

Západočeská univerzita v Plzni
Fakulta elektrotechnická
Katedra aplikované elektroniky

Bakalářská práce

Měření spotřeby paliva spalovacího motoru automobilu

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně a výhradně s použitím citovaných pramenů.

V Plzni dne 6. června 2013

Milan Petržilka

Anotace

Práce se zabývá měřením spotřeby paliva spalovacího motoru automobilu pomocí měření průběhu napětí na vstřikovací trysce. První část práce stručně popisuje typy vstřikovacích trysek. Následuje matematický popis pro výpočet aktuální a průměrné spotřeby paliva, rychlosti a dojezdu automobilu. Další část je věnována realizaci funkčního vzorku palubního počítače do automobilu měřícího spotřebu paliva včetně ověření správnosti výpočtu.

Klíčová slova

Palubní počítač, spotřeba paliva, vstřikovací trysky, spalovací motor.

Abstract

The thesis is focused on fuel consumption measurement of a combustion engine by means of monitoring a voltage level of an injection nozzle. The first part of the thesis describes various types of injection nozzles. The following part describes mathematical expressions for computation of actual and average values of fuel consumptions, speed and full-tank range. The main part is dedicated to the design and realization of an on-board computer which provides user all useful information about fuel consumption, speed, number of travelled kilometers and full-tank range. The last part is concentrated on description of a functional test of designed on-board computer including verification of measured and calculated data.

Keywords

On-board computer, fuel consumption, injection nozzle, combustion engine.

Obsah

1	Úvod	1
2	Přehled typů elektronických vstřikovačů	2
2.1	Elektromagnetický ventil	2
2.2	Piezoelektrický ventil	2
3	Měřené veličiny a jejich odvození	3
3.1	Spotřeba aktuální a průměrná	3
3.2	Dojezd	3
3.3	Odvození	4
3.3.1	Objem vstříknutého paliva	5
3.3.2	Otáčky motoru	5
3.3.3	Okamžitá spotřeba paliva za hodinu	6
3.3.4	Rychlost vozidla	6
3.3.5	Ujetá dráha vozidla	7
3.3.6	Okamžitá spotřeba paliva na 100 km jízdy	7
3.3.7	Průměrná spotřeba paliva	7
3.3.8	Dojezd	8
4	Návrh zařízení	9
4.1	Požadované vlastnosti zařízení	9
4.2	Hardwarové požadavky	9
4.3	Návrh	11
4.3.1	Zdroj napájení	11
4.3.2	Displej	13
4.3.3	Mikroprocesor	14
4.3.4	Vstupy	14
4.3.5	Konektory	15
5	Software	17
5.1	Měření a výpočty	17

5.2 Grafický výstup	20
6 Test zařízení	22
7 Závěr	25
A Schémata	27
A.1 Schéma zapojení jednotky	27
A.2 Schéma zapojení displeje	30
B Fotografie	31

Použité zkratky

MPI	Multi point injection, vícebodové vstřikování
PD	Pumpe-düse, systém čerpadlo-tryska
ABS	Anti-lock brake system, protiblokovací systém brzd
CAN	Controller area network, automobilová sběrnice
A/D	převodník z analogového signálu na digitální
D/A	převodník z digitálního signálu na analogový
SPI	Serial peripheral interface, sériová sběrnice
LDO	Low dropout regulator, lineární regulátor napětí s nízkým úbytkem
RPM	Revolutions per minute, otáčky za minutu
I2C	Inter-integrated circuit, sériová sběrnice
I2S	Integrated-interchip sound, sériová komunikace
PWM	Pulse width modulation, pulzně šířková modulace
PIO	Parallel input and output, paralelní vstupy a výstupy
UART	Universal asynchronous receiver/transmitter, sériová komunikace
DC/DC	stejnoseměrný měnič napětí
TC	Timer Counter, časovač procesoru
FLASH	nevolatilní paměť s libovolným přístupem
RAM	Random access memory, volatilní paměť s libovolným přístupem
JTAG	Joint test action group, standard definovaný normou IEEE 1149.1
LCD	Liquid crystal display, displej s tekutým krystalem

1 Úvod

Palubní počítač s měřením spotřeby paliva je nedílná součást dnešních moderních silničních vozidel. Cílem této práce je zhodnotit a realizovat možnosti měření spotřeby paliva automobilu pomocí měření vhodných průběhů napětí elektronického vstřikování, které využívají i starší vozy, aniž by byly vybaveny palubním počítačem s měřením spotřeby paliva. V následujících kapitolách naleznete základní popis nejběžnějších typů vstřikovacích ventilů, odvození matematických vztahů pro výpočet spotřeb paliva pro vstřikování typu MPI se sekvenčním řízením a popis realizace funkčního vzorku palubního počítače do automobilu měřícího spotřebu paliva.

2 Přehled typů elektronických vstřikovačů

2.1 Elektromagnetický ventil

Elektromagnetické ventily využívá vstřikování MPI, u kterého je každý válec motoru osazen vstřikovacím ventilem a palivo je vstřikováno do sání motoru těsně před sací ventil. Jakmile je do vinutí elektromagnetu vstřikovací trysky přiveden proud, dojde k uvolnění průtoku paliva. První konec vinutí elektromagnetu je po zapnutí zapalování připojen na kladný pól baterie a druhý konec vynutí je spínán k zápornému pólu baterie tranzistorem v řídicí jednotce, která si dle potřeby reguluje množství vstříknutého paliva. Typická doba délky zapnutí vstřikovací trysky se pohybuje od 1,5 ms do 18 ms.

Vstřikování MPI je i v dnešní době stále široce rozšířený typ vstřikování u benzinových motorů. Jako nejefektivnější řízení vstřikovačů se jeví sekvenční řízení, kde je každý vstřikovač odděleně ovládaný řídicí jednotkou¹.

Elektromagnetické ventily využívá také např. systém přímého vstřikování nafty P-D (Pumpe-Düse) koncernu Volkswagen.

2.2 Piezoelektrický ventil

Piezoelektrické ventily využívá od své třetí generace nejznámější systém vysokotlakého vstřikování nafty Common-Rail. Tyto ventily využívají piezoelektrického jevu a díky němu mají daleko rychlejší reakci na napět'ový impulz než klasické elektromagnetické ventily. Tím umožňují rozdělit jeden vstřik až na 7 samostatných vstřiků a to s kombinací přímého vstřiku do válce motoru zvýší výkon a zároveň sníží spotřebu paliva. Piezoelektrický ventil je ovládán speciálními řídicími obvody s H můstkem využívajících vysoké napětí [5].

¹Starší způsoby řízení využívaly vzhledem k jednoduchosti buď tzv. skupinové řízení, kde se u čtyřválcového motoru otevíraly vstřikovací ventily současně válce 1 a 3 a válce 2 a 4., nebo simultánní, kde byly všechny vstřikovací ventily otevírány současně.

3 Měřené veličiny a jejich odvození

Nejprve je třeba objasnit několik základních pojmů, které se v palubních počítačích standardně vyskytují.

3.1 Spotřeba aktuální a průměrná

Aktuální spotřeba je údaj, který informuje uživatele o momentální, vhodně přepočtené spotřebě paliva motoru vzhledem k rychlosti vozidla. Pokud je rychlost vozidla nulová či v řádu jednotek kilometrů za hodinu, zobrazí palubní počítač spotřebu v jednotkách l/h a tím dává najevo, kolik motor spotřebuje litrů paliva při jeho současném zatížení po dobu jedné hodiny.

V případě, kdy je rychlost vozidla vyšší¹ je aktuální spotřeba zobrazena v jednotkách l.100 km⁻¹. V tomto případě hodnota vyjadřuje objem paliva, který motor spotřebuje při jeho současném zatížení po ujetí vzdálenosti 100 km.

Průměrná spotřeba je udávána v jednotkách l.100 km⁻¹ a uživatele informuje o objemu paliva, který motor spotřebuje po ujetí vzdálenosti 100 km s jeho dosavadním průměrným zatížením. Hodnota průměrné spotřeby paliva by se měla po ujetí vzdálenosti 100 km rovnat úbytku objemu paliva v nádrži vozidla.

3.2 Dojezd

Hodnota dojezdu je udávána v kilometrech. Vyjadřuje, jakou vzdálenost je vozidlo schopno ujet vzhledem k průměrné spotřebě paliva a jeho aktuálnímu objemu v nádrži.

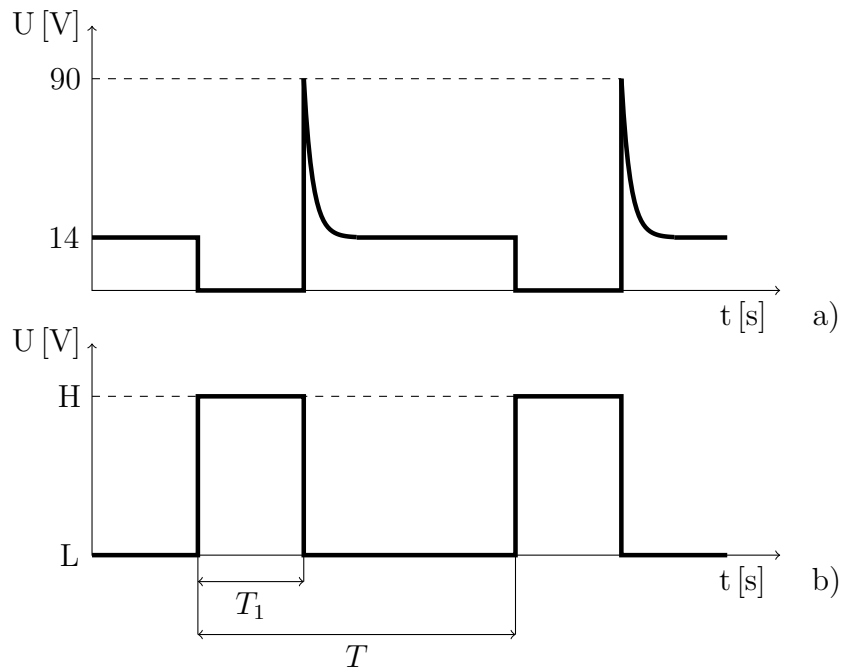
¹Ve většině případů je v automobilech použita hranice rychlosti 10 km/h.

3.3 Odvození

U čtyřdobého spalovacího motoru o n -válcích se sekvenčním vstřikováním MPI lze spotřebu paliva a dojezd vozidla vypočítat, pokud známe následující hodnoty:

- Délka a perioda zapnutí vstřikovací trysky
- Rychlost vozidla
- Objem paliva v nádrži

U tohoto typu vstřikování je nutné uvažovat, že je vzhledem k jednoduchosti měření připojena k procesoru tryska pouze jednoho válce motoru. U výpočtu průměrné spotřeby paliva je rozdíl hodnot vstříknutého objemu paliva do motoru na jednotlivých tryskách během jednoho cyklu zanedbán. Je tedy uvažováno, že délka zapnutí vstřikovací trysky na jenom válci je pro současný cyklus motoru rovna délce zapnutí na všech ostatních válcích. Dále se též pro jednoduchost měření uvažuje, že při vstřikování paliva je v palivovém potrubí před vstřikovací tryskou tlak kapaliny konstantní. Pokud je tryska zapnutá, objemový průtok je konstantní a jakékoli jeho odchylky jsou zanedbány. Délka zapnutí vstřikovací trysky je ve výpočtech přímo úměrná objemu vstříknutého paliva do válce motoru. V případě vypnuté trysky se její objemový průtok rovná nule. Průběh napětí na konci vinutí elektromagnetické vstřikovací trysky připojeného k řídicí jednotce a přizpůsobený signál pro časovač procesoru znázorňuje obrázek 3.1.



Obrázek 3.1: a) průběh napětí na konci vinutí cívky vstříkovací trysky připojeného k řídicí jednotce motoru (hodnoty napětí jsou pouze orientační)
b) přizpůsobený signál pro mikroprocesor.

3.3.1 Objem vstříknutého paliva

Rovnice 3.1 určuje objem vstříknutého paliva v závislosti na době sepnutí vstříkovací trysky. Hodnota konstanty Q_{trys} v jednotkách l/s je objemový průtok vstříkovací trysky při jejím sepnutí. Tato konstanta je následně na každém typu motoru kalibrována, s ohledem na odlišné objemové průtoky vstříkovacích trysek.

$$V(T_1) = Q_{trys} T_1 \quad [l] \quad (3.1)$$

3.3.2 Otáčky motoru

Otáčky motoru jsou nezbytným údajem pro zjištění spotřeby paliva. Lze je zjistit pomocí periody vstříkování T . V tomto odvozování je počítáno se

čtyřdobým spalovacím motorem a ten pro uskutečnění jednoho svého cyklu vyžaduje otočení klikové hřídele o 360° . Jinými slovy, během doby T z grafu 3.1 se kliková hřídel motoru otočí dvakrát. Pro získání otáček za minutu, se musí doba T adekvátně převést na frekvenci otočení podle vztahu 3.2.

$$f(T) = \frac{2}{T} \quad (3.2)$$

Frekvence otočení se dále převede na otáčky za minutu, které jsou definovány vztahem 3.3.

$$rpm(T) = 60 f = \frac{120}{T} \quad (3.3)$$

Tento údaj o otáčkách motoru však nemůže být uživateli zobrazen. Řídící jednotky spalovacích motorů za určitých podmínek palivo do motoru nevstříkují. Děje se tak například při zpomalování vozidla v určité oblasti otáček motoru bez sešlápnutého plynového pedálu. V tomto případě se $T_1 = 0$ a z toho plyne, že se $rpm = 0$. Hodnota rpm by tedy v určitých specifických fázích chodu motoru neodpovídala skutečnosti a uživatel by byl mylně informován.

3.3.3 Okamžitá spotřeba paliva za hodinu

Vynásobením vztahů 3.1 a 3.3 je získán objem vstříknutého paliva za minutu, v závislosti na době a periodě sepnutí vstřikovací trysky. Výsledná hodnota by ovšem neuvažovala počet válců motoru. Korekci pro různé motory zajišťuje konstanta k , která udává kolikrát je za jedno otočení klikové hřídele do motoru vstříknuto palivo a n_{val} počet válců motoru.

$$C_{min}(T_1, T) = V(T_1) rpm(T) k \left[\frac{l}{min} \right], \quad k = \frac{n_{val}}{2} \quad (3.4)$$

Spotřebu paliva za hodinu lze získat vynásobením spotřeby paliva za minutu danou vztahem 3.4 číslem 60:

$$C_{hod}(T_1, T) = 60 C_{min}(T_1, T) \left[\frac{l}{hod} \right] \quad (3.5)$$

3.3.4 Rychlost vozidla

Okamžitá rychlost vozidla je snímána senzorem na převodovce či systémem ABS se senzory na všech kolech. Ve většině případů se jedná o senzory, jejichž výstupní signál je určitý počet napět'ových impulzů α na jedno otočení

kola. Známe-li počet impulzů α , periodu jejich náběžné nebo sestupné hrany T_{kol} a poloměr kola r_{kol} zatíženého provozní vahou vozidla, rychlost je poté definována jako:

$$v(T_{kol}) = 3,6 \frac{2\pi r_{kol}}{\alpha T_{kol}} \left[\frac{km}{h} \right] \quad (3.6)$$

3.3.5 Ujetá dráha vozidla

Dráhu, kterou vozidlo ujelo je možno získat pomocí sumy všech drah uražených během náběžných nebo sestupných hran signálu senzoru rychlosti.

$$s = \sum \frac{2\pi r_{kol}}{1000\alpha} [km] \quad (3.7)$$

3.3.6 Okamžitá spotřeba paliva na 100 km jízdy

Pro výpočet okamžité spotřeby paliva na 100 km jízdy podle vztahu 3.8 je potřeba znát okamžitou spotřebu paliva C_{hod} a rychlost vozidla v .

$$C_{100km}(T_1, T, T_{kol}) = \frac{100 C_{hod}(T_1, T)}{v(T_{kol})} = \left[\frac{l}{100 km} \right], v \in (0, \infty) \quad (3.8)$$

Při výpočtu vztahu musí být rychlost vozidla větší než nula. Pokud by byla rychlost nulová, na překonání vzdálenosti 100 km by bylo spotřebováno nekonečně mnoho paliva.

3.3.7 Průměrná spotřeba paliva

Pro výpočet průměrné spotřeby paliva je třeba zavést proměnnou V_{celk} , která vyjadřuje celkový objem spotřebovaného paliva. Po každém dokončení vstříkání se tato proměnná inkrementuje o nárůst objemu celkově spotřebovaného paliva. Dále je též nutno podle vztahu 3.9 zohlednit celkový počet válců, protože je měřen objem vstříknutého paliva pouze na jedné trysce. Je tedy nutno přičíst i objem na zbývajících neměřených tryskách. Rozdílnost objemu na ostatních tryskách je zanedbána.

$$V_{celk} = \sum n_{val} Q_{trys} T_1 \quad (3.9)$$

Z celkového objemu spotřebovaného paliva V_{celk} a ujeté dráhy s je získána podle vztahu 3.10 průměrná spotřeba paliva. Pokud ovšem bude ujetá dráha vozidla nulová, nehledě na objem spotřebovaného paliva², vztah 3.10 neplatí, protože na překonání vzdálenosti 100 km by bylo spotřebováno nekonečně mnoho paliva.

$$C_{\phi 100km} = \frac{100V_{\text{celk}}}{s} \left[\frac{l}{100 \text{ km}} \right], \quad s \in (0, \infty) \quad (3.10)$$

3.3.8 Dojezd

Hodnotu dojezdu je možno vypočítat podle vztahu 3.11 s pomocí proměnné V_{nadrz} , která udává aktuální změřený objem paliva v nádrži vozidla. Tento vztah je však možno použít pouze za předpokladu, že je k dispozici platná hodnota $C_{\phi 100 \text{ km}}$.

$$s_{\text{dojezd}} = \frac{100 V_{\text{nadrz}}}{C_{\phi 100km}} \text{ [km]}, \quad C_{\phi 100km} \in (0, \infty) \quad (3.11)$$

Uvedený vztah nelze použít, pokud by byla spotřeba motoru na 100 km jízdy nulová. Vozidlo by mělo nekonečný dojezd.

²Tato situace nastane například po nastartování motoru.

4 Návrh zařízení

4.1 Požadované vlastnosti zařízení

Pro sestavení funkčního vzorku zařízení je nejprve potřeba objasnit, jaké má mít vlastnosti. Aby se zařízení přiblížilo komfortu, který uživateli poskytují palubní počítače moderních vozidel, musí zařízení uživateli přehledně zobrazit:

- Aktuální a průměrnou spotřebu
- Dojezd
- Rychlost vozidla
- Ujetou dráhu
- Teplotu vně vozidla
- Vizualizaci stavu dveří

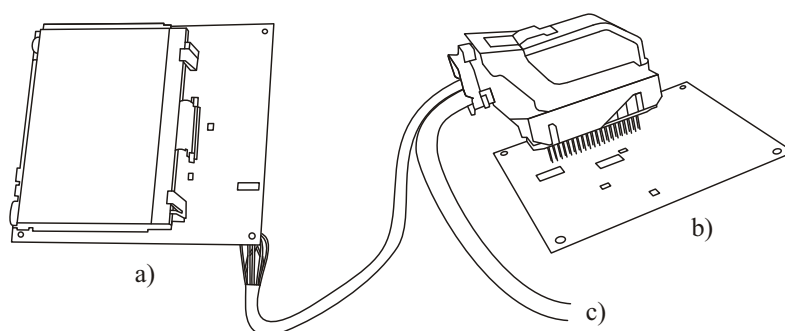
Průměrnou spotřebu a ujetou dráhu je nutno počítat ve dvou instancích. První instance označena číslem "1" vyjadřuje hodnoty, které se automaticky vynulují po n-minutách, kdy není zapnuté zapalování. Druhá instance označena číslem "2" není automaticky nulována a její hodnoty uživateli poskytují přehled o dlouhodobé průměrné spotřebě paliva a celkových najetých kilometrech. Hodnoty instancí "1" a "2" musí být možno nulovat manuálně.

Vizualizace stavu dveří vozidla musí uživatele přehledně informovat, které dveře jsou otevřené. To také zahrnuje program, který při nezapnutém zapalování a otevření libovolných dveří zapne palubní počítač s vizualizací na omezenou dobu.

4.2 Hardwarové požadavky

Vzhledem k tomu, že je navrhované zařízení spojeno s automobilem velkým množstvím vodičů, nelze jej společně s displejem umístit přímo nad palubní

desku automobilu. Proto je nutno zařízení rozdělit na 2 hlavní části, které znázorňuje obrázek 4.1. Jedná se o hlavní plošný spoj s mikroprocesorem (jednotka) a plošný spoj s displejem. Jednotku je možno skrýt na vhodném místě v interiéru vozidla.



Obrázek 4.1: a) displej, b) jednotka, c) spojení s automobilem.

Vzhledem k tomu, že jsou požadovány reakce zařízení a odměřování času při vypnutém zapalování, je nutno navrhnout hardware, který bude stále připojen k baterii vozidla. Větev napájení spínaná klíčkem vozidla bude připojena pouze na logický vstup. Zařízení je nutno navrhnout i s ohledem na odběr proudu. Je nezbytné, aby sebe samo mohlo přepnout do pohotovostního režimu s nízkým odběrem proudu a zpět, aby nedošlo k vybití baterie.

Napájecí obvody se musejí vyrovnat s napět'ovými propady, které vznikají při startování motoru a spínání velkých výkonů ve vozidle. Pokud by byl při startu motoru vyvolán reset procesoru, veškerá nezálohovaná data by byla ztracena. Dále je nezbytné, aby zařízení bylo odolné proti otočení polarity baterie a bylo schopno snést krátkodobé vysokonapět'ové špičky na palubním napětí.

Jako uživatelský vstup bude použit rotační enkodér s tlačítkem. Je ergonomický a jednoduše se instaluje do interiéru vozidla.

Výroba plošného spoje je finančně náročná a proto je zařízení obohaceno i o obvody, které by mohly být v budoucnu využity, byť se zadáním práce nespojují. Jedná se o:

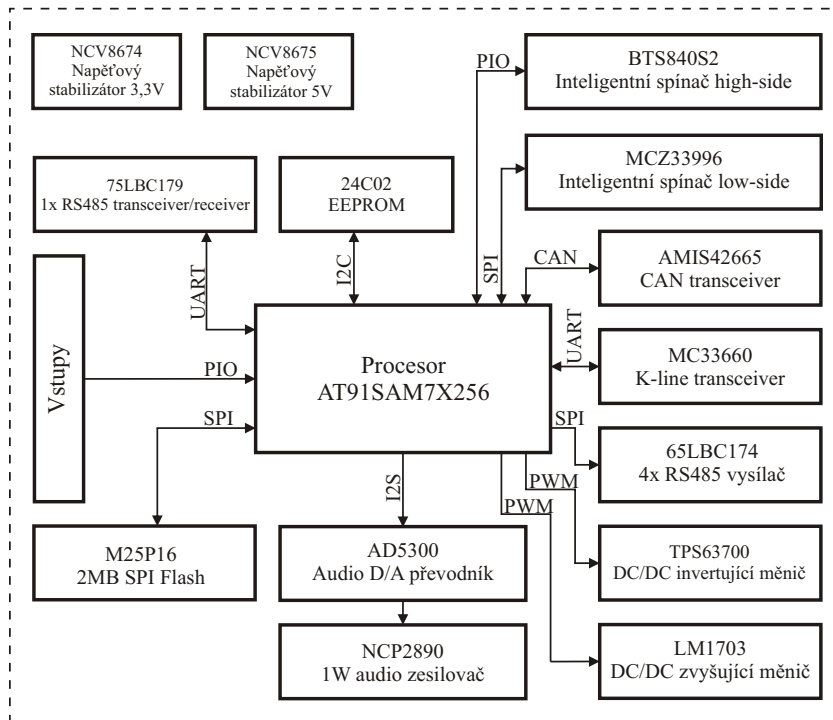
- CAN transceiver
- K-line transceiver
- Audio D/A převodník + nízkovýkonový zesilovač
- SPI Flash
- Inteligentní výkonový spínač horní skupiny
- Inteligentní výkonový spínač dolní skupiny

4.3 Návrh

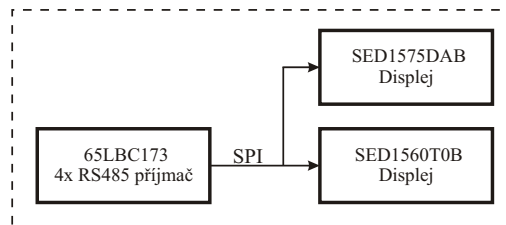
Navržené blokové uspořádání obvodu jednotky znázorňuje obrázek 4.2 a obvodu displeje obrázek 4.3.

4.3.1 Zdroj napájení

Pro použité součástky v obvodech jednotky a displeje je potřeba získat stabilizovaná napětí o hodnotách 5 V a 3,3 V. U obou větví je očekáván maximální odebíraný proud 100 mA. Jako nejvhodnější se jeví použití LDO lineárních stabilizátorů, protože velikost desky plošného spoje jednotky umožňuje rozlítí země na velké ploše, která zajistí dostatečnou tepelnou výměnu lineárních stabilizátorů s okolím. Jelikož je simulace tepelné výměny vzhledem k rozmanitosti tvarů a použitých materiálů velice složitá, je třeba se při návrhu spolehnout na odhad dostatečné velikosti chladičové plochy mědi na plošném spoji. Použití DC/DC měničů je v tomto případě zbytečné, protože jsou dražší, jelikož ke své činnosti potřebují více součástek na rozdíl od lineárního stabilizátoru, který je integrován v jednom pouzdře. Použity jsou integrované obvody NCV8674-50[3] pro 5 V větev a NCV8675-33[4] pro 3,3 V větev. Oba stabilizátory mají maximální proudovou zatížitelnost 350 mA. Jsou schopny snést napětí na vstupu od -42 V do 45 V, zkrat či přetížení výstupu a jsou vybaveny tepelnou pojistkou.

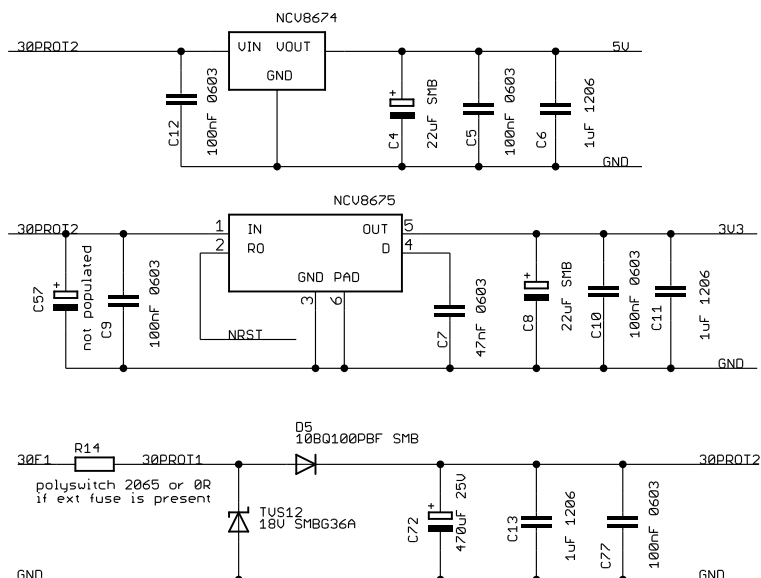


Obrázek 4.2: Blokové schéma obvodu jednotky.



Obrázek 4.3: Blokové schéma obvodu displeje. Plošný spoj je navržen tak, že lze osadit pouze jeden ze dvou typů displejů.

Napájení zařízení je vybaveno dvěma pojistkami, které chrání vozidlo před požárem v případě závady. Tavná nožová pojistka s maximální proudovou zatížitelností 20 A v plastovém pouzdru v kabelovém svazku chrání inteligentní výkonový spínač horní skupiny BTS840S2. Další tavná nožová pojistka s maximální proudovou zatížitelností 2 A je umístěna v kabelovém svazku. Obě pojistky jsou připojeny na trvalé palubní napětí, vstupujícím do celého obvodu pod označením 30F1, jak je patrné na obrázku 4.4. Nožovou pojistku je v případě potřeby možno nahradit vhodně dimenzovanou vratnou pojistkou polyswitch na plošném spoji. Obvody na větvi 30PROT2 jsou ochráněny před obrácením polarity baterie vozidla. V takovém případě větev 30PROT2



Obrázek 4.4: Schéma napájecí části obvodu.

chrání dioda D5 a zároveň i transil TVS12, který ve svém propustném směru svede většinu proudu zpět do baterie přes pojistku, která se během krátké doby přepálí. Transil TVS12 zajistí, že se na větvi 30PROT2 neprojeví přepětí vznikající na palubním napětí. Na větev 30PROT2 je připojen také výkonový spínač dolní skupiny MC33996 a K-line transceiver MC33660. Transil TVS12 s prahovým napětím 18 V byl zvolen z důvodu snadné dostupnosti této součástky při vývoji zařízení.

4.3.2 Displej

Je velice důležité zvolit vhodný displej tak, aby byla zachována jeho čitelnost za všech možných podmínek provozu. Je vhodné použít displej grafický, na kterém bude možnost přehledně zobrazit i vizualizaci stavu dveří. Vzhledem k dostupnosti při vývoji zařízení byly využity dva typy grafických displejů, které jsou osazovány do panelu přístrojů ve vozech Škoda Octavia 2 a Volkswagen Passat B5. Návrh plošného spoje pro displeje byl přizpůsoben tak, aby bylo možno osadit vždy jeden z obou typů. Displej z panelu přístrojů vozidla Škoda Octavia 2 s bílým podsvícením o rozlišení 180x120 pixelů vyu-

žívá integrovaný grafický řadič SED1575DAB a displej z Volkswagen Passat B5 o rozlišení 90x64 pixelů využívá SED1560T0B[2]. Oba displeje jsou na plošný spoj upevněny pomocí plastového rámečku, který mezi displejem a plošným spojem vytváří 1 cm prostor pro řádný rozptyl světla LED diod zajišťujících podsvícení celého displeje.

K zachování čitelnosti je třeba snímat teplotu skla displeje. V závislosti na tomto údaji je u displeje s řadičem SED1575DAB možnost provádět korekci kontrastu procesorem pomocí jemné regulace výstupního napětí DC/DC měniče LM1703. Toto napětí se pohybuje v rozmezí 19 - 23 V.

Displej s řadičem SED1560T0B je vybaven topícím drátem, který zajišťuje pro sklo displeje ideální teplotu 20°C a tím pádem není nutno regulovat kontrast.

Ke komunikaci s řadiči je využita jednosměrná sběrnice SPI, ovšem značné prodloužení spojení mezi jednotkou a displejem které ilustruje obrázek 4.1 znemožňuje tento typ sběrnice při rychlosti hodinového signálu 2 MHz provozovat. Proto jsou jednotlivé signály (MOSI, SCK, CS, A0) převedeny na 4 linky RS485 pomocí transeiveru 65LBC174.

4.3.3 Mikroprocesor

Použitý mikroprocesor AT91SAM7X256[1] s jádrem ARM7TDMI s hodinovou frekvencí 48 MHz a je vybaven 256 KB embedded FLASH a 64 KB embedded RAM. Pro svůj provoz vyžaduje napětí 3,3 V a 1,8 V. Je opatřen integrovaným lineárním stabilizátorem, který vytváří napětí 1,8 V potřebné pro napájení jádra procesoru. Programování procesoru probíhá pomocí rozhraní JTAG, které je vyvedené do dvouřadého hřebínkového konektoru s roztečí 2,54 mm na desce jednotky.

4.3.4 Vstupy

Jednotka je vybavena analogovými a digitálními vstupy. 3 analogové vstupy (A.3) slouží k připojení termistorů KTY-81-121 měřících teplotu displeje, interiéru a exteriéru. Výhodou použití termistoru je jeho malá cena a zároveň pro připojení vyžaduje použití pouze dvou vodičů. V případě, kdy jsou vodiče termistorů vedeny v prostředí, které způsobuje kolísání napětí termistoru je

vstup vybaven variabilně osaditelným tantalovým kondenzátorem.

Další analogový vstup je využit pro měření stavu paliva v nádrži. Předpokládá se, že na tomto vstupu je možný výskyt napětí od 0 V do 5 V. Toto napětí software pomocí převodní tabulky transformuje na údaj o objemu paliva v nádrži vozidla. Jelikož se na vstup A/D převodníku mikroprocesoru může přivést napětí o maximální hodnotě 3,3 V, je nutno vstup přizpůsobit pomocí děliče napětí. Nesmí se ovšem opomenout fakt, že plovák v nádrži slouží jako potenciometr, který bývá obvykle připojen jako spodní část děliče napětí, jež je součástí obvodu v panelu přístrojů. Proto nelze tento analogový signál zatížit dalším děličem napětí. Je tedy nutné před dělič napětí v jednotce umístit operační zesilovač, který je zapojen jako napět'ový sledovač.

Digitální vstupy (A.2) jsou ošetřeny pomocí transilů proti vysokonapět'ovým špičkám, které jsou vyvolané například elektrostatickým výbojem, aby nedošlo k poškození vstupů obvodu HEF40106. Tento invertující schmittův klopný obvod zajišť'uje dostatečnou strmost hran a úrovně napětí signálů pro vstupy mikroprocesoru.

4.3.5 Konektory

Konektivita zařízení s vozidlem je zajištěna pomocí 73-pinového konektoru Molex MX123. Konektor je přizpůsobený pro nasazení v automobilech - je vodotěsný a odolný proti vibracím. Tabulka 4.1 popisuje zapojení jednotlivých pinů konektoru. Konektivita jednotky a displeje je zajištěna dvouřadým vertikálním 20-pinovým hřebínkovým konektorem s roztečí 2.54 mm na plošném spoji displeje. Jako protikus k tomuto univerzálnímu konektoru byl na kabelový svazek připojen konektor s polaritou samice neznámého označení, odstrojený z kabelového svazku vyřazeného vozidla.

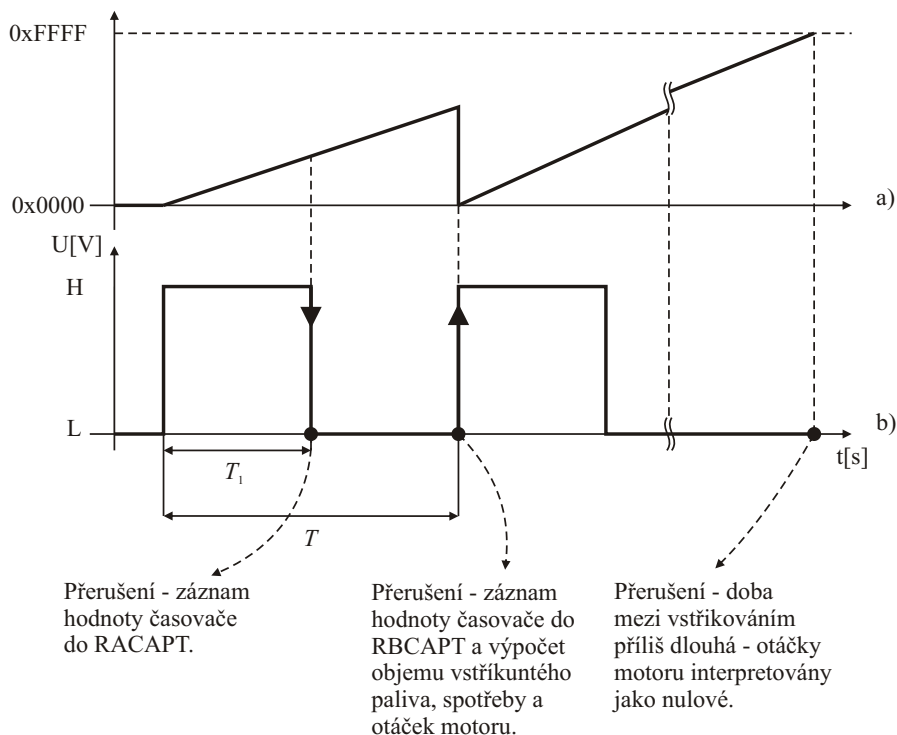
pin	název větve	popis	pin	název větve	popis
1	LSOUT0	spínání low-side 1,5A	38	FUEL	plovák nádrže
2	LSOUT2	spínání low-side 1,5A	39	BOOST	napětí pro disp.
3	LSOUT4	spínání low-side 1,5A	40	HEAT	topení disp.
4	LSOUT6	spínání low-side 1,5A	41	LED0	spínání led0 pro displej
5	30PROT2 ext	12V pro displej	42	LED3	spínání led3 pro displej
6	IN7	logický vstup	43	3V3 ext	napětí pro rotační enkodér
7	IN9	logický vstup	44	SPK2	zvukový výstup
8	K-LINE	k-line	45	CANL	CAN low
9	LSOUT8	spínání low-side 1,5A	46	TXD	UART txd
10	LSOUT10	spínání low-side 1,5A	47	D FL	log. vstup dveře FL
11	LSOUT12	spínání low-side 1,5A	48	D RR	log. vstup dveře RR
12	LSOUT14	spínání low-side 1,5A	49	IN0	logický vstup
13	HSOUT2	spínání high side 10A	50	RE1A	rotační enkodér A
14	HSOUT1	spínání high side 10A	51	VSS TC1	log. vstup senzor rychlosti
15	30	napájení vodič 30	52	INJ TC0	log. vstup vstřík. tryska
16	30	napájení vodič 30	53	OUTTEMP	čidlo teploty exteriuru
17	LSOUT1	spínání low-side 1,5A	54	485L5	RS485 pro displej
18	LSOUT3	spínání low-side 1,5A	55	485L3	RS485 pro displej
19	LSOUT5	spínání low-side 1,5A	56	485L7	RS485 pro displej
20	LSOUT7	spínání low-side 1,5A	57	485L1	RS485 pro displej
21	DSPTEMP	čidlo teploty disp.	58	5V SW	napětí pro displej
22	IN6	logický vstup	59	INV	napětí pro displej
23	15	vodič 15	60	LED2	spínání led2 pro displej
24	GND	kostra	61	LED1	spínání led1 pro displej
25	LSOUT9	spínání low-side 1,5A	62	GND	kostra
26	LSOUT11	spínání low-side 1,5A	63	GND	kostra
27	LSOUT13	spínání low-side 1,5A	64	SPK1	zvukový výstup
28	LSOUT15	spínání low-side 1,5A	65	CANH	CAN high
29	GND	kostra	66	RXD	UART rxd
30	GND	kostra	67	DNU1	nepřipojovat
31	GND	kostra	68	D fr	log. vstup dveře FR
32	30F1	vodič 30 pro high-side	69	D RL	log. vstup dveře RL
33	INTEMP	čidlo teploty inter.	70	RE1 butt	rotační enkodér tlačítko
34	485L4	RS485 pro displej	71	RE1 B	rotační enkodér B
35	485L2	RS485 pro displej	72	DNU0	nepřipojovat
36	485L6	RS485 pro displej	73	GND	kostra
37	485L0	RS485 pro displej			

Tabulka 4.1: Zapojení konektoru jednotky Molex MX123.

5 Software

5.1 Měření a výpočty

K měření signálů vstřikovací trysky a senzoru rychlosti jsou využity časovače procesoru. Oba tyto signály jsou připojeny na vstupy procesoru, které využívá periferie Timer Counter 1 (TC1) a Timer Counter 2 (TC2) pod označením TIOB0 a TIOB1. Při inicializaci programu jsou tyto periferie nastaveny do režimu capture mode - měření doby trvání logických úrovní signálů. Zároveň je provedena inicializace přerušování, jehož funkce při měření signálu vstřikovací trysky je znázorněna na obrázku 5.1. Program, který přerušování



Obrázek 5.1: Ilustrace zpracování signálu vstřikovací trysky časovačem. a) průběh hodnot v registru časovače TCNT1, b) napětí na vstupu TIOB

obsluhuje, popisuje zdrojový kód 5.1.

```

1 // -----
2 // -- TCO interrupt handler -----
3 // -----
4 void TCO_interrupt(void) __irq {
5     static unsigned int RACAPT = 0, RBCAPT = 0;
6     static float LNINJ = 0; // Length of injection pulse [s]
7     static float LNBWINJ = 0; // Length between injection pulses [s]
8     static float RPM = 0; // RPM
9     static float CONSLH = 0; // Consumption litres per hour
10    static float CONSL100KM = 0; // Consumption litres per 100km
11    static float FUELINJECTED = 0; // Injected fuel at last engine cycle [l]
12    unsigned int Isr = pTCO->TC_SR; // capture the Interrupt status register
13    foo = pTCO->TC_SR; // critical line
14    // -----
15
16    if((Isr & AT91C_TC_LDRAS)==AT91C_TC_LDRAS) {
17        // -----
18        // -- TCO CAPTURE REGISTER A was just captured
19        // -----
20        // Capture actual TCO RA value
21        RACAPT = pTCO->TC_RA;
22        // Count time [s] of LNINJ
23        LNINJ = 0.021311 * RACAPT / 1000;
24    }
25    else if((Isr & AT91C_TC_LDRBS)==AT91C_TC_LDRBS) {
26        // -----
27        // -- TCO CAPTURE REGISTER B was just captured
28        // -----
29        // Capture actual TCO RB value
30        RBCAPT = pTCO->TC_RB;
31        // Count time [s] of LNBWINJ
32        LNBWINJ = 0.021311 * RBCAPT / 1000;
33
34
35        // Injection period
36        OBCCDispInjPeriod = LNBWINJ;
37
38        // Count RPM
39        RPM = 2*60/(OBCCDispInjPeriod);
40
41        // Length of injection [s]
42        OBCInjLength = (LNINJ);
43
44        // Increment total value of injection length
45
46        OBCInjLengthTrip += OBCCBackupValues.OBCNumberOfStrokes*OBCInjLength;
47        OBCInjLengthTot += OBCCBackupValues.OBCNumberOfStrokes*OBCInjLength;
48
49        // Injected fuel [l]
50        FUELINJECTED = (OBCCBackupValues.OBCFuelPerSecond * OBCInjLength);
51
52        // Increment fuel used value for average consumption
53
54        OBCFuelUsedTrip += OBCCBackupValues.OBCNumberOfStrokes*FUELINJECTED;
55        OBCFuelUsedTot += OBCCBackupValues.OBCNumberOfStrokes*FUELINJECTED;
56
57
58        // Count consumption per hour [l/h]
59        CONSLH = ((FUELINJECTED * RPM * 60) * OBCCBackupValues.OBCNumberOfStrokes) / 2;
60
61        if(OBCCSpeedFiltered>0) {
62            // Count consumption [l/100km]
63            CONSL100KM = (float) ( (((float)100) / OBCCSpeedFiltered) * CONSLH );
64        }
65
66        OBCCDispRpm = (unsigned int) RPM;
67        OBCCConsumpLH = CONSLH;
68        OBCCConsumpL100km = CONSL100KM;
69    }
70    else if((Isr & AT91C_TC_CPCS)==AT91C_TC_CPCS) {
71        // -----
72        // -- TCO COMPARE REGISTER C was just compared
73        // -----
74        // Counter has reached timeout!
75        // Clear the LNINJ and LNBWINJ
76        RACAPT = 0;
77        RBCAPT = 0;
78        LNINJ = 0;
79        RPM = 0;
80        CONSL100KM = 0;
81        CONSLH = 0;
82
83        OBCCDispRpm = 0;

```

```
84     OBCConsumpLH = 0;
85     OBCConsumpL100km = 0;
86     OBCConsumpL100km = 0;
87 }
88
89
90     foo = pTCO->TC_RB;
91     // -----
92     pAIC->AIC_EOICR = 0xFFFFFFFF; // end of interrupt - critical line
93 }
```

Zdrojový kód 5.1: Obsluha přerušení časovače připojeného na signál vstřikovací trysky.

Na řádce 23 se do proměnné LNINJ zaznamená délka vstřiku T a na řádce 32 se do proměnné LNBWINJ zaznamená perioda mezi vstřiky T_1 . Řádek 39 obsahuje výpočet otáček motoru pro vstřikování MPI, podle vztahu 3.3. Následně je na řádcích 46 a 47 provedena inkrementace celkové sumy doby vstřikování, která je následně využívána ke kalibraci objemového průtoku vstřikovací trysky. Řádek 50 obsahuje výpočet vstříknutého paliva dle vztahu 3.1. Na řádcích 54 a 55 je dle vztahu 3.9 inkrementována suma celkového objemu vstříknutého paliva, která slouží k výpočtu jeho průměrné spotřeby. Na řádce 59 probíhá výpočet objemu vstříknutého paliva za hodinu podle vztahu 3.5. Mezi řádky 61 až 64 je prováděn výpočet objemu spotřebovaného paliva na 100 km jízdy podle vztahu 3.8.

Průměrná spotřeba paliva je vypočítávána ve zdrojovém kódu 5.2 podle vztahu 3.10 v obsluze přerušení časovače TC2, který slouží jako univerzální časovač se spouštěním přerušení každých 0,25 vteřin.

```

1 // -----
2 // --- Count consumption mean ---
3 // -----
4 if(OBCOdometerTot>0) {
5     // We can count consumption per 100km when the odometer is not zero
6     OBCConsumpAVGTot = (100*OBCFuelUsedTot) / OBCOdometerTot;
7 }
8 if(OBCOdometerTrip>0) {
9     // We can count consumption per 100km when the odometer is not zero
10    OBCConsumpAVGTrip = (100*OBCFuelUsedTrip) / OBCOdometerTrip;
11 }

```

Zdrojový kód 5.2: Výpočet průměrné spotřeby paliva.

Zdrojový kód 5.3 znázorňuje část obsluhy přerušení časovače TC1, který je použit pro výpočet rychlosti vozidla a ujeté vzdálenosti. Na řádcích 11 a 13 probíhá výpočet rychlosti vozidla podle vztahu 3.6 a na řádcích 16 a 17 probíhá výpočet ujetých vzdáleností podle vztahu 3.7.

```

1     else if((Isr & AT91C_TC_LDRBS)==AT91C_TC_LDRBS) {
2         // -----
3         // -- TC1 CAPTURE REGISTER B was just captured
4         // -----
5         float s; // [m]
6         // Capture actual TC1 RB value
7         RBCAPT = pTC1->TC_RB;
8         // Count time [s] of LNBWSS
9         LNBWSS = 0.021311 * RBCAPT * 1000;
10        // Count meters per rising/falling edge of vehicle speed sensor
11        s = ((2*3.1415*OBCBackupValues.OBCSpeedWheelRadius)/OBCBackupValues.OBCSpeedAlpha);
12        // Count speed "v = s / t" [km/h]
13        SPEED = (s / LNBWSS) * 3.6;
14
15        // Increment odometers
16        OBCOdometerTrip = OBCOdometerTrip + (s/1000); // Trip odometer [km]
17        OBCOdometerTot = OBCOdometerTot + (s/1000); // Total odometer [km]
18
19        // Actual speed
20        OBCSpeed = SPEED;
21
22    }

```

Zdrojový kód 5.3: Výpočet rychlosti vozidla a ujeté vzdálenosti při náběžné hraně signálu senzoru rychlosti.

5.2 Grafický výstup

Zobrazení dat je koncipováno tak, aby oči uživatele nebyly zbytečně rozptylovány údaji, které ve skutečnosti nejsou důležité. Všechna zobrazovaná data na displeji jsou vhodně zaokrouhlena. Veškeré objemy paliva v litrech

jsou zaokrouhleny na jedno desetinné místo. Rychlosti vozidla v kilometrech za hodinu a dojezd v kilometrech jsou zaokrouhleny na celé číslo. Ujetá vzdálenost v kilometrech je zaokrouhlena na jedno desetinné místo. Teplota vzduchu mimo vozidlo je uživateli zobrazena ve stupních Celsia s krokem 0,5 °C. U průměrné spotřeby paliva a průměrné rychlosti je perioda obnovování hodnot na displeji 2 vteřiny, u dojezdu 5 vteřin a u ostatních hodnot 1 vteřina. Ještě před tím, než jsou některá data zobrazena na displeji či použita v dalších výpočtech, jsou průměrována pomocí kruhového bufferu. Například aktuální rychlost vozidla je průměr dvaceti pěti změřených hodnot v intervalu 0,1 vteřiny a u měření teplot pomocí čidel KTY81-121 se výsledná teplota průměruje z padesáti pěti naměřených hodnot v intervalu 0,1 vteřiny. Toto průměrování eliminuje nepřesnosti v měření celého měřícího řetězce, které mají za následek nahodilé kolísání naměřených hodnot.

Na obrázcích B.4-B.10 je možno vidět displej řadičem SED1560T0B v jednotlivých zobrazeních. Zobrazení se přepínají pomocí rotačního enkodéru a v případě, kdy se jedná o ujetou vzdálenost, průměrnou spotřebu či průměrnou rychlost, se krátkým stiskem tlačítka rotačního enkodéru dají tyto hodnoty přepínat mezi instancemi "1" a "2" (viz. kapitola 4.1). Pokud je tlačítko stisknuto déle než 2 vteřiny, je vše, co přísluší k dané instanci vynulováno.

6 Test zařízení

Zařízení bylo společně s displejem využívající radič SED1560T0B instalováno do vozidla Peugeot 206. Vozidlo vyrobené v roce 2004 je osazeno benzinovým motorem využívající vstřikování MPI o objemu válců 1124 cm^3 (kód motoru 2AHFXF) a výkonu $44,1 \text{ kW}$ při 5500 ot/min . Provozní váha vozidla je 985 kg .

Nejprve bylo provedeno nastavení měření rychlosti. Navíjecím metrem byl změřen poloměr zatíženého předního kola $r_{\text{kol}} = 0.1945 \text{ m}$ (vzdálenost od osy kola k povrchu vozovky) a pomocí čítače impulzů byl při ručním otočení předního kola s vozidlem na heveru zjištěn počet impulzů senzoru rychlosti $\alpha = 6$. Po tomto nastavení se údaje o rychlosti z panelu přístrojů a na displeji vytvořeného zařízení pohledem shodovaly.

Dále byl nastaven příslušný počet válců $n_{\text{val}} = 4$. Po zapnutí motoru se ve speciálním ladícím režimu zařízení zobrazily otáčky motoru, jejichž hodnota se s panelem přístrojů také pohledem shodovala.

Následovalo zjištění objemového průtoku Q_{trys} vstřikovacích trysek. Jako jediný dostupný způsob změření objemového průtoku bylo vykonání následujícího postupu:

- Naplnit nádrž vozidla palivem až po její hrdlo
- Vynulovat celkové doby všech vstřikování, kterou načítá proměnná `OBCInjLengthTrip` ve zdrojovém kódu 5.1 řádek 46.
- Jakýmkoli režimem (jízda, volnoběh) nechat motor vozidla spotřebovat palivo v řádu jednotek litrů.
- Na čerpací stanici znovu naplnit nádrž vozidla benzinem až po její hrdlo a odečíst objem načerpaného paliva ze stojanu
- Odečíst hodnotu `OBCInjLengthTrip`

Díky tomuto postupu byl zjištěn objem skutečně spotřebovaného paliva z nádrže a celková doba vstřikování na všech válciích. Změřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce 6.1, kde n vyjadřuje číslo měření, t_n celkovou dobu vstřikování na všech válciích a V_n objem spotřebovaného paliva. Objemový průtok

vstřikovacích trysek Q_n byl vypočten podle vztahu 6.1.

$$Q_n = 1000 \frac{V_n}{t_n} \left[\frac{ml}{s} \right] \quad (6.1)$$

n	t_n [s]	V_n [l]	Q_n [ml/s]	ΔQ [ml/s]
1	2780,20	12,92	4,65	0,10
2	3140,30	14,97	4,77	-0,02
3	3725,80	17,9	4,8	-0,08

\bar{Q} [ml/s]	4,75
$\Delta \bar{Q}$ [ml/s]	0,1
δQ [%]	2,00

Tabulka 6.1: Naměřené a vypočtené hodnoty při zjišťování průtoku vstřikovacích trysek pomocí měření úbytku paliva v nádrži a celkové doby vstřikování.

Vypočtená hodnota objemového průtoku vstřikovacích trysek je $4,75 \pm 0.1$ ml/s. Konstanta Q_{trys} tedy byla nastavena na hodnotu 0,00475. Následovalo ověření správnosti měření průměrné spotřeby paliva realizovaného následujícím postupem:

- Naplnit nádrž vozidla palivem až po její hrdlo
- Vynulovat instanci měření "1"- průměrnou spotřebu a ujetou vzdálenost
- Jízdou nechat motor vozidla spotřebovat palivo v řádu litrů.
- Na čerpací stanici znovu naplnit nádrž vozidla benzinem až po její hrdlo a odečíst objem načerpaného paliva ze stojanu
- Z palubního počítače odečíst ujetou vzdálenost a průměrnou spotřebu paliva na instanci měření "1"

Tabulka 6.2 udává naměřené hodnoty, kde n vyjadřuje číslo měření, $C_{100km1n}$ průměrnou spotřebu paliva vypočtenou palubním počítačem, s_n ujetou vzdálenost, V_n objem paliva odečtený ze stojanu, $C_{100km2n}$ skutečná průměrná spotřeba paliva vypočtená podle vztahu 6.2 a $\Delta C_{\phi 100kmn}$ rozdíl mezi naměřenou a skutečnou průměrnou spotřebou paliva vypočtený podle vztahu 6.3.

$$C_{\phi 100km2n} = \frac{100V_n}{s_n} \left[\frac{l}{100 km} \right] \quad (6.2)$$

$$\Delta C_{\phi 100 km_n} = C_{\phi 100 km_{1n}} - C_{\phi 100 km_{2n}} \quad (6.3)$$

n	$C_{\phi 100 km_{1n}}$ [l.100 km ⁻¹]	V _n [l]	s _n [km]	$C_{\phi 100 km_{2n}}$ [l.100 km ⁻¹]	$\Delta C_{\phi 100 km_n}$ [l.100 km ⁻¹]
1	6,20	3,24	54,20	5,98	0,22
2	5,90	2,35	38,80	6,06	-0,16
3	6,40	5,04	80,70	6,25	0,15

Tabulka 6.2: Naměřené a vypočtené hodnoty při porovnávání palubním počítačem naměřené a skutečné průměrné spotřeby paliva.

Z tabulky 6.2 je patrné, že největší odchylka při měření průměrné spotřeby paliva na 100 km jízdy byla 0,22 l.100 km⁻¹. Odchylky měření mohly být způsobeny nekonstantností objemového průtoku vstřikovacích trysek, rozdílnou hodnotou objemu vstříknutého paliva do válců motoru s neměřenými tryskami a neuvažování prodlevy mezi elektronickým sepnutím vstřikovače a skutečným průchodem paliva tryskou. Dále může být způsobena nepřesností časovače procesoru při měření ujeté dráhy vozidla či doby a periody vstřikování.

Metoda měření úbytku paliva v nádrži vozidla pomocí čerpání až do maximální možné hladiny a odečítání jeho objemu ze stojanu čerpací stanice se jeví jako relativně přesná metoda ale je potřeba zohlednit fakt, že při plnění nádrže mohou vzniknout odchylky v řádu setin litru způsobené např. vzduchovými kapsami.

7 Závěr

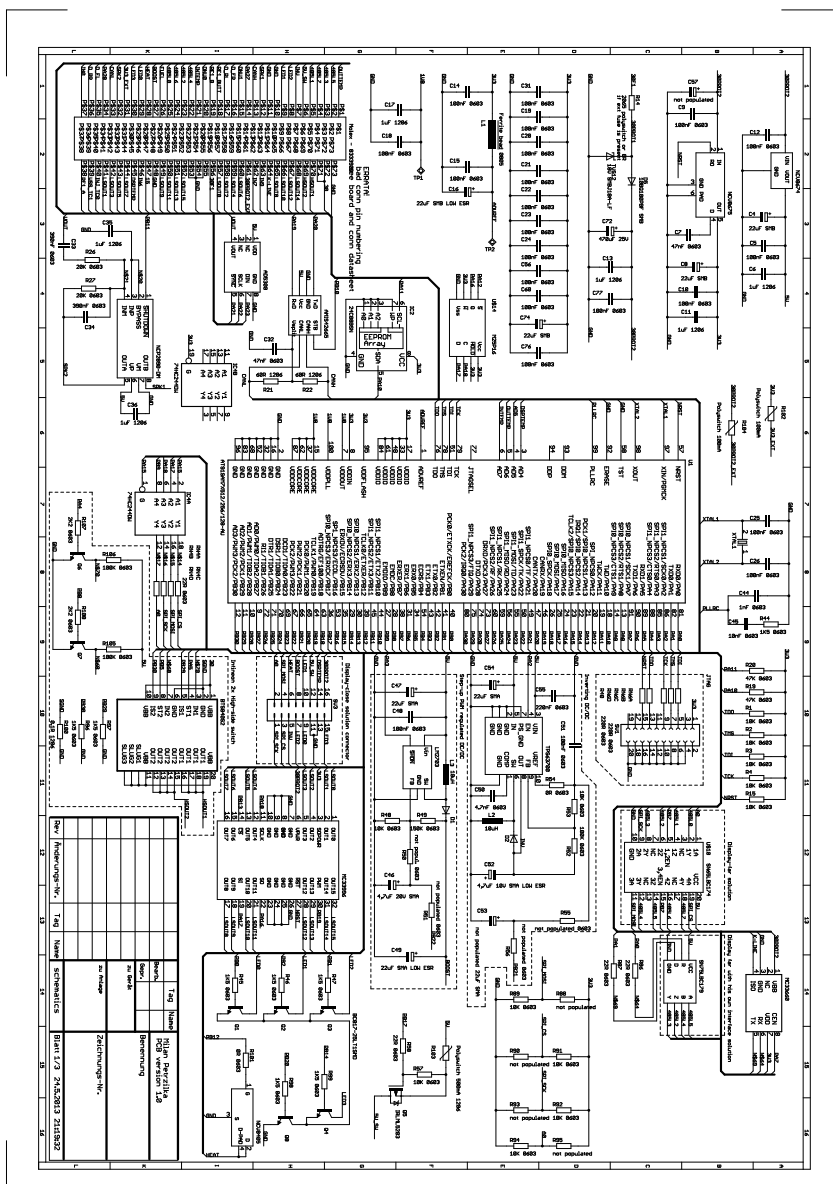
Návrh softwaru a hardwaru probíhal v několika etapách. První prototypy palubního počítače pro měření spotřeby paliva byly realizovány již v letech 2009-2011, kdy bylo zařízení osazováno stejným procesorem, avšak rozdílnými displeji - od alfanumerických po 32bitové barevné grafické LCD. Na těchto verzích byly zachyceny detailní poznatky, které jsou v současné verzi palubního počítače uplatněny. Jedná se zejména o přizpůsobení napájecího zdroje, regulace kontrastu displeje k zajištění čitelnosti v širokém rozsahu teplot, ošetření digitálních vstupů, výroba kabelových svazků. Použité displeje vyjmuté z vozidel koncernu Volkswagen se jeví jako nejvhodnější pro dané použití, protože mají velice dobrou čitelnost za podmínek. Navržené zařízení nainstalované ve vozidle Peugeot 206 je plně provozuschopné. Jednotka je bezpečně připojena a umístěna pod středovým sloupkem. Nad rámec zadání bylo zařízení osazeno dalšími obvody. Inteligentní výkonový spínač horní skupiny Infineon BTS840S2, který by měl v budoucnu sloužit jako spínač mlhových světel pro přisvěcování do stran při zatáčení byl otestován s 20W žárovkou a je plně funkční, včetně zpětného měření proudu který teče zátěží. Software obsahuje program pro obsluhu D/A převodníku a je schopen přehrát nekomprimovaný zvuk uložený v sériové SPI flash M25P16. Přehrávání krátkých audio záznamů bude v budoucnu využito při upozorňování řidiče, například na prasklou žárovku připojených mlhových světel. Datová komunikace s vozidlem zatím nebyla zprovozněna, ale transceivery pro CAN a K-line ji v budoucnu umožní. Inteligentní výkonový spínač dolní skupiny, přítomný na desce plošného spoje v době realizace této práce otestován nebyl, ale v budoucnu poslouží k univerzálnímu spínání zátěží o maximálním proudu 2,5 A. Zařízení bylo navrženo pro dva typy displejů ale zatím pouze displej s radičem SED1560 byl plně softwarově obslužen. Program pro novější displej s radičem SED1575 v době realizace práce nebyl plně dokončen. Zdrojové kódy, schémata, návrh plošného spoje a datové listy od všech integrovaných obvodů včetně obou typů displejů jsou přiloženy na CD. Navržený hardware bude i nadále sloužit jako univerzální zařízení do automobilu se širokým rozsahem použití a nepochybně použit i na navazujícím studiu.

Literatura

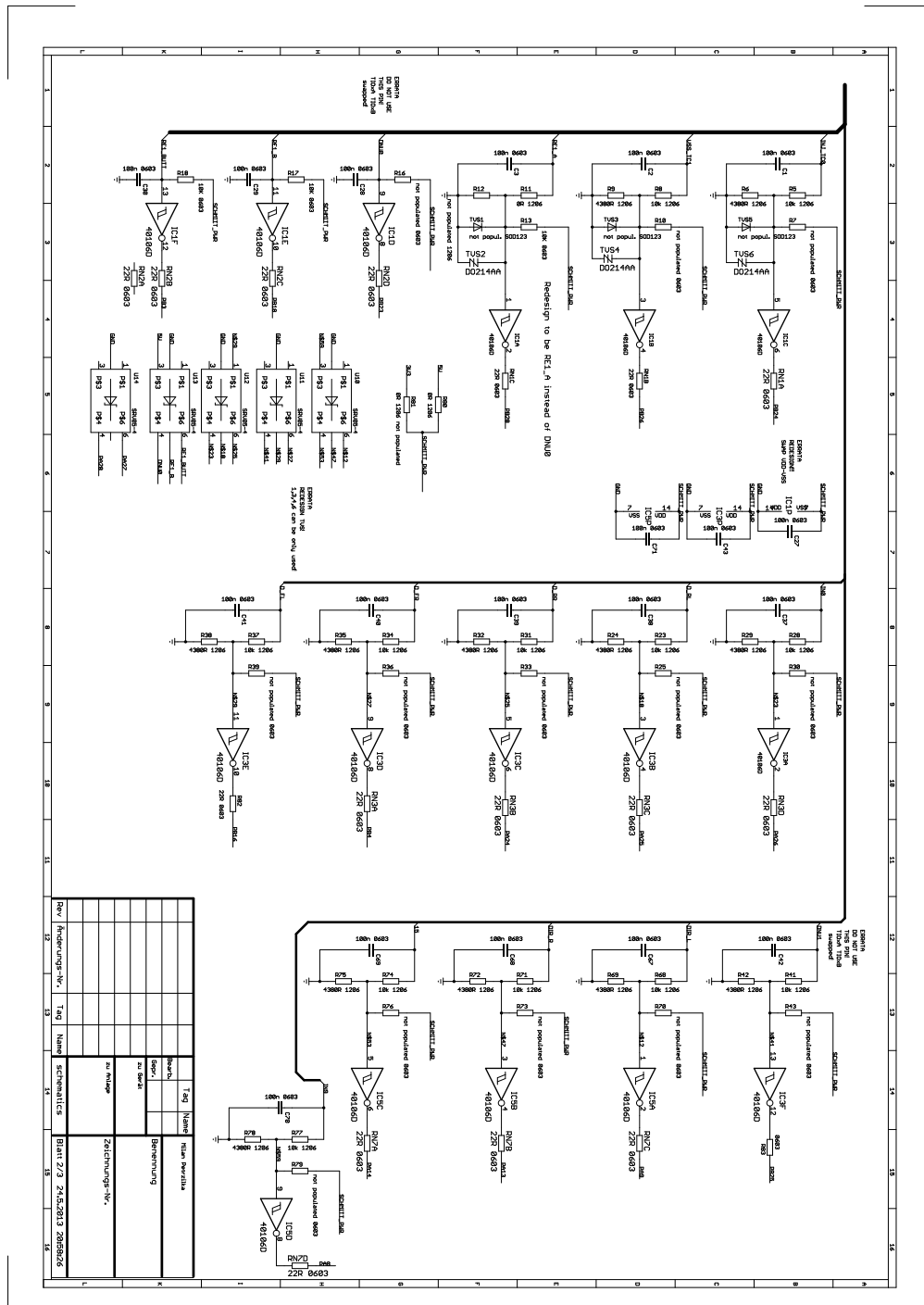
- [1] ATMEL. *AT91SAM ARM-based Flash MCU*. Dostupné z: <http://www.atmel.com/Images/doc6120.pdf>
- [2] EPSON. *SED1560/1/2 Technical Manual*.
Dostupné z: <http://www.gaw.ru/pdf/lcd/Chips/Epson/sed1560.pdf>
- [3] ON SEMICONDUCTOR. *NCV8674 Very Low Id Low Dropout Linear Regulator*.
Dostupné z: http://www.onsemi.com/pub_link/Collateral/NCV8674-D.PDF
- [4] ON SEMICONDUCTOR. *NCV8675 350 mA Very Low Id Low Dropout Linear Regulator with Reset and Reset Delay*.
Dostupné z: http://www.onsemi.com/pub_link/Collateral/NCV8675-D.PDF
- [5] PROBST, Charles O. *Ford fuel injection: how to understand, service, and modify : all Ford/Lincoln-Mercury cars and light trucks, 1980-1987*. Cambridge, Mass.: Robert Bentley, 1995, vi, 322 p. ISBN 08-376-0302-1.

A Schémata

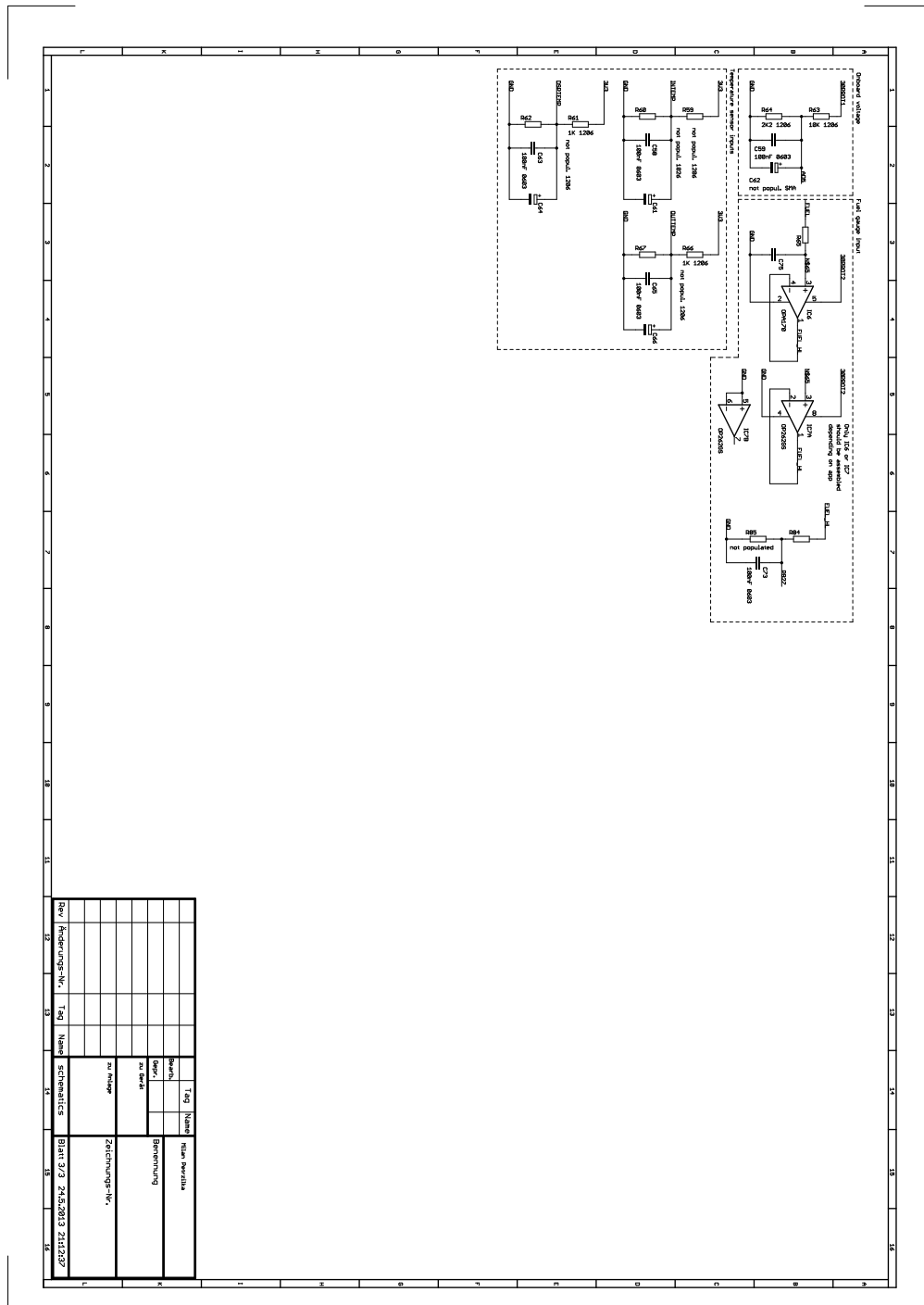
A.1 Schéma zapojení jednotky



Obrázek A.1: Schéma zapojení jednotky, list 1.

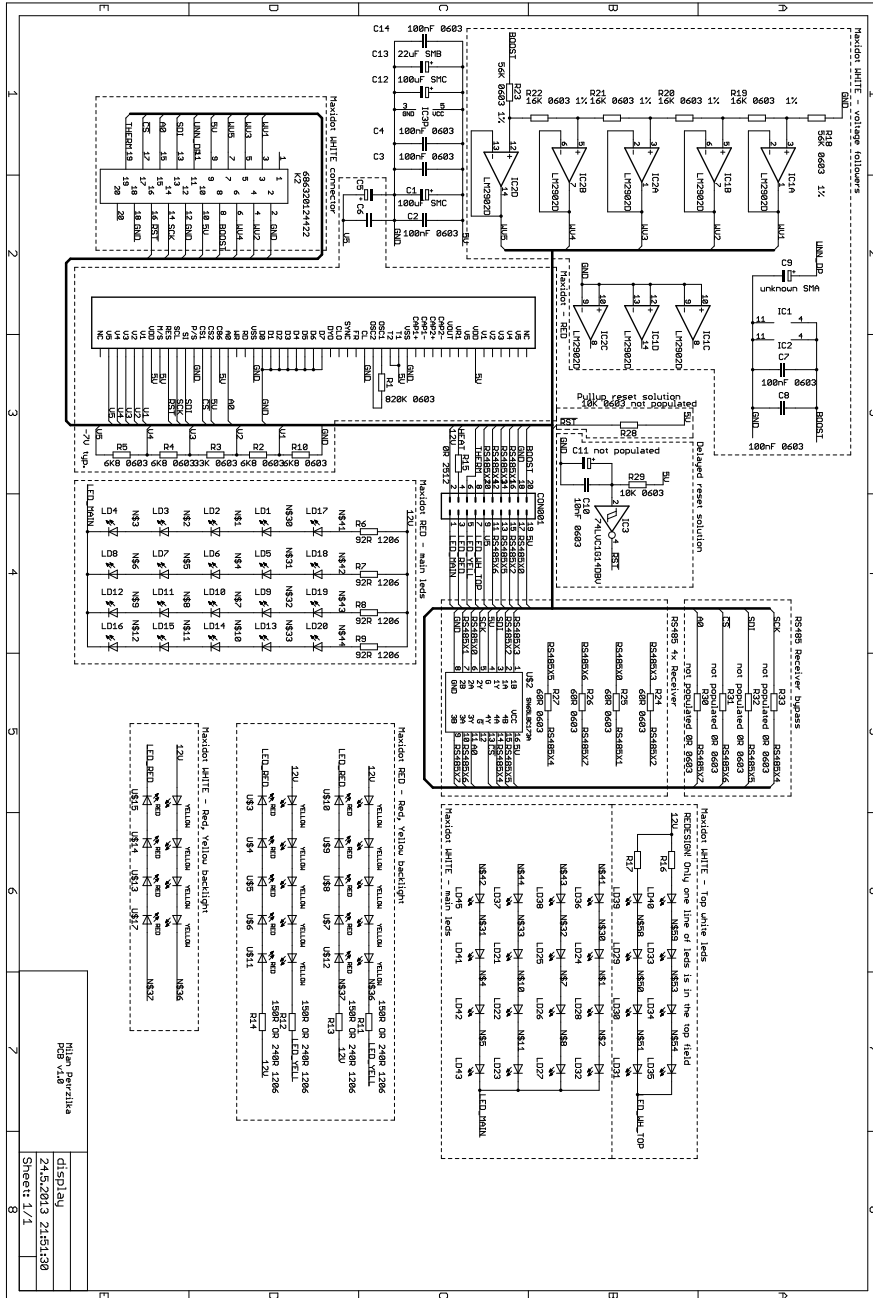


Obrázek A.2: Schéma zapojení jednotky, list 2.



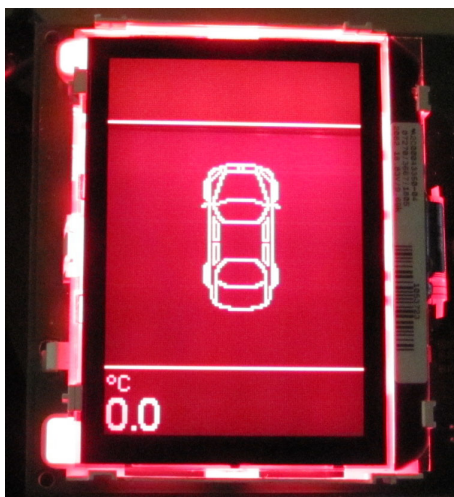
Obrázek A.3: Schéma zapojení jednotky, list 3.

A.2 Schéma zapojení displeje



Obrázek A.4: Schéma zapojení displeje.

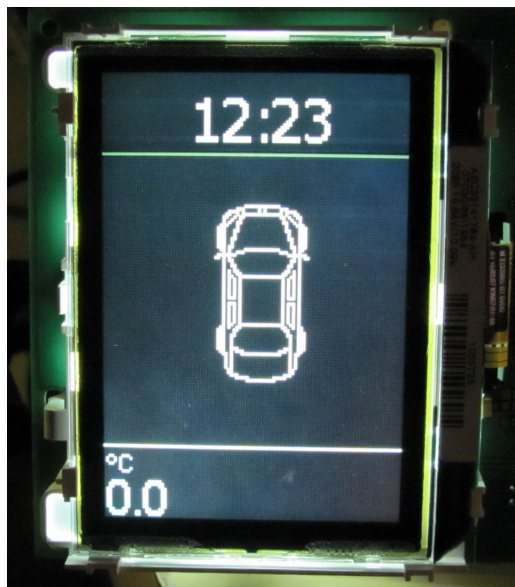
B Fotografie



Obrázek B.1: Vizualizace stavu dveří vozidla na displeji v červené variantě s řadičem SED1575 z vozidla Škoda Octavia druhé generace.



Obrázek B.2: Zobrazení průměrné spotřeby paliva na displeji v bílé variantě s řadičem SED1575 z vozidla Škoda Octavia druhé generace.



Obrázek B.3: Vizualizace stavu dveří vozidla na displeji v bílé variantě s řadičem SED1575 z vozidla Škoda Octavia druhé generace.



Obrázek B.4: Zobrazení okamžité spotřeby paliva na červeném displeji s řadičem SED1560 z Volkswagen Passat B5.



Obrázek B.5: Zobrazení rychlosti vozidla na červeném displeji s řadičem SED1560 z Volkswagen Passat B5.



Obrázek B.6: Vizualizace stavu dveří vozidla na červeném displeji s řadičem SED1560 z Volkswagen Passat B5.



Obrázek B.7: Zobrazení dojezdu na červeném displeji s řadičem SED1560 z Volkswagen Passat B5.



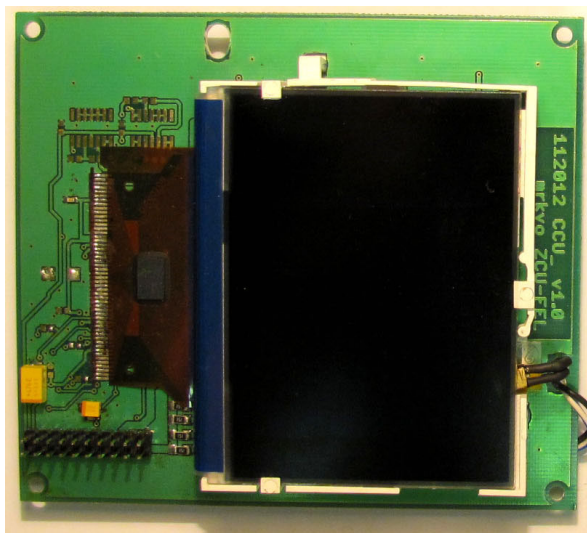
Obrázek B.8: Zobrazení ujeté vzdálenosti na červeném displeji s řadičem SED1560 z Volkswagen Passat B5.



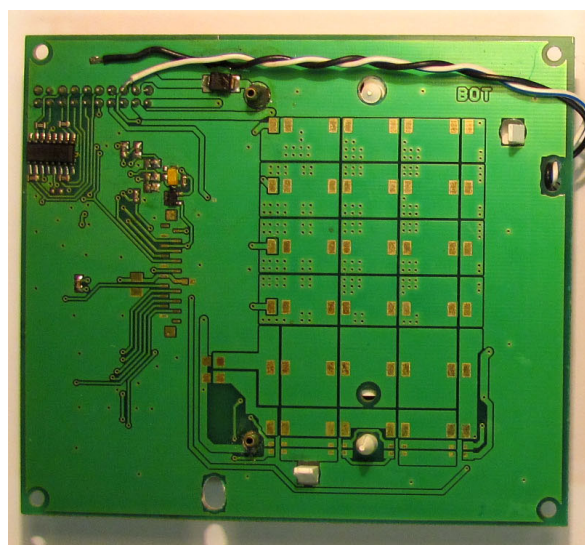
Obrázek B.9: Zobrazení průměrné spotřeby paliva na červeném displeji s řadičem SED1560 z vozidla Volkswagen Passat B5.



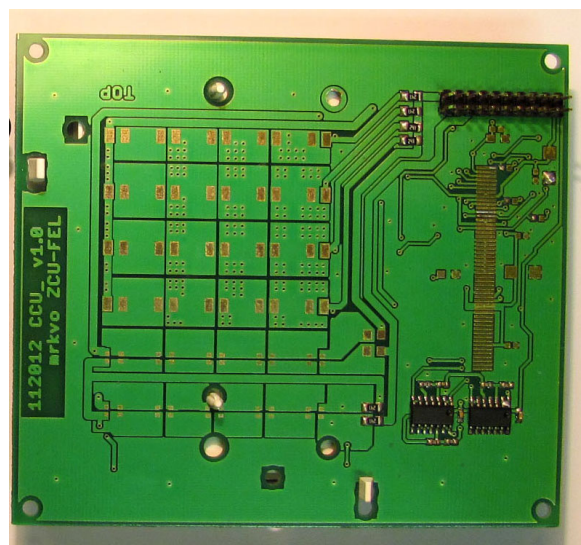
Obrázek B.10: Zobrazení průměrné rychlosti na červeném displeji s řadičem SED1560 z vozidla Volkswagen Passat B5.



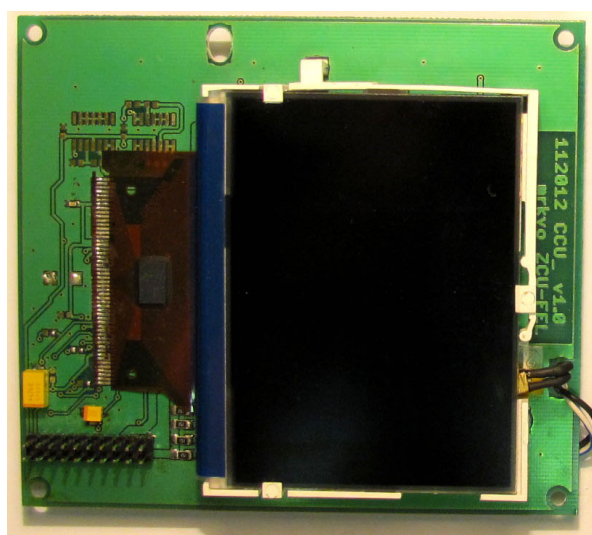
Obrázek B.11: Plošný spoj s červeným displejem s řadičem SED1560 z Volkswagen Passat B5.



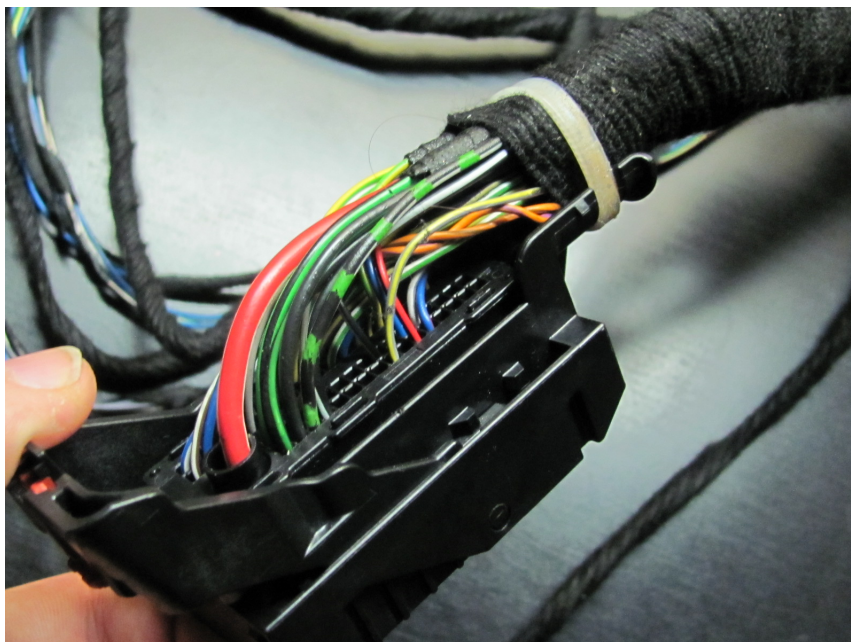
Obrázek B.12: Spodní strana plošného spoje s červeným displejem s řadičem SED1560 z vozidla Volkswagen Passat B5.



Obrázek B.13: Spodní strana plošného spoje s displejem s řadičem SED1575 z vozidla Škoda Octavia 2.



Obrázek B.14: Plošný spoj s červeným displejem s řadičem SED1560 z vozidla Volkswagen Passat B5.



Obrázek B.15: Detail kabelového svazku u konektoru jednotky.



Obrázek B.16: Připojená jednotka palubního počítače na pracovním stole během oživování obvodu.



Obrázek B.17: Červený displej s řadičem SED1560 z vozidla Volkswagen Passat B5 umístěný na čelním skle vozidla Peugeot 206.