než dojde k dalšímu zachycení vstupní události. Jinak dojde k přepsání registru a ztrátě informace.
- Hardwarově s podporou čítačů - princip spočívá ve vytvoření generátoru signálu řádově desítek kHz, který bude ovládán stavem vstupu, tj. stavu vstřikovače a bude na základě něj měřen čítačem. Metoda vyžaduje jedno přesné přerušení pouze pro vyzvednutí načítané hodnoty a vynulování čítače počítajícího impulsy. Toto přerušení je voláno za periodu měření, například 1 s.

Byla zvolena druhá z metod, protože nevyžaduje velký počet přerušení a procesorového času. Na druhou stranu jsou pro měření potřeba 2 čítače/časovače a externí hradlová logika. Princip je následující.

Mějme jeden z 8-mi bitových čítačů v režimu generátoru hodinového signálu o frekvenci 200 kHz, který vyvedeme na jeden z pinů. Dále máme vstupní optočlen od vstřikovače, který je při sepnutém vstřikovači v log. 0. Tento vstup nám dělá časové okno kdy jsou počítány impulsy 200 kHz generátoru druhým 16-ti bitovým čítačem. Stav tohoto čítače nám dává dobu otevření vstřikovacího ventilu. Například je-li vstřikovač otevřen 0,1 s a perioda měření čítačem je 1 s, pak vyzvednutý stav čítače je 20000. Vyzvednutím

a vynulováním čítače můžeme měřit další interval. Rozlišení takového měření je dáno periodou frekvence 200 kHz, tedy 5 μ s. Toto rozlišení je z pohledu měření dob otevření vstřikovačů dostačující. Doba jednoho otevření vstřikovače se pohybuje řádově v jednotkách milisekund s minimálním krokem 0,1 ms.

Tuto funkci měření lze jednoduše vyjádřit pomocí pravdivostní tabulky, kde A je výstup optočlenu a B je výstup generátoru 200 kHz.

A	B	Y
0	0	0
0	1	1
1	0	0
1	1	0

Tab. 5.1: Pravdivostní tabulka funkce měření délky otevření vstřikovače

Jak je patrné, na výstupu bude hodnota vstupu B pouze tehdy, pokud je vstup A vstřikovač v log. 0. Pokud je vstřikovač uzavřen, pak je na výstupu klidový stav v tomto případě log. 0. Uvedenou tabulku lze vyjádřit pomocí úplné disjunktivní normálové funkce.

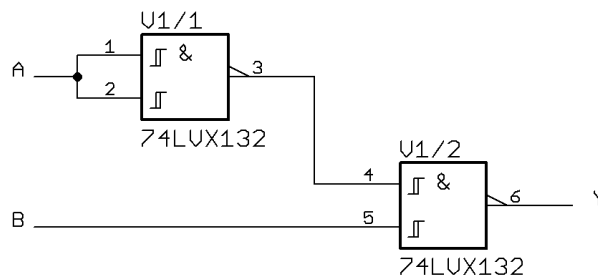
$$Y = \bar{A} \cdot B \quad (5.1)$$

Prakticky je ovšem nutné použít logického hradla NAND, které dokáže realizovat jak negaci, tak logický součin. Výstup hradla po násobení je ovšem také znegován. Tedy funkce vypadá takto.

$$Y = \overline{\bar{A} \cdot B} \quad (5.2)$$

Uvědomíme-li si, že na logické úrovni nezáleží a čítač umožňuje čítat při sestupné nebo náběžné hraně, pak je daná rovnice v pořádku a nemusíme provádět další úpravy. Ve stavu klidu při uzavřeném vstřikovači bude na výstupu log.1 a při otevřeném vstřikovači bude pak na výstupu znegovaná hodnota vstupu B , který představuje generátor frekvence 200 kHz.

Výsledné zapojení pomocí hradel NAND obvodu 74LVX132 je na obrázku 5.2. Uvažovaný 16 bitový čítač čítá maximálně 65536 hran. Při zvolené frekvenci 200 kHz a periodě vyzvednutí čítače 1s je zřejmé, že může dojít k přetečení čítače. Toto přetečení lze jednoduše ošetřit pomocí přerušení, které bude vykonáno v nejhorším případě 4x za 1 s. Je nutné přihlédnout k faktu, že vlivem nepřesností oscilátorů může být frekvence lehce rozdílná od 200 kHz. Stejně tak měřicí perioda 1 s, generovaná obvody reálného času může mít určitou nepřesnost. A v neposlední řadě dochází k prodlevě i při vyvolání přerušení programu a vyzvednutí stavu čítače.



Obr. 5.2: Zapojení vstupu pro měření doby otevření optočlenu vstřikovače

Měření stavu nádrže

Měření nádrže se provádí analogově snímáním hodnoty napětí na potenciometru umístěném v palivové nádrži. Tento potenciometr je připojen většinou přímo k řídicí jednotce automobilu. Starší automobily jej mohou mít připojen k přístrojové desce, kde je skryta vlastní elektronika.

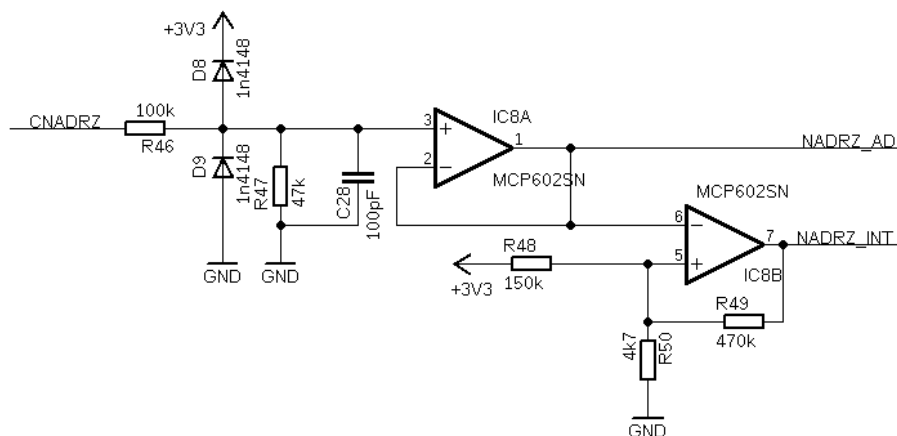
V prvním případě máme dvě možnosti připojení. Jednou je napojit měřicí vstup palubního počítače přímo k řídicí jednotce nebo napojit vstup na výstup řídicí jednotky, který ovládá ukazatel paliva v přístrojové desce. Mnohé automobily mají na tomto výstupu lineární závislost mezi stavem nádrže a napětím přiváděným na palivoměr v přístrojové desce. Nelze na to ovšem spoléhat.

V druhém případě, kdy je potenciometr z palivové nádrže přiveden rovnou na vstup přístrojové desky, nemáme příliš s připojením na výběr. V tomto případě navíc musíme řešit fakt, že některé starší přístrojové desky jako deska z VW Polo či Seat Arosa nemají měření spojitě. Tyto přístrojové desky si provádí odměry stavu nádrže krátkým impulzem, jehož amplituda udává stav nádrže. Takový impuls byl u automobilu Seat Arosa naměřen s délkou trvání 700 μ s a periodou 30 ms. Amplituda byla v rozmezí 0 až 5 V.

Z tohoto důvodu byl vstup pro měření nádrže pojat pokud možno univerzálně. MCU měří na svém vstupu AD převodníku napětí snímače nádrže, které je napětí ově upraveno k poměru reference AD převodníku a impedančně přizpůsobeno pomocí OZ v zapojení jako sledovač. Druhá polovina operačního zesilovače pak slouží jako komparátor pro měření úrovně napětí a pro generování přerušení v případě detekce impulzních odměrů ze strany automobilu. V tomto přerušení se provede měření napětí úrovně impulsu pomocí AD převodníku.

Na pozici operačního zesilovače byl zvolen MCP602 firmy Microchip. Tento OZ bez problémů pracuje s napájecím napětím 3,3 V a jeho proudový odběr ze zdroje nepřesahuje 0,5 mA. Zapojení vstupní části pro měření palivové nádrže je na obrázku 5.3. Na obrázku nejsou uvedeny připojené piny napájení a patřičný blokovací kondenzátor.

Vstupní napětí je děličem upraveno a přivedeno na operační zesilovač IC9A, který je



Obr. 5.3: Vstupní část měření stavu nádrže

zapojen jako neinvertující sledovač. Tento operační zesilovač zabezpečí vysoký vstupní odpor a nízký výstupní odpor. Díky tomu neovlivní vstupní impedance AD převodníku měření. Ochranné diody slouží pro případ překročení povolené hodnoty vstupního napětí.

Uvažujeme-li interní napětíovou referenci AD převodníku 2,56 V, pak by odporový dělič měl zabezpečit převod vstupního napětí takový, aby této maximální měřené hodnoty bylo dosaženo pouze v krajním případě. Rozsah napětí na snímačích palivových nádrží bývá v automobilech v rozmezí 0 až 5 V. Postačí tedy splnit tuto vstupní hodnotu napětí s určitou bezpečnou rezervou 7 až 9 V při hodnotě na vstupu AD převodníku 2,56 V. Při návrhu děliče byla zohledněna běžná odporová řada a z vybraných hodnot je pak dělicí poměr:

$$U_{AD} = U_{IN} \cdot \frac{R_{46}}{R_{45} + R_{46}} = U_{IN} \cdot \frac{47 \cdot 10^3}{147 \cdot 10^3} = U_{IN} \cdot 0,32 \text{ V} \quad (5.3)$$

Tedy maximální hodnota vstupního napětí je:

$$U_{IN} = \frac{U_{AD}}{0,32} = \frac{2,56}{0,32} = 8 \text{ V} \quad (5.4)$$

Zvolený poměr děliče je nutné realizovat s dostatečně vysokým vstupním odporem, aby palubní počítač neovlivnil samotné měřicí obvody automobilu. V daném případě je minimální vstupní odpor 100 kΩ.

Z důvodu zamezení rušení a úpravy strmosti hran byl vstup operačního zesilovače doplněn o kondenzátor C32, který společně se vstupním odporem R45 tvoří RC člunek typu dolní propust. Je nutné ovšem zvolit časovou konstantu RC člunku poměrně nízkou s ohledem na možné měření krátkých impulzů, jejichž šířka může být i pouhých 700 μs, což bylo naměřeno na automobilu Seat Arosa. Aktuální uvedená hodnota 100 pF dává společně s rezistorem 100 kΩ časovou konstantu:

$$\tau = R \cdot C = 100 \cdot 10^3 \cdot 100 \cdot 10^{-12} = 10 \text{ μs} \quad (5.5)$$

Časová konstanta τ udává dobu, za kterou výstupní napětí RC článku dosáhne přibližně 63 % hodnoty ustáleného stavu, který je dán odporovým děličem a velikostí vstupního napětí.

Druhá část operačního zesilovače slouží jako komparátor s hysterezí pro detekci napětíových impulzů, pokud je nádrž měřena v časových intervalech. Tento komparátor má prahovou hodnotu posazenou níže než jsou úrovně TTL pro přechod mezi log. 0 a log. 1. Vstup komparátoru je napojen až za odporový dělič a ochranné diody. Díky tomu nevyžaduje žádné dodatečné úpravy signálu. Je ovšem nutno kalkulovat s děličem při výpočtu překlápěcích úrovní komparátoru.

Komparátor je v zapojení invertujícím. Tedy pokud je na jeho vstupu napětí větší než hladina pro překlápění, pak je jeho výstup v log. 0. Pokud je napětí na vstupu menší, než hladina zpětného překlápění, pak je na jeho výstupu log. 1. Hystereze je zavedena od výstupu na neinvertující vstup. Byla zvolena hystereze přibližně 100 mV a hranice pro překlápění přibližně 0,4 V. Na základě toho byly provedeny výpočty hodnot rezistorů. Při výpočtech je vhodné tyto zpracovat například tabulkovým editorem. Výpočet totiž není možné provést na poprvé. Je nutné volit hodnoty součástek z reálně vyráběných hodnot a snažit se přiblížit zvoleným požadavkům.

Při rostoucím napětí od 0 V, kdy je výstup v log. 1 což je přibližně 3,3 V lze napětí, kdy dojde k překlápění, vypočítat podle analogie s odporovým děličem:

$$U_L = 3,3 \cdot \frac{R_{49}}{\frac{R_{48} \cdot R_{25}}{R_{48} + R_{25}} + R_{49}} = 3,3 \cdot \frac{4,7}{\frac{150 \cdot 470}{150 + 470} + 4,7} = 131 \text{ mV} \quad (5.6)$$

Toto napětí je ovšem vztažené ke vstupu komparátoru a ne ke vstupu měřicímu. Napětí na snímači musí být:

$$U_{LN} = \frac{U_L}{0,32} = \frac{0,131}{0,32} = 0,41 \text{ V} \quad (5.7)$$

Při tomto napětí nádrže tedy dojde k překlápění výstupu komparátoru z log. 1 na log. 0. Toto překlápění změní hodnotu hystereze. Odpor R_{25} je nyní připojen svým koncem na 0 V, je tedy paralelně k odporu R_{49} , který má ovšem hodnotu 4,7 k Ω a tak se paralelní připojení hodnoty 470 k Ω příliš neprojeví a lze jej zanedbat. Napětí, při kterém dojde ke zpětnému překlápění zpět na log. 1 je tedy dáno vztahem:

$$U_H = 3,3 \cdot \frac{R_{49}}{R_{49} + R_{48}} = 3,3 \cdot \frac{4,7}{4,7 + 150} = 100 \text{ mV} \quad (5.8)$$

Toto je ovšem také vztaženo ke vstupu komparátoru. Tudíž napětí na snímači bude:

$$U_{HN} = \frac{U_H}{0,32} = \frac{0,1}{0,32} = 0,31 \text{ V} \quad (5.9)$$

Výstup komparátoru je připojen na vstup vnějšího přerušení mikrokontroléru. Tento bude v rámci přerušení měřit hodnotu napětí na analogovém vstupu AD převodníku. To

samozřejmě za předpokladu, že software vyhodnotí na měřícím vstupu nádrže nespojité měření v časových kvantech. Je jasné, že nádrž není třeba měřit celou dobu trvání impulsů na vstupu přerušení, proto bude většinu doby toto přerušení maskováno.

Ostatní měřicí vstupy

Vstupy, které nemají na svých vstupech optočleny, jsou přivedeny pouze přes hradla obvodu 74LVX132 v zapojení jako negace úrovně. Negace úrovně nijak nezhodnotí měřený signál, protože se vyhodnocuje pouze frekvence popř. počet impulsů přiváděného signálu od snímače otáček motoru a snímače ujeté vzdálenosti. Tyto signály budou na modulu vstupní desky a zdrojů napětí ově upraveny na signál TTL 5 V a dále jsou pomocí hradla těsně před MCU upraveny na hodnoty LV-TTL. Průběhy jsou upraveny na pravoúhlý signál díky integrované hysterezi v hradle a jsou dále přivedeny na vstupy čítačů.

Analogový vstup po měření napětí palubní sítě je přiveden přes odporový dělič s RC článkem a ochrannými diodami na vstup AD převodníku mikrokontroléru. Vydělení napětí odporovým děličem probíhá již na desce vstupů a zdrojů a na hlavní modul s MCU tedy nepřichází přímo plné napětí palubní sítě.

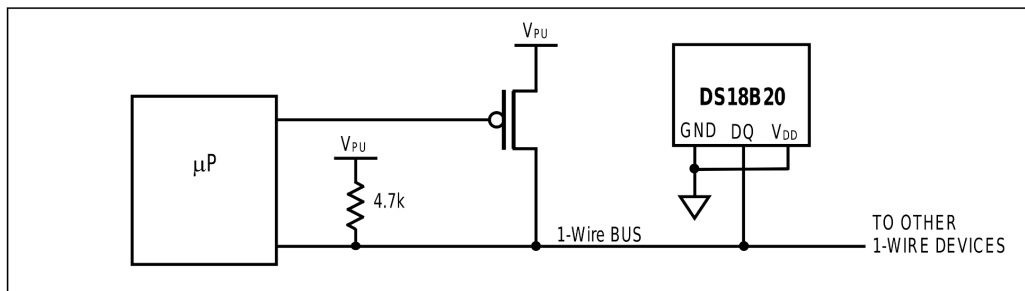
5.2.3 Zařízení na sběrnici 1-Wire

Sběrnice 1-Wire byla navržena firmou Dallas. Umožňuje připojit periferie k mikrokontroléru za pomoci dvou vodičů. Jednoho pro společný potenciál a druhý pro komunikaci i napájení. Komunikace je tedy asynchronní a poměrně pomalá. Vyslání jednoho bitu trvá kolem 70 μ s, přičemž chceme-li ze zařízení číst, musíme jej nejprve oslovit a poslat příkaz čtení. Na druhou stranu u vyloženě jednoduchých zařízení, která jsou na tuto sběrnici připojena to v podstatě nevádí. Problém může nastat, požadujeme-li v jednom okamžiku číst z velkého množství zařízení, která jsou adresována na společné sběrnici.

Sběrnice se používá u jednoduchých zařízení jako paměti ROM, EEPROM, teplotní čidla DS18B20 či pro přihlášení do zabezpečovacích systémů technologií čipů a čteček iButton. Poslední dvě zmiňované jsou právě použity v palubním počítači.

Teplotní čidla DS18B20

Čidla jsou schopné pracovat ve tří i dvou vodičové zapojení. Dvou vodičové zapojení je v tomto případě zajímavější. Čidlo je napájeno po datové lince, tudíž odpadá výstup napájecího napětí. Během konverze však musí mikrokontrolér pevně připojit datovou sběrnici k napájecímu napětí. Během komunikace pak log. 1 úroveň zabezpečuje externí pull-up rezistor. Praktické zapojení je na obrázku 5.4. Protože podporuje protokol 1-wire adresaci zařízení, může být na jednom vodiči připojeno více teplotních čidel, v našem případě 2 čidla.



Obr. 5.4: Standardní dvouvodičové připojení čidel DS18B20 [15]

Čidlo podporuje rozsah napájecích napětí od 1,8 V do 5 V, přičemž jeho spotřeba je v klidovém stavu v řádu μA . Teplotní čidla budou mít svou vlastní sběrnici 1-wire. Tímto docílíme jednoduché adaptace software na různý počet připojených teplotních čidel.

iButton

Technologie iButton se používá pro jednoduché bezpečnostní přihlašování v tomto případě přihlašování řidiče do systému palubního počítače. Systém iButton se skládá z čipů s pamětí ROM a čtečky čipů, což je pouze dosedací kovová patice pro čip s vyvedenými vodiči sběrnice 1-wire. Komunikace dále probíhá po této sběrnici.

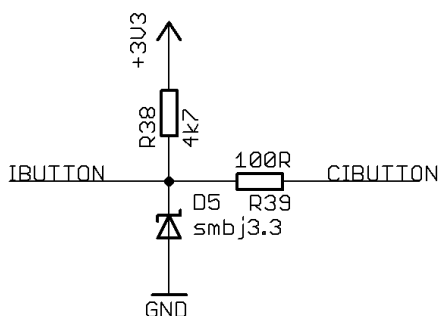
Na pozici čipu, který bude vlastnit řidič, byl vybrán typ DS1990R [14]. Tento typ obsahuje pouze paměť ROM s 64 bitovým unikátním sériovým číslem, podle kterého bude identifikován řidič. Čip akceptuje napájecí napětí od 1,8 do 5 V i způsob zapojení a komunikace jako u teplotních čidel DS18B20. Z důvodu jednoduché identifikace naučených čidel řidičů a také z důvodu určité bezpečnosti bude iButton čtečka připojena na samostatné 1-wire sběrnici. Software tedy bude vědět, že na této sběrnici existuje současně pouze jedno zařízení, které odpovídá právě přiloženému čipu.



Obr. 5.5: iButton čtečka a čip DS1990R

Zapojení výstupů sběrnic 1-wire

Výstupy sběrnic 1-wire, které povedou mimo desku plošných spojů by měly být chráněny proti případnému přepětí. V tomto případě jsou to sběrnice pro teplotní čidla a sběrnice iButton. Protože specializované ochranné obvody sběrnice 1-wire byly špatně dostupné, ochrana byla realizována v podobě sériového rezistoru a transilu viz. obr. 5.6. Zapojení je identické pro obě sběrnice. Hodnota sériového odporu nesmí být příliš velká, aby odpor neovlivňoval komunikaci. Transil byl použit na nejmenší možné prahové napětí.



Obr. 5.6: Zapojení výstupu sběrnic 1-wire

Paměť ROM DS2401

Tato paměť firmy Dallas obsahuje unikátní 64-bit číslo. Paměť je určena především k identifikaci sériových čísel palubních počítačů a tím rozeznání zaznamenaných dat v případné databázi na PC. Lze tak zpětně dohledat, který modul palubního počítače data naměřil.

Zapojení paměti je obdobné zapojením uvedeným výše. Protože je paměť na společné desce s mikrokontrolérem, nepotřebuje přepětíovou ochranu. Paměť je připojena na svou vlastní sběrnici 1-wire. Je tedy jediným prvkem na této sběrnici. Podrobnosti lze dohledat v dokumentaci výrobce [16].

5.2.4 Zařízení na sběrnici i2c

Sběrnice i2c je synchronní sběrnice s budiči typu otevřený kolektor o maximální rychlosti hodin 400 kHz. Pro komunikaci jsou potřebné dva datové vodiče, jeden pro distribuci hodinového signálu SCK a druhý pro přenos dat SDA. Sběrnice je hojně využívána různými periferními obvody, které jsou většinou umístěny poblíž řídicího mikrokontroléru. Komunikace probíhá na úrovních TTL či LV-TTL daných napájecím napětím, na které jsou vztaženy pomocné pull-up rezistory a komunikující obvody.

Sběrnice je typu Master-Slave, tedy Master zahajuje komunikaci, oslovuje Slave zařízení s unikátní adresou a čeká na odpověď od Slave zařízení. Zařízení může začít komunikaci, je-li sběrnice v klidu v log. 1 držena pomocnými pull-up rezistory. Kompletní popis sběrnice i2c je značně obsáhlý. Je zbytečné zde uvádět kompletní komunikaci. Tuto je možné dohledat v [13].

Obvod reálného času PCF8563

Jednoduchý obvod reálného času, který komunikuje po sběrnici i2c a umožňuje generování hodinového signálu na svém výstupu. Záložní zdroj je řešen buď pomocí 3 V lithiové baterie, kterou lze připojit k napájecímu pinu, nebo pomocí zálohovacího kondenzátoru o relativně velké kapacitě.

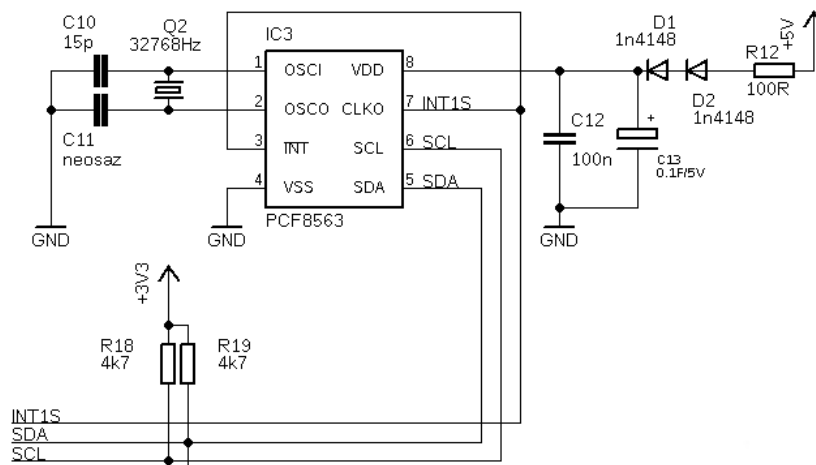
V případě zálohovací baterie se nevyhneme po několika letech její pracné výměně v zařízení. Uvažujeme-li zabudování zařízení do podpalubí přístrojové desky, pak toto může být značně nepříjemné.

Použijeme-li zálohovací kondenzátor o běžné kapacitě 0,1 F, pak se výměně vyhneme. To ovšem za cenu faktu, že zálohovací kondenzátor je schopen obvod reálného času napájet přibližně týden, což bylo prakticky ověřeno. To je dáno jednak určitou spotřebou obvodu která je ovšem v řádu μA a jednak také vlastním vybíjecím proudem kondenzátoru. V našem případě bude zařízení trvale napájeno z palubní sítě i po čas režimu Power-down, tedy zálohovací zdroj musí zaručit napájení hlavně v případě výpadků daných odpojeným akumulátorem.

Zapojení obvodu je patrné z obrázku 5.7. Obvod má všechny výstupy typu otevřený kolektor. Zdvihač rezistory na komunikační sběrnici jsou zvoleny s ohledem na komunikační rychlost a kapacitu sběrnice. K mikrokontroléru je dále veden hodinový výstup obvodu, na kterém lze nadefinovat různé hodinové signály vzniklé vydělením základního hodinového taktu 32768 Hz. Tento výstup je připojen na vstup externího přerušení a slouží pro generování přesných měřicích period.

Jako výchozí zdroj hodinového signálu slouží krystal 32768 Hz. Byl použit krystal firmy Citizen America CF206 s přesností frekvence 20 ppm a udávaným rozsahem teplot $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Základní zapojení je převzato z dokumentace PCF8563 [21]. U krystalu jsou připojeny pomocné kondenzátory, jejichž hodnota doladuje rezonanční frekvenci 32768 Hz. Druhý z kondenzátorů na vývodu OSC0 není nutný a aktuálně ani není osazen. Slouží pro případné ladění frekvence. Pro základní ladění slouží kondenzátor C10, jehož hodnota ovlivňuje přesnost hodin. Máme-li přesný měřič frekvence, pak lze kalibraci provést jednoduše. Ovšem v praxi je lepší provést jemnou kalibraci softwarově, kdy se do programu mikrokontroléru uloží korekce času a perioda, s kterou se tato korekce má provádět. Prakticky se jedná řádově o sekundy, které vzniknou nepřesností hodin během několika týdnů



Obr. 5.7: Zapojení obvodu reálného času PCF8563

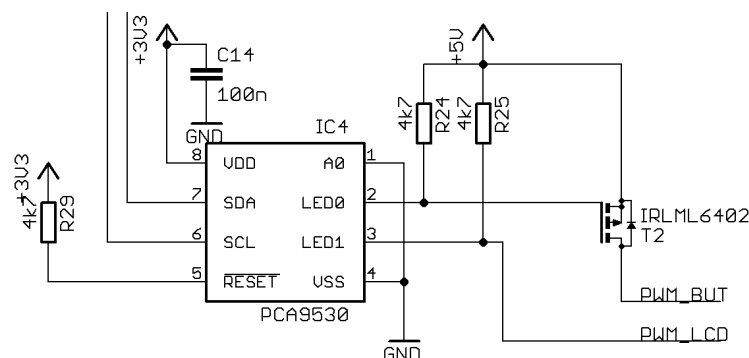
běhu obvodu reálných hodin.

Aby nedošlo k vybití zálohovacího kondenzátoru při odpojení napájení, musí být zařazena v napájecí větvi usměrňovací dioda. Tato dioda nám ovšem sníží napájecí napětí obvodu přibližně o 0,6 V v případě běžné křemíkové diody, nebo o 0,4 V v případě rychlé shottky diody. Tímto nám prakticky sníží hodnotu napětí, kterým se nabíjí kondenzátor a tím zkrátí zálohovací dobu, po kterou bude kondenzátor schopen napájet obvod hodin. Z toho důvodu byl obvod připojen na napájecí napětí 5 V, do kterého byly zařazeny dvě křemíkové diody, což má za následek výsledné maximální napájecí napětí přibližně 3,8 V. Toto napětí je samotným obvodem akceptovatelné, protože obvod má rozsah napájecích napětí 1,2 až 5 V. Snížení napětí bylo provedeno z důvodu kompatibility logických úrovní LV-TTL sběrnice i2c. V napájení je v sérii s diodami i omezovací odpor R12. Tento odpor je nutný z důvodu nabíjení obrovské kapacity kondenzátoru při připojení zařízení k napájení. Tato vybitá kapacita znamená v okamžiku připojení prakticky zkrat. Hodnota 100 Ω omezí nabíjecí proud přibližně na počátečních 38 mA.

Pomocný regulátor podsvícení PCA9530

Slouží pro regulaci jasu LCD za pomoci pulzně šířkové modulace. Obvod je zapojen dle technické dokumentace [22]. Je připojen na napájení 3,3 V a komunikační sběrnici i2c.

Výstupy obvodu jsou typu otevřený kolektor a jsou nezávisle regulovatelné. S ohledem na doporučené zapojení jsou výstupní zdvihací odpory připojeny na 5 V napájení. To by mělo snížit vlastní odběr obvodu v klidovém stavu při rozepnutých výstupních tranzistorech. Protože jsou výstupní budiče schopné vést proud pouze 20 mA, je výstup pro regulaci jasu opatřen MOSFET tranzistorem, který je umístěn na modulu s LCD. Druhý výstup je použit pro možnou doplňkovou regulaci podsvícení tlačítek.



Obr. 5.8: Zapojení obvodu regulace jasu PCA9530

5.2.5 Galvanicky oddělené USB

Z důvodu ochrany připojeného PC či notebooku je navrženo USB rozhraní, které je galvanicky oddělené od palubní sítě automobilu.

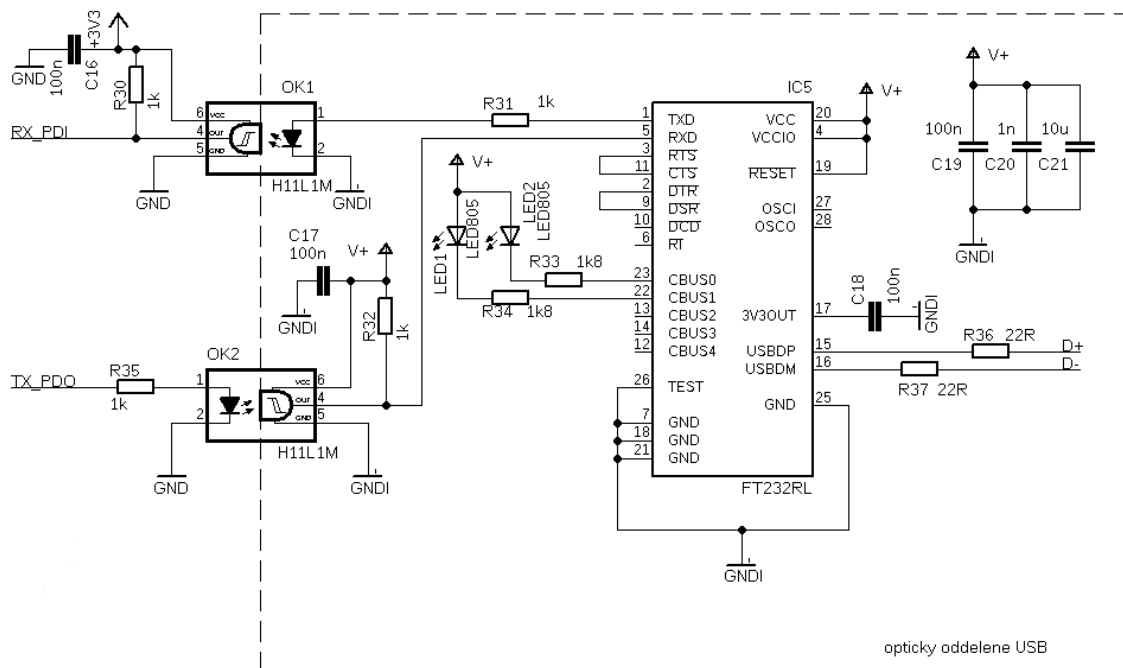
Jako USB řadič byl vybrán obvod FT232R firmy FTDI. Tento obvod slouží jako převodník USB sběrnice na sériové rozhraní, které lze připojit k mikrokontroléru. Z pohledu aplikace pro PC se pak převodník hlásí jako emulovaný sériový port s možností nastavení parametrů sériové komunikace. Zapojení převodníku je na straně sériové linky odděleno pomocí optočlenů H11L1. Tyto optočleny jsou schopny přenášet signál s frekvencí až 1 MHz. To bude plně dostatečné pro dosažení maximální rychlosti sériové linky 115200 Baud. Nutno podotknout, že optočleny způsobují logickou negaci úrovně na linkách Rx a Tx sériové linky. Obvod FT232R ovšem s tímto počítá a lze jej přes USB a pomocnou aplikaci FTprog nakonfigurovat tak, aby datové linky znegoval. Díky dvojité negaci je tak problém s optočleny odstraněn. Schéma je na obrázku 5.9.

Obvod i jeden z optočlenů jsou napájeny přímo z USB sběrnice. USB konektor ve schématu není uveden, protože bude vyveden kolmo na destičku společně s micro-SD slotem karty, aby se zajistil přístup z pohledu přední strany LCD.

Při testování byla zvolena optimální hodnota pomocných kolektorových rezistorů 1 kΩ. Úroveň sériové linky je 5 V TTL. Je dána připojeným napájecím vstupem *VCCIO* na napájení 5 V USB sběrnice. Proud vstupním detektorem tj. emitující diodou je pak dán předřadným odporem, na kterém je napětí:

$$U_R = U_{HI} - U_D = 5 - 1,1 = 3,9V \quad (5.10)$$

Kde U_{HI} je napětí linky v log. 1, U_D je úbytek napětí při otevřené emitující diodě. Dle dokumentace dochází k otevření detektoru přibližně od 1,6 mA proudu procházejícím emitující diodou.

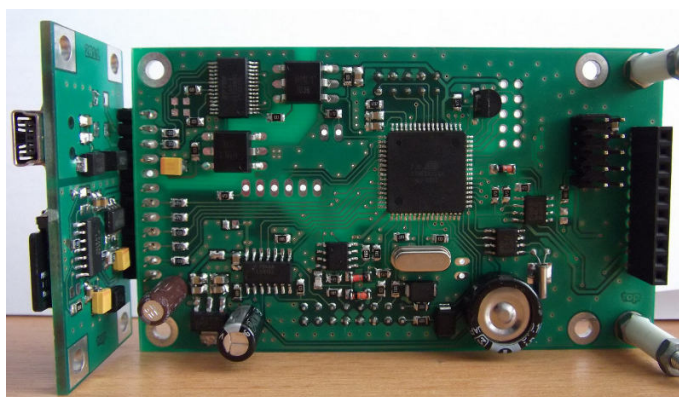


Obr. 5.9: Galvanicky oddělené USB

Byl zvolen proud 4 mA, pak lze hodnotu rezistoru určit pomocí Ohmova zákona:

$$R = \frac{U_R}{I_D} = \frac{3,9}{0,004} = 975 \, \Omega \cong 1 \, k\Omega \quad (5.11)$$

Ostatní hodnoty součástek byly zvoleny dle referenčního zapojení v technické dokumentaci [10].



Obr. 5.10: Pohled na hlavní desku s mikrokontrolérem a s připojenou deskou micro-SD a mini-USB

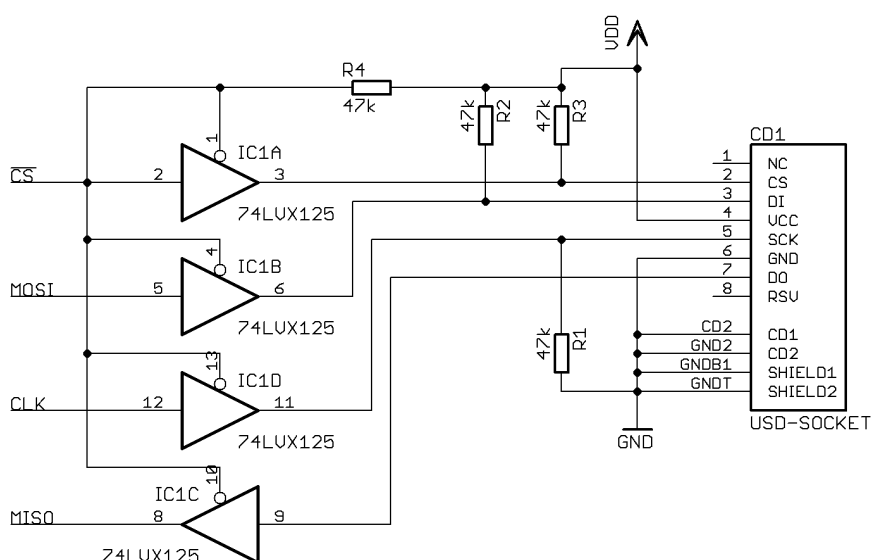
5.3 Modul s micro-SD kartou a mini-USB konektorem

Z hlediska uživatelského komfortu bylo nutné umístit slot na micro-SD kartu a konektor mini-USB na destičku, která by byla kolmo na rovinu předního panelu. Díky tomu by byly karta i USB přístupné z přední strany. Proto vznikla miniaturní destička, která obsahuje modul s micro-SD kartou, pomocným zdrojem a budičem sběrnice pro samotnou kartu a dále s USB konektorem a filtrací pro USB převodník, který se nachází na základní desce společně s mikrokontrolérem. Tyto dvě desky jsou navzájem propojeny pomocí pravoúhlé dutinkové lišty.

5.3.1 Obvody pro micro-SD karu

Paměťová karta v provedení micro-SD se od klasické SD karty neliší. Komunikace s kartou je možná za pomoci SPI rozhraní, do kterého lze paměťovou kartu inicializovat. Logické úrovně i napájecí napětí je vyžadováno standardně 3,3 V, tedy úrovně LV-TTL. Z důvodu eliminace spotřeby i z důvodu ochrany hlavní procesorové desky před přechodovými jevy způsobenými manipulací s kartou, je pomocná destička opatřena vlastním napájecím vypínatelným zdrojem s obvodem LE33.

Oddělení SPI sběrnice je provedeno pomocí budiče 74LVX125. Napájení budiče je provedeno ze zdroje LE33. Tento budič zabezpečí odpojení micro-SD karty od SPI sběrnice ve stavu, kdy s kartou není potřeba komunikovat, tedy ve stavu, kdy je CS pin karty v log. 1. Karta může být také úplně odpojena od napájení. K tomuto stavu dojde, pokud mikrokontrolér změní logickou hodnotu na řídicím vstupu stabilizátoru napětí LE33.



Obr. 5.11: Zapojení micro-SD karty

Konektor pro zasunutí micro-SD karty neobsahuje žádné pomocné piny na detekci zasunuté karty. Detekce bude muset být zařízena softwarově. Problematiku připojení a komunikaci s SD kartami lze nalézt v [24]. Na obrázku 5.11 je zobrazeno výsledné zapojení, které zaručuje správné klidové úrovně SPI sběrnice i při odpojení budiči.

5.3.2 Vstupní konektor mini-USB

Na desce s micro-SD kartou se nachází také mini-USB konektor, ze kterého jsou vedeny datové vodiče a napájení ke galvanicky oddělené USB části. Napájení USB části je doplněno o LC filtr a přepět'ovou ochranu v podobě transilu. Zapojení lze dohledat ve výkresech v příloze.

5.4 Modul s ovládacími prvky

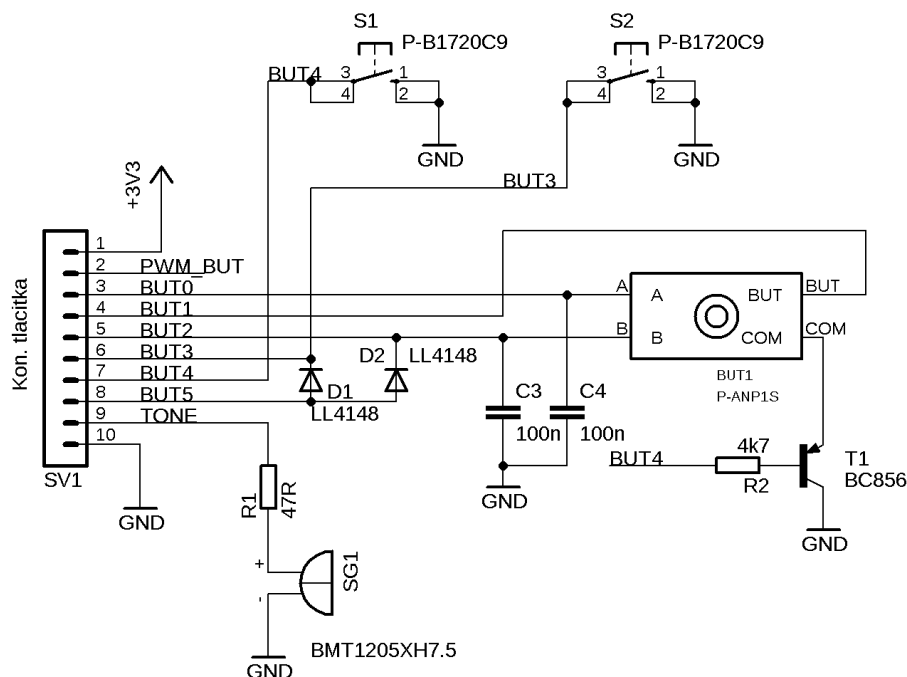
Z hlediska dobré variability byly ovládací prvky osazeny na samostatný modul, který je aktuálně vyroben za pomoci univerzálního plošného spoje.

5.4.1 Realizace ovládání

Jako hlavní ovládací zařízení byl zvolen rotační enkodér, který má ve svém středu tlačítko. Toto tlačítko je vhodné pro potvrzování voleb. Rotační enkodér pak slouží pro pohyb v menu a editace hodnot. Dále bylo ovládání doplněno o dvojici mikrosplínačů, které budou suplovat funkci ESC tj. ukončení a funkci MENU pro vstup do menu.

V zapojení je využito faktu, že použitý mikrokontrolér má možnost aktivace interních zdvihacích rezistorů na svých vstupech. Aby se dal mikrokontrolér probudit ze stavu spánku, je jedno z tlačítek připojené na vstup vnějšího přerušení. Na vnější přerušení je také připojen jeden výstup enkodéru, aby byla možná detekce pohybu enkodéru na základě volání rychlého přerušení.

Protože je využito stejné přerušení jak pro detekci probuzení tlačítkem tak pro detekci pohybu enkodéru, musí být před uspaním enkodér odpojen od tohoto přerušení. Odpojení enkodéru je provedeno nepřímo odpojením jeho pinu od země GND. Protože byla tato úprava prováděna až dodatečně při testování režimu spánku, nebyl bohužel dostupný volný řídicí pin pro odpojování země enkodéru. Řízení tedy převzalo tlačítko *BUT4*. Po většinu doby je pin MCU, který snímá tlačítko, ve stavu výstupu s log. 0. To zaručí sepnutí PNP tranzistoru, který spojuje enkodér se zemí. Pokud potřebujeme vyhodnotit dané tlačítko, je nutné nejprve změnit směr pinu na vstupní s vysokou impedancí a aktivovat vnitřní pull-up rezistor. Po vyhodnocení stavu tlačítka přejde pin zpět na režim výstupu s log.0, čímž se zprovozní funkce enkodéru. Zapojení je lépe patrné z obr. 5.12, kde pin *BUT5* je pin, který je napojen na externí přerušení MCU.



Obr. 5.12: Zapojení tlačítek a enkodéru

Z důvodu zvukové odezvy při ovládání je na desce umístěn akustický měnič, který je ovládán mikrokontrolérem. Pro omezení proudového odběru a také intenzity zvuku je předřazen měniči rezistor s hodnotou $47\ \Omega$, který snížil odběr na 14 mA. Tato hodnota byla určena experimentálně. Modul tlačítek je s hlavní deskou mikrokontroléru propojen přes dutinkovou lištu s roztečí 2,54 mm. Taktéž upevňovací šrouby vedou na upevňovací díry na hlavní desce s MCU. Tato koncepce připojení byla zvolena z důvodu jednoduché adaptace výšky tlačítek vzhledem k přednímu panelu s LCD.



Obr. 5.13: Pohled na palubní počítač s připojeným modulem tlačítek

5.5 Vstupní modul

Vstupní modul obsahuje napájecí zdroje pro předregulaci a vstupní obvody pro omezení úrovně měřených signálů.

5.5.1 Napájecí část palubního počítače

Podíváme-li se na zvolené periferie podrobněji, lze vyčíst z technických dokumentací požadavky na velikosti napájecího napětí a proudového odběru. Tyto lze shrnout do následující tabulky 5.2, kde jsou uvedeny i předpokládané proudové odběry.

Moduly s LCD, MCU i SD kartou obsahují lineární regulátory pro koncovou regulaci napětí na hodnotu 3,3 V. Jak je patrné, proudově nejnáročnější periferie budou podsvícení LCD a SD karta, u které je uveden maximální možný proudový odběr při komunikaci. Tyto periferie bude více než vhodné úplně vypínat a tím snížit odběr zařízení v režimu spánku, kdy by měla klesnout spotřeba alespoň pod 10 mA. Tato hodnota je akceptovatelná pro autobaterii a nezpůsobí její rychlejší vybití. Bylo například experimentálně změřeno, že autorádia či dálkové jednotky centrálních zamykání mají klidový odběr právě kolem 10 mA.

	Název	Napájecí napětí	Proudový odběr
1	Atmega128A	2,7 - 5,5 V	10 - 20 mA
2	LCD DOGM-128L	3 - 3,3 V	< 1 mA
3	LCD podsvícení	3 - 5 V	max 200 mA
4	SD karta	3 - 3,3 V	max 100 mA
5	čidla DS18B20	1,8 - 5 V	1 μ A - 1 mA
6	RTC PCF8563	1,2 - 5 V	200 μ A
7	DS2401 ROM	1,8 - 5 V	1 μ A - 1 mA
8	iButton	1,8 - 5 V	1 μ A - 1 mA

Tab. 5.2: Tabulka dovolených napájecích napětí hlavních periferií a proudových odběrů

Návrh napájecího zdroje

Z požadavků na napájení lze odhadnout požadovanou proudovou zatížitelnost zdroje až 350 mA. V úvahu musíme vzít, že palubní síť automobilu má rozsah napájecích napětí 8 až 15 V. Spodní hranice je možné dosáhnout během startu motoru, kdy špičkový odběr startéru při roztáčení motoru způsobí značný pokles napětí. Horní hranice lze dosáhnout při přebíjení akumulátoru alternátorem, kdy se může krátkodobě zvednout napětí v síti i přes 15 V. V běžném provozu při správném dobíjení se drží palubní napětí na 14,4 V.

Z rozsahu napájecího napětí a proudového odběru je patrné, že není vhodné použít pouze lineární stabilizátory. Úbytek napětí na stabilizátoru by způsoboval značnou výkonovou ztrátu a takový zdroj by se v těžkých provozních podmínkách prakticky nemusel uchladiť. Uvažujeme-li nejhorší případ vstupní napětí 15 V a odběr 350 mA, pak ztrátový výkon v případě použití stabilizátoru napětí s výstupním napětím 5 V bude:

$$P_Z = (U_{BAT} - U_{VYST}) \cdot I = (15 - 5) \cdot 0,35 = 3,5 \text{ W} \quad [W, V, V, A] \quad (5.12)$$

Tento ztrátový výkon by musel být odveden poměrně rozměrným chladičem, aby nedošlo k přehřívání lineárního zdroje. Účinnost lineárního zdroje lze vyjádřit jako poměr výkonu k příkonu, přičemž vlastní spotřebu stabilizátoru zanedbáme.

$$\mu = \frac{5 \cdot 0,35}{15 \cdot 0,35} \cdot 100 = 33 \% \quad [%, V, A, V, A] \quad (5.13)$$

Vhodné se jeví použít DC-DC step-down měnič, který provede snížení napětí na požadovanou hodnotu. DC-DC měniče dosahují mnohem vyšší účinnosti (70 - 90 %) na úkor komplikovanějšího návrhu a potřeby dbát ohledy na filtraci rušení produkovaného měničem.

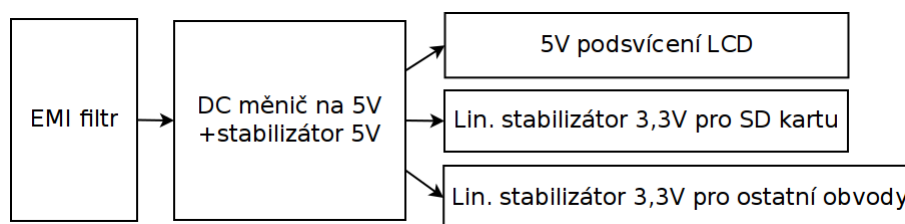
Další nevýhodou DC-DC měničů je poměrně značný klidový proud. Výrobci integrovaných obvodů neuvádějí klidovou spotřebu měniče jako celku, ale pouze měniče jako integrovaného obvodu, kdy výstupní budič, který budí cívku, je zablokován a tím je klidový proud zdroje značně snížen. Uvádí-li například výrobce klidový odběr měniče kolem 1 mA, může být praktický klidový odběr běžícího měniče jako celku i 20 mA.

Na rozdíl od DC-DC měničů mají moderní lineární stabilizátory opravdu nízký vlastní odběr, který se pohybuje pod 1 mA. Proto se jeví vhodný kombinovaný napájecí zdroj, kdy po čas stavu probuzení, kdy běží periferie a hlavně podsvícení LCD a SD karta, jsou tyto napájeny z DC-DC měniče a ve stavu spánku zařízení, kdy je i mikrokontrolér uspán, je DC-DC měnič odstaven a napájení přebírá záložní lineární stabilizátor s nízkým vlastním klidovým odběrem.

Z důvodu určité odolnosti byla zvolena koncepce, kdy DC-DC měnič stabilizuje napájení na 5 V. Toto napájení je rozvedeno k deskám modulů, kde je dále stabilizováno lineárními CMOS stabilizátory na 3,3 V. To zaručí určitou zvýšenou ochranu před rušením pronikajícím z palubní sítě a před možností selhání měniče vlivem případné nestability jeho regulační smyčky.

Návrh DC-DC měniče

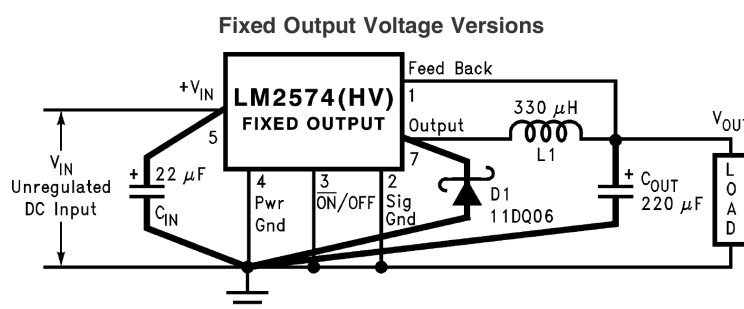
Pro hlavní napájecí rozvodné napětí 5 V byl vybrán snižující měnič LM2574 v provedení s pevným výstupem 5 V a maximálním zatěžovacím proudem 500 mA. Spínací frekvence se pohybuje přibližně kolem 52 kHz a je interně přednastavena. Měnič se vyznačuje jednoduchým zapojením, kdy je k integrovanému obvodu potřeba doplnit pouze pasivní součástky. Účinnost měniče se pohybuje kolem 77% při plném zatížení. LM2574 existuje



Obr. 5.14: Koncepce napájecího zdroje

ve dvou verzích. Základní verze má maximální přípustné napětí na vstupu měniče 40 V, zatímco verze HV má maximální přípustné napětí na vstupu až 60 V. Pro aplikaci v palubním počítači postačí základní verze. Musí se však vstupní část doplnit o přepět'ovou ochranu.

Při návrhu zapojení a hodnot pasivních součástek měniče je vhodné dodržovat doporučení uvedené v technické dokumentaci měniče, kde jsou na základě energetických toků vypočteny a doporučeny především velikosti akumulacních cívek a filtračních kondenzátorů výstupu. Bylo použito výchozí doporučené zapojení obr.5.15.

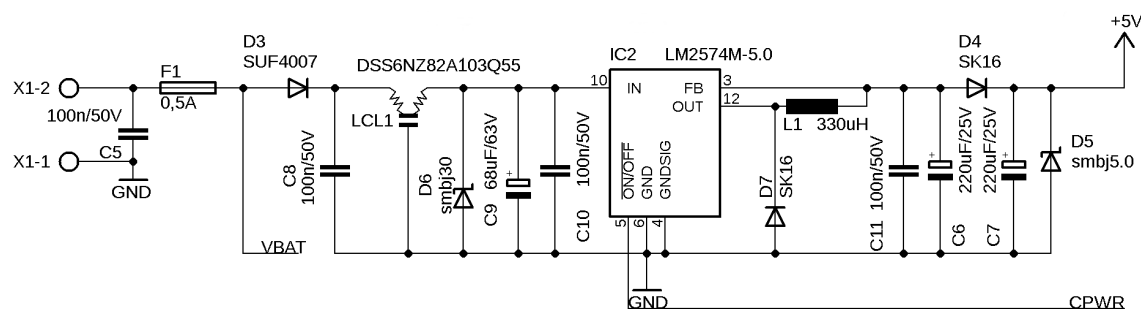


Obr. 5.15: LM2574 doporučené zapojení [12]

Při výběru komponent je nutné brát zřetel na fakt, že měniče pracují oproti běžným střídavým soustavám na dosti vysokých frekvencích. Proto je více než vhodné vybírat kvalitní filtrační kondenzátory s ohledem na nízký elektrický sériový odpor kondenzátoru, tzv. low ESR typy. Dalším důležitým faktorem je rozsah provozních teplot. Vzhledem k životnosti je vhodné vybírat kondenzátory s udávaným teplotním rozsahem do 105 °C. Byly vybrány kondenzátory Nippon série LXY a LXZ s rozsahem teplot do 105 °C a nízkým ESR.

Výsledné schéma zapojení je patrné na obr. 5.16. Vstupní část je tvořena konektorem typ AK500, u kterého je 100 nF kondenzátor pro filtraci rušení. Za proudovou pojistkou následuje odbočka pro snímání napětí akumulátoru mikrokontrolérem. V cestě se nachází také dioda D3, která je zde především z důvodu ochrany zařízení před přepólováním

a před zápornými špičkami v napájecí soustavě. Za diodou je z důvodu eliminace rušení použit EMI filtr, který má za úkol eliminovat rušení řádově od 500 kHz výše. Za tímto filtrem následuje filtrace v podobě kombinace elektrolytického low-ESR kondenzátoru a keramického kondenzátoru s materiálem typu X7R, který má velmi dobré frekvenční vlastnosti. Z důvodu eliminace přepětí je na vstupu měniče umístěn ochranný prvek transil na napětí 30 V. Při tomto napětí se transil postupně otevírá a omezuje tak případnou rušivou přepětíovou špičku.



Obr. 5.16: Zapojení napájecí části s DC-DC měničem

Výstupní část je zapojena standardně dle dokumentace k měniči. Je použita tlumivka 330 μ H v SMD provedení typu DE1207, která je určená pro spínané zdroje a obsahuje magnetické stínění, což by mělo eliminovat vyzařování. Proudová zatížitelnost vinutí tlumivky je udávána na 1,2 A. Na výstupu jsou taktéž použity kondenzátory s nízkým ESR.

Na první pohled by se mohlo zdát, že výstup je řešen poněkud podivně. Za DC-DC měničem následuje ještě další SK16 dioda, která oddělí měnič od 5 V rozvodu v případě, že je měnič externě vypnut pomocí mikrokontroléru. Napájecí úlohu pak obstarává lineární stabilizátor. Je vhodné dát i na výstupní strany napájecích zdrojů přepětíové ochrany. V tomto případě je použit transil typu SMBJ5.0A, který plně zabírá přibližně od 6 V, což bylo zjištěno experimentálně.

Vlastní 5 V napájecí rozvod je veden k hlavní elektronice, kde se bude využívat přímo pro podsvícení LCD a nepřímo přes 3,3 V lineární CMOS stabilizátory pak bude napájet integrované obvody a mikrokontrolér.

Vlastnosti navrženého DC-DC měniče:

- Rozsah vstupních napětí 7 V - 28 V
- Výstupní proud 500 mA
- Výstupní napětí 5 V s přesností 4 %
- Účinnost až 77 %
- Teplotní rozsah -40 °C až 105 °C
- Ochrany proti přetížení a vysoké teplotě

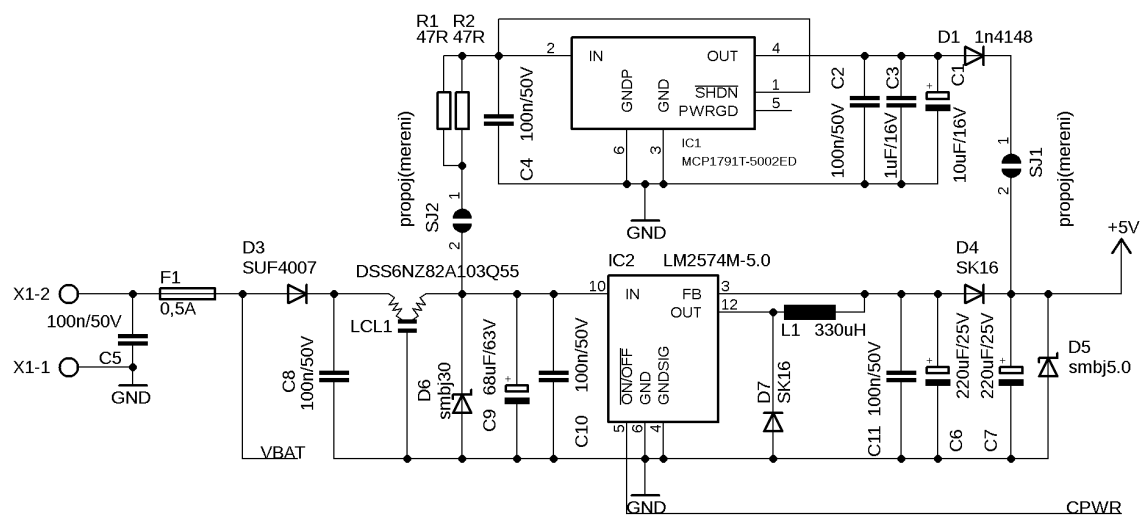
Návrh pomocného lineárního 5 V zdroje

Tento zdroj by se měl uplatnit především při režimu snížené spotřeby Power-Down, kdy zařízení jako takové spí a čeká na externí událost, která jej probudí.

Hlavním požadavkem na tento lineární stabilizátor se zdá být nízký vlastní odběr a dobrá odolnost. Maximální výstupní proud nemusí být tak vysoký jako v případě dimenzování na plnou zátěž. Dostačující by mohlo být 100 mA kontinuálního odběru. Je nutné vybrat typ s ohledem na maximální povolenou velikost vstupního napětí a na rozsah provozních teplot. Na základě předchozího byl po pečlivém zvážení vybrán stabilizátor MCP1791 firmy Microchip. Tento je přímo určen do sekce automotive a jeho parametry jsou následující:

- Maximální vstupní napětí 30 V, špičkově 48 V
- Výstupní napětí 5 V s přesností 2,5 %
- Vlastní spotřeba 70 μ A
- Výstupní proud 70 mA
- Teplotní rozsah -40 °C až 125 °C
- Ochrany proti přetížení a vysoké teplotě

Zapojení je standardní dle doporučení technické dokumentace [19]. Pouze byl vstup doplněn o RC filtrační člen a výstup doplněn o vícero druhů filtračních kondenzátorů z důvodu teplotní stability regulační smyčky stabilizátoru. Kondenzátory jsou keramické typu X7R a elektrolytický 10 μ F Nippon KMG na 105 °C.



Obr. 5.17: Napájecí část palubního počítače

5.5.2 Vstupní části palubního počítače

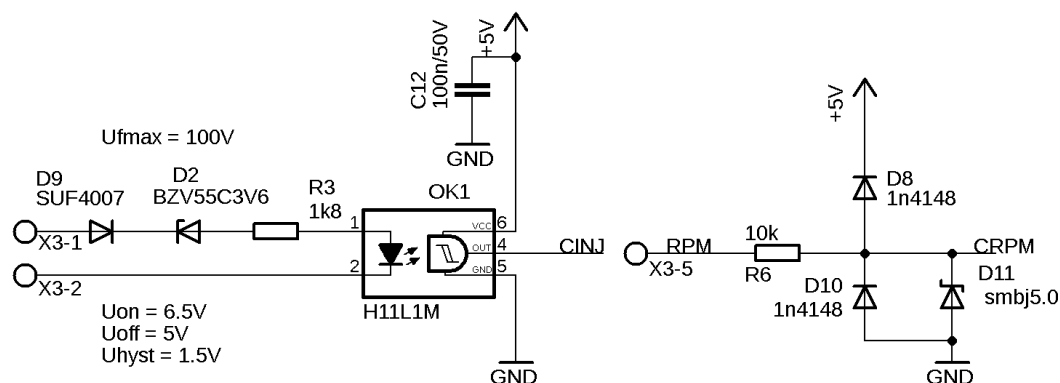
Na vstupní obvody jsou přes svorkovnice připojeny měřené snímače. Vstupní obvody zaručují napět'ové omezení a ochranu proti přepětí pro elektroniku palubního počítače.

Vstup pro měření doby otevření vstřikovače

I když je v podstatě vše v automobilu galvanicky spojeno přes kostru automobilu, bude měřicí vstup vstřikovače ošetřen optočlenem, který zajistí především napět'ovou izolaci elektromagnetického ventilu vstřikovače od elektroniky palubního počítače.

Provedení zapojení vstupu vstřikovače přes optočlen je patrné na obr 5.18. Vstup optočlenu je připojen přes ochrannou diodu a předřadný rezistor na napájecí napětí vstřikovače, zatímco druhá strana bude připojována přes výkonový spínač řídicí jednotky na nulový potenciál a tím uzavírat okruh jak elmag. vstřikovacího ventilu, tak daného optočlenu. Optočlen H11L1 v sobě obsahuje integrovaný schmittův klopný obvod, který za pomoci hystereze v logických úrovních upravuje vstupní signál.

Spínací a vypínací charakteristika je stejnosměrně posunuta pomocí Zenerovy diody 3V6. Díky tomu dojde k sepnutí optočlenu při napětí mezi svorkami přesahujícím 6,5 V. K rozepnutí dojde přibližně při poklesu napětí pod 5 V. Charakteristika byla zjištěna měřením. Maximální impulzní vstupní napětí, které může být přiložené na svorky v propustném směru, je přibližně 100 V. Toto napětí je omezeno především maximálním impulzním proudem, který je pro emitující diodu optočlenu 60 mA a také maximální impulzní výkonovou ztrátou na předřadném rezistoru. Běžně se v propustném směru vyskytuje na vstupních svorkách napětí odpovídající napětí palubní sítě automobilu. Závěrné napětí je omezeno především izolačními mezerami plošného spoje a závěrným napětím diody SUF4007, které je dimenzované na 1000 V. Výstup optočlenu je typu otevřený kolektor. Pomocný zdvihací rezistor se nachází na straně mikrokontroléru.



Obr. 5.18: Zapojení vstupu vstřikovače vlevo a vstupů ostatních čidel vpravo

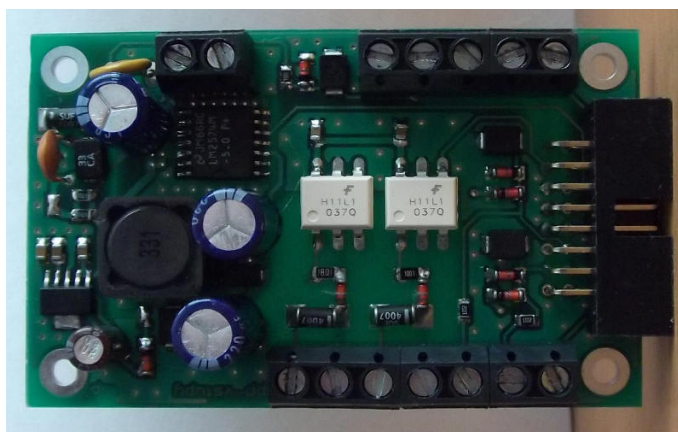
Vstupy pro měření obecných impulsů

Tyto vstupy nebudou galvanicky odděleny. Vstupů bude více a je vhodné je neosazovat aktivními prvky, které vyžadují napájení. Dostatečně účinnou ochranu před přepětím vstupního signálu lze zabezpečit za pomoci vysokého vstupního odporu a omezujících diod, které stahují úroveň vstupu na hodnoty $V_{DD}-0,7$ V a $V_{CC}+0,7$ V kde V_{DD} je záporný potenciál, v našem případě kostra automobilu 0 V. V_{CC} je pak napájecí napětí, do kterého je připojena omezovací dioda tj. typicky 5 V. Nutno podotknout, že mezi vstupy a samotným mikrokontrolérem bude ještě hradlo typu 74LVX, které akceptuje při napájecím napětí 3,3 V vstupní hodnoty napětí až 7 V. Tímto bude docílena dostatečná ochrana palubního počítače, jehož srdcem je mikrokontrolér. K omezujícím diodám bude navíc doplněna ochrana pro přepět'ové špičky v podobě transilu SMBJ 5.0. Zapojení je na obrázku 5.18 vpravo. Toto zapojení bude použito především pro vstupy čidla rychlosti a čidla otáček motoru.

5.5.3 Deska vstupů a napájecích zdrojů

Na základě výše navržených napájecích zdrojů a vstupních ochran byla realizována deska plošných spojů. Deska bude propojena s palubním počítačem pomocí plochého kabelu typ AWG28.

Schéma a návrh desky lze dohledat v příloze. Realizace desky je na obrázku 5.19. Galvanicky oddělené vstupy jsou patrné výrazně bílými pouzdry optočlenů. Zdrojová část se nachází vpravo. Deska je v provedení oboustranném, se zelenou maskou a prokovy.



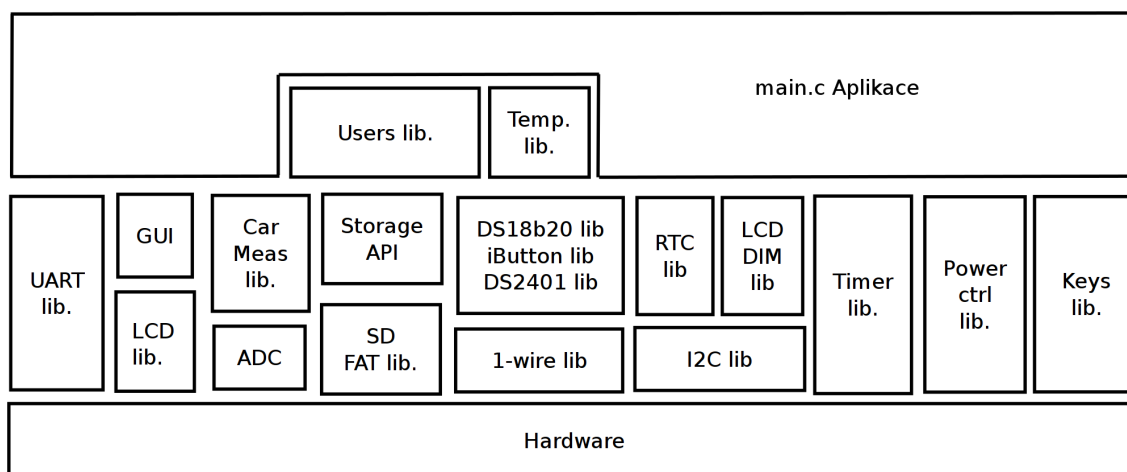
Obr. 5.19: Výsledná deska vstupů

6 SOFTWARE PALUBNÍHO POČÍTAČE

V této kapitole bude rozebrána koncepce a popis software palubního počítače, který byl vyvíjen za pomoci multiplatformního vývojového prostředí Codeblocks [25] s instalovaným kompilátorem gcc verze 4.7.0 [27]. Byly použity standardní knihovny avr-libc verze 1.8.0 [26].

6.1 Koncepce software

Vzhledem k velkému počtu periférií a funkcí je vhodné funkce dělit do jednotlivých knihoven, které obstarávají obsluhu a zpracování dat samostatně pro každé zařízení či aplikační vrstvu. Pro lepší názornost vrstev či knihoven, které budou dále popsány je celková koncepce zobrazena na obrázku 6.1.



Obr. 6.1: Koncepce software, knihovny a aplikační rozhraní

Hlavní aplikace využívá většinu knihoven. Některé knihovny, které jsou vyznačeny na obrázku na stejné úrovni využívají jiné knihovny stejné úrovně. Například časovač knihovny timer je využíván značnou částí ostatních knihoven i hlavní aplikací. Hlavní aplikace také přímo ovládá některé funkce knihoven ovladačů hardware, což není přímo na obrázku znázorněno. Jde především o inicializaci těchto knihoven a jejich zařízení.

6.2 Obsluha LCD

6.2.1 Knihovna LCD

LCD displej, komunikující po sériové sběrnici SPI, využívá již hotové knihovny `dogm128` ve verzi 1.13., která je šířena pod licencí GPL v3 [30]. Vývoj vlastní knihovny by byl značně kontraproduktivní a pravděpodobně by knihovna neumožňovala tolik funkcí jako již hotová volně dostupná knihovna `dogm128.h`.

Knihovna zahrnuje komplexní aplikační rozhraní pro vykreslování písma i grafických objektů. Podporované písmo lze jednoduše překonvertovat ze standardního unixového terminálového písma, které je ve formátu BDF. Právě dobrá podpora písem byla podnětem k použití této knihovny. Jedinou nevýhodou je chybějící podpora českých znaků, které jako takové chybí již v překonvertovaném písmu a knihovna s použitím jiných, než základních ASCII znaků nepočítá. Projekt knihovny hostuje na serverech `code.google.com`, kde je volně ke stažení [28].

6.2.2 Knihovna gui grafického rozhraní

Knihovna `gui.h`, `gui.c` poskytuje aplikační rozhraní pro vykreslení prvků, použitých pro zobrazení měřicích obrazovek, ale i menu a funkcí pro editaci. Je postavena nad knihovnou `dogm128.h`, kterou využívá pro vykreslování. Základní jazyk vytvořeného prostředí je čeština. Přepnutí na anglický jazyk lze provést v souboru `define.h`, kde lze také editovat všechny textové popisky.

Obrazovky měřených veličin

Knihovna zabezpečuje volání funkce na překreslení hlavní obrazovky, na které jsou zobrazovány měřené veličiny. Byla zvolena koncepce zobrazení 5 hodnot na obrazovce. Tyto jsou orámovány a popsány svými popisky a jednotkami. Příklad takové obrazovky je na obr. 6.2. Vykreslení provádí funkce `drawVscreen(vscreen_t * screen)`. Funkce využívá vlastního datového typu, který je založen na datovém typu `struktura`. Popis datových typů lze dohledat ve zdrojových souborech knihoven. Grafické rozvržení prvků na obrazovce lze změnit právě pomocí úpravy výše zmíněné funkce.

Tyto obrazovky jsou dostupné celkem 4. Mezi nimi uživatel vybírá pomocí rotačního enkodéru. Každá obrazovka zobrazuje jiné hodnoty. Tyto hodnoty může uživatel měnit za pomoci editace obrazovek. Lze si tedy určit, které hodnoty se mají společně zobrazit na dané obrazovce. Tato editace obrazovek je samozřejmě pro každého uživatele individuální a tedy každý uživatel si může konfiguraci upravit dle sebe.



Obr. 6.2: Vlevo obrazovka pro zobrazení provozních hodnot, vpravo příklad menu s aktivní editací hodnoty

Obrazovka s menu

Dalším důležitým prvkem je menu. Zde probíhá rekonfigurace nastavení palubního počítače, editace a vytváření uživatelů či například prohlížení provozních dat, které jsou ukládány na SD kartu.

Menu podporuje pohyb po prvcích za pomoci rotačního enkodéru. Prvků v menu může být více, než se vejde na obrazovku. Pokud je prvků více, tak dochází k rolování menu. Pozici zobrazuje kurzor ve tvaru šipky. Pokud je prvkem menu další submenu, lze do něj vkročit stiskem tlačítka OK. Pokud je prvek menu již koncový, může dojít buď k provedení dané funkce prvku nebo k provedení editace numerické hodnoty prvku. Menu je vytvářeno pomocí maker a datových typů, kde většina popisného textu je umístěna v paměti programu.

6.3 Knihovna car_meas - měření provozních hodnot

Knihovna car_meas.h, car_meas.c obstarává měření aktuálních provozních hodnot automobilu za pomoci čítačů a časovačů MCU. K měření nádrže a stavu napětí palubní sítě je využito analogově digitálního převodníku MCU, který je obslužen přes knihovnu adc.h.

6.3.1 Data konfigurace a kalibrace

Konfigurační data, která jsou specifická pro každý automobil, jsou uchována ve vlastním datovém typu založeném na struktuře. Díky tomu se s daty dobře pracuje a struktura může být předávána pomocí ukazatelů, což výrazně ovlivní rychlost aplikace. Struktura obsahuje následující prvky:

- init - pomocný inicializační byte. Protože je struktura udržována jak v paměti SRAM, tak paměti EEPROM, tento byte určuje při prvním spuštění stav struktury. Paměť

EEPROM obsahuje ve výchozím stavu hodnoty 0xFF hexadecimálně. Musí být tedy provedena inicializace celé struktury a nastavení hodnoty `init` na předvolenou konstantu, například ASCII znak 'Y'.

- Rpm - kalibrační konstanta čidla otáček udávající počet impulzů čidla na jednu otáčku klikové hřídele motoru.
- Meters - kalibrační konstanta čidla ujeté vzdálenosti. Udává počet impulzů na 100 metrů.
- InjFlow - kalibrace vstřikovače paliva. Udává průtok vstřikovače vzhledem k jednotce času. Protože jsou průtoky vstřikovačů udávány v jednotce ccm/min, je i tato konstanta udávána ve stejné jednotce.
- TankL - konstanta určující objem palivové nádrže v litrech.
- TankCalib - pole kalibračních hodnot nádrže, na základě kterých je provedena aproximace průběhu nádrže.
- NumV - počet válců motoru nebo lépe řečeno počet vstřikovacích ventilů. Protože měříme pouze jeden vstřikovač, je průtok násoben touto hodnotou.
- TankInt - konstanta nabývajících pouze stavů 0 a 1. Určuje způsob měření palivové nádrže, který bude popsán dále.

6.3.2 Měření doby otevření vstřikovače, ujeté vzdálenosti a otáček motoru

Pro měření doby otevření vstřikovače je nakonfigurován pomocný časovač, který generuje pravoúhlý obdélníkový signál o frekvenci 200 kHz. Při otevřeném vstřikovači pak počítá sestupnou hranu tohoto obdélníkového signálu 16 bitový čítač. Tento princip byl rozebrán v kapitole věnované elektronice PP. Z důvodu jistého přetečení čítače je povoleno přerušení při přetečení, které zaznamenává počet přetečení čítače za periodu měření. Na základě stavu čítače a počtu přetečení čítače je určen výsledný počet hran, které čítač načítal během periody měření 1 s. Tato hodnota může být až 200 000 hran. Z důvodu omezení velikosti pro další zpracování je hodnota vydělena 4x. Pak je její maximum 50 000, což je ještě 16 bitová hodnota. Toto dělení je záměrně provedeno až z načítaných impulzů. Pokud bychom snížili přímo frekvenci generátoru na 50 kHz, dosáhli bychom horší přesnosti měření, než jaké dosáhneme softwarovým vydělením. Palubní počítač musí poměrně přesně určit během každé periody počátky a konce jednotlivých elektrických impulzů na vstřikovači, kterých může být i více než 100 za periodu měření, přičemž každý impuls může mít značně rozdílnou délku trvání.

Signál od snímače ujeté vzdálenosti je snímán 8 bitovým čítačem, který svůj stav inkrementuje s každou příchozí sestupnou hranou. Z důvodu možnosti přetečení má čítač povolené přerušení při přetečení, ve kterém se inkrementuje proměnná indikující počet přetečení. Aby bylo možno na základě načítaných impulzů určit rychlost vozidla, je nutné

vyzvedávat stavy čítače periodicky s poměrně přesnou periodou. Vyzvednutí a vynulování čítačů a proměnných zabezpečuje funkce `CMeasPoll()`, která je volána knihovnou `timer.h`. Knihovna `timer.h` zabezpečuje přesné časování na základě hodinového signálu získaného z obvodu reálných hodin PCF8563. Knihovna bude popsána dále.

Pro měření otáček slouží 16 bitový čítač, který počítá příchozí sestupné hrany od snímače otáček. Měření otáček vyžaduje poměrně krátkou periodu měření. Proto se vyzvednutí hodnot čítače provádí vlastní funkcí `RpmPoll()`. Tato funkce je také volána z přerušení přesného časovače `timer.h`.

Výše popsané hodnoty jsou přímo přičítány do 32 bitových i 64 bitových proměnných, které jsou ukládány do databáze SD karty i EEPROM. Při ukládání provozních dat tedy nedochází k jejich převodu pomocí kalibračních konstant ani k převodu přímo na hodnoty průměrné spotřeby u dat od vstřikovače či na hodnotu vyjádřenou v metrech u dat od čítače ujeté vzdálenosti. Díky tomu nejsou potřeba výpočty v plovoucí desetinné čárce, které by značně zatížily mikrokontrolér. Protože jsou kalibrační data použity až při samotném výpočtu provozní hodnoty před zobrazením na LCD, lze změnou kalibračních konstant kalibrovat i výpočty z předešlých uložených dat.

6.3.3 Měření nádrže

Knihovna umožňuje dvojí způsob měření nádrže, který lze zvolit dle nastavení konfigurační datové struktury. K měření využívá knihovny `adc.h`, která obstarává konfiguraci a měření na ADC MCU.

První možností snímání je kontinuální měření snímače nádrže, kdy snímač nádrže poskytuje stále napětí úměrné stavu nádrže. V takovém případě je prováděn pravidelný odměr nádrže v určených časových kvantech. K tomu je využita funkce `TankMeasPoll()`. Tato funkce nemusí být volána v přesné periodě a tak její volání obstarává hlavní aplikační smyčka v `main.c`. Funkce si při volání ověří, kdy naposledy bylo provedeno snímání stavu nádrže. K tomu využívá systémového časovače `timer.h` a porovnávání jeho stavů. Jako výchozí je předvolena perioda přibližně 1,3 s. Tuto lze jednoduše změnit pomocí předdefinovaného makra stejně jako všechny ostatní důležité konstanty.

Druhá metoda snímání se využívá u automobilů s nekontinuálním signálem od palivové nádrže. U těchto automobilů si řídí odměry řídicí jednotka. Je tedy nutno zachytit toto měření pomocí vyhodnocení stavu napětí na lince. Toto vyhodnocení musí probíhat synchronně k periodě měření řídicí jednotky. Z toho důvodu je využito externího přerušení, na které je připojen komparátor s hysterezí. Tento byl popsán v sekci věnované elektronice. Při výskytu impulzu dojde k vyvolání externího přerušení, ve kterém proběhne sejmutí amplitudy impulzu, která je úměrná stavu nádrže. Aby se zamezilo chybě měření vzniklé potenciálním sejmutím dobíhající hrany, vyhodnocuje se nejvyšší naměřená hodnota AD převodem. Zároveň je ale nutno nesetrvávat příliš dlouho v přerušení

a blokovat tak hlavní přerušení pro snímání vstřikovače a čidel. Proto se provede maximálně 5 měření a poté je přerušení ukončeno. Při nastaveném hodinovém kmitočtu AD převodníku 312,5 kHz a době převodu 13 cyklů je doba měření přibližně 0,2 ms. Ukončení měření je také vyhodnocováno na základě stavu komparátoru a tak může být při kratším impulzu ukončeno mnohem dříve. Protože může řídicí jednotka automobilu provádět takových měření i několik desítek za sekundu, je po každém odměru zakázáno přerušení a toto je povoleno až pro další periodu měření 1,3 s.

V praxi měřená hodnota napětí čidla nádrže značně kolísá vlivem jízdy, náklonů automobilu apod. Proto je odměry plněn kruhový buffer o velikosti 10 prvků, z kterých je určena výsledná hodnota pomocí mediánového filtru. Mediánový filtr se ukázal jako nejlepší pro potlačení jak kolísání napětí snímače nádrže, tak chyby měření 10 bitového AD převodníku.

Pro kalibraci nádrže byla implementována kalibrační rutina a kalibrační body pro kalibraci charakteristiky nádrže lineárně po částech. Nádrž je možné proložit po částech úsečkami s rozdílnými směrnici. Algoritmus je implementován univerzálně a tak lze počet kroků proložení zvolit individuálně rekonfigurací makra knihovny. Jako výchozí byla zvolena kalibrace pěti kalibračními body. To umožní proložit nádrž až čtveřicí lineárních funkcí popsaných rovnicí přímky:

$$y = a \cdot x + b \quad (6.1)$$

Kde koeficienty a , b určují sklon a posun přímky. Tyto si algoritmus vypočítá na základě naměřené hodnoty napětí x a známého stavu nádrže y soustavou rovnic. Stav nádrže lze určit mnoha způsoby. Jedním z nich může být využití diagnostiky automobilu, či postupné kalibrace s dotankováním paliva. Algoritmus nevyžaduje inicializaci všech kalibračních bodů. Průběh nádrže lze tedy prokládat i postupnou kalibrací či využít pouze dvojice kalibračních bodů a proložit tak celý průběh nádrže jednou lineární funkcí. Po částech lineární proložení charakteristiky plně postačí, protože není požadována velká přesnost při měření stavu nádrže. Toto měření je pouze doplňkové. Body pro proložení je vhodné zvolit rovnoměrně přes celý objem nádrže.

6.3.4 Aplikační rozhraní knihovny `car_meas`

Aplikační rozhraní zabezpečuje práci s naměřenými daty z pohledu koncové aplikace, která knihovnu a její funkcionalitu využívá. Jde především o výpočty spotřeby, rychlosti, otáček či stavu nádrže a stavu napětí palubní sítě. Dále jsou to funkce pro rekonfiguraci a zápis kalibračních hodnot a funkce pro vyzvednutí naměřených dat, které jsou volány systémovým časovačem.

6.4 Knihovna timer - systémový časovač

Knihovna se skládá ze souborů `timer.h` a `timer.c`. Systémový časovač je využíván mnoha knihovnami. Jedná se o 8 bitový časovač, který je řízen externím přerušením. Přerušení generuje externí zdroj reálných hodin PCF8563 s frekvencí 32 Hz. Perioda časovače a tak i volaného externího přerušení je 31,25 ms. Vyvolané externí přerušení musí být co nejkratší délky. Toto volané přerušení neovlivňuje kritickou část měření, protože daná kritická část volání funkcí `CMeasPoll()` `RpmPoll()` je volána právě tímto přerušením, kdy první jmenovaná je volána každé 32. přerušení, tedy každou 1 s. Druhá jmenovaná funkce je volána každé 8. přerušení, tedy s periodou 0,25 s. Měření otáček požaduje rychlejší periodu měření z důvodu dynamiky motoru. Pro měření spotřeby a ujeté vzdálenosti plně postačuje 1 s.

6.4.1 Aplikační rozhraní knihovny timer

Knihovna poskytuje aplikační rozhraní za pomoci funkce pro předání aktuálního stavu časovače a funkce pro porovnání stavu časovače s předanou hodnotou. Časovač běží kontinuálně, tedy dochází k přetečení 8 bit. hodnoty. S tímto funkce počítají a dokáží porovnat maximální časový rozdíl 8 s, což je 256-ti násobek periody přerušení.

6.5 Obsluha SD karty

6.5.1 Knihovna SD/SDHC

Pro podporu SD/SDHC karet a práci se souborovými systémy FAT16 a FAT32 byla vybrána knihovna od Ronalda Riegera, která je volně šiřitelná pod licencí GPL v2.1 [30]. Knihovna plně podporuje SD, ale i SDHC karty. K zápisu využívá bufferu 512 byte, který urychluje práci s kartou. Komunikační rozhraní je nastaveno na maximální možnou rychlost 5 MHz. Knihovna nevyužívá žádného přerušení od SPI sběrnice a nedochází ke kolizi ovladačů s SPI rozhraním knihovny LCD. Taktéž nedochází k problémům s konfigurací SPI sběrnice na polaritu hodin a nastavení hran. Obě periferie využívají stejného nastavení SPI.

6.5.2 Aplikační rozhraní storage

Skládá se ze souborů `storage.h` a `storage.c`. Zabezpečuje komplexní aplikační rozhraní SD karty pro danou aplikaci palubního počítače. Jde především o vytváření adresářové struktury, do které se ukládají soubory s naměřenými daty. API umožňuje vytváření, mazání, prohledávání adresářů i obsahu datových souborů.

Při prvním spuštění aplikace je vytvořena adresářová struktura `/users/UID/data/YYYY/MM/DD.dat`, kde UID je uživatelské identifikační číslo. Toto číslo je pro každého uživatele unikátní a pseudonáhodně generované. Generování provádí knihovna `user.h`, která bude popsána dále. Na základě tohoto čísla je vytvořeno jméno uživatelské složky, které je vyjádřeno jako hexadecimální hodnota UID. Hodnota YYYY představuje adresář daného roku. Tedy například adresáře 2012, 2013 apod. V těchto adresářích se nacházejí adresáře MM, což jsou hodnoty měsíců vyjádřené v desítkové soustavě. Jako poslední jsou v cestě soubory DD.dat, kde název představuje číselné vyjádření dne v měsíci, například 06.dat.

Do souboru, který je vytvořen pro daný den, jsou průběžně ukládány datové struktury představující jednotlivá měření. Každá struktura nese mimo naměřené údaje také kontrolní údaj v podobě kontrolního redundantního součtu. Struktura má svou časovou značku a index, který představuje číslo trasy, ke které záznam náleží. Protože jsou v jednom souboru obsaženy záznamy za celý den, musí se indexem rozlišit jednotlivé trasy. Trasa začíná startem motoru a končí uplynutím stanovené doby po zastavení a vypnutí motoru. Při indexaci tras může nastat problém, že jízda, která probíhá před respektive po půlnoci, by pokračovala v novém souboru. To by značně komplikovalo prohledávání. Proto daný soubor obsahuje celé záznamy o jízdách, které začaly v daný den. V případě nového dne nedojde k ukládání do nového souboru tak dlouho, dokud nebude vyhodnocena nová trasa. Trasa je tedy uložena vždy v jediném souboru. Indexace tras probíhá inkrementálně od 0 do 255. V jeden den lze tedy zaznamenat až 256 tras, což je více než dostatečné. Další soubor již začíná indexem trasy od nuly.

Zaznamenávání dat je prováděno periodicky s přednastavenou periodou 1 minuty. V této periodě je ukládána struktura o velikosti 123 B. Tato struktura obsahuje také prázdné pole 32 B, které v budoucnu umožní další rozšíření množství ukládaných dat bez problémů s velikostí struktur již uložených dat. Uvažujeme-li, že automobil pojede v kuse po dobu 1 roku, pak množství uložených dat pro jednoho uživatele činí přibližně 62 MB.

Každý záznam obsahuje aktuální data pro danou dobu pořízení záznamu. V posledním záznamu jsou tedy celková data všech předešlých jízd. Aby bylo možné určit data náležící například jednomu dni, přečte se poslední záznam dne a první záznam dne. Z této dvojice se rozdílem zjistí data, která byla naměřena daný den. To může být například celková spotřeba za daný den či množství spotřebovaného paliva. Obdobný postup je pak aplikován pro získání dat za jednu trasu. Nyní je ale nutné prohledávat datový soubor a vyhledat první a poslední index dané trasy.

Prohledávání dat na micro-SD kartě je výpočetně značně náročné. Při čtení každé struktury je kontrolována její integrita za pomoci CRC, což celý proces dále zpomaluje. Prohledávání dat je jedinou funkcí, kde mikrokontrolér Atmega128A s výkonem 10 MIPS doslova ztrácí dech. Dle velikosti databáze může její prohledávání trvat i několik sekund.

Prohledávání a procházení databáze uživatel většinou provádí při stojícím vozidle a toto prohledávání nemá žádný dopad na rychlost zpracování důležitých měření mikrokontrolérem i za předpokladu běžícího motoru.

6.6 Knihovny zařízení sběrnice 1-wire

6.6.1 Knihovna 1-wire a DS18B20

Pro komunikaci s teplotními čidly na sběrnici 1-wire byla použita knihovna `ds18x20.h`, která podporuje teplotní čidla rodiny DS18 a má v sobě zahrnuty knihovny pro podporu sběrnice 1-wire. Knihovna podporuje připojení čidel s parazitním napájením po datové sběrnici, přičemž na jedné sběrnici může být více čidel. Knihovna je dostupná volně k použití a modifikacím ze zdroje [31]. Mimo rozhraní pro práci s teplotními čidly jsou zde obsaženy knihovny sériového portu s podporou kruhových bufferů. Tyto knihovny jsou použity pro ladící výpisy přes sériovou linku v celém projektu palubního počítače. Ladící rozhraní lze jednoduše zakázat příslušným makrem v souboru `define.h`.

6.6.2 Knihovna ibutton

Pro čtení identifikačních čipů byla vytvořena knihovna `ibutton.h`, `ibutton.c`, která využívá 1-wire ovladačů z knihovny teplotních čidel. Knihovna podporuje vyhledání identifikačního čipu na sběrnici a čtení unikátního sériového čísla. Během výzvy k přiložení uživatelského čipu, svítí červená LED na čtecím zařízení. Další zpracování identifikačního čísla je předáno správě uživatelů, která bude popsána dále.

6.6.3 Knihovna serial_num

Knihovna se skládá ze souborů `serial_num.h` a `serial_num.c`. Zprostředkovává funkce pro čtení unikátního sériového čísla, které je umístěno pevně na hlavním modulu palubního počítače. Toto sériové číslo lze využívat pro identifikaci jednotlivých modulů ve větší databázi, která by mohla zpracovávat data z více SD karet.

6.7 Knihovna temp

Knihovna `temp.h`, `temp.c` zajišťuje aplikační rozhraní pro vyhledávání, registraci a přiřazování názvů pro připojená teplotní čidla. Při každém startu, respektive probuzení palubního počítače, dojde ke skenování sběrnice 1-wire a vyhledání čidel. U nalezených čidel jsou porovnávána jejich sériová čísla a v případě nalezené shody jsou čidla asociovány

s již registrovanými čidly a názvy čidel. Prvotní registraci a přiřazení názvů čidel provádí administrátor. Název čidla pak vyjadřuje pozici čidla v automobilu, tedy například venkovní či vnitřní čidlo.

Pokud jsou nalezena čidla nová, která ještě nejsou registrovaná, pak je dostupná registrace v systémovém menu Senzory teploty. Nastavení může provádět pouze uživatel s právy administrátora.

Knihovna dále poskytuje aplikační rozhraní pro čtení naměřených teplot. Tyto jsou využívány hlavním programem palubního počítače.

6.8 Knihovny zařízení na sběrnici i2c

Zařízení využívají softwarové implementace i2c sběrnice, běžící na hodinovém kmitočtu 400 kHz. Softwarová implementace byla zvolena z důvodu dobré variability použitých pinů MCU. Piny hardwarového rozhraní i2c byly využity externím přerušením INT1, které je důležité pro probouzení MCU z režimu spánku během startu motoru.

6.8.1 Knihovna RTC pcf8563

Knihovna `pcf8563.h`, `pcf8563.c` zprostředkovává důležité aplikační rozhraní pro získávání času ze zdroje reálného času PCF8563. Mimo čas a datum dokáže knihovna plně rekonfigurovat obvod PCF8563. Tento obvod generuje potřebný hodinový kmitočet 32 Hz, který je využíván systémovým časovačem palubního počítače.

Použitý RTC obvod vrací údaje ve formátu BCD, který knihovna zpracuje a předává přes vlastní datový typ struktury, kde každý prvek má vlastní proměnnou. Struktura tedy obsahuje prvky jako `year` `month` `day` apod. V případě čtení roku vrací obvod pouze informaci o maximální hodnotě 99 a bit obsahující informaci o přetečení století. Samotná knihovna tedy zabezpečuje správný převod a inkrementaci století. K tomu knihovna využívá ukládání času do paměti EEPROM. Knihovna umožňuje softwarovou recalibraci času, která může být automaticky prováděna funkcí `timeRecalibPoll()`.

6.8.2 Knihovna budiče PCA9530

Knihovna `pca9530.h`, `pca9530.c` umožňuje rekonfiguraci výstupů budiče PCA9530, který je využíván pro řízení podsvícení LCD displeje. Lze rekonfigurovat střidu, frekvenci a klidový stav výstupů při uspaném palubním počítači. Ke komunikaci je využito softwarové i2c knihovny.

6.9 Knihovna backlight

Knihovna se skládá ze souborů `backlight.h` a `backlight.c`. Cílem regulace podsvícení LCD je omezit možné oslnění řidiče při jízdě za šera či v noci.

Knihovna reguluje jas podsvícení LCD displeje tabulkou přednastavených hodnot, kterou může mít každý uživatel individuální. Jas je regulován pomocí snímání okolní intenzity světla fotorezistorem. Fotorezistor se nachází na modulu s LCD a jeho odpor je vyhodnocován nepřímo pomocí odporového děliče a snímání úbytku napětí AD převodníkem.

K regulaci podsvícení jsou využívány knihovny AD převodníku, budiče PCA9530 a systémového časovače. Měření jasu je snímáno periodou přibližně 2 s. Periody je docíleno opakováním volání funkce `optoPoll()` hlavní smyčkou programu. Naměřenými hodnotami je plněn kruhový buffer o deseti prvcích. Naměřená hodnota je do bufferu vložena v případě, že se od předešlé hodnoty liší o určité pásmo necitlivosti. Díky tomu nedochází ke kolísání podsvícení vlivem nepřesného měření okolního osvětlení. Z dat kruhového bufferu je v dané periodě 2 s kalkulován plovoucí průměr a na základě něj a příslušné tabulkové hodnoty regulován jas LCD. Uživatel má možnost regulovat jas v pěti krocích.

6.10 Knihovna ovládání keys

Knihovna se skládá ze souborů `keys.h`, `keys.c` a je využívána aplikací k testování stavů tlačítek a vyhodnocení pohybu enkodéru.

Enkodér je vyhodnocován pomocí přerušení, kdy jeden výstup enkodéru je připojen na přerušení, zatímco druhý výstup je připojen na obyčejný pin MCU. Přerušení vyhodnocuje náběžné i sestupné hrany, při kterých testuje logický stav druhého výstupu enkodéru. Přerušení je pokud možno co nejkratší, aby příliš nezatěžovalo při rotaci enkodéru MCU a nedocházelo k chybám měření.

Tlačítka jsou vyhodnocena periodickým voláním funkce `GetKeys()`. Volání provádí hlavní aplikace. Zámkity tlačítek jsou ošetřeny pomocí neblokujícího maskování tlačítek. Pokud bylo stisknuto tlačítko, je nastaven dekrementační čítač pro dané tlačítko, který dekrementuje čekací proměnnou. Dokud čítač nedoběhne, je stav tlačítka vymaskován a z pohledu aplikace se tlačítko jeví jako nestisklé. Z uživatelského pohledu pak trvale stisknuté tlačítko způsobí opakování funkce tlačítka s periodou přibližně 0,3 s.

6.11 Knihovna user - správa uživatelů

Knihovna `user.h`, `user.c` využívá většiny předešlých knihoven. Úkolem knihovny je zabezpečit API pro vytváření a správu uživatelů. Dále budou popsány pouze ty nejdůležitější vlastnosti knihovny. Kompletní funkcionalitu lze dohledat ve zdrojových souborech knihovny.

Každý uživatel je popsán svou vlastní datovou strukturou, která se nachází v EEPROM. Jednotlivé prvky uživatelské struktury a jejich význam:

- `name` - jméno uživatele o maximální délce 6 znaků. Délku lze překonfigurovat makrem.
- `uid` - unikátní uživatelské identifikační číslo. Princip generování bude popsán dále.
- `gid` - identifikační číslo skupiny, do které uživatel náleží. Skupina ovlivňuje práva uživatele.
- `lastLogin` - datová struktura obsahující čas a datum posledního přihlášení uživatele.
- `expTime` - datová struktura obsahující čas a datum, kdy vyprší platnost uživatelského účtu
- `lastData` - data všech měření. Ekvivalentní posledním zapsaným datům na SD kartu.
- `iButton` - datový prvek obsahující identifikační číslo uživatelského iButton klíče.
- `scrData` - datová struktura obsahující konfigurace obrazovek pro zobrazení provozních hodnot. Každý uživatel může obrazovky rekonfigurovat.
- `opto` - data pro uživatelské přednastavení regulace podsvícení LCD.
- `tripStart` - záznam počátku poslední trasy
- `trackDelay` - prodleva mezi jízdami, která způsobí vytvoření nového záznamu o jízdě.
- `suspendDelay` - prodleva pro přechod do režimu spánku, pokud neběží motor.
- `freeBuff` - volné pole 15 byte, které slouží pro další rozšíření možností a funkcí uživatelů.

Knihovna poskytuje hlavní aplikaci funkce pro práci s daty uživatele a funkce pro zjištění práv a nastavení. Dále popsané funkce a možnosti uživatelů jsou dostupné na základě kooperace hlavní aplikace a aplikačního rozhraní knihovny.

Každý uživatel má možnost změnit si své jméno nebo spíše přezdívku. Při práci s SD kartou a daty je uživatel především identifikován svým `uid`. Unikátní identifikační číslo se generuje na základě interakce s uživatelem. Při registraci nového uživatele administrátor vyplňuje kartu uživatele a při generování `uid` je administrátor vyzván ke stisku potvrzujícího tlačítka OK. Během doby, než je tlačítko stisknuto, běží čítač generující `uid`. Při každém stisku je vygenerováno odlišné `uid`, protože rychlost reakce uživatele je většinou rozdílná. Pokud by přeci jen došlo k vygenerování již použitého `uid`, proběhne kontrola identifikačních čísel všech registrovaných uživatelů a v případě shody je toto nové `uid` inkrementováno tak dlouho, dokud není skutečně unikátní.

Identifikační číslo skupiny `gid` slouží k určení práv daného uživatele. Číslo `gid` je

8 bitové, lze tedy definovat 8 bitových masek pro různá práva uživatele. Prozatím jsou využívány dvě masky.

První z masek je tzv. G_READ. Tato maska definuje oprávnění uživatele pro přístup do libovolné sekce v konfiguračním menu. Uživatel nemá právo provádět žádné změny nastavení, které by se dotkly konfigurace systému a měření palubního počítače a také nemá právo nahlížet do provozních dat ostatních uživatelů ani do registračních dat ostatních uživatelů, kde by mohl na základě zjištění jejich uid identifikovat data na SD kartě.

Druhá z použitých bitových masek je G_ROOT. Masku nastavuje oprávnění uživatele stejná, jako má administrátor. Uživatel může konfigurovat palubní počítač a může spravovat a registrovat nové uživatele. Nemá ovšem oprávnění k procházení a čtení provozních dat ostatních uživatelů na SD kartě. Toto oprávnění nemá ani administrátor.

Pokud není ani jedna z masek nastavena, pak má uživatel přístup pouze do svého uživatelského nastavení, kde si může konfigurovat jas podsvícení, zobrazení provozních hodnot, své jméno nebo čas do automatického usnutí palubního počítače a čas mezi vytvořením nové trasy při stojícím automobilu. Uživatel má samozřejmě přístup i do svých uložených dat na SD kartě.

U každého uživatele se zaznamenává také poslední čas přihlášení. Tento čas se zobrazuje jak uživateli, tak v kartě konfigurace uživatelů. Uživatel má platnost účtu danou časem, který je definován při vytvoření uživatele na základě nastavení administrátora. Tento lze znova rekonfigurovat v administraci uživatelů. Po překročení tohoto času a data dojde k vypršení platnosti účtu a systém další přihlášení uživatele nepovolí. V případě, že má mít účet neomezenou platnost, pak obsahuje čas a datum samé nuly. Neomezená platnost účtu je výchozí stav například u účtu administrátora.

Dalšími prvky struktury je sériové číslo iButton klíče, které je potřebné pro ověření uživatele při přihlášení a dále konfigurační data pro nastavení jasu obrazovky, nastavení zobrazovaných hodnot apod.

Na konci každé uživatelské struktury je volné pole, které má aktuálně velikost 15 byte. Toto pole slouží pro další rozšíření funkcí uživatelů. Pokud bychom chtěli rozšířit plnou strukturu, přičemž již máme uložená data uživatelů v EEPROM, přišli bychom o tato data z důvodu sekvenčního ukládání dat do EEPROM. Pouze aktuálně přihlášený uživatel má strukturu vyčtenou z EEPROM a uloženou v paměti SRAM, což urychluje práci s daty.

6.12 Správa napájení pwrctrl

Knihovna pwrctrl.h, pwrctrl.c zabezpečuje aplikační rozhraní pro správu napájení palubního počítače a pro přechod do a z režimu spánku. Společně s hlavní aplikací jsou zabezpečeny následující funkce.

Po čas běhu palubního počítače, je napájení zprostředkováno DC-DC měničem. V případě přechodu do režimu spánku je zajištěno korektní ukončení běhu všech periférií a od napájení je odpojena SD karta i LCD. Jsou vypnuty nepotřebné periferie MCU a zastaveny všechny generátory hodin. Všechny porty MCU jsou převedeny do stavu vysoké impedance. Na některých pinech, jako například na pinu generátoru 200 kHz, jsou aktivovány interní zdvihací rezistory, aby byl zaručen korektní klidový stav. Z důvodu šetření energie je dočasně vypnuto i JTAG rozhraní, které je aktivováno ihned po probuzení.

Probuzení je požadováno na základě otevření vstřikovače motoru nebo na základě interakce s uživatelem. Uživatel má možnost probudit PP za pomoci tlačítka MENU. Před usmáním musí být tedy nakonfigurované přerušení INT1 vstřikovače a také přerušení od tlačítek.

Nakonec je nastavena značka přechodu do režimu spánku, která je umístěna v paměti EEPROM a mikrokontrolér přejde do režimu Power-down. V režimu spánku je pozastaven běh DC-DC měniče a napájení přebírá záložní lineární stabilizátor. V režimu spánku klesá spotřeba zařízení pod 8 mA.

Do režimu spánku přejde palubní počítač po stanoveném čase při nečinnosti motoru nebo po stisknutí a držení tlačítka OK, za předpokladu, že není otevřené žádné menu.

V případě vzniku přerušení od vstřikovače motoru nebo od uživatele je testován stav vstupu daného přerušení. Pokud se nejedná o chybně detekované zákmity, dojde k probuzení palubního počítače, obnovení napájení a inicializaci všech periférií, což je provedeno hlavní aplikací, která provede inicializační smyčku jakoby šlo o skutečné spuštění.

6.13 Hlavní smyčka aplikace

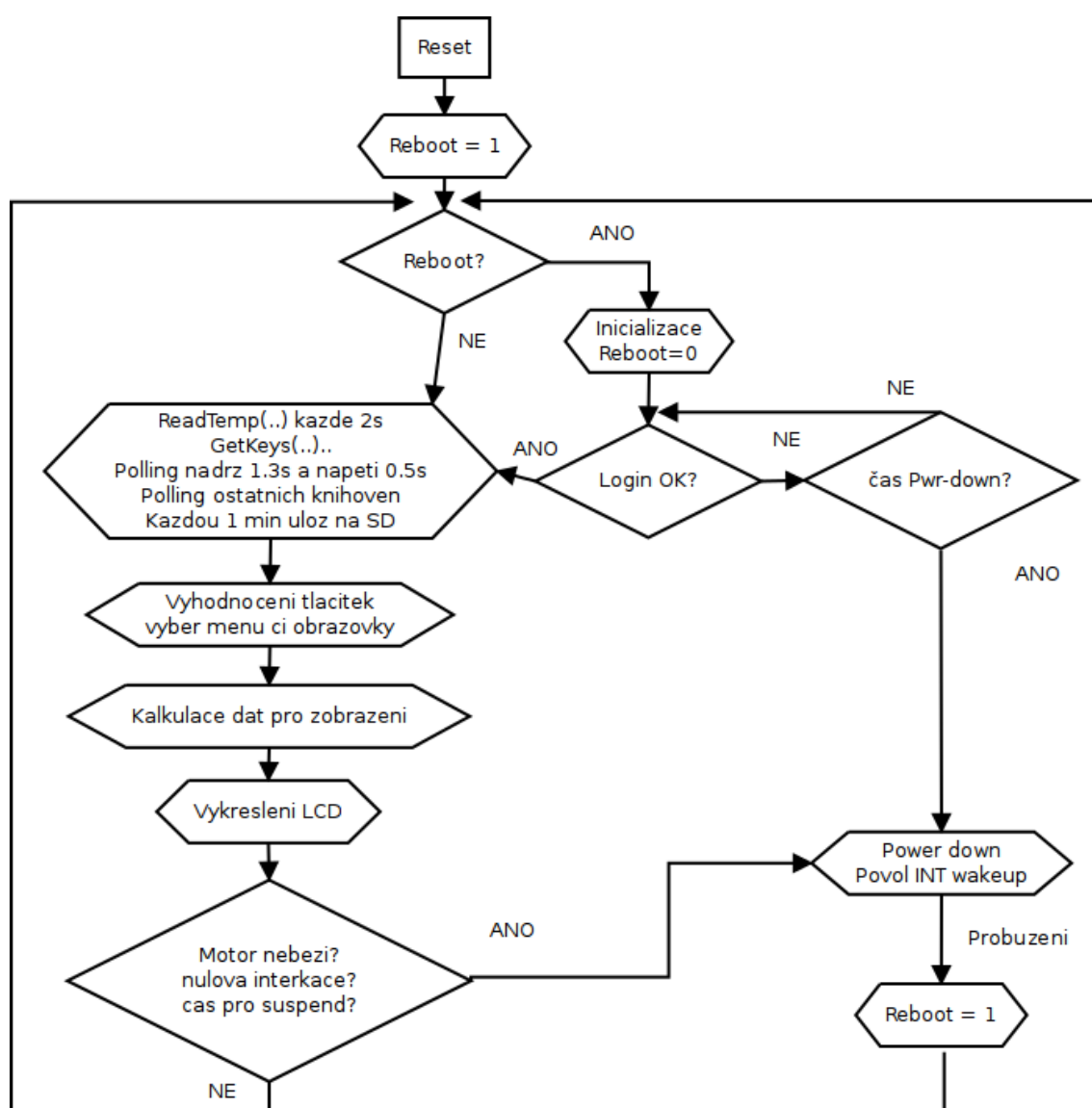
Hlavní aplikace, která využívá výše popsané knihovny, je tvořena nekonečnou smyčkou v souboru `main.c`, kde po inicializaci knihoven a periférií jsou prováděny volání a zpracování dat a událostí od jednotlivých knihoven. S podporou knihovny grafického uživatelského rozhraní `gui` jsou vytvořeny a vykreslovány všechny obrazovky s měřenými údaji a dále menu i s řízením průchodu a vnořováním do jednotlivých sekcí.

Po prvním spuštění je provedena inicializační sekvence, během které se mimo konfigurace periférií a adresářů SD karty provede také kontrola uživatelských účtů. Pokud aplikace zjistí, že neexistuje žádný uživatel, je před prvním přihlášením uživatel vyzván k registraci Administrátora. Ta spočívá v přiložení administrátora čipu `iButton` a od-souhlasení kroků pro vygenerování `uid` a adresářové struktury uživatele. Poté je již možné přihlásit platného uživatele, na což palubní počítač vyzve při každém spuštění či probuzení.

V nekonečné hlavní smyčce jsou provedeny měření, které nejsou závislé na přerušení. Jedná se o měření čidel teploty, napětí palubní sítě, regulaci a měření jasu LCD apod. Dále

se vyhodnocují předané stavy tlačítek a dochází k výběru kreslené obrazovky a zajištění procházení úrovněmi menu s případnou editací hodnot. Na základě vybrané obrazovky se vypočítají provozní hodnoty, které obrazovka má zobrazovat a provede se její vykreslení funkcemi knihovny LCD.

Jako poslední jsou smyčkou vyhodnoceny podmínky přechodu do režimu spánku. Aplikace přejde do režimu Power-down za předpokladu, že doběhne prodleva, kdy motor neběží a uživatel nepoužívá ovládacích tlačítek a enkodéru. Umístění na konci smyčky není náhodné. Při přechodu do tohoto režimu a následném probuzení se aplikace dostane na počátek hlavní smyčky, kde je zaručena správná inicializace periférií a proměnných pro další běh aplikace.



Obr. 6.3: Vývojový diagram hlavní smyčky aplikace

6.14 Shrnutí vlastností

Software palubního počítače umožňuje měřit a vyhodnotit provozní veličiny automobilu a má implementovány potřebné funkce pro správu uživatelů a práci s měřenými daty.

Implementované měřicí funkce:

- Měření spotřeby - aktuální spotřeba, průměrná za jízdu, průměrná za trasu, celková spotřeba. Jednotky l/100 km. Při rychlosti pod 18 km/h aktuální spotřeba v l/h.
- Měření spotřebovaného paliva v litrech - za aktuální jízdu a za trasy.
- Měření rychlosti - aktuální, průměrná, průměrná za trasu, celková.
- Měření ujeté vzdálenosti - aktuální ujeté vzdálenosti, vzdálenosti za trasu či vzdálenosti celkové.
- Snímání stavu nádrže a měření napětí palubní sítě.
- Určení dojezdu v km na základě stavu nádrže a průměrné spotřeby.
- Měření aktuálních otáček, průměrných otáček za trasy apod.
- Měření vnitřní a venkovní teploty.
- Měření a zobrazení času a data.
- Kalibrace a nastavení pomocí LCD menu. Data ukládána do EEPROM.

Správa uživatelů:

- Až 10 uživatelů
- Kompletní administrace přes LCD menu palubního počítače.
- Možnost přidělení práv uživatelům.
- Oddělená uživatelská data.
- Přihlašování uživatelů přes klíč iButton.
- Možnost definování doby platnosti uživatelského účtu.
- Uživatel určen svým unikátním identifikačním číslem (uid).
- Volitelné jméno uživatele, které nemá vliv na datové cesty apod.
- Informace a uživ. účty uložené v paměti EEPROM.
- Možnost uživatelského přizpůsobení regulace jasu LCD, rozložení obrazovek s měřenými údaji, konfigurace dalších menších přizpůsobení.

Práce s daty a SD kartou:

- Každý uživatel má vlastní adresářovou strukturu určenou svým uid.
- Stromová adresářová struktura dat dle časového zařazení.
- Data ukládána ve strukturách do binárních souborů s příponou dat.
- Kontrola validity uložených dat pomocí kontrolních redundantních součtů.
- Možnost vyhledávání, procházení a čtení uložených dat.
- Databáze uživatele zobrazena přehledně pomocí menu a adresářové struktury.
- Kalkulace průměrů z dat databáze za rok, měsíc, den nebo trasu.
- Zobrazení tras z databáze za pomoci časové značky zaznamenané v okamžiku startu trasy.

7 DOSAŽENÉ VÝSLEDKY

Pro ověření přesnosti měření šířky elektrických impulzů, které řídí vstřikovací ventil, byl palubní počítač testován pomocí generátoru Motech FG503 a čítače HP 5334A. Generátor sloužil jako zdroj simulovaného elektrického impulzu od vstřikovače. Byl zvolen obdélníkový signál o amplitudě 12 V, střídě 0,5 a frekvenci 250 Hz. Výstup generátoru byl připojen na vstupní modul palubního počítače. Vstup pro měření signálu ze vstřikovače obsahuje oddělovací optočlen. Tento optočlen byl spínán daným obdélníkovým signálem z generátoru. Optočlen by měl být sepnutý po dobu trvání 12 V impulzu obdélníku, což je při střídě 0,5 právě polovina periody signálu generátoru.

Signál z generátoru byl také přiveden na vstup čítače HP 5334A. Hodnota střídý, zobrazená čítačem, byla brána jako skutečná hodnota. Palubní počítač vyhodnocoval dobu otevření optočlenu nepřímou přes čítání sestupných hran ze svého pomocného integrovaného generátoru obdélníkového signálu o frekvenci 200 kHz. Při otevřeném vstřikovači se tento obdélníkový signál dostane na vstup 16 bitového čítače, který čítá počet sestupných hran a software počítá počet přetečení čítače. S periodou 1 s je vyzvednut stav čítače i počet přetečení a čítač vynulován. Výsledná hodnota, která je určena na základě stavu čítače a počtu přetečení, je softwarově dělena hodnotou 4x, jak bylo uvedeno v části věnované popisu knihovny `car_meas`. Při periodě vyzvednutí čítače 1 s je maximální hodnota, která odpovídá otevření optočlenu po celou dobu periody, rovna čtvrtině frekvence 200 kHz tedy hodnota 50 000.

Střídu měřeného signálu D_m lze tedy určit z poměru počtu impulzů imp k možnému maximálnímu počtu impulzů, který by nastal v případě střídý signálu 1. Hodnota impulzů imp za každou periodu je zobrazena v menu `Systémové informace`. Během měření palubní počítač zobrazoval hodnotu 24 990. Poslední cifra v hodnotě kolísala o ± 1 , což je dáno určitou nepřesností periody měření. Střídu signálu lze pak určit jako:

$$D_m = \frac{imp}{50000} = \frac{24990}{50000} = 0,4998 \quad (7.1)$$

Absolutní chyba měření, kde D_m je naměřená hodnota střídý palubním počítačem a $D_s = 0,499725$ je skutečná hodnota střídý, určená čítačem HP 5334A:

$$\Delta_D = D_m - D_s = 0,4998 - 0,499725 = 0,000075 \quad (7.2)$$

Relativní chyba měření:

$$\delta_D = \frac{\Delta_D}{D_s} = \frac{0,000075}{0,499725} \cdot 100 = 0,015 \% \quad (7.3)$$

Snímání čidla ujeté vzdálenosti a čidla otáček motoru spočívá v čítání impulzů od těchto čidel po danou periodu měření, kde perioda měření čidla vzdálenosti je 1 s, zatímco

perioda měření čidla otáček je 0,25 s. Přesnost výpočtů rychlosti a otáček motoru závisí značně na rozlišení samotných čidel, respektive na převodní konstantě čidel. Protože jsou impulzy čítány čítači, nedochází ke ztrátě impulzů vlivem software. Dochází pouze ke zkreslení vinou převodních konstant. Například testovaný automobil Seat Arosa s motorem 1.0 MPi má převodní konstantu vstřikovače 97 ccm/min a převodní konstanta čidla vzdálenosti byla experimentálně změřena jako 395 imp/100m, tedy 3,95 imp/m. Pojede-li automobil 50 km/h, což je 13,88 m/s, pak je frekvence impulzů z čidla 54,826 Hz. Čítač čítá sestupné hrany a za periodu 1 s může načítat pouze 54 hran a další je načítána až při nové periodě měření. Počítač tedy určí ujetou vzdálenost za 1 s jako 13,6 m. Pak je zobrazená vypočtená rychlost 49 km/h, což je v tomto případě absolutní chyba 1 km/h a relativní chyba 2 %. Uvedený výpočet je pouze příklad z reálného měření v automobilu. Obdobný princip platí i pro čidlo otáček motoru.

Uvedená chyba platí pouze pro okamžité hodnoty, které se v praxi vlivem dynamiky jízdy a dovedností řidiče mění. Nutno podotknout, že samotný přístrojový rychloměr zobrazoval při rychlosti 50 km/h údaj 54 km/h. Chyba přístrojové desky bývá vyšší a rychlost musí být vždy nadhodnocena. Rychlost byla měřena pomocí silničních radarů, které jsou rozmístěny u dopravních komunikací města Prostějov.

Měření stavu nádrže bylo připojeno přímo na vodič vedoucí od čidla do přístrojové desky automobilu. Automobil Seat Arosa používá přímé připojení snímače na přístrojovou desku. Přístrojová deska používá nespojitě snímání stavu nádrže periodickými impulzy, kde perioda impulzů byla změřena 30 ms a šířka impulzu pouhých 700 μ s. Snímaná hodnota byla orientačně porovnávána pomocí ručního přenosného osciloskopu DSO Nano s šířkou pásma 1 MHz a počtem vzorků 1 MS/s. Hodnota amplitudy impulzu, měřená palubním počítačem, odpovídala hodnotě snímané osciloskopem. Princip měření pomocí najetí maxima měřeného impulzu a použití plovoucího mediánového filtru na posledních 10 hodnot, se ukázal jako plně dostatečný. Palubní počítač není náchylný na průjezdy zatáček a krátkodobé výchyly plováku. Stejně tak se omezila chyba měření AD převodníku. Seat Arosa vykazuje nelineární charakteristiku průběhu napětí snímače plováku ke stavu nádrže, která byla prozatím změřena pouze orientačně. K přesnější kalibraci by bylo nutné natankovat plnou nádrž, tuto postupně vyjíždět a kalibrovat stav nádrže pomocí diagnostiky.

Při provozu je odběr z palubní sítě 50 až 350 mA v závislosti na napětí sítě a na intenzitě podsvícení LCD, které má ze všech periférií nejvyšší odběr. Přejde-li palubní počítač do režimu snížené spotřeby, pak dojde k poklesu spotřeby pod 8 mA. Elektrické parametry jsou shrnuty v příloze v tabulce A.1.

8 ZÁVĚR

Po patřičném seznámení s problematikou palubních počítačů pro osobní automobily byl navržen způsob snímání provozních dat pro zážehové motory s nepřímým vstřikováním paliva. Způsob měření spotřeby je založen na určení doby otevření vstřikovače vyhodnocením délky elektrického impulzu, kterým je vstřikovač ovládán. Takové měření je možné díky konstantnímu poměru tlaku mezi sacím potrubím a vstřikovaným palivem. Pro měření ujeté vzdálenosti, otáček a stavu nádrže se využívá přímo čidel automobilu.

Na základě zadání a požadavků na měření byl navržen a sestaven palubní počítač automobilu, který z měřených veličin kalkuluje provozní hodnoty. Jedná se o měření aktuální a průměrné spotřeby, ujeté vzdálenosti, aktuální a průměrné rychlosti a také měření aktuálních otáček motoru. Palubní počítač umožňuje vyhodnotit stav palivové nádrže pomocí přímého připojení na snímač palivové nádrže. Na základě stavu nádrže a průměrné spotřeby je pak určen přibližný dojezd automobilu, který je zobrazen v kilometrech. Mimo uvedené provozní hodnoty je měřena také venkovní i vnitřní teplota a napětí palubní sítě automobilu.

Při návrhu byl kladen důraz na odolnost zařízení a korektní funkci v teplotním rozsahu $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$. Z důvodu bezpečného zálohování dat na paměťová média je palubní počítač stále napájen ze sítě automobilu. Proto byl při návrhu brán ohled i na spotřebu zařízení v klidovém stavu, která je nižší než 8 mA. Díky stálému napájení dokáže počítač detekovat start automobilu i případnou interakci s uživatelem a ihned přejít do provozního stavu.

Na rozdíl od továrních palubních počítačů je možné vytvářet záznamy pro více řidičů, kteří jsou identifikováni na základě své klíčenky iButton. Technologie iButton byla vybrána vzhledem k ceně a jednoduchosti použití. Každý uživatel je popsán svou uživatelskou kartou, která se nachází v paměti mikrokontroléru a také databázi jízd, která se nachází na paměťové kartě typu SD. Při implementaci ukládání dat byl kladen důraz na bezpečné uložení dat i v případě ztráty paměťové karty. Proto jsou poslední provozní data každého uživatele uložena také do paměti v mikrokontroléru. Maximálně lze registrovat 10 uživatelů. Počet uživatelů je limitován především dostupným místem v interní paměti EEPROM, která se nachází v mikrokontroléru.

Databáze dat uživatelů na SD kartě je adresářově orientována, přičemž adresář uživatele je určen jeho unikátním identifikačním číslem. Díky tomu je zaručena základní ochrana osobních dat jednotlivých uživatelů. Uživatelé totiž nezajímají přiřazení unikátních čísel. Tyto informace má dostupné pouze uživatel s administrátorskými právy. Do databáze jsou s periodou 1 minuty ukládány provozní data každé jízdy. V databázi jsou jednotlivé jízdy určeny unikátním indexem a časovou značkou. Díky oddělenému aplikačnímu rozhraní a implementaci knihoven lze jednoduše rozšiřovat funkce databáze bez většího zásahu do ostatních subsystémů a knihoven.

Palubní počítač také obsahuje galvanicky oddělené USB rozhraní, které aktuálně slouží k aktualizaci software a terminálovému přístupu na data SD karty. USB rozhraní může také sloužit pro případnou komunikaci zařízení s aplikací běžící na PC, která by mohla disponovat kompletním zpracováním dat databáze a jejich přehledným vykreslením do grafů.

Palubní počítač byl úspěšně otestován v provozu v automobilu Seat Arosa. Po patřičné kalibraci snímačů byly otestovány všechny měřicí vstupy. Tato část měření a testování v provozu byla značně zdoluhavá a neobešla se bez komplikací a úprav měřicího software. V praxi se ukázala jako nejkomplikovanější kalibrace průběhu snímače palivové nádrže.

Realizovaný palubní počítač poskytuje kompletní informace o provozních hodnotách jak aktuálních tak i průměrných. Díky oddělení jednotlivých vrstev a funkcí do knihoven je relativně snadné další rozšiřování funkcí i případné využití knihoven s jinou platformou.

Palubní počítač by bylo možné rozšířit o statistické funkce nebo o již zmiňovaný software osobního počítače, který by zpracovával záznamy v databázi. Připojením rozšiřujícího RF modulu s GPS by pak mohlo vzniknout komplexní zařízení pro firemní automobily, kdy záznam provozních hodnot, doplněných o přesnou polohu GPS, by mohl být automaticky odeslán RF modulem na server při každém příjezdu automobilu do střediska dané firmy. Vzniklo by tak poměrně levné offline řešení hlídání a záznamu pohybu firemních automobilů, což by mohlo být pro většinu menších firem zajímavé a finančně dostupné.

LITERATURA

- [1] MOTEJL, Vladimír. *Vstřikovací zařízení zážehových motorů: učební text pro učební obor 23-68-H/001(24-19-2) automechanik*. 3.rozšířené vyd. České Budějovice: Kopp, 2003, 273 s. ISBN 80-723-2141-2.
- [2] MOTEJL, Vladimír. *Vstřikovací zařízení vznětových motorů: učební text pro učební obor 23-68-4 /001 automechanik*. 1. vyd. České Budějovice: Kopp, 2003, 273 s. ISBN 80-723-2142-0.
- [3] FERENC, Bohumil. *Spalovací motory: karburátory, vstřikování paliva a optimalizace parametrů motoru*. Vyd. 3. Brno: Computer Press, 2009, 388 s. Auto-moto-profi (Computer Press). ISBN 978-80-251-2545-8.
- [4] ŠTĚRBA, Pavel. *Elektrotechnika a elektronika automobilů: elektrická zařízení, diagnostika a odstraňování závad*. Vyd. 1. Praha: Computer Press, 2004, 182 s. Rady a tipy pro řidiče (Computer Press). ISBN 80-251-0211-4.
- [5] DITTRICH, Lukáš. Common Rail: systému čerpadlo-tryska odzvonilo. *Zavolantem.cz* [online]. 2008-09-09 [cit. 2011-03-28]. Dostupné z: <http://www.zavolantem.cz/clanky/common-rail-systemu-cerpadlo-tryska-odzvonilo>
- [6] DOHLE, Ulrich. Vstřikovací systémy pro moderní vznětové motory. *Mmspektrum.com* [online]. 2005 [cit. 2011-03-28]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/vstrikovaci-systemy-pro-moderni-vznetove-motory>
- [7] Systémy vznětových motorů. BOSCH. *Bosch.com* [online]. 2011 [cit. 2011-03-28]. Dostupné z: <http://rb-kwin.bosch.com/cz/cs/powerconsumptionemissions/dieselsysteme/dieselsystem/index.html>
- [8] VW TDI and Audi TDI fuel injection pump vs. pumpe duse vs. common rail 1996-2011. *Myturbodiesel.com* [online]. 2011 [cit. 2011-03-28]. Dostupné z: <http://www.myturbodiesel.com/1000q/pumpedusedesc.htm>
- [9] Library of Automotive Waveforms. *Picoscope.com* [online]. 2011 [cit. 2011-03-28]. Dostupné z: <http://www.picoauto.com/waveforms/>
- [10] FTDI. *FT232R*. [online]. 2010 [cit. 2011-03-21]. Dostupné z: <http://www.ftdichip.com/Products/ICs/FT232R.htm>
- [11] ATMEL. *Atmega128A*. [online]. 2011 [cit. 2011-03-21]. Dostupné z: http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc8151.pdf

- [12] NATIONAL SEMICONDUCTOR. *LM2574* [online]. 2011 [cit. 2011-04-17]. Dostupné z: <http://www.national.com/mpf/LM/LM2574.html#Overview>
- [13] NXP. *UM10204 I2C-bus specification and user manual* [online]. 2007 [cit. 2011-12-1]. Dostupné z: <http://ics.nxp.com/support/documents/interface/pdf/i2c.bus.specification.pdf>
- [14] MAXIM. *DS1990R serial number iButton* [online]. 2010 [cit. 2011-12-1]. Dostupné z: <http://datasheets.maxim-ic.com/en/ds/DS1990R-DS1990R-F5.pdf>
- [15] MAXIM. *DS18B20 temperature sensor* [online]. 2010 [cit. 2011-12-1]. Dostupné z: <http://datasheets.maxim-ic.com/en/ds/DS18B20.pdf>
- [16] MAXIM. *DS2401 serial number* [online]. 2010 [cit. 2011-12-1]. Dostupné z: <http://datasheets.maxim-ic.com/en/ds/DS2401.pdf>
- [17] MAXIM. *Interfacing the DS18X20/DS1822 1-Wire temperature sensor in a micro-controller environment* [online]. 2002 [cit. 2011-12-1]. Dostupné z: <http://pdfserv.maxim-ic.com/en/an/AN162.pdf>
- [18] MICROCHIP. *MCP1703 CMOS linear regulator* [online]. 2011 [cit. 2011-12-1]. Dostupné z: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/22049f.pdf>
- [19] MICROCHIP. *MCP1791 LDO* [online]. 2010 [cit. 2011-12-2]. Dostupné z: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/22075a.pdf>
- [20] MICROCHIP. *MCP602 dual OZ* [online]. 2010 [cit. 2011-12-2]. Dostupné z: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/21314g.pdf>
- [21] NXP. *PCF8563 real time clock* [online]. 2011 [cit. 2011-12-2]. Dostupné z: http://www.nxp.com/documents/data_sheet/PCF8563.pdf
- [22] NXP. *PCA9530 i2c led dimmer* [online]. 2011 [cit. 2011-12-2]. Dostupné z: http://www.nxp.com/documents/data_sheet/PCA9530.pdf
- [23] ELECTRONIC ASSEMBLY. *DOGL128 spi graphic lcd* [online]. 2011 [cit. 2011-12-2]. Dostupné z: <http://www.lcd-module.com/eng/pdf/grafik/dogl128-6e.pdf>
- [24] SD ASSOCIATION. *Secure Digital I/O specification* [online]. 2001 [cit. 2011-12-6]. Dostupné z: https://www.sdcard.org/downloads/pls/simplified_specs/Part_1_Physical_Layer_Simplified_Specification_Ver_3.01_Final_100518.pdf
- [25] THE CODE::BLOCKS TEAM. *Code::Blocks* [online]. [cit. 2012-05-05]. Dostupné z: <http://www.codeblocks.org/downloads>

- [26] THE LIBC TEAM. *AVR C Runtime Library*. [online]. [cit. 2012-05-05]. Dostupné z: <http://www.nongnu.org/avr-libc/>
- [27] THE GCC TEAM. *GCC, the GNU Compiler Collection*. Dostupné z: <http://gcc.gnu.org/>
- [28] KRAUS, Oliver. *Dogm128: Library for the Dogm-Graphics-LCD modules (AVR, Arduino compatible)*. [online]. 2011 [cit. 2012-05-06]. Dostupné z: <http://code.google.com/p/dogm128/>
- [29] RIEGEL, Roland. *MMC/SD/SDHC card library*. [online]. 2011-04-23 [cit. 2012-05-05]. Dostupné z: <http://www.roland-riegel.de/sd-reader/>
- [30] GNU. *GPL - GNU General Public License*. [online]. 2007-06-29 [cit. 2012-05-05]. Dostupné z: <http://www.gnu.org/licenses/gpl.html>
- [31] THOMAS, Martin. *DS18X20 with AVR*. [online]. 2011-02-09 [cit. 2012-05-05]. Dostupné z: http://www.siwawi.arubi.uni-kl.de/avr_projects/tempsensor/index.html
- [32] Polo 6N2, Informace o přístrojové desce. *vw-polo.com*. [online]. 2009-1-25 [cit. 2012-05-13]. Dostupné z: <http://www.vw-polo.com/index.php/polo-6n1/rady-a-navody/205-informace-o-pistojove-desce>

SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

Sp_a aktuální spotřeba

V_a objem spotřebovaného paliva za periodu měření

s_a aktuální ujetá dráha za periodu měření

t perioda měření

v_a aktuální rychlost

D_a aktuální dojezd automobilu

N aktuální stav nádrže

OBDII komunikační protokol diagnostického rozhraní automobilu

MCU mikrokontrolér, jednočipový mikropočítač

FSI fuel stratified injection, systém přímého vstřikování paliva

ECU řídicí jednotka

PD pumpe duse, systém čerpadlo-tryska

HADI Hydraulicky posílený vstřikovač

DC stejnosměrné napětí

DC-DC převod stejnosměrného napětí na stejn. napětí jiné hodnoty

PP palubní počítač

LCD liquid crystal display, displej z tekutých krystalů

SD secure digital, paměťová karta

USB universal serial bus, univerzální sériová sběrnice

SPI serial peripheral interface

RTC real time clock, signál reálných hodin

RS485 standard sériové komunikace, dvou vodičové diferenciální zapojení

TTL třída provedení úrovní logických obvodů (5 V)

LV-TTL třída provedení úrovní logických obvodů (3 V)

PC personal computer, osobní počítač

DPS deska plošných spojů

AVR rodina mikrokontrolérů firmy Atmel

FLASH nevolatilní elektricky programovatelná paměť

SRAM rychlá synchronní volatilní paměť

EEPROM electrically erasable programmable read-only memory, elektricky programovatelná paměť

CMOS complementary metal-oxide-semiconductor, technologie polovodičových prvků

X7R typ dielektrika keramického kondenzátoru

NPO typ dielektrika keramického kondenzátoru

JTAG joint test action group, architektura pro testování a programování zařízení

NAND logický negovaný součin

AD analog to digital - analogově digitální převod

ADC analog to digital converter - převodník analogové hodnoty na digitální

EMI electro-magnetic interference, elektromagnetická interference

ESR equivalent series resistance, ekvivalentní sériový odpor

GPL GNU General public licence

CRC cyclic redundancy check, cyklický redundantní součet

INT interrupt, přerušení

SEZNAM PŘÍLOH

A Elektrické parametry PP	78
B Připojení do automobilu Seat Arosa	79
B.1 Připojení vstříkovače	79
B.2 Připojení na čidla nádrže, kilometrů a otáček	79
C Snímky obrazovek a menu	81
D Foto dokumentace	84
E Výrobní dokumentace	86
E.1 Hlavní modul	86
E.1.1 Rozpis materiálu	86
E.1.2 Výkresy desky	91
E.2 LCD modul	92
E.2.1 Rozpis materiálu	92
E.2.2 Výkresy desky	94
E.3 Modul vstupů	95
E.3.1 Rozpis materiálu	95
E.3.2 Výkresy desky	97
E.4 Modul s micro-SD kartou	98
E.4.1 Rozpis materiálu	98
E.4.2 Výkresy desky	98
E.5 Modul ovládání	100
E.5.1 Rozpis materiálu	100
E.5.2 Výkresy desky	100

A ELEKTRICKÉ PARAMETRY PP

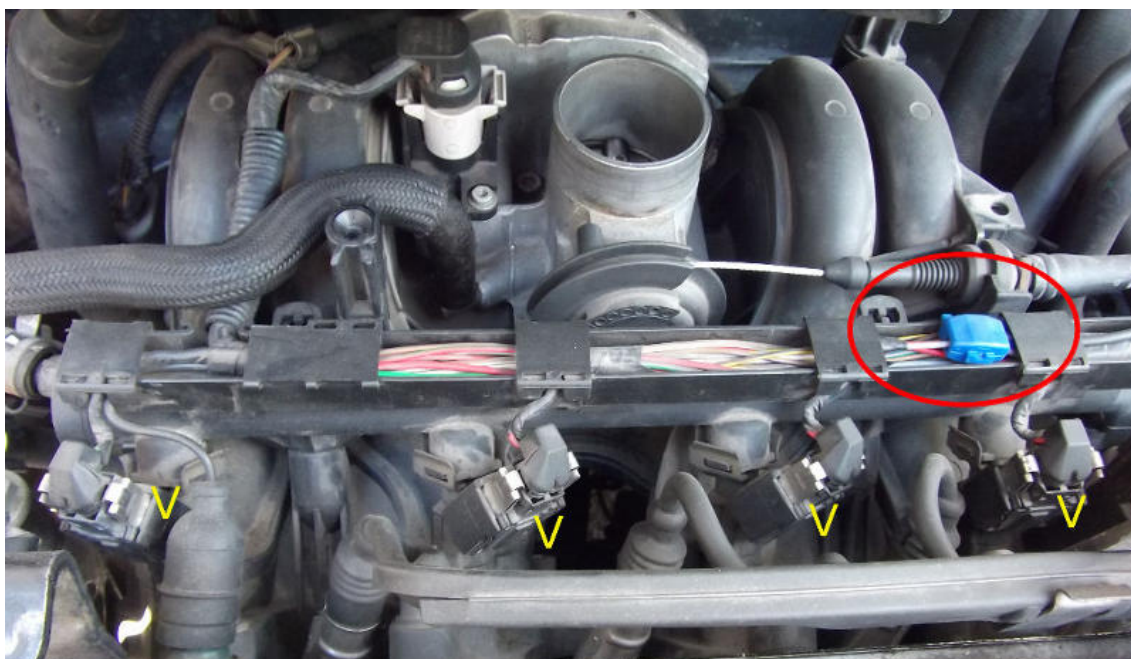
Minimální nap. napětí	7	V
Odběr při minimálním nap. napětí	max. 350	mA
Maximální nap. napětí	28	V
Odběr při maximálním nap. napětí	max. 75	mA
Doporučené nap. napětí	12	V
Odběr při doporučeném nap. napětí	max. 150	mA
Trvalý odběr v režimu Power-down	max. 8	mA
Max. povolené napětí vstřikovače v propustném směru	100	V
Max. závěrné napětí vstřikovače	150	V
Min. úroveň napětí vstřikovače pro přechod log. 1.	6,5	V
Max. úroveň napětí vstřikovače pro přechod do log. 0.	5	V
Hystereze vstupu vstřikovače	1,5	V
Max. povolené napětí pro ostatní vstupy	30	V
Min. úroveň napětí ostatních vstupů pro přechod log. 1	2,1	V
Max. úroveň napětí ostatních vstupů pro přechod log. 0	0,9	V
Hystereze ostatních vstupů	1,2	V
Min. impedance vstupu pro měření nádrže	100	k Ω
Měření teploty s přesností 0,5 °C v rozsahu	-10 až +85	°C
Měření teploty s přesností 2 °C v celém rozsahu	-55 až 125	°C
Teplotní rozsah okolí pro zaručený provoz PP	-20 až +50	°C

Tab. A.1: Tabulka elektrických parametrů prototypu palubního počítače

B PŘIPOJENÍ DO AUTOMOBILU SEAT AROSA

B.1 Připojení vstřikovače

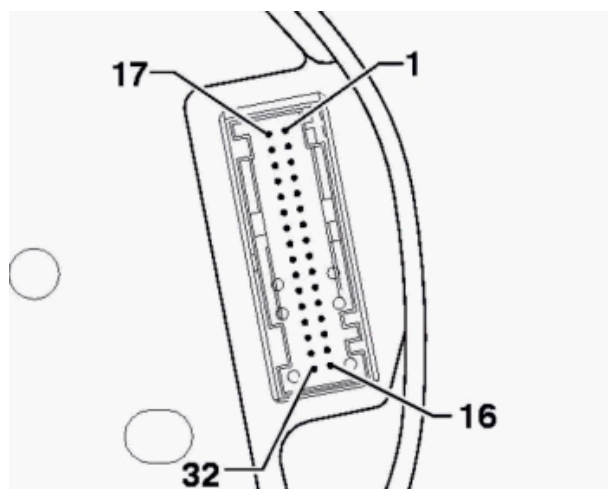
Připojení vstřikovače je nejlepší provést přímo na liště, která rozvádí řídicí vodiče k jednotlivým vstřikovačům. Vhodné je připojit oba vodiče vstřikovače na vstupní optočlen.



Obr. B.1: Připojení palubního počítače na vstřikovač v automobilu Seat Arosa.

B.2 Připojení na čidla nádrže, kilometrů a otáček

Připojení lze provést přímo na svazku vodičů, který vede do konektoru přístrojové desky. Zapojení konektoru pro automobil Seat Arosa je následující. Pro ostatní automobily je nutné vyhledat jejich elektrické schéma zapojení.



Obr. B.2: Konektor přístrojové desky [32]

1. Svorka 15,+ s klíčem	17. Kontrolka dálkových světel, 56a
2. Kontrolka pravého blinkru	18. Kontrolka levého blinkru
3. Vstup tachometru	19. Kontrolka ABS
4. Nezapojeno	20. Svorka 58d,podsvícení
5. Kontrolka rezervy paliva	21. Signál otevřených dveří
6. Kontrolka airbagu	22. Kontrolka chladící kapaliny
7. Svorka 31,kostra	23. Svorka 30,+ napájení
8. Teplota chladící kapaliny	24. Svorka 31,kostra
9. Svorka 31,kostra	25. Diagnostika,K
10. Tlak oleje	26. Pravé parkovací světlo
11. Signál otáčkoměru	27. Levé parkovací světlo
12. Svorka 61,dobíjení	28. Vstup tachometru
13. Kat,žhavení	29. Kontrolka brzd
14. Kontrolka zadní mlhovky	30. Kontakt S
15. Nezapojeno	31. Kontrolka bezpečnostních pásů
16. Nezapojeno	32. Řízení spalování

Tab. B.1: Význam jednotlivých pozic konektoru [32].

C SNÍMKY OBRAZOVEK A MENU

Prum	1/100	Dojezd km
6,6		270
	Ot	/min
		2610
Akt	1/100	Akt km
7,7		25,9

Akt	1	Trat	1
1,8		3,9	
		Trat km/h	113
Trat		Trat1/100	
00:25:48		8,0	

Trat	km	Nadrz	1
49,1		18	
	Prum km/h		
	91		
Cas		Akt km/h	
22:22:51		90	

Bat	V	Akt 1/100
13,4		7,7
		Uunitr
		28,2
Akt		Venku
00:20:38		25,9

Obr. C.1: Hlavní obrazovky s provozními hodnotami.

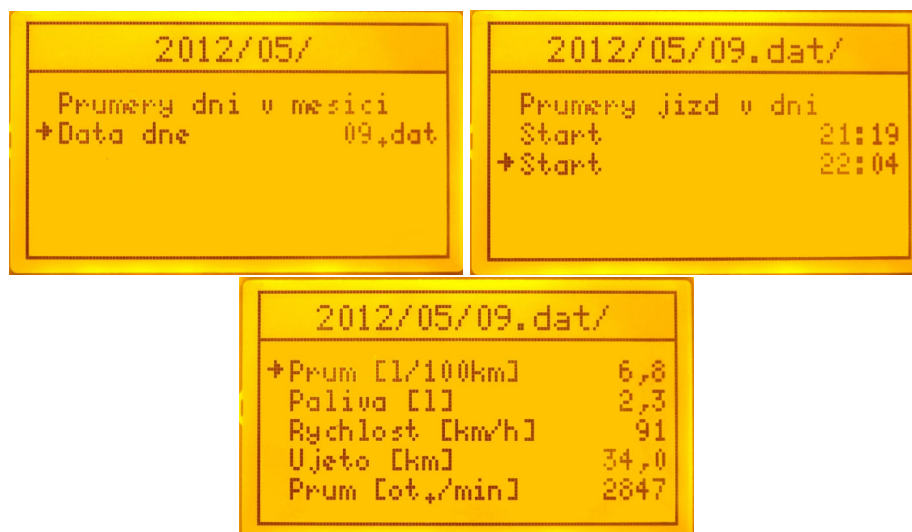
Uzivatel: Admin	Osobni nastaveni
+Reset trate	+Jmeno uziv.: Admin
Osobni nastaveni	Nova trat [min]: 5
Zaznamy jizd	Uspat PP [min]: 5
Nastaveni systemu	Podsviceni
Systemove informace	Editace obrazovky

Obr. C.2: Vlevo hlavní menu, vpravo menu osobní nastavení.

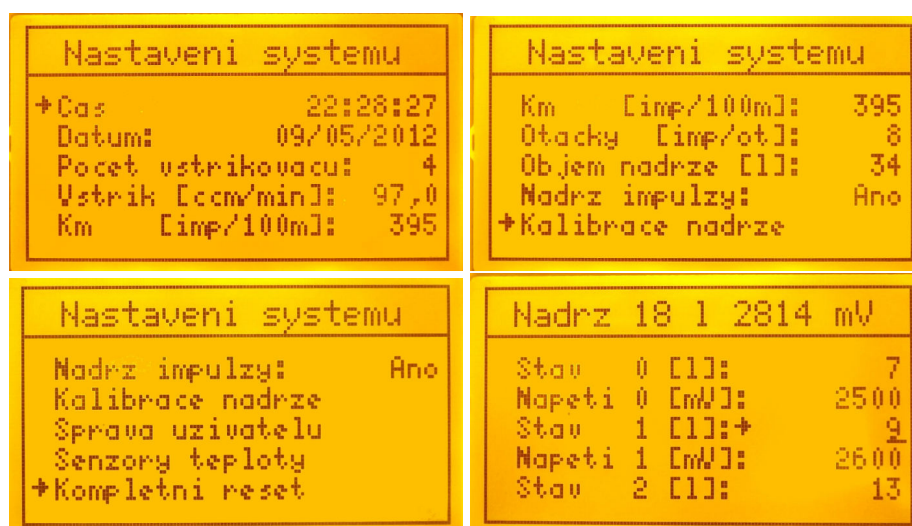
Admin zaznamy
Prumery vsech let
→Data roku 2012

2012/
Prumery mesicu v roce
→Data mesice 05

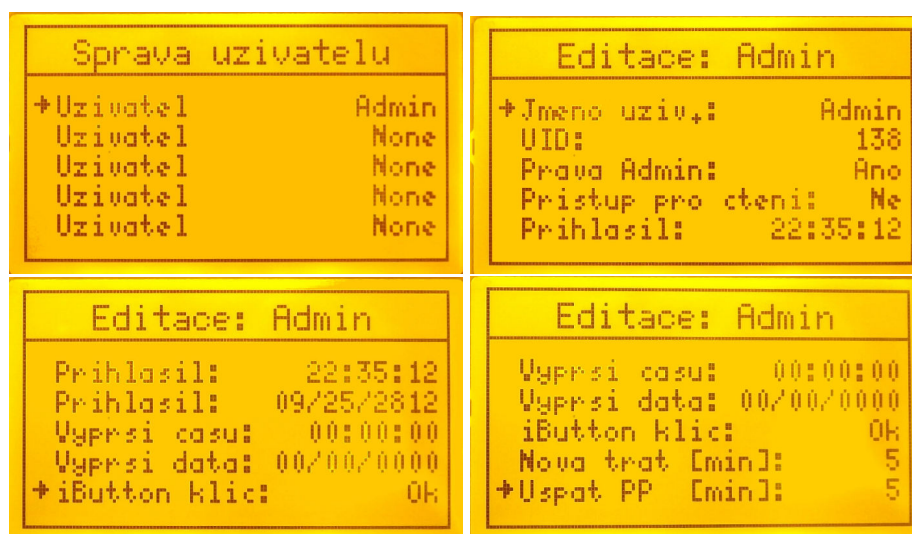
Obr. C.3: Menu se záznamy uživatele, vlevo data pro daný rok, vpravo další úroveň, tj. měsíce pro daný rok.



Obr. C.4: Menu se záznamy uživatele, vlevo data pro daný měsíc, vpravo další úroveň, tj. data pro daný den. Poslední obrázek jsou načtená data pro jednu trasu.



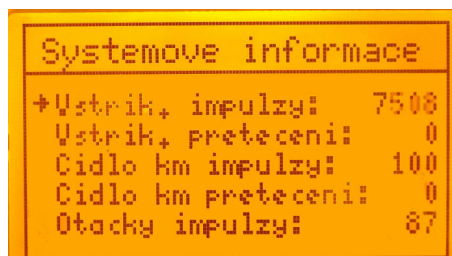
Obr. C.5: Menu nastavení systému. Jednotlivé obrazovky tak, jak se postupně pohybuje kurzor směrem dolů. Poslední obrázek je část sub-menu pro kalibraci nádrže.



Obr. C.6: Sub-menu Správa uživatelů. Následují obrázky konfigurace uživatele Admin tak, jak se pohybuje kurzor směrem dolů.

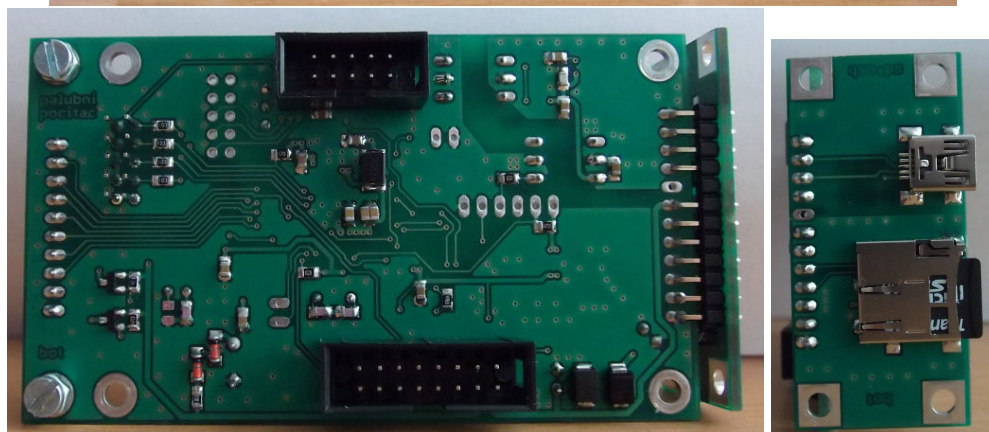
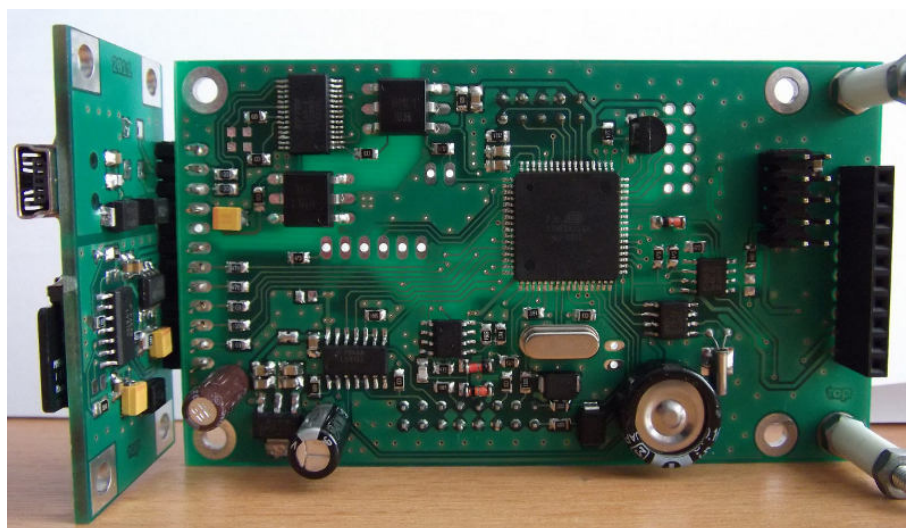


Obr. C.7: Sub-menu Senzory teploty, slouží pro správu a detekci připojených čidel.

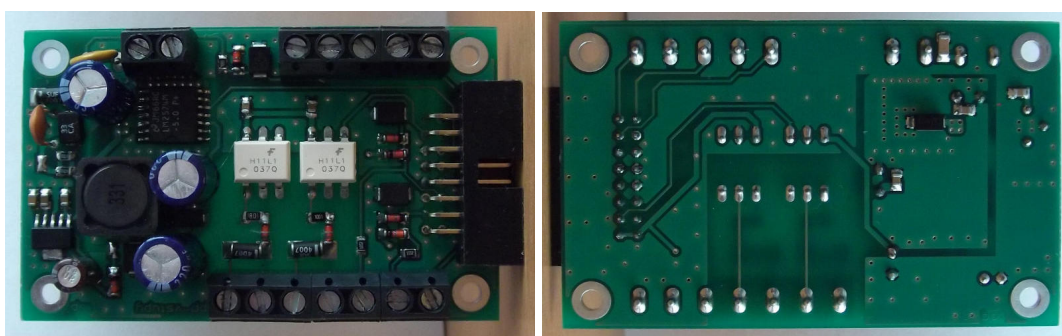


Obr. C.8: Menu systémových informací, slouží pro přímý výpis stavů čtených z čítačů za periody měření

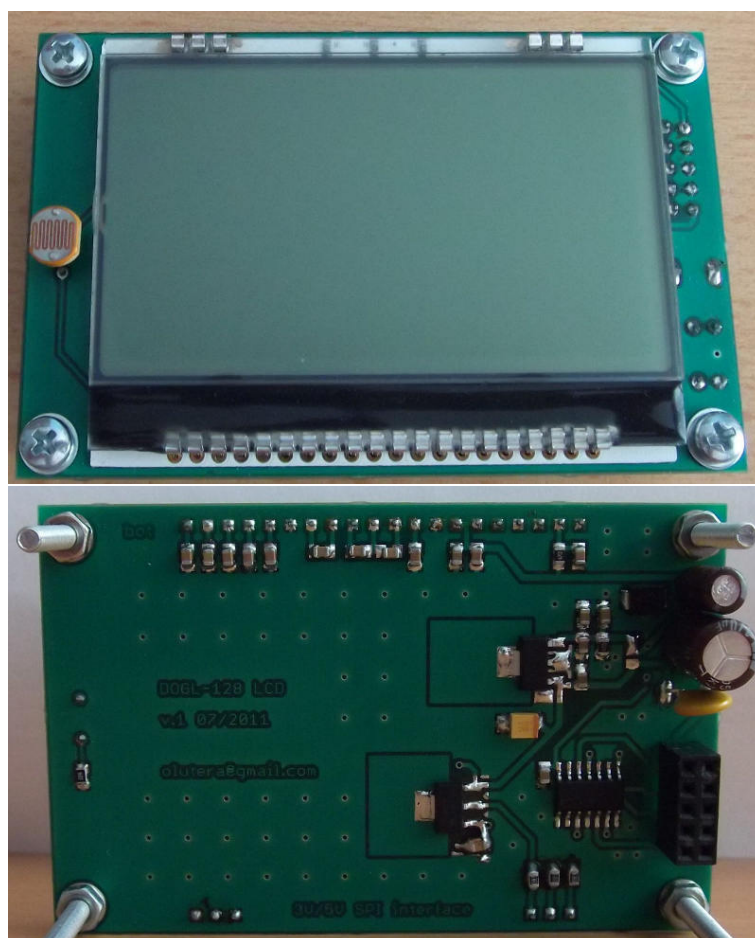
D FOTO DOKUMENTACE



Obr. D.1: Hlavní modul s USB a mikro SD kartou



Obr. D.2: Vstupní modul



Obr. D.3: LCD modul



Obr. D.4: Pohled na palubní počítač

E VÝROBNÍ DOKUMENTACE

E.1 Hlavní modul

E.1.1 Rozpis materiálu

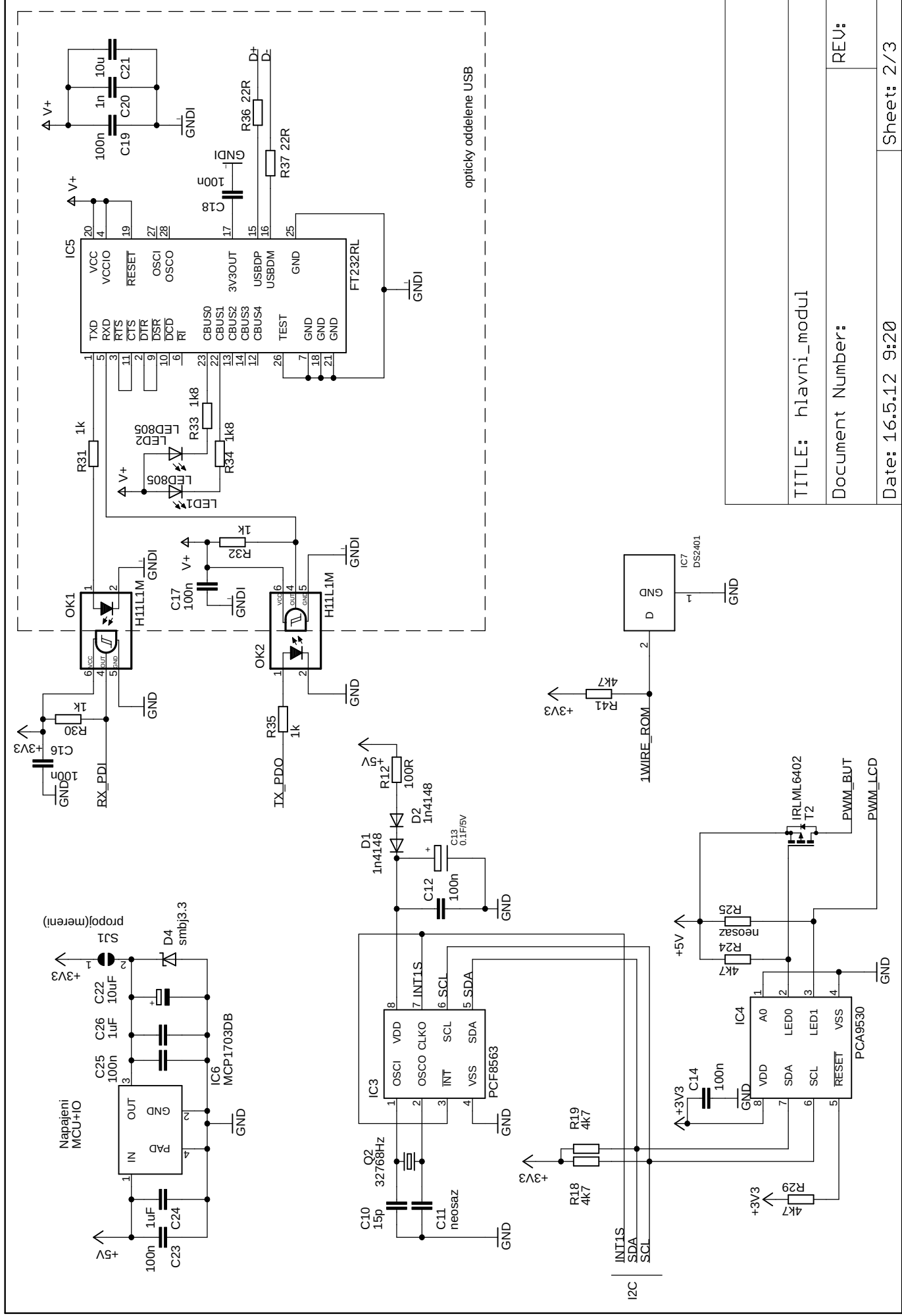
Qty.	Value	Device	Parts
1	0.1F/5V	100G	C13
6	1k	R0805	R2, R7, R30, R31, R32, R35
2	1k8	R0805	R33, R34
2	1n	C0805K	C6, C20
5	1n4148	DIODE-MINIMELF	D1, D2, D3, D8, D9
2	1uF	C0805K	C24, C26
1	2k2	R0805	R22
1	4k7	R0805	R1
13	4k7	R0805	R5, R10, R11, R18, R19, R21, R24, R29, R38, R40, R41, R42, R50
1	10MHz	CRYSTALHC49S	Q1
9	10R	R0805	R13, R14, R15, R16, R17, R23, R26, R27, R28
1	10k	C0805K	R8
1	10k	R0805	R9
1	10u	C1206K	C21
1	10uF	CPOL-EUE2.5-6	C22
1	10uH	L1812	R3
1	15p	C0805K	C10
2	22R	R0805	R36, R37
2	22p	C0805K	C2, C3
2	47k	R0805	R20, R47
1	74LVX132	SOIC 74LVX132	IC1
3	100R	R0805	R12, R39, R43
3	100k	R0805	R4, R6, R46

Pokračuje na další straně

Qty.	Value	Device	Parts
15	100n	C0805K	C1, C4, C5, C7, C8, C9, C12, C14, C16, C17, C18, C19, C23, C25, C29
1	100pF	C0805K	C28
1	150k	R0805	R48
1	220uF/16V	CPOL-EUE2.5-7	C27
2	470R	R0805	R44, R45
1	470k	R0805	R49
1	32768Hz	CRYSTALTC26H	Q2
1	DS2401	DS2401	IC7
1	FT232RL	FT232RL	IC5
2	H11L1M	H11L1M	OK1, OK2
2	IRLML6402	SOT23	T1, T2
1	JTAG	ML10	SV4
1	Kon. vstupy - modul	ML16	SV7
1	LCD kon.	MA05-2	SV6
2	LED805	LEDCHIP-LED0805	LED1, LED2
1	MCP602SN	MCP602SN	IC8
1	MCP1703DB	MCP1703DB	IC6
1	MEGA128-A	MEGA128-A	IC2
1	PCA9530	PCA9530	IC4
1	PCF8563	PCF8563	IC3
1	PEN	JP1E	JP1
1	TLACITKA	MA10-1	SV3
1	UART	JP1E	JP2
1	kon. USB + micro-SD	MA12-1	SV5
1	neosaz	C0805K	C11
1	neosaz	R0805	R25
1	prog	MA06-1	SV2
3	smbj3.3	SUPPRESSOR-SMBJ	D4, D5, D7
1	smbj5.0a	SUPPRESSOR-SMBJ	D6
1	volne IO	MA05-2	SV1

Tab. E.1: Seznam materiálu pro hlavní modul

Poznámka: Pokud není uvedeno, lze použít kondenzátory na napětí min. 10 V.



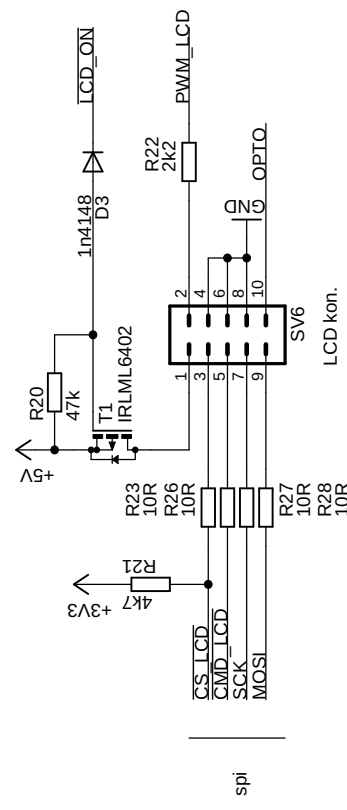
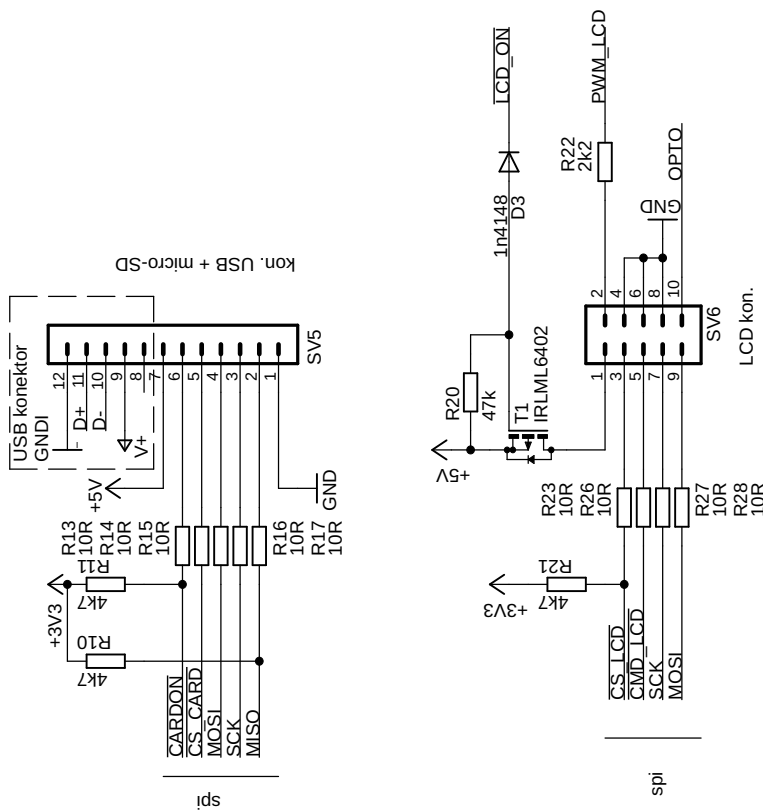
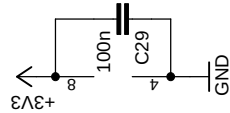
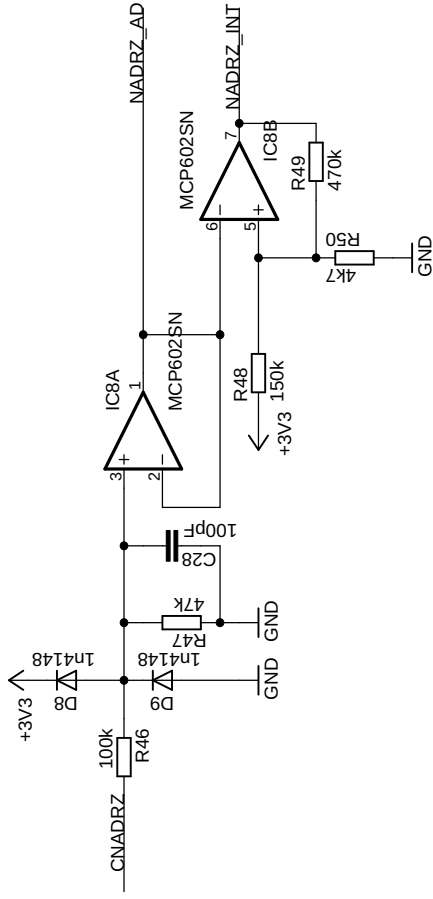
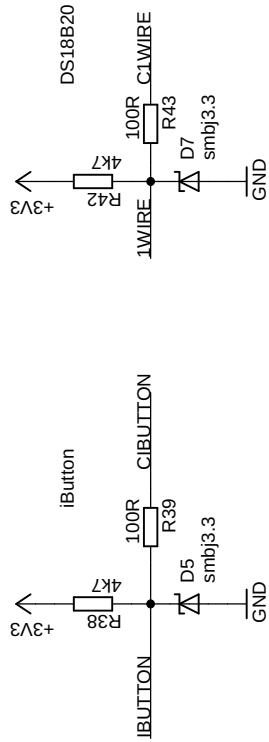
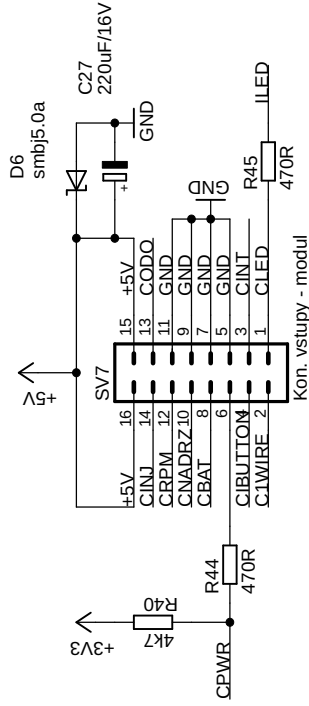
TITLE: hlavni_modul

Document Number:

REV:

Date: 16.5.12 9:20

Sheet: 2/3



TITLE: hlavni_modul

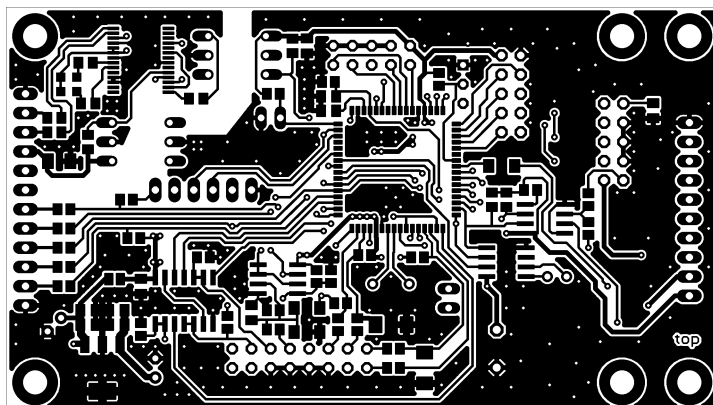
Document Number:

REV:

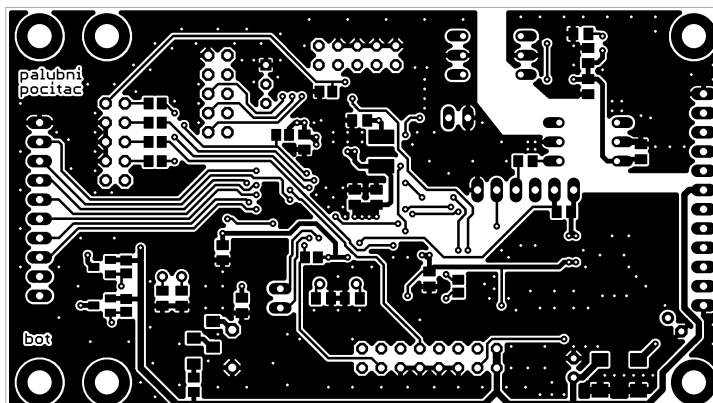
Date: 16.5.12 9:20

Sheet: 3/3

E.1.2 Výkresy desky



Obr. E.1: Horní vrstva plošných spojů



Obr. E.2: Spodní vrstva plošných spojů - stranově otočeno

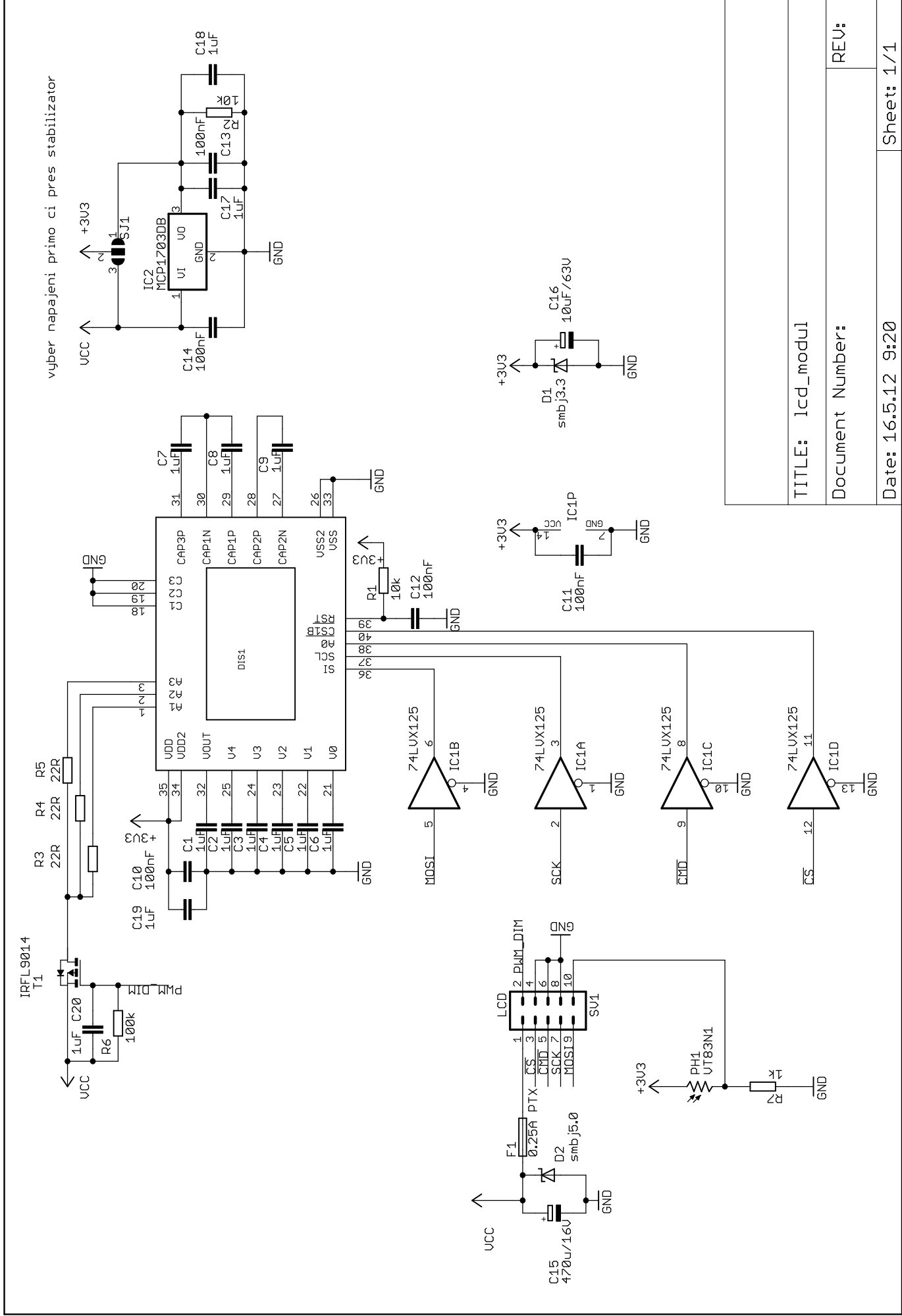
E.2 LCD modul

E.2.1 Rozpis materiálu

Qty.	Value	Device	Parts
1	DOGL128W-6	DOGL128	DIS1
1	0.25A PTX	TE5	F1
1	1k	R0805	R7
13	1uF	C0805K	C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7, C8, C9, C17, C18, C19, C20
2	10k	R0805	R1, R2
1	10uF/63V	CPOL-EUE2.5-5	C16
3	22R	R0805	R3, R4, R5
1	74LVX125	SOIC 74LVX125	IC1
1	100k	R0805	R6
5	100nF	C0805K	C10, C11, C12, C13, C14
1	470u/16V	CPOL-EUE3.5-8	C15
1	IRFL9014	PMOSSOT223	T1
1	LCD	ML10	SV1
1	MCP1703DB	MCP1703DB	IC2
1	VT83N1	VT83N1	PH1
1	smbj3.3	SUPPRESSOR-SMBJ	D1
1	smbj5.0	SUPPRESSOR-SMBJ	D2

Tab. E.2: Seznam materiálu pro modul LCD

Poznámka: Pokud není uvedeno, lze použít kondenzátory na napětí min. 10 V.



TITLE: lcd_modul

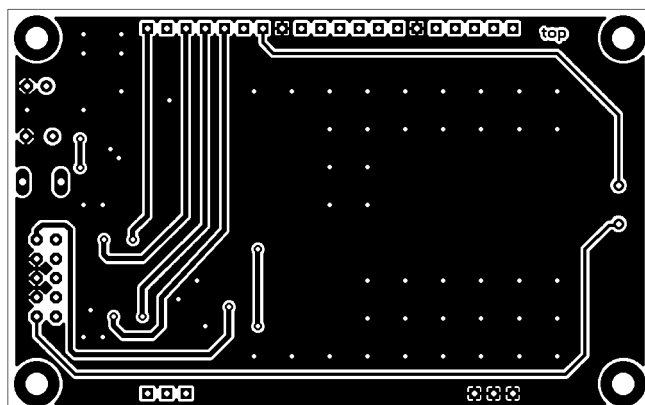
Document Number:

REV:

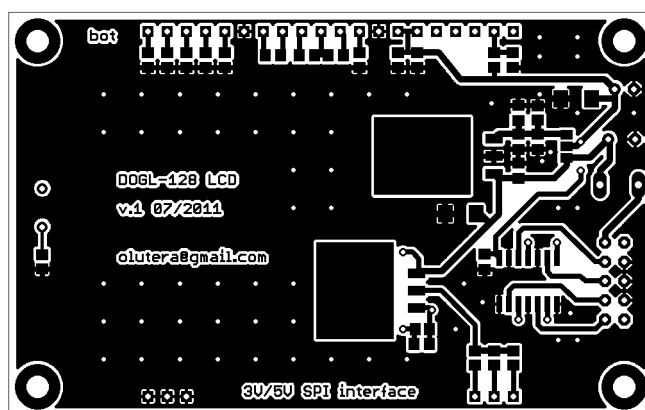
Date: 16.5.12 9:20

Sheet: 1/1

E.2.2 Výkresy desky



Obr. E.3: Horní vrstva plošných spojů



Obr. E.4: Spodní vrstva plošných spojů - stranově otočeno

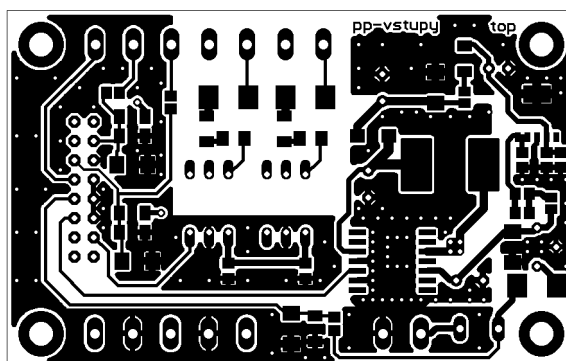
E.3 Modul vstupů

E.3.1 Rozpis materiálu

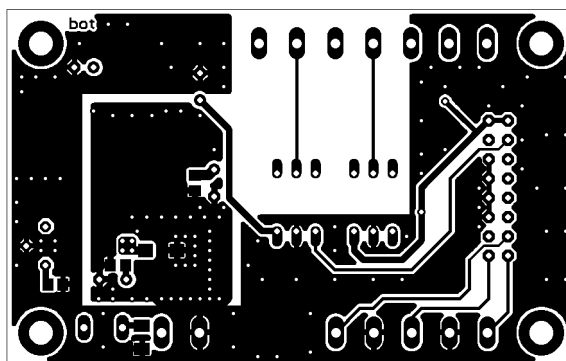
Qty.	Value	Device	Parts
1		AK500/2	X1
1		AK500/5	X2
1		AK500/7	X3
1	0,5A	TE5	F1
6	1n4148	DIODE-MINIMELF	D1, D8, D10, D12, D14, D16
1	1uF/16V	C0805K	C3
2	1k8	R1206	R3, R7
2	10k	R0805	R6, R8
1	10uF/16V	CPOL-EUE2.5-6	C1
2	47R	R0805	R1, R2
1	68uF/63V	CPOL-EUE3.5-8	C9
1	100k	R0805	R5
7	100n/50V	C0805K	C2, C4, C8, C10, C11, C12, C13
1	100n/50V	C1206K	C5
2	220uF/25V	CPOL-EUE3.5-8	C6, C7
1	330uH	DE1207	L1
1	DSS6NZ82A103Q55	LCL	LCL1
2	H11L1M	H11L1M	OK1, OK2
1	INPUTS	ML16L	SV1
1	LM2574M-5.0	LM2574M-5.0	IC2
1	MCP1791T-5002ED	MCP1791	IC1
2	SK16	DIODE-DO214AC	D4, D7
3	SUF4007	DIODE-MELF- MLL41	D3, D9, D15
2	BZV55C3V6	DIODE-MINIMELF	D2, D18
2	propoj(mereni)	SJ	SJ1, SJ2
1	smbj3.3	SUPPRESSOR-SMBJ	D13
3	smbj5.0	SUPPRESSOR-SMBJ	D5, D11, D17
1	smbj30	SUPPRESSOR-SMBJ	D6

Tab. E.3: Seznam materiálu pro modul vstupů

E.3.2 Výkresy desky



Obr. E.5: Horní vrstva plošných spojů



Obr. E.6: Spodní vrstva plošných spojů - stranově otočeno

E.4 Modul s micro-SD kartou

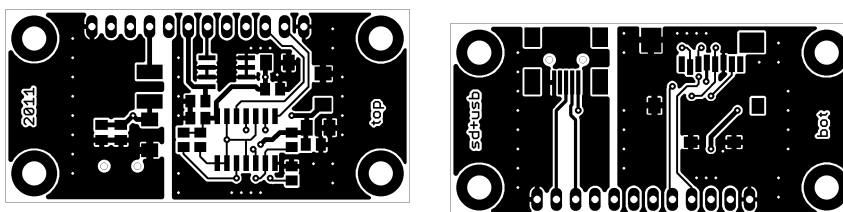
E.4.1 Rozpis materiálu

Qty.	Value	Device	Parts
1	1n	C0805K	C13
1	1uF	C0805K	C26
2	10u	C1206K	C1, C21
1	10uH	L1812	R14
4	47k	R0805	R1, R2, R3, R4
1	74LVX125	74AC125D	IC1
4	100n	C0805K	C2, C3, C4, C27
1	LE33CD	LE33CD	IC5
1	MINI-USB-32005-201	MINI-USB-32005-201	X1
1	USD-SOCKET	USD-SOCKET	CD1
1	kon. mikro+usb	MA12-1	SV1
1	smbj3.3	SUPPRESSOR-SMBJ	D12
1	smbj5.0	SUPPRESSOR-SMBJ	D1

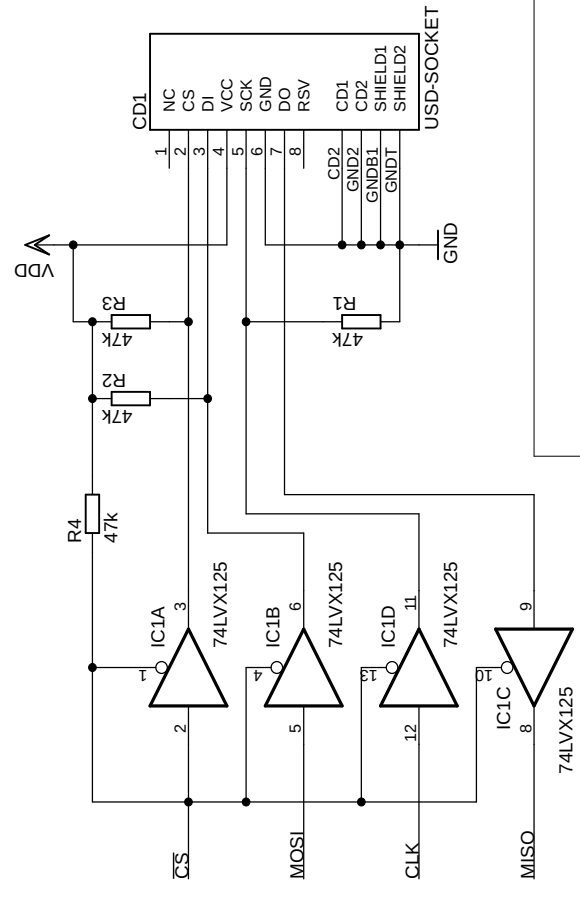
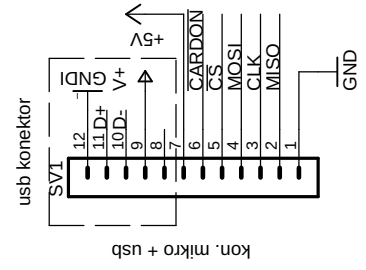
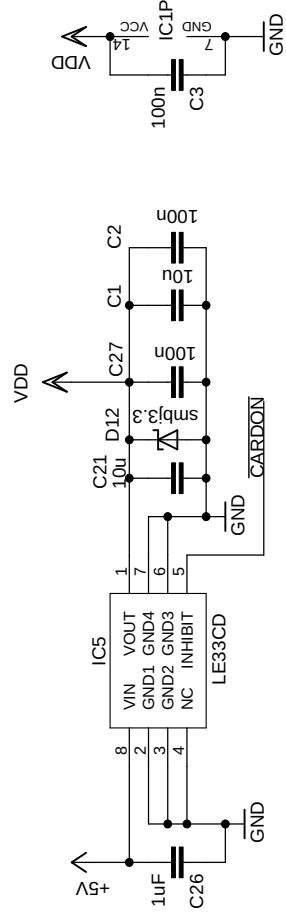
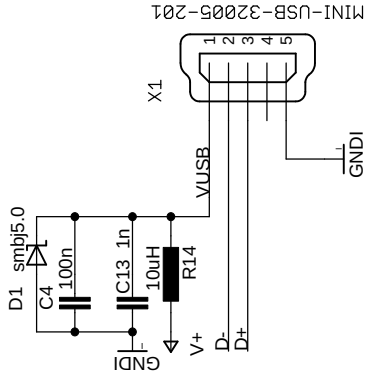
Tab. E.4: Seznam materiálu pro modul s mikro-SD kartou

Poznámka: Pokud není uvedeno, lze použít kondenzátory na napětí min. 10 V.

E.4.2 Výkresy desky



Obr. E.7: Horní vrstva plošných spojů vlevo a spodní vrstva vpravo



TITLE: sd_modul

Document Number:

REV:

Date: 16.5.12 10:17

Sheet: 1/1

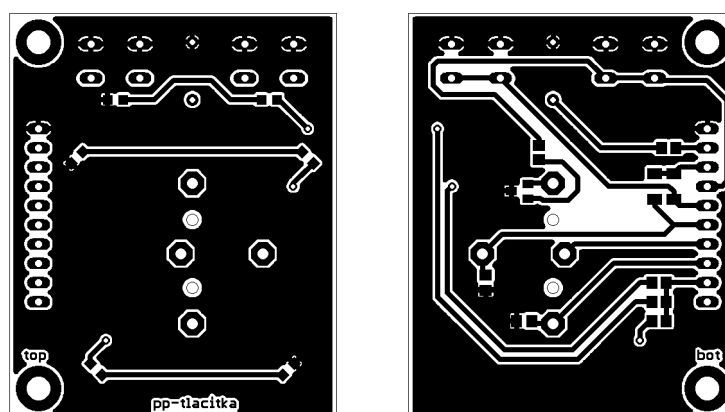
E.5 Modul ovládání

E.5.1 Rozpis materiálu

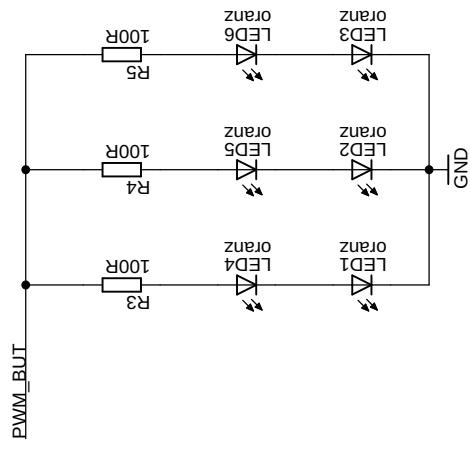
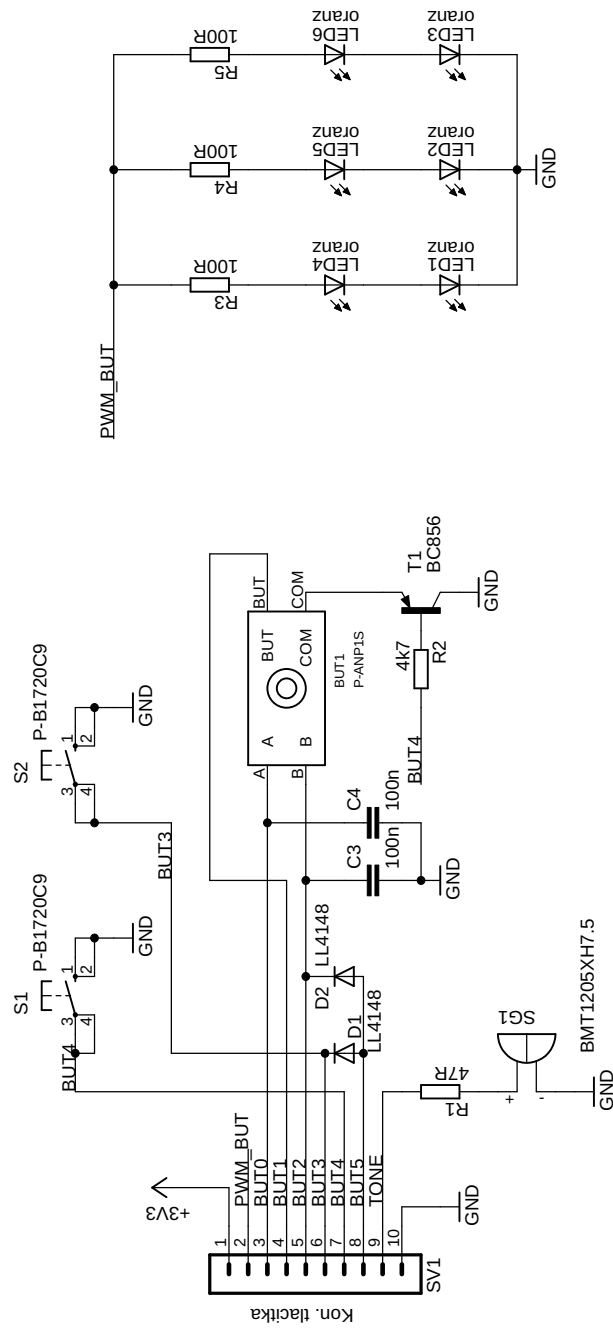
Qty.	Value	Device	Parts
1	4k7	R0805	R2
1	47R	R0805	R1
3	100R	R0805	R3, R4, R5
2	100n	C0805	C3, C4
1	BC856	BC856A-PNP-SOT23- BEC	T1
1	BMT1205XH7.5	BMT1205XH7.5	SG1
1	BUTTONS	MA10-1	SV1
2	LL4148	DIODE-MINIMELF	D1, D2
1	P-ANP1S	P-ANP1S	BUT1
2	P-B1720C9	10-XX	S1, S2
6	oranz	LED0805	LED1, LED2, LED3, LED4, LED5, LED6

Tab. E.5: Seznam materiálu pro modul ovládání. Pokud není uvedeno, lze použít kondenzátory na napětí min. 10 V.

E.5.2 Výkresy desky



Obr. E.8: Horní vrstva plošných spojů vlevo a spodní vrstva vpravo



TITLE: ovladani_modul

Document Number: REV: