ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ

KATEDRA ŘÍDICÍ TECHNIKY

Bakalářská práce

Interface pro spojení vývojového systému dSpace MicroBox s lineárním spalovacím motorem LCE 02

Tomáš Haubert

2008

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady (literaturu, projekty, SW atd.) uvedené v přiloženém seznamu.

V Praze, dne …….. ……

podpis

Poděkování

V první řadě bych chtěl poděkovat vedoucímu práce Doc. Ing. Ondřeji Vysokému, CSc. za jeho podporu během práce na interface. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Pavlu Němečkovi za jeho cenné rady ohledně návrhu schématu a vytvoření desky plošných spojů.

Můj vděk patří také všem ostatním lidem, kteří mě podporovali během studia.

Abstrakt

Tato bakalářská práce pojednává o návrhu desky interface mezi řídicí jednotkou MicroAutoBox od firmy dSpace a lineárním spalovacím motorem LCE 02. Lineární spalovací motor je strojem přeměňujícím chemickou energii paliva na elektrickou energii. Řízení takovéhoto motoru požaduje výkonný řídicí systém. Stávající řídicí systém je tvořen průmyslovým počítačem od firmy dSpace a dalšími moduly. Nový řídicí systém bude tvořen MicroAutoBoxem a navrženým interface, který musí být kompatibilní se stávajícími moduly (zejména výkonovým můstkem) a zároveň poskytuje dostatek vstupů a výstupů, s jejichž využitím se do budoucna počítá.

Abstract

This bachelor's project treats of design board interface between control unit MicroAutoBox by dSpace and linear combustion engine LCE02. Linear combustion engine changes chemically energy of liquid fuel onto electrical energy. The control this engine asks for efficient control system. The existing control system is formed by industrial computer from dSpace and by other modules. The new control system will formed by MicroAutoBox and by designed interface that has to be compatible with existing modules (Power Bridge) and provide sufficiency of inputs and outputs.

Obsah

Prohlášení 1
Poděkování 2
Abstrakt 3
Seznam obrázků a tabulek 6
Obrázky 6
Tabulky 6
1 Úvod 7
1.1 Popis práce 7
1.2 Lineární motor 7
2 Lineární spalovací motor 8
2.1 Princip činnosti 8
2.2 Řídicí systém 9
2.3 Prototyp lineárního spalovacího motoru LCE 02 10
3 MicroAutoBox 12
3.1 Napájení MicroAutoBoxu 12
3.2 Digitální vstupy a výstupy 13
3.3 Analogové vstupy a výstupy 13
3.4 Fyzické parametry 14
4 Návrh zapojení interface 15
4.1 Požadavky na interface 15
4.2 Napájecí část 16
4.3 Analogová a digitální část 18
4.3.1 Analogová a digitální část 1 18
4.3.2 Analogová a digitální část 2 19
4.4 Výkonová část 21
5 Návrh desky plošných spojů 25
5.1 Umístění desky a rozmístění částí 25
5.2 Návrh desky 27
6 Závěr 29
7 Literatura 30
8 Příloha A – přiložené CD 31
9 Příloha B – schéma Napájecí části ..... **Chyba! Záložka není definována.**
10 Příloha C – schéma Analogové a digitální části 1 ..... **Chyba! Záložka není definována.**

11 Příloha D – schéma Analogové a digitální části 2 ..... **Chyba! Záložka není definována.**

12 Příloha E – schéma Výkonové části ..... **Chyba! Záložka není definována.**

Seznam obrázků a tabulek

Obrázky

2.1 Schéma lineárního spalovacího motoru 7
2.2 Blokové schéma řídicího systému LCE 8
2.3 Stávající struktura řízení LCE 9
2.4 Modernizovaná struktura řízení LCE 10
3.1 Fyzické vyobrazení MicroAutoBoxu 11
3.2 Fyzické rozměry MicroAutoBoxu 13
4.1 Typické zapojení obvodu LM2576 15
4.2 Blokové schéma obvodu LM2576 16
4.3 Typické zapojení obvodu LM2576 jako invertoru napětí 16
4.4 Princip funkce senzoru polohy LIMES L1 18
4.5 Vnitřní schéma zapojení obvodu PC844 19
4.6 Vnitřní schéma zapojení obvodu 6N136 19
4.7 IGBT tranzistor IRF540 a jeho hlavní parametry 20
4.8 Vnitřní schéma zapojení obvodu TLP250 a jeho pravdivostní tabulka 20
4.9 Vnitřní schéma zapojení obvodu DRV102F 21
4.10 Časový diagram funkce integrovaného obvodu DRV102F 22
5.1 Obrys navrhované desky a její umístění vzhledem k MicroAutoBoxu 24
5.2 Rozložení jednotlivých částí na desce plošných spojů 25

Tabulky

3.1 Výkonové vstupy a výstupy MicroAutoBoxu 11
3.2 Digitální vstupy a výstupy MicroAutoBoxu 12
3.3 Analogové vstupy a výstupy MicroAutoBoxu 12
4.1 Požadavky na interface 14
4.2 Popis pinů integrovaného obvodu DRV102F 22
4.3 Nastavení PWM obvodu DRV102F 22
5.1 Tabulka pouzder integrovaných obvodů 26

1 Úvod

1.1 Popis práce

Hlavním úkolem této práce je návrh a realizace interface pro spojení vývojového systému MicroAutoBox firmy dSPACE s lineárním spalovacím motorem LCE 02. Vytvořený interface bude součástí projektu lineárního spalovacího motoru vyvíjeného na Katedře řídicí techniky Fakulty elektrotechnické ČVUT ve spolupráci s Výzkumným centrem spalovacích motorů a automobilů Josefa Božka.

1.2 Lineární motor

Princip lineárního motoru je znám již několik desetiletí a jeho výstupem je posuvný pohyb. K jeho rozvoji došlo až v posledních letech vlivem pokroku v technice. Tento motor lze nalézt ve výrobních linkách, kde se užívá např. k posunu materiálu. Spektrum jeho využití je obrovské.

Lineární motor je stroj přeměňující elektrickou energii na posuvný pohyb. Přidáme-li na každou stranu píst, ve kterém se spaluje palivo, získáme tím stroj na výrobu elektrické energie. Na spojovací tyč umístíme magnety, které se pohybují v magnetickém poli cívek a jejich kmitavý pohyb vede k tvorbě elektrické energie podle tzv. Faradayova zákona. Jeho princip je stejný jako u známé „třepací baterky“.

Jelikož motor neobsahuje klikový hřídel, nejsou konstrukčním uspořádáním vymezeny polohy horní úvratě a této koncepci se také často říká „motor s volnými písty“ (free piston engine).

2 Lineární spalovací motor

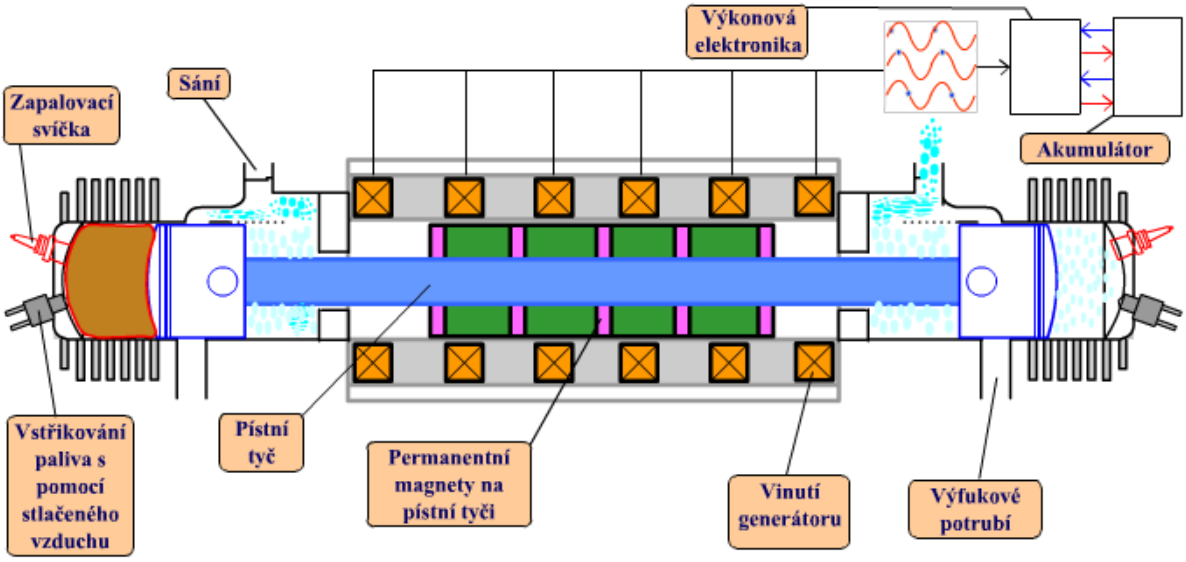
V této kapitole pojednávám o principu činnosti lineárního spalovacího motoru, zejména o jeho řízení. Širší popis této problematiky je uveden v [1] a [2].

Lineární spalovací motor (linear combustion engine – LCE) je stroj přeměňující energii kapalného paliva na elektrickou. Hlavní částí motoru je lineární motor-generátor a dva protilehlé písty. Všechny tyto části jsou uspořádány do jedné linie. Lineární motor nevykonává žádný rotační pohyb jako klasický spalovací motor, je zde pouze lineární pohyb. Velkou výhodou tohoto uspořádání je jeho mechanická jednoduchost, vedoucí k dlouhé životnosti mechanických částí motoru.

2.1 Princip činnosti

Během činnosti LCE je píst např. na levé straně urychlován výbuchem paliva v levém válci na pravou stranu. Uvolněná energie je spotřebována na kompresi nasátého vzduchu v pravém válci a dále je spotřebována mechanickými ztrátami. Poslední část uvolněné energie je odvedena ve formě elektrické energie z vinutí generátoru. Celý cyklus se periodicky opakuje.

Elektrická energie je užita jako startovací při spouštění LCE a je užita v případě vynechání zápalu směsi v jednom válci. Schéma lineárního motoru je zobrazeno na obrázku 2.1.



Obr. 2.1: Schéma lineárního spalovacího motoru

2.2 Řídicí systém

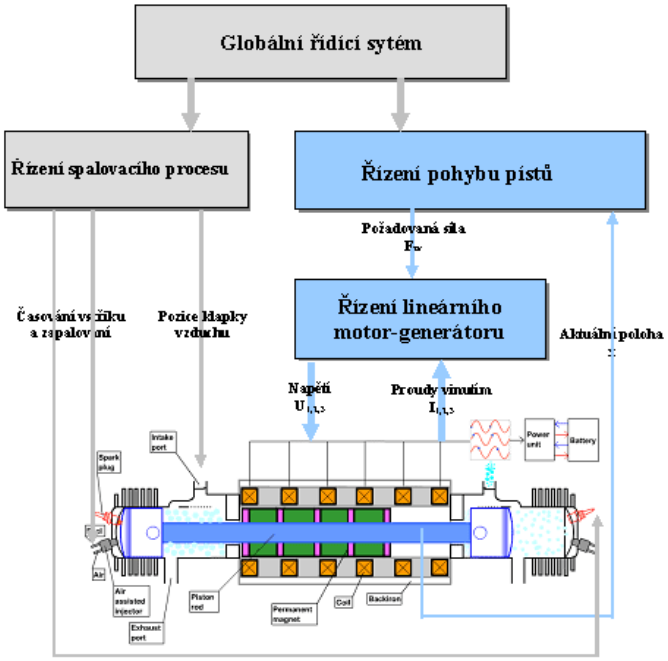
Lineární spalovací motor neobsahuje klikový hřídel, což je na jednu stranu výhodné z hlediska mechanické konstrukce, ale na druhou stranu to velice komplikuje řízení. Běžný zážehový spalovací motor je schopen trvale pracovat bez velkých nároků na řízení. Pro zajištění jeho trvalého chodu stačí pouze tyto 3 podmínky:

- Vhodné nastavení škrticí klapky (definuje množství nasávaného vzduchu)
- Odpovídající množství paliva
- Správně generované pulzy pro zapálení směsi skrze zapalovací svíčku

Jsou-li splněny tyto 3 základní podmínky je motor schopen dlouhodobě pracovat. Při vynechání jednoho zápalu směsi se ztracená energie doplní z energie uložené v setrvačníku. U LCE je však řízení komplikovanější. Pokud by na jedné straně nedošlo k zápalu směsi, narazil by píst do hlavy motoru a je nutné podniknout adekvátní zásah vedoucí k udržení chodu motoru.

Při řízení je nutný rychlý a přesný snímač polohy. V tomto motoru je užit magnetický senzor polohy Limes L1 od firmy Kübler (technická specifikace tohoto senzoru je na CD, viz příloha A) a je zapojen na vstup čítače řídicího systému. Pomocným senzorem polohy je optická závora generující pulsy při projetí pístní tyče kolem referenční značky.

Z popisu činnosti lineárního spalovacího motoru vyplývá komplexnost jeho řízení, které nelze uskutečnit mechanickými prostředky, ale pouze programově elektronickými prostředky. Blokové schéma řídicího systému je naznačeno na obr. 2.2. Informačním vstupem pro řídicí jednotku je aktuální poloha pístní tyče. Hlavní prostředky ovlivňující činnost motoru jsou regulovaný odběr elektrické energie, poloha zápalu směsi a množství paliva. Regulovaný odběr elektrické energie z vinutí generátoru je řízen řídicí jednotkou skrze výkonový můstek, jenž je složen z tranzistorů IGBT. Odběr elektrické energie musí být přesně řízen tak, aby se na konci cyklu píst zastavil přesně v horní úvrati a nebylo nutno zajišťovat dodatečné stlačení směsi.

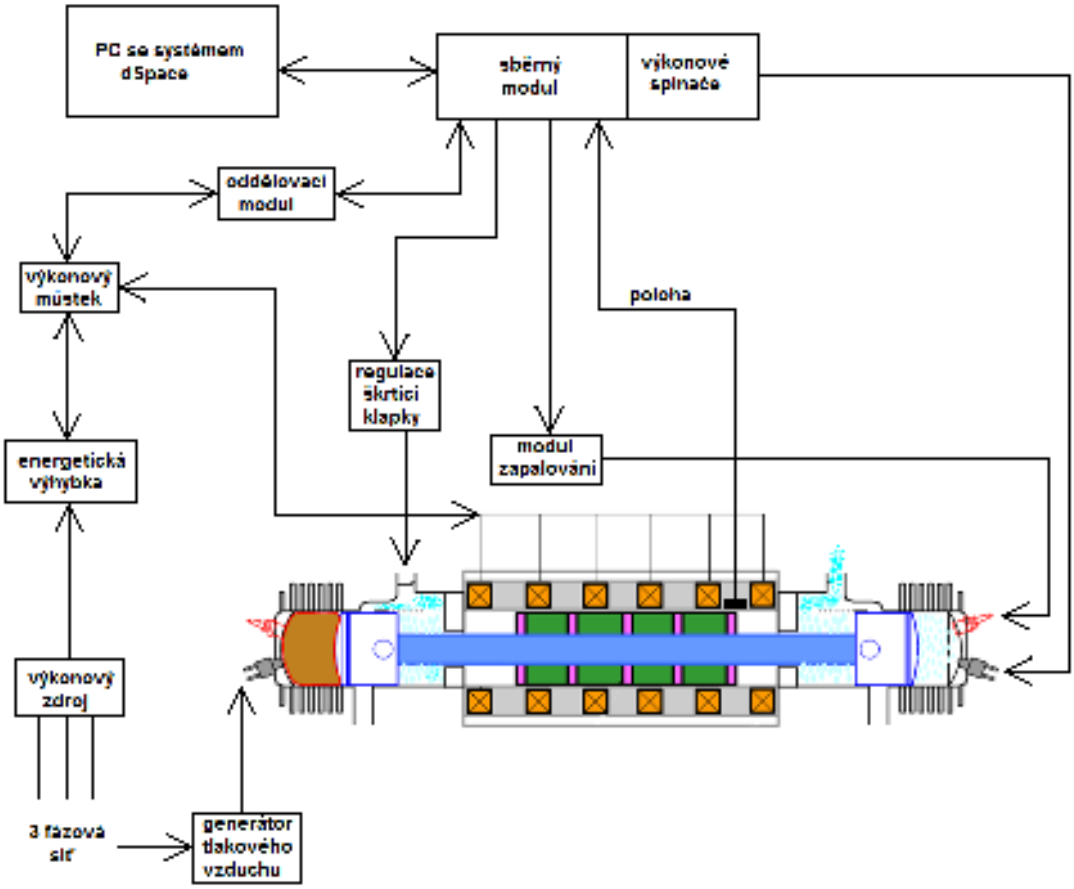


Obr. 2.2: Blokové schéma řídicího systému LCE

2.3 Prototyp lineárního spalovacího motoru LCE 02

LCE je představován jako dvoutaktní dvouválcový spalovací motor. Prototyp LCE využívá dvou válců o objemu 50ccm s přímým vstřikem paliva. Tyto válce jsou ze skútru Aprillia SR 50 a jsou u prototypu LCE 02 chlazeny vodou. Lineární motor-generátor je výrobkem společnosti VUES a autorem návrhu je Doc. Ing. Ondřej Vysoký, CSc.

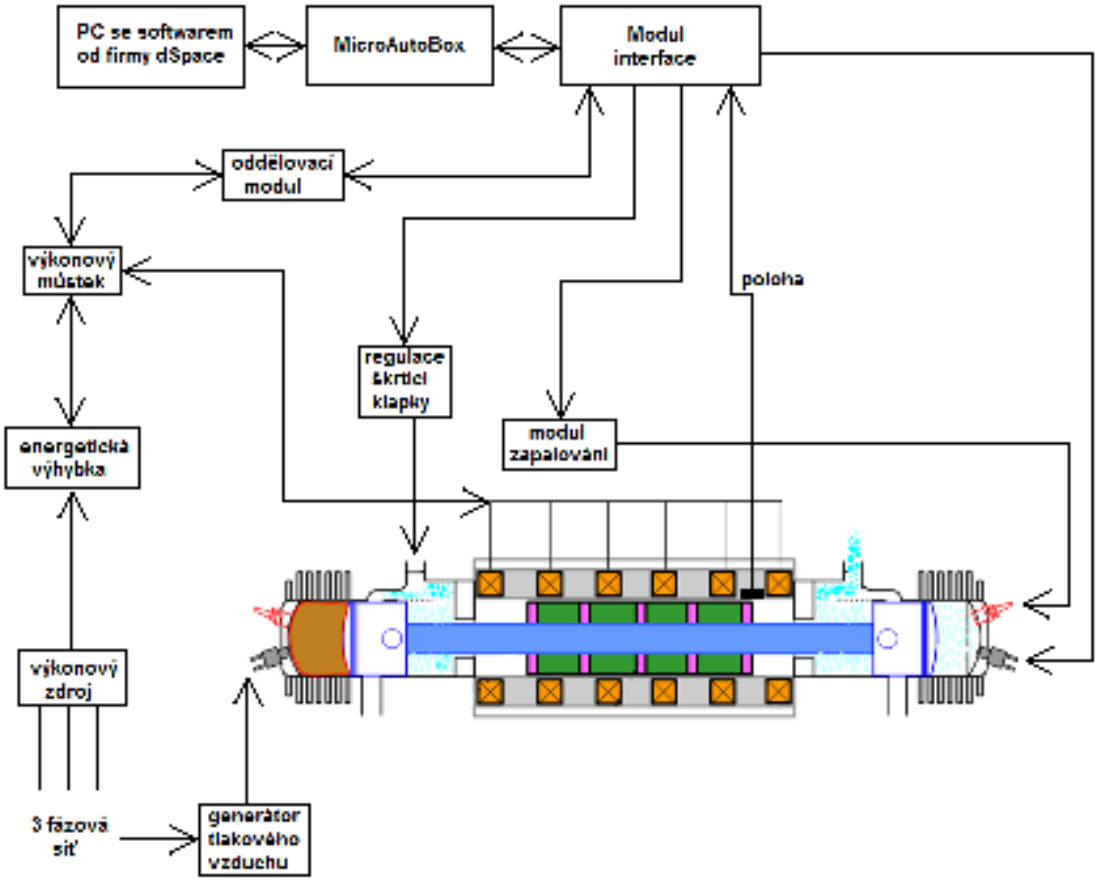
Blokové schéma stávající struktury řízení je na obr. 2.3. Celý systém (dle [2]) je řízen průmyslovým počítačem. Ten má několik vstupních kanálů pro měření a výstupních pro řízení. Tento počítač je propojen s počítačem pracovním. Z pracovního počítače jsou nahrávány řídicí programy do průmyslového počítače a naopak z průmyslového přenášena naměřená data do pracovního počítače. Algoritmy regulátoru jsou vytvořeny v prostředí Matlab-Simulink. Schéma tohoto regulátoru se nechá přeložit a nahrát do průmyslového počítače. Po překladu zdrojového kódu dojde k jeho nahrání a spuštění v průmyslovém počítači.



Obr. 2.3: Stávající struktura řízení LCE

Stávající struktura řízení takto funguje 7 let. Dnes už firma dSpace poskytuje stejně výkonné zařízení v kompaktnějším provedení. Právě kompaktnost byla hlavním důvodem zakoupení nové řídicí jednotky od firmy dSpace. Tuto jednotku označuje výrobce názvem MicroAutoBox (dále AutoBox) a blíže o ní pojednávám v následující kapitole. Samotná řídicí jednotka nemůže řídit celý systém. K tomuto je třeba vytvořit modul rozhraní (interface), který zajistí napájení AutoBoxu, galvanická oddělení, ochrany a výkonové spínače. Návrhu tohoto modulu, který je nosným tématem této bakalářské práce, se věnuji v samostatné kapitole.

AutoBox spolu s navrženým interface bude ve finále tvořit nový řídicí systém LCE. Blokově je naznačena nová struktura řízení na obr. 2.4. Nahrazeny budou sběrný modul s výkonovými spínači a PC se systémem dSpace.

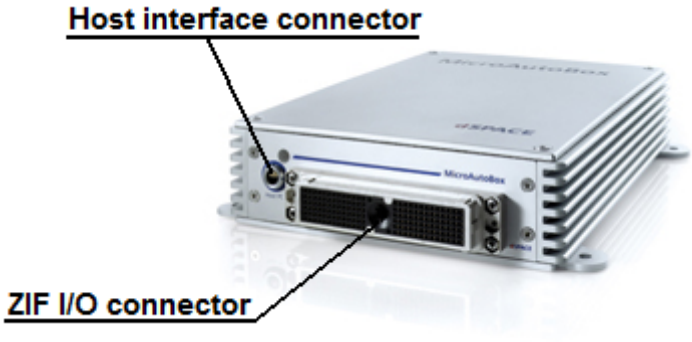


Obr. 2.4: Modernizovaná struktura řízení LCE

3 MicroAutoBox

V této kapitole stručně popisuji řídicí jednotku MicroAutoBox od firmy dSpace. Nekladu si za prioritu zde vypsat všechny informace týkající se MicroAutoBoxu. Kompletní technická specifikace je uvedena v [3]. A základní popis lze nalézt také ve [4].

AutoBox je real-time systém pro vykonávání rychlých funkcí, který může operovat bez uživatelského zásahu. Jedná se o kompaktní, nezávislou řídicí jednotku, která se využívá k vývoji, testování a optimalizaci řídicích algoritmů v reálném čase. AutoBox disponuje rozhraními CAN, LIN a K/L-Line. Jeho robustní a kompaktní design je navržen pro instalaci do automobilů. Program je uložen v energeticky nezávislé paměti a rozběhne se po připojení napájecího napětí. Notebook nebo PC se může připojit dodatečně např. pro nahrání nového programu, či pro analýzu dat. Na obr. 3.1 je vyobrazen AutoBox a jeho konektory. Na obrázku si můžeme všimnout 156 - ti pinového ZIF konektoru, který slouží k napájení a kompletní komunikaci s řízeným systémem. Další konektor je Host interface connector sloužící k připojení PC nebo notebooku. Počítač se připojuje skrze dodávaný kabel a PCMCIA kartu.



Obr. 3.1: Fyzické vyobrazení MicroAutoBoxu

3.1 Napájení MicroAutoBoxu

Napájecí napětí AutoBoxu je od 6V do 40V s tím, že AutoBox má ochranu proti připojení vysokého napětí i proti opačné polaritě. Jeho typické napájení je 12-14V. Napájí se skrze ZIF konektor, který pro toto obsahuje výkonové vstupy a výstupy, které jsou uvedeny v následující tabulce.

Signál	Popis
VBAT	K připojení kladného potenciálu napájecího napětí. Zapojují se 2 piny na plus automobilové baterie.
GND	K připojení nulového potenciálu a zároveň slouží jako reference pro všechny vstupy a výstupy. Zapojují se 2 piny na mínus automobilové baterie. Tento signál je také připojen na šasi AutoBoxu.
VDRIVE	Tento vstup určuje logickou úroveň všech digitálních vstupů a výstupů. • Pokud se připojí k signálu VSENS, nastaví se tím TTL-kompatibilní logické úrovně • Připojí-li se k VBAT prot, nastaví se logické úrovně na úroveň napájení
VSENS	Napájení digitálních vstupů/výstupů. Může se připojit k VDRIVE.
VBAT prot	Napájení digitálních vstupů/výstupů. Může se připojit k VDRIVE.

Tab. 3.1: Výkonové vstupy a výstupy MicroAutoBoxu

Pro účely připojení k lineárnímu spalovacímu motoru jsem rezervoval 3 piny pro kladný potenciál napájení a 3 piny pro záporný potenciál napájení. Mezi těmito piny je ještě připojen filtrační kondenzátor o kapacitě 1000µF. Pin VDRIVE je propojen s pinem VSENS, což zajistí TTL kompatibilní logické úrovně digitálních vstupů a výstupů. Posledním pinem, který souvisí s napájením a o kterém jsem se dosud nezmiňoval, je pin REMOTE. Ten je natrvalo propojen s pinem VBAT a slouží jako startovací signál celého AutoBoxu.

3.2 Digitální vstupy a výstupy

AutoBox disponuje velkým množstvím nejrůznějších digitálních vstupů a výstupů. Jejich seznam je shrnut v následující tabulce.

Signál	Výchozí stav	Popis
CTM ch 1-4	-	Vstupy pro měření frekvence nebo šířky pulsu s pull-up rezistorem.
Group 6 ch 1-6	-	Standardní digitální vstupy s pull-up rezistorem.
TPU ch 1-16	-	Tyto vstupy jsou připojeny na interní Time Processing Unit. Na tyto vstupy se připojuje management motoru.
Group 2 ch 1-8	-	Standardní digitální vstupy s pull-up rezistorem.
Group 5 ch 1-8	-	Standardní digitální vstupy bez pull-up rezistoru. Jejich druhotná funkce je převod analogového signálu na digitální.
Group 4 ch 1-8	-	Stejně jako digitální vstupy Group 5.
Group 1 ch 1-7	Low	Standardní digitální výstupy.
CTM ch 1-8	High	PWM výstupy.
Group 6 ch 1-8	High	Standardní digitální výstupy.
TPU ch 1-16	High	Výstupy Time Processing Unit. Mohou buď ovládat kompletní management motoru, nebo generovat PWM.
Group 2 ch 1-8	High	Standardní digitální výstupy.
Group 3 ch 1-3	Low	Standardní digitální výstupy.

Tab. 3.2: Digitální vstupy a výstupy MicroAutoBoxu

3.3 Analogové vstupy a výstupy

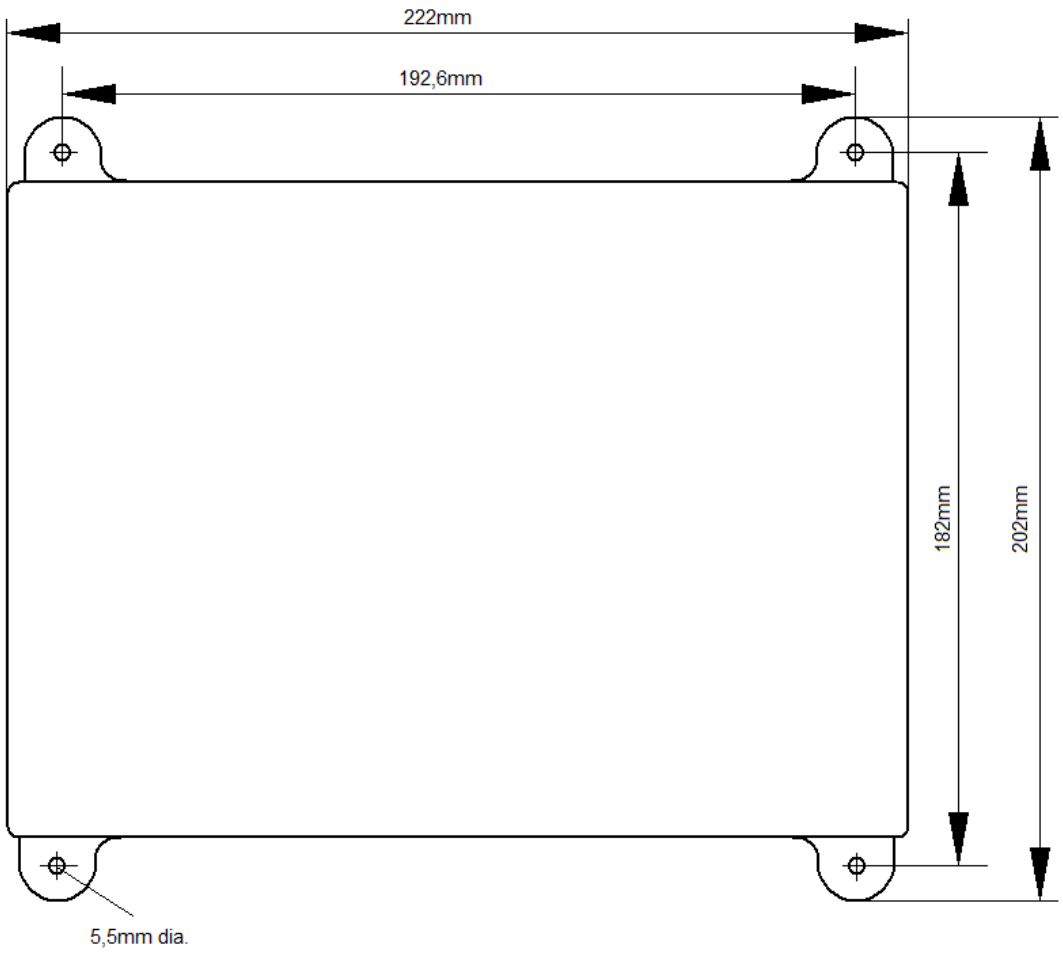
AutoBox disponuje jedním druhem analogových vstupů a jedním druhem analogových výstupů. Jejich popis je shrnut v následující tabulce.

Signál	Výchozí Stav	Popis
ADC type 1 ch 1-16	-	Standardní analogové vstupy. Jsou konvertovány 12 - ti bitovým A/D převodníkem.
DAC1 – DAC8	-	Standardní analogové výstupy. Použit 12 - ti bitový D/A převodník

Tab. 3.3: Analogové vstupy a výstupy MicroAutoBoxu

3.4 Fyzické parametry

Mezi hlavní fyzické parametry patří velikost a hmotnost. Jak jsem již uvedl, fyzické provedení AutoBoxu ho předurčuje k montáži do automobilů, tedy do prostředí, kde je vlhkost, prach a velké kolísání teplot. Fyzické rozměry jsou uvedeny na obr. 3.2. Hmotnost AutoBoxu je bez externích kabelů do 2kg.



Obr. 3.2: Fyzické rozměry MicroAutoBoxu

4 Návrh zapojení interface

V této kapitole pojednávám o požadavcích na interface, návrhu schématu a jeho popisu. Jako návrhový software jsem použil OrCAD verze 15.7, konkrétně jeho část OrCAD Capture. Pro seznámení s tímto návrhovým systémem jsem použil [6].

4.1 Požadavky na interface

Jak jsem již popsal v kap. 2.3, je nutné při návrhu interface zajistit kompatibilitu se stávajícím zařízením (oddělovacím modulem pro výkonový můstek, modulem zapalování, modulem řízení škrticí klapky a modulem na odměr polohy) a vytvořit vstupy/výstupy pro moduly s jejichž využitím se do budoucna počítá. Požadavky na interface jsou shrnuty v tab. 4.1. Konektory, které budou stejné:

- CAN25 pro ovládání výkonového můstku
- CAN9 pro snímání proudu procházejícího vinutím generátoru
- CAN9 pro odměr polohy

Počet I/O	Popis	Konektor
5 x output D	Ovládání solenoidových ventilů paliva, vzduchu a oleje	Svorkovnice
8 x output D 1 x input D	Ovládání výkonového můstku a chybové stavy můstku	CAN25
4 x input A	Snímání proudu z proudových sond	CAN9
4 x output D	Výkonové výstupy	Svorkovnice
8 x output D	Digitální výstupy	Svorkovnice
8 x input D	Digitální vstupy	Svorkovnice
8 x input A	Analogové vstupy	CAN15
4 x output D 4 x input A	Ovládání budoucího modulu na měření teplot	CAN15
1 x output A	Ovládání škrticí klapky	Svorkovnice
8 x input D	Vstupy z modulu odměru polohy	CAN9

Tab. 4.1: Požadavky na interface

Interface bude napájen napětím o velikosti 12-14V. Na desce se musí vytvořit stabilizované napětí o velikostech +5V, +12V a -12V. Ve schématu jsem zavedl jednotné označení pro napájení, a to:

- VIN…napájecí napětí interface
- VIN_VALVE…napájení budičů ventilů
- +5V…napájení integrovaných obvodů
- +12V…napájení operačních zesilovačů
- -12V…napájení operačních zesilovačů

Po sečtení všech vstupů a výstupů a přičtení napájecích vstupů pro AutoBox jsem se rozhodl, že přímé propojení desky interface s konektorem ZIF uskutečním skrze dva 50 – ti pinové konektory CANNON.

Dále jsem zavedl jednotné značení všech vstupů a výstupů. První písmeno je malé a udává nám, zda se jedná o vstup (i – input), nebo výstup (o – output) – bráno z hlediska AutoBoxu.

Další písmenko je velké a určuje, jestli ten daný vstup/výstup je digitální (D – digital) nebo analogový (A – analog). Ostatní velká písmenka určují už název daného vstupu/výstupu. Uvedu 2 příklady:

- **iDFAULT**.....digitální vstup s názvem FAULT
- **oAKL**.....analogový výstup s názvem KL

Schéma jsem dále pro lepší orientaci a z důvodu jeho obsáhlosti rozdělil na následující 3 celky:

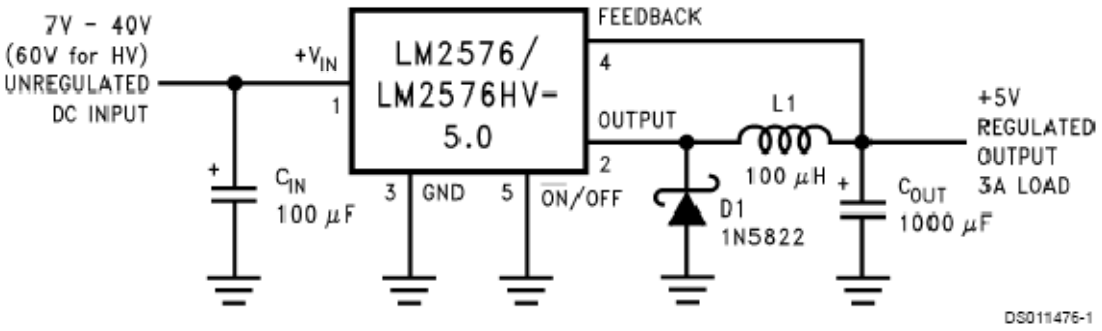
1. **Napájecí část**..... v této části jsou stabilizátory napětí stabilizující vstupní napětí na požadovanou úroveň
2. **Analogová a digitální část**..... tato část obsahuje analogové a digitální vstupy a výstupy pro nevýkonové aplikace
3. **Výkonová část**.....tato část obsahuje výkonové digitální výstupy pro ventily a další zařízení

4.2 Napájecí část

Tato část obsahuje stabilizátory, které ze vstupního napětí (VIN) vyrábí požadovaná napětí (+5V, +12V a -12V). Napájení se přivádí na svorkovnici J1. Na pin 1 se připojí minus napájecího zdroje a na piny 2 nebo 3 se připojí plus. Piny mohou být v případě potřeby zkratovány pomocí konektoru J28, který tvoří 2 plošky, na něž se v případě potřeby napájí cín a tím vytvoří vodivý kontakt. Konektor J1 obsahuje dva vstupy pro kladný potenciál napájení z důvodu potřeby vyššího napětí pro výkonové výstupy.

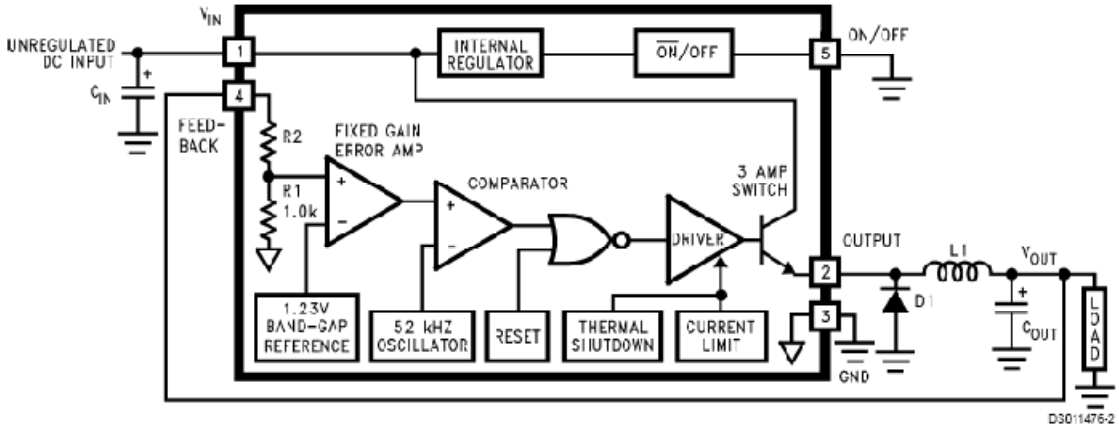
V horní větvi je pojistka 4A a za ní je vyvedeno napájení VIN. Svorkovnice J27 slouží k propojení VIN a VIN_VALVE, nebo připojení jiného napětí na VIN_VALVE. Spodní větev obsahuje cívku L1 sloužící k filtraci rušení, dále pojistku 1A a transil D55. Za obě pojistky jsou zapojeny LED diody indikující nepřerušenost pojistky.

Za pojistku F2 jsou zapojeny paralelně tři bloky (bloky odpovídají jednotlivým integrovaným obvodům a to: blok 1 – U1, blok 2 – U2 a blok 3 – U3), vyrábějící požadované úrovně napájení. Jako stabilizátor jsem použil obvod LM2576. Ten je schopen dodávat proud 3A při požadovaném výstupním napětí. Jeho výhodou oproti klasickým stabilizátorům 78xx je to, že je spínaný, což vede k daleko menším tepelným ztrátám a může se aplikovat menší chladič, než u 78xx. Typické zapojení je zobrazeno na obr. 4.1.



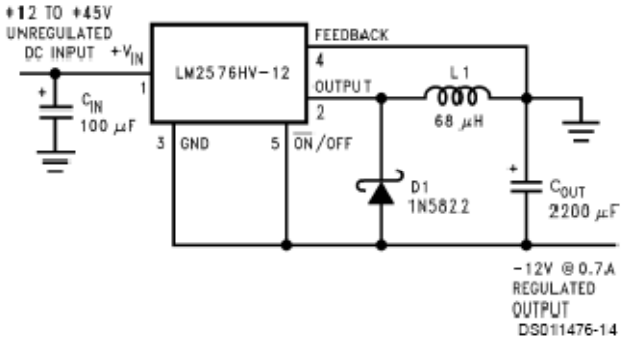
Obr. 4.1: Typické zapojení obvodu LM2576

Obvod pracuje jako klasický spínaný zdroj podle blokového diagramu na obr. 4.2. Sepne-li výstupní tranzistor, začne protékat proud obvodem L1-C_{out}. Po vypnutí tranzistoru tento proud převezme dioda D1. Z výstupu je zavedena zpětná vazba na odporový dělič a na operační zesilovač, který porovnává napětí z děliče s referenčním napětím. Signál z operačního zesilovače je přiveden na komparátor, jehož druhý vstup je oscilátor 52kHz. Dále je signál přiveden přes hradlo na ovladač výstupního tranzistoru. Součástí obvodu je ještě ochrana před nadměrným proudem a nadměrnou teplotou obvodu.



Obr. 4.2: Blokové schéma obvodu LM2576

Obvod LM2576 dovede i vyrobit ze vstupního napětí opačně polarizované napětí. Toho je využito v třetím bloku, kde se ze vstupního napětí vyrábí napětí -12V. Typické zapojení je zobrazeno na obr. 4.3. Zapojení vypadá stejně, jako u bloku 2 s tím rozdílem, že výstup je přiveden na zem a na pinu GND obvodu je napětí -12V.



Obr. 4.3: Typické zapojení obvodu LM2576 jako invertoru napětí

Druhý blok, jehož výstupem je napětí +12V, je doplněn přepínačem S3, který určuje, zda se bude napětí +12V brát přímo z napájecího napětí (tudíž blok 2 zůstane neosazen), nebo ze stabilizátoru. Přepínač S3 je pouze rezerva a je realizován jako 3 pájecí plošky, z nichž se dvě propojí cínem.

Všechny napěťové výstupy jsou doplněny LED diodami, indikující, zda je stabilizátor v pořádku a funkční. Kompletní schéma napájecí části je v příloze B.

4.3 Analogová a digitální část

V analogové a digitální části jsou zahrnuty obvody sloužící k ovládání modulů LCE a měření požadovaných veličin. Na tomto schématu jsou konektory J2 a J8, které složí k propojení s AutoBoxem. Vzhledem k tomu, že je tato část obsáhlá, vyčlenil jsem jí 2 stránky formátu A3 a označil je čísly 1 a 2. Popis zapojení rozdělím podle výstupních konektorů (ve schématu na pravé straně). Kompletní schémata jsou uvedena v příloze C a D.

4.3.1 Analogová a digitální část 1

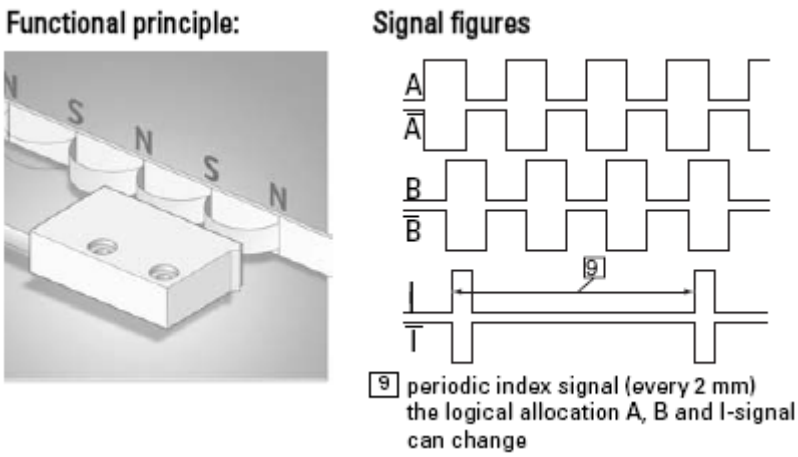
Konektor J3 je 25 – ti pinový konektor CANNON. Jeho výstupem jsou ovládací povely pro výkonový můstek, ovládající LCE. Digitální výstupy L1-L3 a H1-H3 jsou výstupy pro IGBT tranzistory můstku. Galvanické oddělení výstupu je již provedeno ve výkonovém můstku. Je zde užit integrovaný obvod 4050 (data sheet v příloze na CD), který slouží jako budič sběrnice. Řídicími signály můstku jsou signály SD a FTCLR. Signál SD přepne budící obvod IGBT tranzistorů do stavu FAULT, který rozpojí všechny ovládané tranzistory. Signál FTCLR přepíná ze stavu FAULT do provozního stavu. Oba tyto signály se dají buď nastavovat AutoBoxem, nebo tlačítky SW1 a SW2. Posledním signálem, který je na rozdíl od ostatních vstupní, je signál FAULT, který indikuje stav můstku. Stav FAULT může řídicí obvod ovládaných tranzistorů vyvolat sám vlivem např. proudového přetížení.

Konektor J4 je 9 – ti pinový konektor CANNON. Obsahuje 4 analogové vstupy, které odpovídají proudům tekoucím v jednotlivých větvích generátoru a celkovému proudu. Tyto vstupy jsou přímo zavedeny na analogové vstupy AutoBoxu (ochrany jsou již provedeny v oddělovacím modulu).

Konektor J5 je 15 – ti pinový konektor CANNON. Tento konektor bude ovládat budoucí modul na měření teplot na LCE. Obsahuje 4 analogové vstupy sloužící k indikaci teploty. Ty jsou chráněny odporem a dvojicí diod. Při překročení napětí +5V je otevře dioda a zamezí většímu napětí na vstupu AutoBoxu. Druhá dioda je zapojena na zem a brání zápornému napětí na vstupu AutoBoxu. Digitální výstupy jsou opatřeny budičem 4050. Digitální výstupy budou sloužit k multiplexování analogových vstupů, abychom mohli mít jejich dostatek.

Konektor J6 je 15 – ti pinový konektor CANNON. Slouží jako vstupní konektor pro analogové vstupy. Ochrana těchto vstupů je stejná jako u analogových vstupů na konektoru J5. Tyto vstupy jsou rezerva.

Konektor J7 je 9 – ti pinový konektor CANNON. Jsou v něm zavedeny senzory pro měření polohy pístní tyče. Prvním senzorem polohy je inkrementální senzor LIMES L1 (data sheet na CD). Na pístní tyči je nalepen magnetický pásek pohybující se s ní. Pohyb magnetického pásku čidlo zaznamenává a jeho výstupem jsou obdélníkové signály A a B. Dalším signálem je signál I, který se vysílá každé 2 mm. Tento signál nepoužíváme. Funkční princip a ukázka signálu jsou na obr. 4.4.



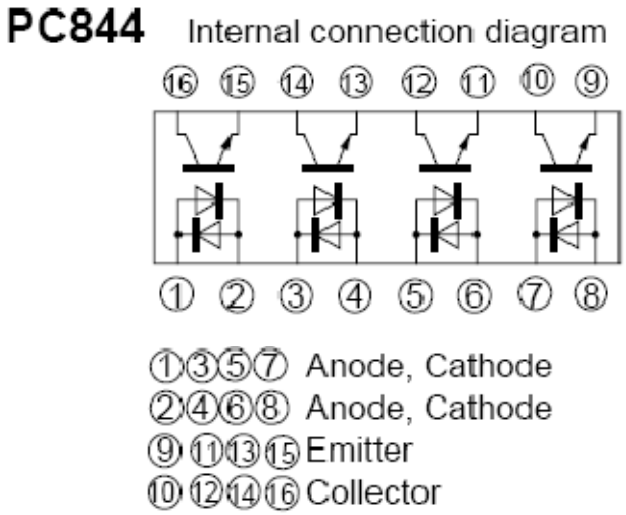
Obr. 4.4: Princip funkce senzoru polohy LIMES L1

Výstup senzoru se posílá skrze sběrnici RS 422. Tato sběrnice je stejná jako sběrnice RS 485 s tím rozdílem, že užití sběrnice RS 422 se omezuje pouze na komunikaci mezi dvěma zařízeními. Výstup z konektoru je přiveden přes zakončovací odpory vedení do převodníku MAX485. Ten je zapojen jako přijímač a jeho výstup je přiveden do AutoBoxu.

Druhý senzor polohy je optická závora, jejímž výstupem je údaj o tom, zda je pístní tyč na pravé nebo levé straně. Výstup senzoru je přiveden přes ochranné diody do budiče 4050 a dále do AutoBoxu.

4.3.2 Analogová a digitální část 2

Konektory J11-J13 jsou svorkovnice s roztečí 3,5 mm. Přes ně jsou přivedeny digitální vstupy pro AutoBox. V požadavku na interface je možnost si pomocí jumperu zvolit, jestli vstupy budou spínány proti zemi nebo proti +5V. Možnost volby je jednotná vždy pro čtveřici vstupů, což při osmi vstupech dává 2 jumpery. Jako galvanické oddělení jsem zvolil obvod PC844 (data sheet na CD) od firmy Sharp. Tento obvod vychází ze série PC814 (PC814 – 1 kanál, PC824 – 2 kanály, PC844 – 4 kanály v jednom pouzdře). Vnitřní schéma zapojení je na obr. 4.5. Vzhledem k tomu, že je požadovaná případná změna polarity spínání, je nutné, aby na vstupu byly 2 fotodiody, každá pro jeden směr proudu. Tuto vlastnost má právě zvolený obvod PC844.

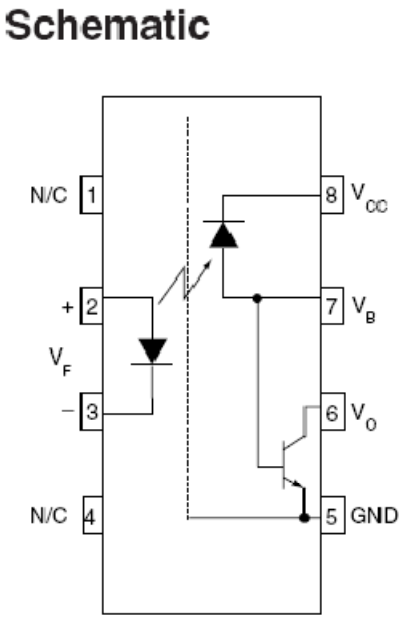


Obr. 4.5: Vnitřní schéma zapojení obvodu PC844

Konektor J14 je svorkovnice s roztečí 5,08mm. Je na ní vyvedeno napájecí napětí přímo ze zdroje.

Konektor J20 je svorkovnice s roztečí 5,08mm. Jsou na ní vyvedena napětí +5V, +12V a -12V. Slouží jako rezerva, která se užije v případě potřeby.

Konektory J17-J19 jsou svorkovnice s roztečí 3,5mm. Slouží jako digitální výstupy AutoBoxu. Jako galvanické oddělení je použit integrovaný obvod 6N136 (data sheet na přiloženém CD). Tento obvod může dosahovat přenosové rychlosti až 1Mbit/s. V požadavcích na interface je pro každou čtveřici možnost pull-up rezistoru na +5V nebo +12V. Při počtu osmi digitálních výstupů vycházejí 2 jumpery. Vnitřní schéma zapojení obvodu je na obr. 4.6. Přes tyto digitální výstupy budou posílány pulsy pro zapálení svíček ve válcích.



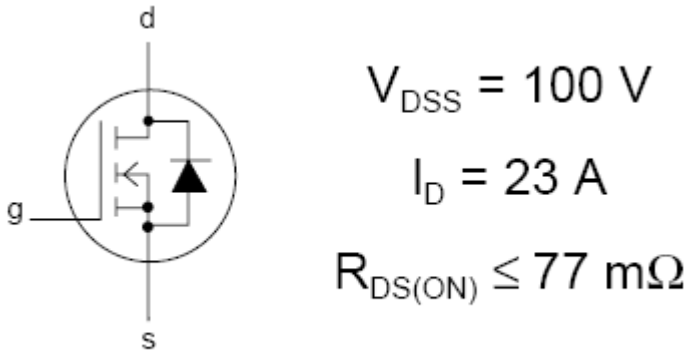
Obr. 4.6: Vnitřní schéma zapojení obvodu 6N136

Konektor J26 je svorkovnice s roztečí 3,5mm a je přes ní ovládaná škrtící klapka v sacím potrubí LCE.

4.4 Výkonová část

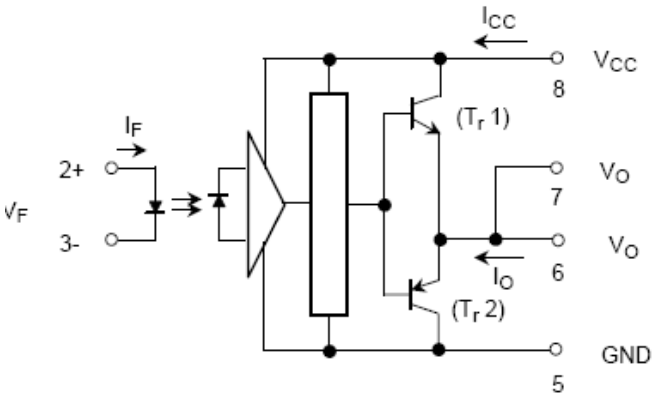
Dle požadavků na interface je ve výkonové části zahrnuto ovládání ventilů paliva, vzduchu a oleje a také výkonové výstupy sloužící ke spínání např. vodních pump a ventilátorů chladičů.

Konektory J21 a J22 jsou svorkovnice s roztečí 5,08mm. Přes ně jsou vyvedeny výkonové výstupy. Hlavním spínacím prvkem je IGBT tranzistor IRF540 (data sheet na přiloženém CD), jehož schematická značka a hlavní parametry jsou uvedeny na obr. 4.7. Tranzistor je zapojen tak, že spíná proti zemi a jeho kolektor je vyveden na svorkovnici. Spínané zařízení se zapojí na svorkovnici mezi svorky VIN a příslušný výstup.



Obr. 4.7: IGBT tranzistor IRF540 a jeho hlavní parametry

Jako galvanické oddělení je vybrán obvod TLP250 od firmy Toshiba (data sheet na přiloženém CD). Jeho hlavní výhodou je fakt, že v jednom obvodu je integrováno galvanické oddělení a zároveň budič IGBT tranzistorů. Vnitřní schéma zapojení a pravdivostní tabulka je zobrazena na obr. 4.8.

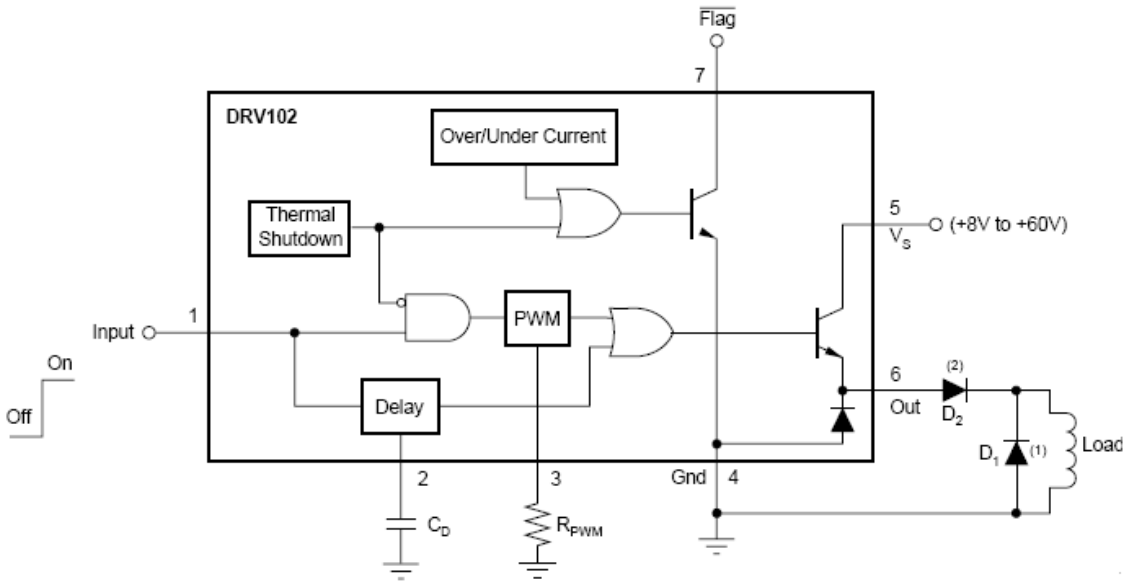


		Tr1	Tr2
Input LED	On	On	Off
	Off	Off	On

Obr. 4.8: Vnitřní schéma zapojení obvodu TLP250 a jeho pravdivostní tabulka

Konektory J23-J25 jsou svorkovnice s roztečí 5,08mm. Na nich jsou zapojeny budiče ventilů paliva, vzduchu a oleje. Ventil se dá jednoduše popsat jako elektromechanická soustava prvního řádu se svojí časovou konstantou. Při běhu motoru je třeba mu dodat přesně danou dávku paliva na jeden cyklus. Dávka paliva je přímo úměrná době otevření ventilu. Při pomalém chodu motoru je časová konstanta ventilu natolik krátká, že nám neovlivní množství paliva za jeden pracovní cyklus ventilu (otevření a opětovné zavření). Pří rychlejším chodu motoru se délka otevření ventilu blíží časové konstantě ventilu. Potom je vstříknuté množství paliva menší, než požadované.

Časovou konstantu ventilu není možné ovlivnit (je dána konstrukcí ventilu). Ovlivnit je možné strmost náběhu ventilu. Toho se dosahuje tím, že se na krátkou dobu přivede velké napětí a po předem definované době se přivede pracovní napětí, které drží ventil v otevřeném stavu. Jako vhodný řídicí obvod jsem vybral DRV102F od firmy Texas Instruments (data sheet na CD). Jeho vnitřní schéma zapojení je na obr. 4.9.

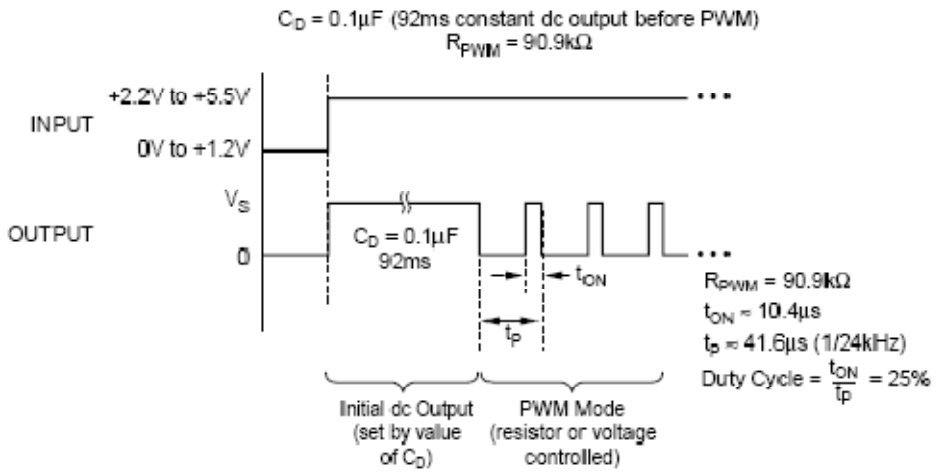


Obr. 4.9: Vnitřní schéma zapojení obvodu DRV102F

Hlavní parametry obvodu DRV102F jsou:

Napájecí napětí	8V – 60V
Výstupní proud	2,7A

Obvod DRV102F funguje tak, že při náběžné hraně na vstupu Input sepne výstupní tranzistor na dobu danou kondenzátorem C_D. Po uplynutí této doby obvod přejde do PWM určené rezistorem R_{PWM}. Tímto se zvětší strmost otevření ventilu a požadované množství paliva se přiblíží k reálnému. Časový diagram funkce je zobrazen na obr. 4.10.



Obr. 4.10: Časový diagram funkce integrovaného obvodu DRV102F

Popis jednotlivých pinů obvodu je shrnut v následující tabulce.

Pin	Název	Popis
Pin 1	Input	Vstupní signál kompatibilní s TTL úrovněmi.
Pin 2	Delay Adjust	Tímto pinem se nastavuje časové zpoždění plného otevření výstupního tranzistoru. Nastavuje se pomocí kondenzátoru pomocí vzorce: $delay = Cd * 10^6 [ms]$ $(Cd\ v\ jednotkach\ F)$
Pin 3	Duty Cycle Adjust (PWM)	Tímto pinem se nastavuje PWM obvodu. Ta se dá měnit podle tabulky 4.3, buď rezistorem nebo napětím.
Pin 4	Ground	Na tento pin se zapojí zem.
Pin 5	Vs	Napájecí pin a je přiveden na kolektor výstupního tranzistoru.
Pin 6	Out	Tento pin je výstupní a připojuje se k ventilu skrze 2 Schottkyho diody.
Pin 7	Flag	Slouží k indikaci chybových stavů obvodu.

Tab. 4.2: Popis pinů integrovaného obvodu DRV102F

Cyklus PWM [%]	Rezistor R_{PWM} [kΩ]	Napětí V_{PWM} [V]
10	536	3,67
20	137	3,31
30	66,5	2,91
40	39,2	2,49
50	24,9	2,07
60	16,2	1,66
70	10,5	1,26
80	6,65	0,88
90	4,42	0,56

Tab. 4.3: Nastavení PWM obvodu DRV102F

Obvod DRV102F má pin (viz. tab. 4.2), který indikuje chybový stav. Chybový stav se nastaví, jestliže překročí proud ventilu 3,4A nebo vystoupí teplota obvodu nad 150°C. Na tento pin jsem zapojil pull-up rezistor a přivedl na digitální vstup AutoBoxu.

Celé zapojení pro ovládání ventilů začíná obvodem 6N136, který slouží jako galvanické oddělení. Na kolektor tranzistoru v obvodu 6N136 je přiveden pull-up rezistor a dále invertor CMOS. Jedná se o hradlo 74HCT04, což značí rychlé hradlo CMOS TTL kompatibilní. Toto hradlo zároveň zlepšuje signál z tranzistoru v obvodu 6N136. Výstup z hradla je přiveden na vstup obvodu DRV102F. Napájecí napětí obvodu DRV102F je označeno jako VIN_VALVE a je vyvedeno na zvláštní svorkovnici. Výchozí hodnota tohoto napětí je napětí VIN. Důvod zvláštního vývodu napětí VIN_VALVE je ten, že můžeme přivést větší napětí a tím ještě urychlit spínání ventilu. Kondenzátor mezi vstupním napětím a zemí o velikosti 0,1µF slouží jako blokovací kondenzátor. Výstupní diody jsou Schottkyho diody 1N5822, jejichž proud v propustném směru je 3A.

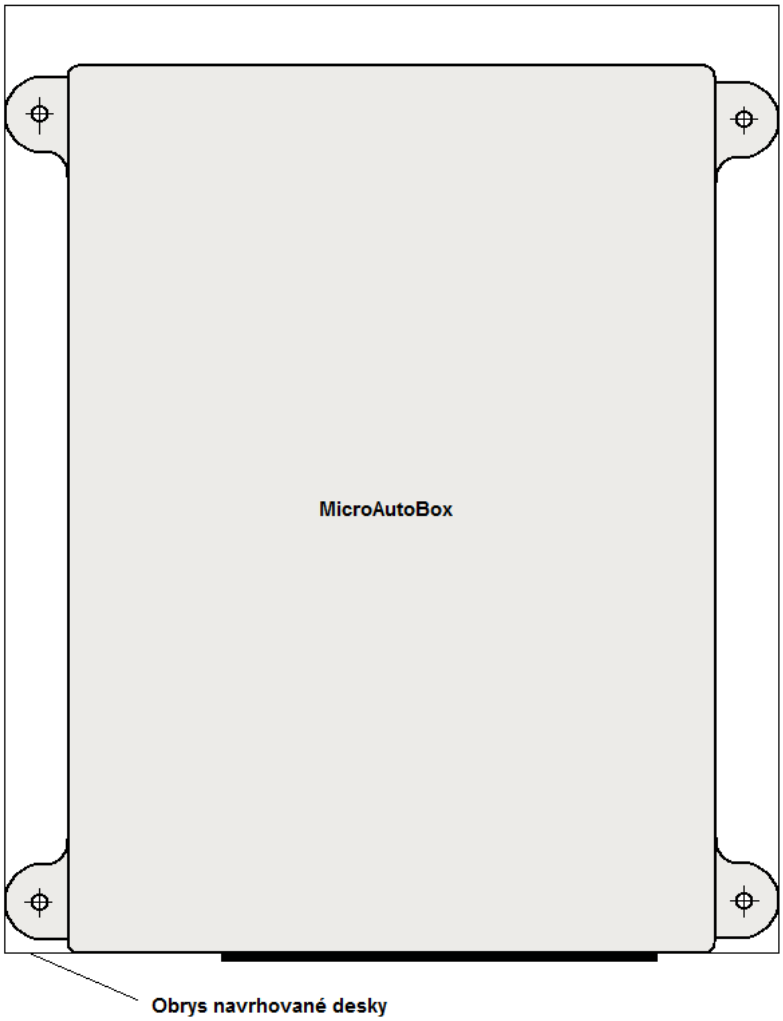
Kompletní schéma výkonové části je v příloze E.

5 Návrh desky plošných spojů

V této kapitole popíšu návrh desky interface. Jako návrhový software jsem použil OrCAD 15.7, zejména jeho součást OrCAD Layout. Při návrhu jsem se snažil dodržovat pravidla uvedená v [5].

5.1 Umístění desky a rozmístění částí

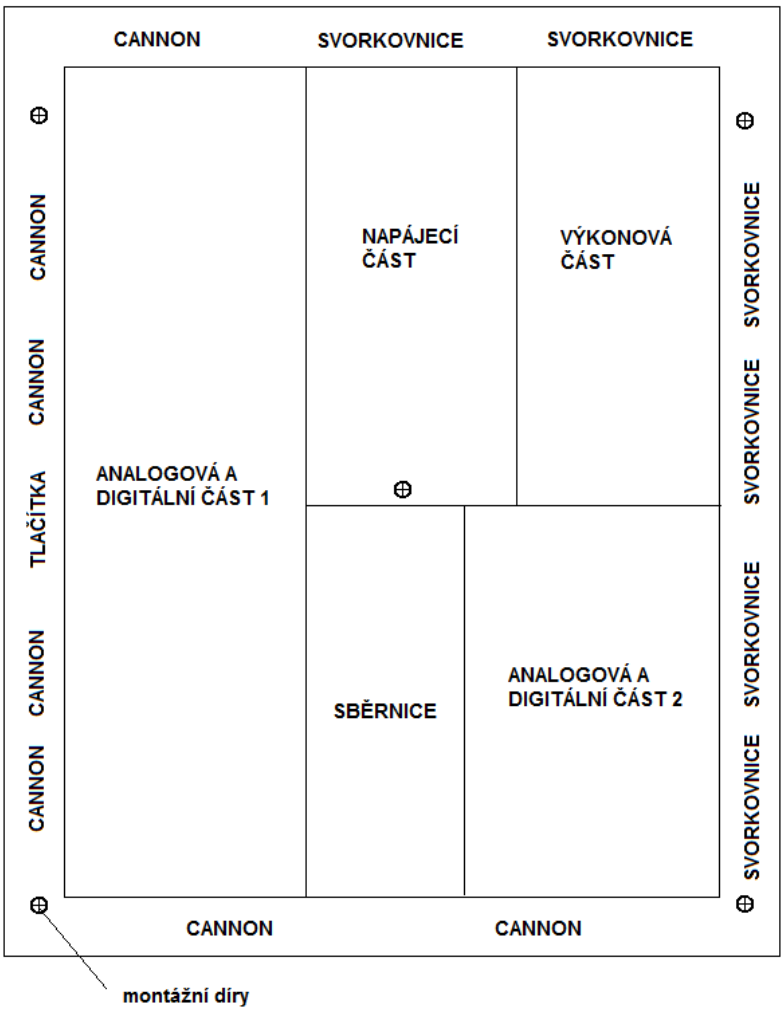
Deska interface je umístěna pod AutoBoxem na distančních sloupkách. Konektory CANNON, svorkovnice a bezpečnostní tlačítka jsou umístěny po stranách desky. LED diody sloužící k indikaci jsou rozmístěny k příslušným konektorům. Deska plošných spojů má podobné rozměry jako AutoBox (viz obr. 3.2). Půdorys je zobrazen na obr. 5.1. Deska je stejně široká jako AutoBox. Na délku ho přesahuje o 15mm. Přesah je tam z důvodu přístupu ke konektorům a z důvodu viditelnosti indikačních LED diod.



Obr. 5.1: Obrys navrhované desky a její umístění vzhledem k MicroAutoBoxu

Co se týče rozvržení jednotlivých částí na desce, tak jsem vycházel z umístění konektorů CANNON 50 (přímé propojení desky interface s AutoBoxem). Oba konektory jsem umístil co nejblíže ke konektoru ZIF AutoBoxu (z pohledu obr. 5.1 jsem je umístil na nejspodnější část desky – černý proužek představuje ZIF konektor AutoBoxu). Dále jsem se snažil dle [5] z důvodů rušení separovat části, kde tečou velké proudy od částí, kde takové proudy netečou.

Rizikové části z hlediska velkých proudů jsou napájecí část a výkonová část. Obě části jsem umístil vedle sebe do pravého horního rohu. Z umístění výkonové části vpravo nahoře logicky vychází, že konektor J8 (CANNON50) bude vpravo a konektor J2 (CANNON50) vlevo. Další blok, který je propojen s konektorem J8, je analogová a digitální část 2. Tu jsem umístil vpravo mezi konektor J8 a blok spínání ventilů. Analogovou a digitální část 1 jsem umístil vlevo a mezi ní a analogovou a digitální částí 2 jsem umístil sběrnici a napájecí vodiče. Bezpečnostní tlačítka jsem vložil ke konektoru J3, ke kterému se vážou. Rozložení jednotlivých částí je na obr. 5.2.



Obr. 5.2: Rozložení jednotlivých částí na desce plošných spojů

5.2 Návrh desky

V požadavku na interface bylo minimalizovat rozměry součástek. Z toho důvodu jsem u součástek, u kterých to jde, zvolil pouzdro SMD. Většina pouzder byla již v knihovnách Layoutu, některá jsem však musel vytvořit. Všechny rezistory mají pouzdro SMD0805, kondenzátory mají klasická pouzdra, která jsou běžně k dostání. Pouzdra cívek jsem zvolil toroidní provedení z důvodu minimálního rozptylu magnetického toku do okolí. V následující tabulce shrnu pouzdra integrovaných obvodů.

Součástka	Pouzdro
LM2576	TO 220-5
4050	SOP16
4011	SOP14
MAX485	SO8
PC844	DIP16
6N136	DIP8
TLP250	DIP8
74HCT04	SO14
DRV102F	TO 220-7

Tab. 5.1: Tabulka pouzder integrovaných obvodů

Rozmístění součástek jsem provedl dle obr. 5.2. U konektorů J2 a J8 bylo nutné upravit zapojení tak, aby docházelo k co nejmenšímu křížení vodičů. Deska plošných spojů je navržena jako oboustranná. Spoje jsou vedeny ve vrstvách TOP (vrstva součástek) a BOTTOM (vrstva spojů). Většina SMD součástek je ve vrstvě BOTTOM, některé jsem z důvodu lepší propojitelnosti umístil do vrstvy TOP.

Deska plošných spojů je navržena ve třídě přesnosti 4. Což odpovídá minimální tloušťce vodiče 12mil a minimální izolační vzdálenosti 12mil. Pro více zatížené spoje jsem šířku vodiče adekvátně upravil. Při návrhu jsem se snažil vycházet z návrhových pravidel uvedených v [5]. Jako hlavní pravidla bych zmínil:

- Jednobodové zemnění u spínaných zdrojů
- Blokování napájení pomocí kondenzátorů a jejich správné rozmístění
- Minimalizace proudových smyček

Blokování napájení je pomocí kondenzátorů. Dle [5] se blokovací kondenzátory rozdělují podle funkce:

- Filtrační – slouží jako širokopásmový filtr pro napájení celé desky nebo její části
- Lokální – slouží jako lokální zdroj energie pro součástky a redukuje impulzní proudy
- Skupinový – slouží jako zdroj energie pro současné nabíjení několika kapacitních zátěží

Každý stabilizátor má svůj filtrační kondenzátor o velikosti 1000µF nebo 2200µF. Jako blokovací kondenzátory jsem u integrovaných obvodů použil keramický kondenzátor o velikosti 100nF. U integrovaného obvodu DRV102F jsem jako blokovací kondenzátor použil elektrolytický kondenzátor o velikosti 0,1µF.

Dále jsem věnoval pozornost správnému umístění blokovacích kondenzátorů na desce plošných spojů a snažil jsem se dodržet tato pravidla:

- Kondenzátor musí být umístěn vždy na cestě mezi zdrojem a spotřebičem
- Veškeré spoje musí být navrženy tak, aby plocha proudových smyček byla co nejmenší
- Minimalizace impedancí spojů

6 Závěr

Bakalářská práce má dvě části. Jsou to návrh schématu interface a návrh a realizace desky plošných spojů interface.

Před návrhem schématu bylo nutné se seznámit se stávajícím řídicím systémem lineárního spalovacího motoru a způsobem komunikace mezi moduly. Dále bylo nutné se seznámit s MicroAutoBoxem z hlediska hardwarové struktury. Při kreslení schématu jsem začal od Napájecí části, pokračoval jsem Analogovou a digitální částí a nakonec byla Výkonová část. Při návrhu součástek jsem bral v úvahu jejich dostupnost v České republice. Toho bylo dosaženo u všech součástek kromě ovladače ventilů DRV102F. Ten se objednával ze zahraničí.

Po schválení schématu jsem pokračoval návrhem desky plošných spojů. Předtím ale bylo nutné všem součástkám přiřadit pouzdra. Koupil jsem proto z každé součástky jeden kus a přiřadil jim pouzdra z knihovny pouzder. Pouzdra, která nebyla v knihovně, bylo nutné vytvořit. Po přiřazení pouzder všem součástkám jsem vygeneroval soubor pro OrCAD Layout a mohl začít s rozmístěním součástek a s jejich propojováním.

Po dokončení návrhu desky plošných spojů byla deska poslána do výroby a osazena součástkami.

Bakalářská práce byla řešena v rámci projektu lineárního spalovacího motoru. Více o projektu se lze dozvědět na webových stránkách projektu [1].

7 Literatura

[1] Webové stránky projektu LCE [online]
http://www.lceproject.org/

[2] JEŘÁBEK, J. *Diplomová práce,* Praha, 2005.

[3] dSPACE. *Hardware Installation and Configuration for Release 5.4*, 2007

[4] dSPACE [online]
http://www.dspace.com

[5] ZÁHLAVA, V. *Návrh a konstrukce desek plošných spojů*, Vydavatelství ČVUT, Praha, 2005

[6] ZÁHLAVA, V. *OrCAD 10,* Vydavatelství Grada, Praha, 2004

8 Příloha A – přiložené CD

Seznam adresářů:

- **Bakalářská práce** – obsahuje tuto bakalářskou práci v PDF formátu
- **Interface** – obsahuje soubory se schématem a deskou plošných spojů pro návrhový program OrCAD
- **Data sheet** – obsahuje data sheety k součástkám obsaženým v desce interface