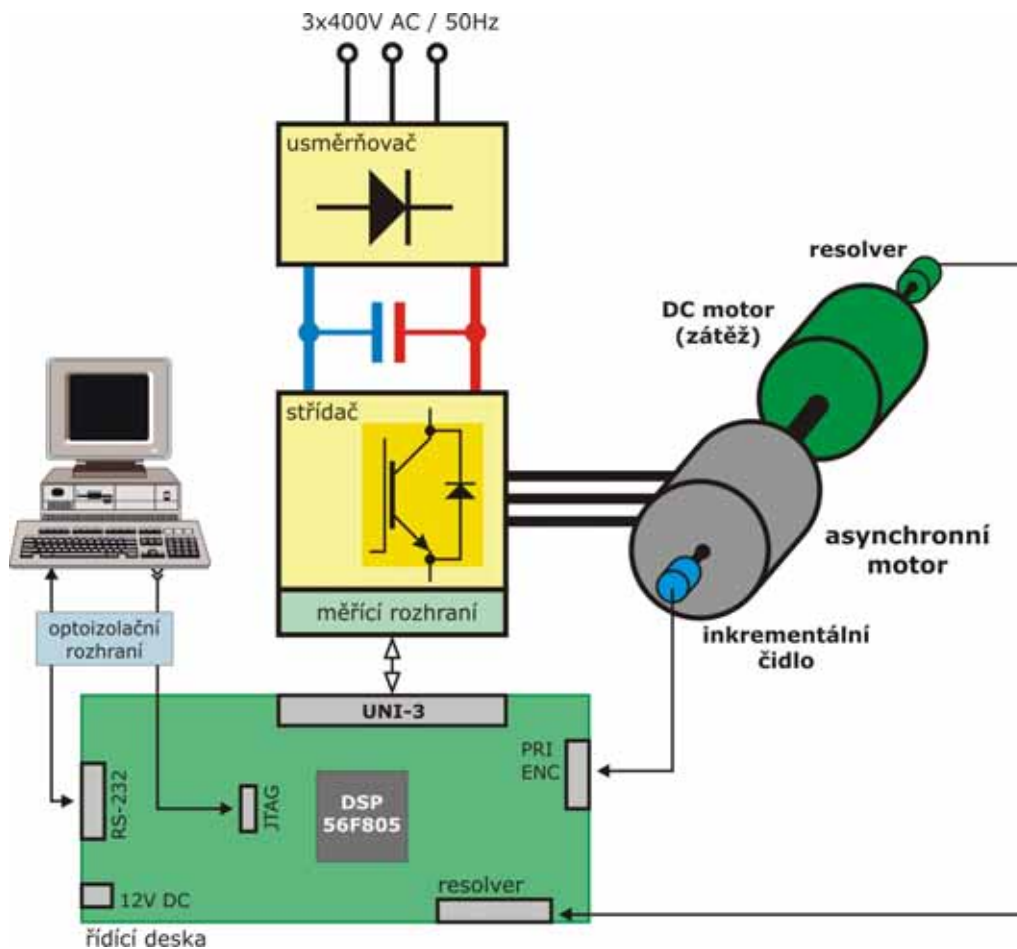


# 6

## PROGRAMOVÉ A PŘÍSTROJOVÉ VYBAVENÍ

V této kapitole jsou popsány nejdůležitější přístrojové a programové prostředky jenž jsem využíval v této disertační práci. Zevrubnou představu o struktuře celého systému si lze vytvořit na základě blokového schéma na obr.6-1.



Obr.6-1: Blokové schéma vývojového pracoviště

Pracoviště bylo vybudováno v laboratoři Katedry elektrických pohonů a trakce FEL ČVUT v Praze – Dejvicích. Některé prvky systému již byly součástí vybavení laboratoře (zdroje napětí, zatěžovací DC motor, asynchronní motory, pracovní stůl s ovládacími prvky), některé bylo nutné přizpůsobit našim potřebám (čidla rychlosti a polohy motoru), některé bylo nutné navrhnout a vyrobit (3-fázový usměrňovač, IGBT střídač, signálová přizpůsobení) a některé zakoupit (řídící deska s DSP Motorola, vývojový software).

## 6.1 Signálový procesor

Již na počátku disertační práce bylo jasné, že jádrem řídicího systému by měl být digitální signálový procesor (DSP). Při vybírání vhodného typu připadaly v úvahu tři výrobci. Rozhodnutí padlo v únoru 2001, kdy tyto firmy nabízely následující typy DSP vhodné pro naše účely:

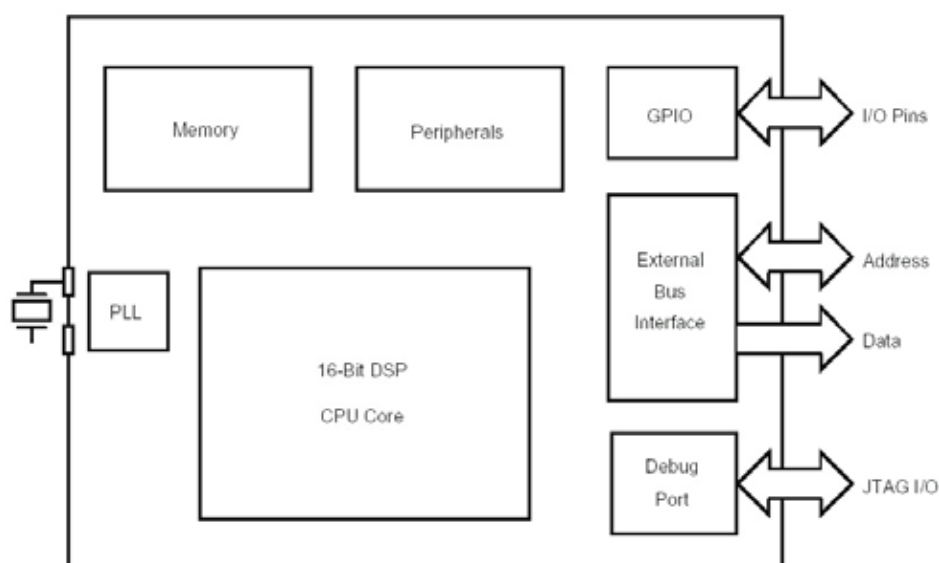
- Analog Devices – ADMCF326
- **Motorola – DSP56F805**
- Texas Instruments – TMS320F2407

Po analýze všech dostupných informací se jako **nejvýhodnější jevil vývojový systém firmy Motorola**. Ta nabízela DSP implementovaný na univerzální řídicí desce (*Evaluation Module – EVM*), jenž podporuje všechny standardní pohonařské periferie a funkce. Cena za celý systém, tedy vývojovou desku a programovací prostředí, byla (hlavně díky 94% univerzitní slevě na software) navíc velice příznivá (475 USD).

Vývojový systém firmy Texas Instruments byl oproti Motorole dražší (1.595 USD) a v době výběru méně výkonnou a uživatelsky méně komfortní alternativou. Pro úplnost dodávám, že nabídka firmy Analog Devices mě nijak zvlášť nezaujala. Navíc jsem se při získávání informací u jejich obchodního zástupce setkal s nepříliš vstřícným přístupem k zákazníkovi.

Je vhodné podotknout, že volba nejvhodnějšího řídicího systému je vždy více či méně subjektivní záležitostí. Proto se jistě najdou propagátoři každého ze zmiňovaných produktů. Uživatel každého z nich je schopen s jeho pomocí dosáhnout srovnatelných výsledků. Záleží jen na jeho schopnostech využít efektivně všechny možnosti zvoleného systému.

Na obr.6-2 je zobrazena vnitřní struktura čipu signálového procesoru Motorola řady DSP56800.



**Obr.6-2:** Vnitřní struktura čipu řady DSP56800 firmy Motorola

Základem DSP je 16-bitová centrální řídicí jednotka (CPU) a univerzální instrukční soubor. Významným rysem tohoto DSP je integrace emulátoru přímo do čipu procesoru. Není tedy nutné pro debugging používat další externí zařízení, ale stačí propojit PC a vývojovou desku paralelním kabelem.

Jednotlivé typy procesorů z řady DSP56800 se navzájem odlišují hlavně taktovací frekvencí, počtem a typem periférií a kapacitou paměti (RAM a FLASH). Detailní informace o této řadě procesorů lze dohledat v literatuře <sup>[35]</sup>.

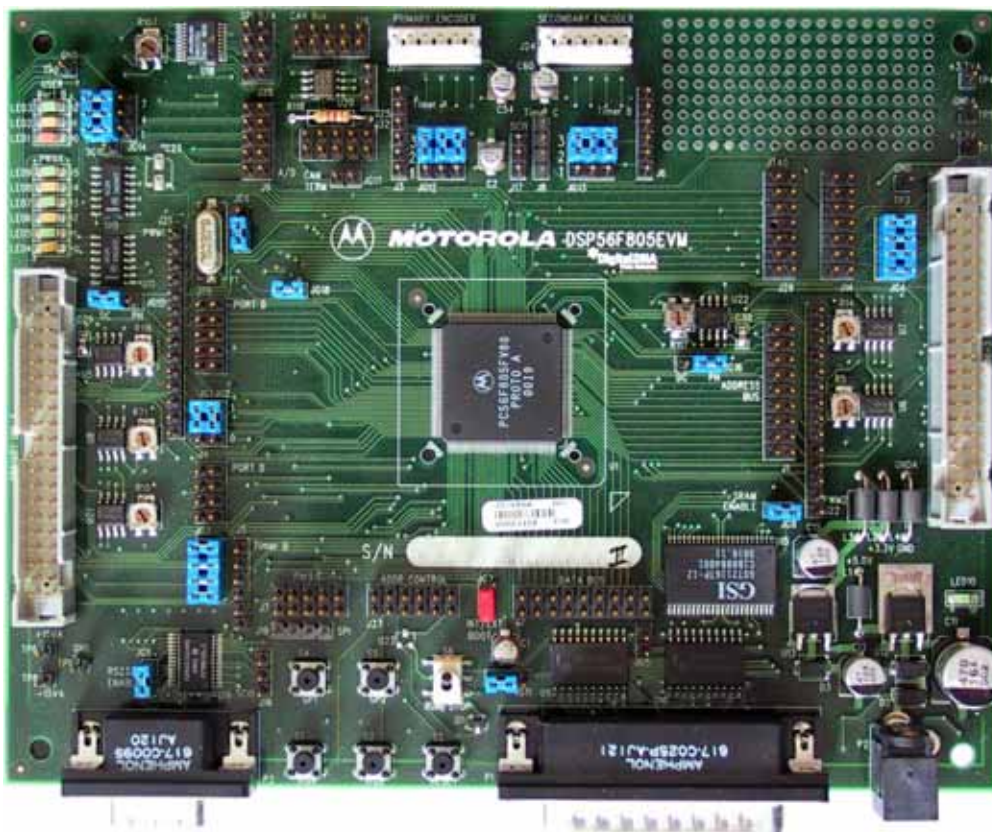
V následující tabulce jsou uvedeny základní parametry signálového procesoru DSP56F805.

Parametr DSP	Popis
Typ	DSP56F805
Rozlišení	16-bit
Počet instrukcí za sekundu (MIPS)	40
Doba vykonání instrukce	13 ns
Paměť	1k x 16-bit Program RAM 64k x 16-bit Program Flash 4k x 16-bit Data RAM 8k x 16-bit Data Flash
Napájení	3.3 V
A/D převodník	Rozlišení 12-bit Počet kanálů 2 x 4 Doba převodu 1.2 $\mu$ s (+ 0.5 $\mu$ s); převod 8 kanálů v simultánním módu: 5.3 $\mu$ s
PWM generátor	Rozlišení 16-bit Počet PWM kanálů 2 x 6

## 6.2 Vývojová deska s DSP56F805

Firma Motorola v roce 2001 nabízela vývojovou řídicí desku pod označením EVM DSP56F805 (*EVM – Evaluation Module*). Čip DSP56F805 je jádrem celé desky provedené na čtyřvrstevném tištěném spoji a kolem něj jsou rozmístěny ostatní obvody umožňující uživateli vyzkoušet všechny možnosti jež procesor nabízí. Fotografie této desky je na obr.6-3. Pro účely prvního seznámení mi tato deska výborně posloužila, ovšem narazil jsem přitom na jeden její podstatný nedostatek. Ten spočívá ve špatném obvodovém řešení referenčního napětí pro AD převodník v procesoru. Vývojáři této desky totiž použili pro referenci AD převodníku stejné napětí jako pro napájení DSP a ostatních obvodů. Toto napětí je tudíž zarušené pulzními signály PWM modulátoru, jenž jsou z čipu vyvedeny na výstupní konektor konektor řídicí desky.

Toto rušení snižuje přesnost měření analogových veličin pohonu (proudů a napětí). Ani dodatečné úpravy ve stávajícím obvodovém řešení desky pracovníky vývojového centra firmy Motorola v Rožnově pod Radhoštěm nezvýšily přesnost AD převodu na úroveň potřebnou pro náročné řídicí aplikace. Naštěstí se tým vývojářů z Rožnova rozhodl navrhnout desku novou, kterou začala v květnu 2003 vyrábět a prodávat firma BetaControl z Brna. Tuto desku jsem nakonec použil pro řízení celého pohonu. O vlastnostech desky EVM DSP56F805 oficiálně distribuované firmou Motorola (obr.6-3) se lze dočíst v literatuře <sup>[36]</sup>.

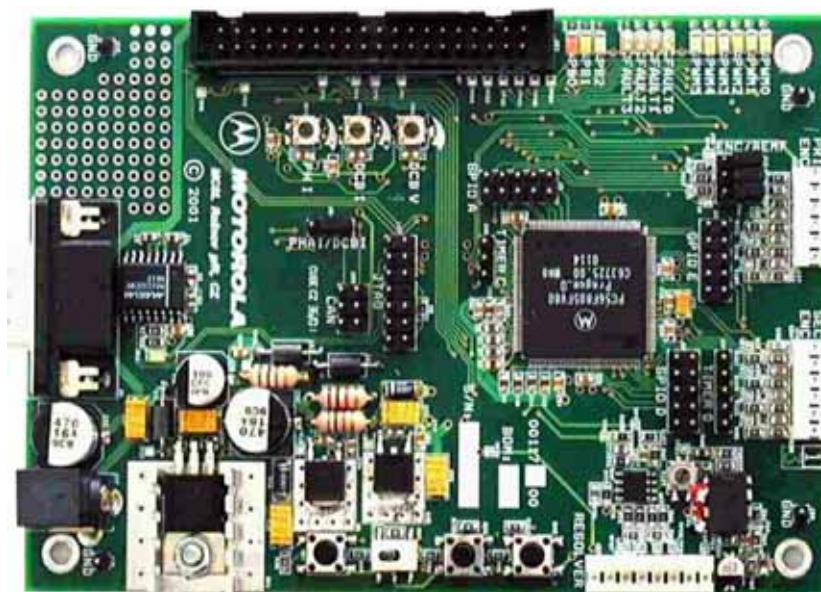


**Obr.6-3:** Fotografie řídicí desky EVM DSP56F805 firmy Motorola

V následujících kapitolách bude pod pojmem řídicí deska uvažován výrobek firmy BetaControl.

### 6.2.1 Základní vlastnosti

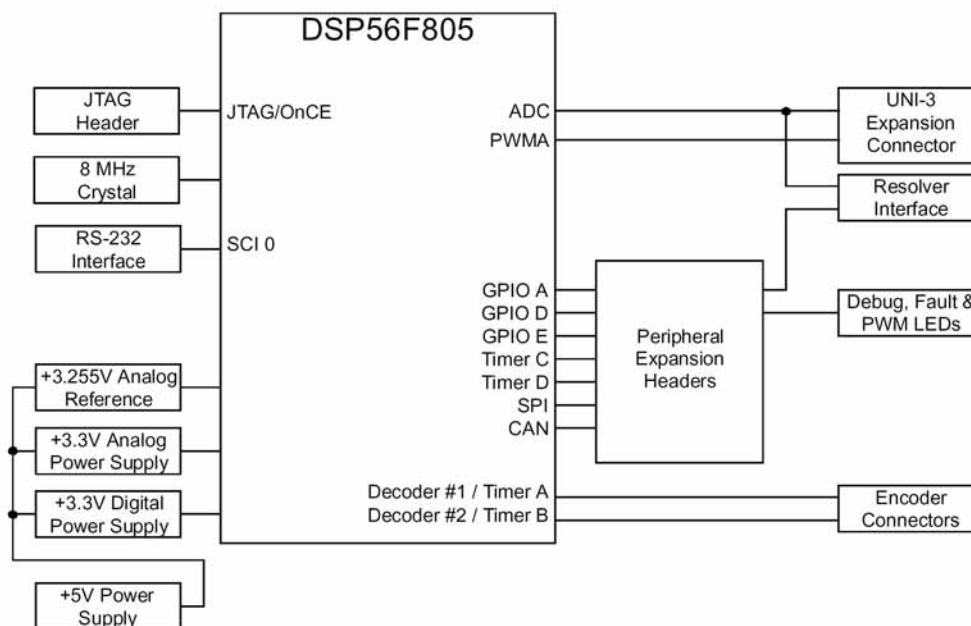
Uprostřed vývojové desky firmy BetaControl (obr.6-4) je umístěn čip DSP56F805. Signály z jeho vývodů jsou vyvedeny na různé konektory.



**Obr.6-4:** Fotografie řídicí desky firmy BetaControl s DSP56F805

Je to především JTAG konektor pro propojení desky a PC pro nahrávání kódu do paměti DSP a ladění programu. Dále pak napájení desky 12V DC a konektor pro sériovou komunikaci s PC. Deska je osazena univerzálním I/O konektorem UNI-3 pro propojení s dalším externím zařízením (v našem případě střídačem). Důležité jsou i speciální konektory pro přivedení signálů z inkrementálního čidla či resolveru a sběrnice CAN.

Navíc jsou na desce implementovány obvody pro indikaci překročení bezpečných úrovní vstupních analogových signálů, jednoduché spínače a přepínače, signalizační LED diody a další prvky usnadňující rychlé seznámení s možnostmi DSP. Na obr.6-5 je blokové schéma obvodů vývojové desky s DSP56F805. Více informací o této desce naleznete v literatuře <sup>[40]</sup>.



Obr.6-5: Blokové schéma řídicí desky firmy BetaControl s DSP56F805

## 6.2.2 Komunikace s PC

Signálový procesor DSP56F805 má ve svém jádře integrovaný emulátor (*OnCE – OnChip Emulation*), jenž umožňuje propojení desky s PC přes konektor JTAG (*Join Test Action Group*). Uživatel je tak schopen nahrát v PC přeložený kód do paměti DSP a následně program testovat a ladit. Z bezpečnostních důvodů je vhodné vložit mezi PC a řídicí desku optoizolační rozhraní, které obě strany galvanicky oddělí. Zabrání se tím eventuálnímu zničení zařízení v případě, že by se přes ně uzavíraly zemní proudy. Mnohé střídače nízkých výkonů se totiž navrhují tak, že je jejich zemní potenciál spojen se záporným potenciálem DC meziobvodu. Měřené signály jsou pak vztaženy k této zemi.

Pro sledování obsahu paměťových registrů DSP a pro nastavování a sledování různých proměnných v reálném čase je určeno sériové (RS-232) rozhraní. Pro komunikaci jsem používal program PCMaster, který je popsán v dalších kapitolách. Je však možné si vytvořit grafické uživatelské rozhraní dle vlastních potřeb.

## 6.2.3 Konektor UNI-3

Veškeré řídicí a zpětnovazební signály z rozhraní IGBT střídače vstupují do řídicí desky konektorem označeným jako UNI-3 (na obr.6-4 je umístěn u horní hrany desky).

V následující tabulce je seznam všech signálů tohoto konektoru. Šedivým podkladem jsou označeny signály, které jsem ve své aplikaci nevyužil.

č.	Signál	č.	Signál
1	PWM_A_Top	2	stínění
3	PWM_A_Bot	4	stínění
5	PWM_B_Top	6	stínění
7	PWM_B_Bot	8	stínění
9	PWM_C_Top	10	stínění
11	PWM_C_Bot	12	GND
13	GND	14	+5.0V DC
15	+5.0V DC	16	Analog +3.3V DC
17	Analog GND	18	Analog GND
19	Analog +15V DC	20	Analog -15V DC
21	Napětí DC meziobvodu	22	Proud DC meziobvodu
23	Proud fáze A	24	Proud fáze B
25	Proud fáze C	26	Motor Drive Temperature Sense
27	n.c.	28	stínění
29	Spínání brzděného odporu	30	Serial COM
31	PFC PWM	32	PFC Inhibit
33	PFC Zero Cross	34	Zero Cross A
35	Zero Cross B	36	Zero Cross C
37	stínění	38	Back-EMF Phase A Sense
39	Back-EMF Phase B Sense	40	Back-EMF Phase C Sense

Mezi řídicí deskou a střídačem jsem umístil navíc redukční desku pro rozvedení signálů ke třem různým konektorům typu canon (digitální, analogový a pulzní). Z nich jsou signály vedeny do příslušných konektorů ve střídači <sup>[41]</sup>. Redukční deska navíc umožňuje snadné monitorování jednotlivých signálů pomocí osciloskopu.

## 6.2.4 Ovládací a signalizační prvky

Na řídicí desce je integrováno několik ovládacích a signalizačních prvků. Samozřejmostí je tlačítko RESET pro hardwarovou inicializaci DSP. Další dvě tlačítka slouží pro vyvolání externího přerušení (IRQA, IRQB) nebo jako vstup univerzálního I/O portu (GPIO). V programu jsou tato tlačítka používána pro zadávání žádaných otáček motoru. K jednomu z I/O portů DSP je připojen také páčkový prepínač, jenž slouží k nastavování režimu START/STOP.

Pro signalizaci různých stavů pohonu lze použít třech LED diod v červené, žluté a zelené barvě. Sada šesti žlutých LED diod zase umožňuje sledovat aktuální nastavení výstupu PWM modulátoru.

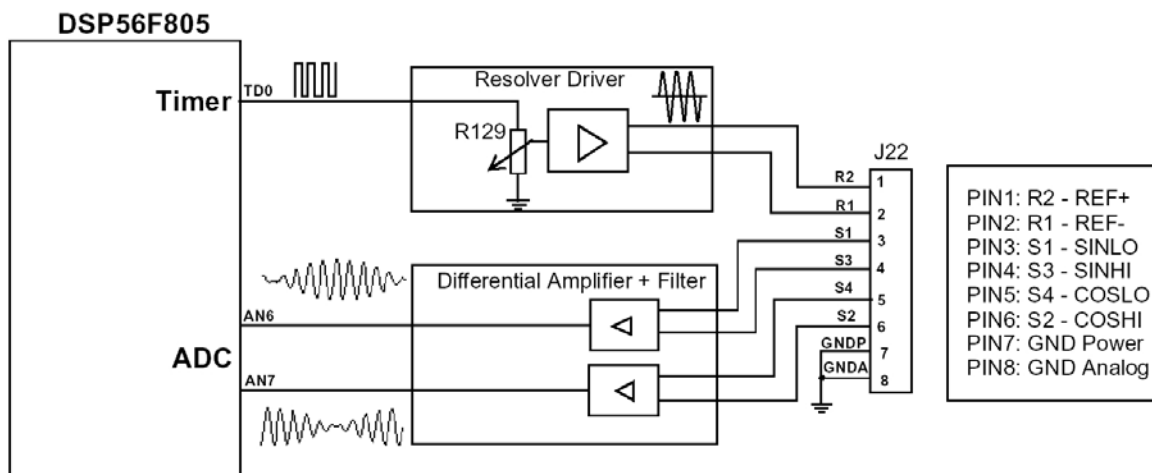
Pomocí třech odporových trimrů lze nastavit úroveň napětí, jenž je porovnávána s analogovými zpětnovazebními vstupy (fázový proud, proud a napětí DC meziobvodu). Překročení této hranice je signalizováno červenými LED diodami a zároveň je vygenerovaný signál zaslán do DSP pro další zpracování uživatelským programem.

## 6.2.5 Konektory pro snímání rychlosti

Řídicí deska umožňuje zpracovat signály ze dvou druhů snímačů rychlosti a polohy hřídele motoru. K dispozici jsou hned dva (primární a sekundární) konektory pro připojení dvou nezávislých inkrementálních čidel. Úroveň pulzů z čidel by neměla přesáhnout 5V DC. Z konektorů jsou signály vedeny do DSP na vstupy časovače, pomocí kterého je řídicím algoritmem vyhodnocována poloha a rychlost motoru.

Druhou možností je využití konektoru pro připojení resolveru. Na obr.6-6 je vyobrazeno principiální schéma pro generování budícího sinusového signálu a pro zpracování výstupních signálů resolveru AD převodníkem. Budící signál je vytvářen pomocí časovače. Pravoúhlý signál o frekvenci 8kHz je filtrován, zesílen a posunut tak, aby na výstupu

desky byl téměř sinusový průběh (R1, R2) o požadované amplitudě. Sinusový (S1, S3) a kosinusový (S2, S4) signál ze statorového vinutí resolveru je zpracován operačním zesilovačem a AD převodníkem a řídicí algoritmus z něj vyhodnotí rychlost, respektive polohu hřídele.



Obr.6-6: Principiální schéma generování a zpracování signálů resolveru

## 6.3 Napěťový IGBT střídač Mitsu

Předně bych rád vysvětlil, proč dostal střídač označení *Mitsu*. Důvodem je název výrobce pomyslného jádra celého střídače, tedy IGBT modulu, firma Mitsubishi. Daný typ modulu (PM50RSA120) jsem použil proto, že mi jej distributor firmy Mitsubishi Electric zaslal zdarma pro testovací účely. Ve srovnání s podobnými moduly jiných výrobců lze tento typ považovat za standardní.

Při samotném návrhu výkonové části a elektronického rozhraní střídače jsem vycházel z možností stávajícího vybavení laboratoře se snahou o co největší univerzálnost. Pro volbu úrovně vstupních a výstupních signálů byl určující předpoklad použití řídicí desky s čipem Motorola DSP56F805 pro ovládání celého střídače. Při návrhu a výrobě desek plošných spojů jsem prosazoval modulární koncepci. To znamená, že jsem elektrické obvody se specifickou funkcí umístil na samostatné desky navzájem propojené signálovými vícežilovými kabely.

Střídač obsahuje celkem čtyři desky plošných spojů:

- Napájecí deska (*MITSU Power Board*)
- Hlavní deska (*MITSU Main Board*)
- Optoisolační deska pro IGBT modul (*MITSU Expansion Board*)
- Měřicí deska (*MITSU Sensing Board*)

V následujících podkapitolách je jen stručně popsána struktura a hlavní komponenty střídače.

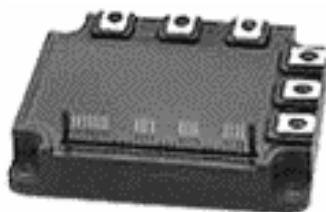
### 6.3.1 IGBT modul

Základní elektrické vlastnosti použitého IGBT modulu jsou shrnuty v následující tabulce.

<b>IGBT modul</b>
<b>Výrobce:</b> Mitsubishi Electric
<b>Typ:</b> PM50RSA120
<b>Maximální napětí (<math>U_{CE}</math>):</b> 1200V (doporučeno 800V DC)
<b>Maximální proud kolektorem (<math>I_C</math>):</b> 50A
<b>Proudové ochrany:</b> nadproud (OC) – 112A, zkrat (SC) – 183A
<b>Napájení elektroniky (<math>U_D</math>):</b> 15V
<b>Úroveň řídicích signálů:</b> ON (0 – 0.8V), OFF (4.0 – 15V)
<b>Maximální PWM frekvence:</b> 20kHz
<b>Doporučený DeadTime:</b> $\geq 3\mu s$

Detailní specifikace IGBT modulu naleznete v příloze tohoto dokumentu.

Celý modul je proveden jako bezpotenciálový se společnou měděnou chladicí plochou a s vyvedenými kontakty pro řídicí signály a pro silové vodiče (viz obr.6-7).



**Obr.6-7:** Bezpotenciálový IGBT modul Mitsubishi PM50RSA120

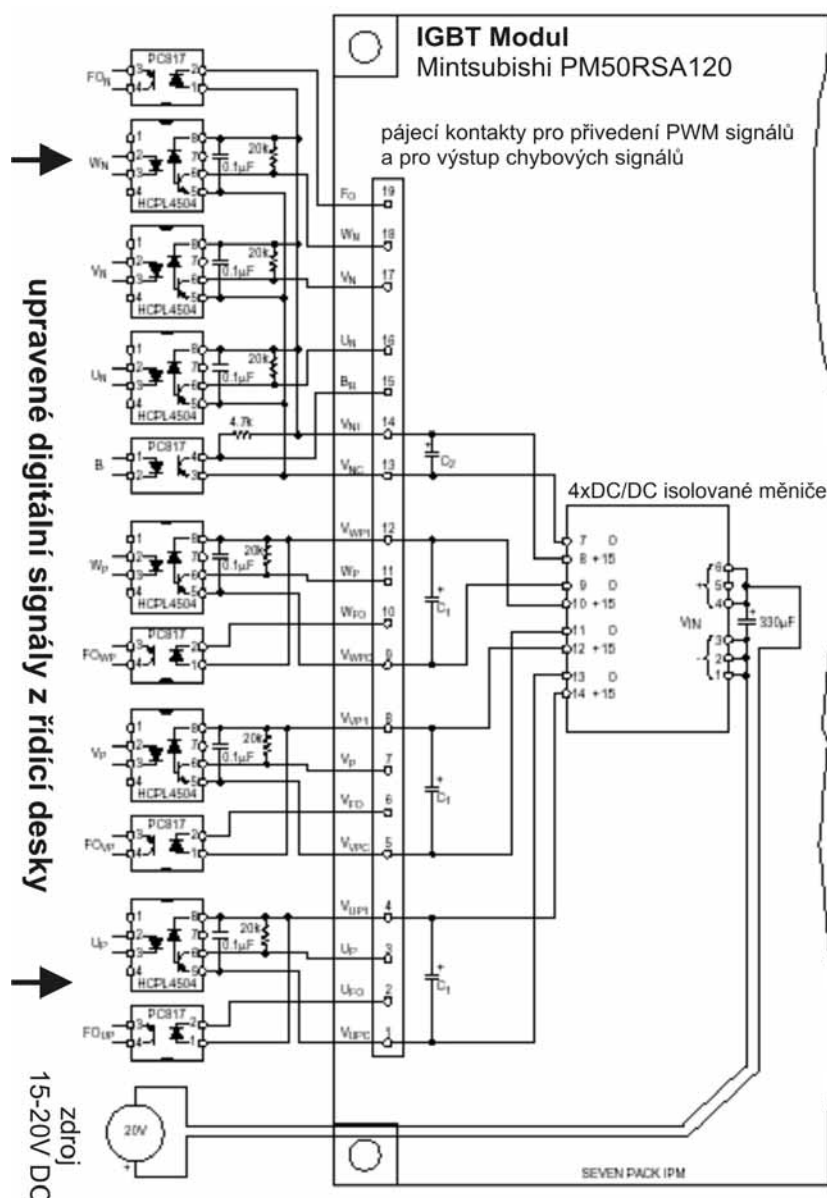
Modul obsahuje celkem 7 IGBT tranzistorů s antiparalelními diodami. Šest z nich je zapojeno do 3-fázového můstku a jeden slouží jako chopper pro snižování úrovně DC napětí na stejnosměrné straně střídače. Spínací signály prochází ke každému tranzistoru přes samostatný budič. Vnitřní zapojení umožňuje napájení budičů pro tranzistory v horních částí větví (u kladného potenciálu DC meziobvodu) z navzájem izolovaných zdrojů napětí, kdežto budiče tranzistorů u záporného potenciálu DC meziobvodu a chopper sdílí společný zdroj napětí.

### 6.3.2 Úprava digitálních signálů

Z řídicí desky vstupuje do střídače 6 PWM signálů pro IGBT tranzistory v 3-fázovém můstku modulu a jeden signál pro řízení spínání chopperu (brzdného tranzistoru). IGBT modul je naopak schopen vyslat ven chybový impuls pokud zareaguje některá z jeho vnitřních ochran elektroniky modulu. Všechny tyto signály je třeba vhodně přizpůsobit potřebám řídicí desky a IGBT modulu.

Pro správnou a bezpečnou funkci střídače je zapotřebí od sebe galvanicky oddělit výkonovou (silovou) a řídicí, resp. měřící část. Tato podmínka je nezbytná hlavně pro vyšší výkony. Řídicí signály by se při nedodržení této podmínky mohly uzavírat stejnou cestou, jakou sdílejí silové proudy, čímž by vznikalo nežádoucí rušení vedoucí k poruchám či k závadné činnosti. Galvanické oddělení se v případě řídicích PWM signálů (resp. Zpětných chybových signálů) provádí buď pulzním transformátorem nebo optočleny.

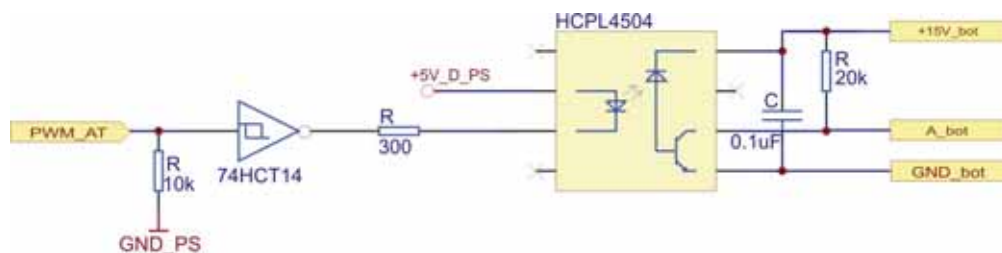




**Obr.6-8:** Optoizolační rozhraní pro řídicí signály

Galvanické oddělení obvodů pro měření napětí a proudů je zajištěno použitím LEM čidel pracujících na principu Hallova jevu. Pro oddělení signálů pulzního napětí (mezi fázemi a záporným potenciálem DC meziobvodu) jsem použil znovu optočleny. Na obr.6-8 je naznačeno doporučené zapojení optočlenů pro galvanické oddělení řídicích signálů z řídicí desky od budičů IGBT modulu. Toto schéma jsem převzal z podkladů zveřejněných na internetových stránkách firmy Mitsubishi Electric.

Na obr.6-9 je schéma obvodu pro úpravu PWM signálu. Signál vstupuje do rozhraní střídače z řídicí desky (zleva). V případě použití řídicí desky Motorola DSP56F805 jde o pozitivní TTL logiku (logická 1 znamená sepnutý IGBT tranzistor) s úrovní 3.3V. V případě absence řídicího signálu bude na vstupu logická nula díky tzv. snižovacímu rezistoru. Dále je signál tvarován a invertován pomocí Schmittova integrovaného logického obvodu 74HCT14. Pro galvanické oddělení řídicího signálu od výkonové části jsem zvolil rychlý optočlen HCPL4504. Napájení primární a sekundární strany optočlenů je zabezpečeno galvanicky izolovanými DC/DC měniči (Traco). Zemní potenciál primární strany optočlenů je spojen se zemí řídicí desky.

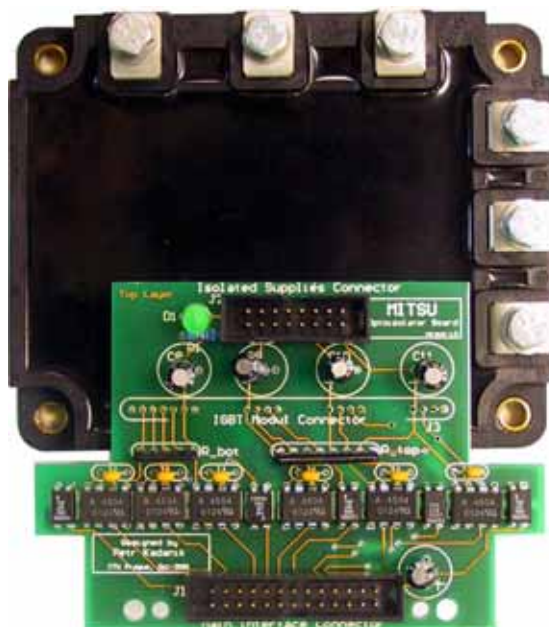


**Obr.6-9:** Schéma pro úpravu řídicího PWM signálu

Modul detekuje tyto druhy poruch:

- Nadproud
- Zkrat ve větvi můstku
- Chybná ochranná doba (deadtime)
- Přehřátí
- Pokles napájení elektroniky

Na obr.6-10 je fotografie IGBT modulu s deskou plošného spoje, na které jsou hlavně optočleny pro všechny řídicí a chybové signály. Toto řešení jsem zvolil proto, abych zajistil co nejkratší cesty signálů mezi optočleny a modulem.

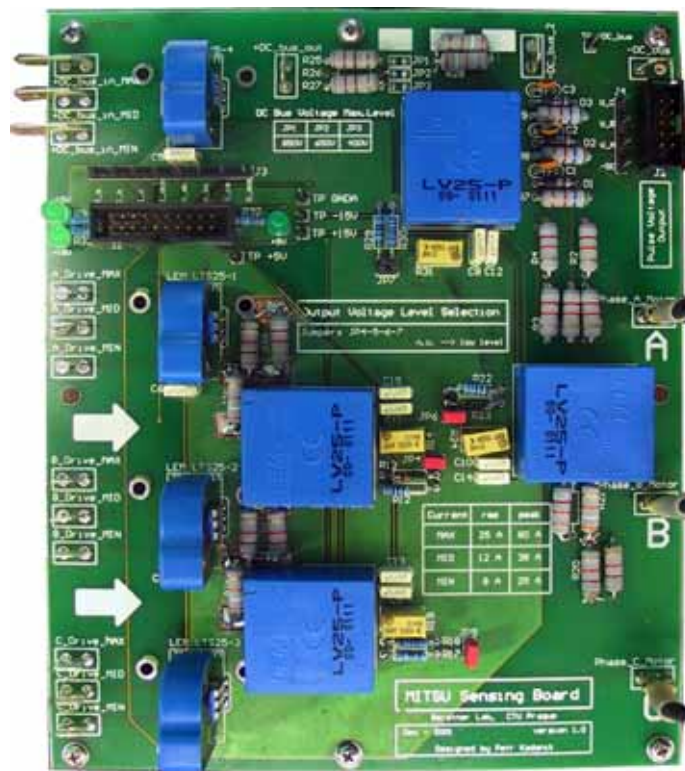


**Obr.6-10:** IGBT modul s optoizolační deskou pro galvanické oddělení řídicí a výkonové části střídače

### 6.3.3 Měření proudů a napětí

Měřicí rozhraní střídače umožňuje snímat napětí a proudy jak na stejnosměrné, tak na střídavé straně. Pro měření proudů a napětí jsem zvolil čidla firmy LEM. Tyto senzory využívají pro měření princip Hallova jevu. Jejich výhodou je galvanické oddělení výstupního signálu od měřeného vstupního (silového) obvodu. Není tedy potřeba následně aplikovat optočleny pro galvanické oddělení. Alternativou k LEM technologii může být měření pomocí odporů (bočníky pro měření proudů, odporové děliče pro napětí) a operačních zesilovačů. Kromě měření sdružených napětí (pomocí napěťových čidel LEM s analogovým výstupním signálem) se na měřicí desce měří také pulzní napětí (šířka pulzů) mezi každou výstupní fází a záporným potenciálem DC meziobvodu.

Pro měření proudu a napětí jsem navrhl samostatnou desku plošného spoje. Je označena jako *MITSU Sensing Board* a její fotografie je na obr.6-11.



**Obr.6-11:** Měřicí deska proudů a napětí (*Mitsu Sensing Board*)

Napříč deskou (zleva doprava) prochází tři fáze (A, B, C) od IGBT modulu k motoru. Měřící rozsah proudových čidel LEM LTS 25-NP se volí připojením vodiče k jednomu ze tří vstupních konektorů. Mezi jednotlivými fázemi se měří sdružené napětí (pomocí LEM čidel LV25-P; modrá obdélníková součástka) a mezi fází a záporným potenciálem DC meziobvodu se pomocí odporového děliče snímají napěťové pulzy. Snímané signály jsou z desky vyvedeny dvěma konektory. Jedním pro analogové signály a druhým pro pulzní signály.

### 6.3.4 Úprava měřených signálů

Signály snímané na měřicí desce (*MITSU Sensing Board*) vstupují prostřednictvím dvou konektorů do hlavní desky (*MITSU Main Board*). Ta obsahuje obvody pro úpravu analogových i digitálních signálů, izolované zdroje pro napájení čidel, budičů IGBT modulu a dalších obvodů, a hlavní vstupně/výstupní konektory. Fotografie této desky je na obr.6-12.

Výstupem proudového čidla je signál se stejnosměrnou složkou 2.5V a rozkmitem  $\pm 2.0V$ . Pro A/D převodník signálového procesoru Motorola potřebujeme ovšem signál v rozmezí 0-3.3V. V případě snímání střídavé veličiny je to signál se stejnosměrnou složkou 1.65V a rozkmitem maximálně  $\pm 1.65V$ .

Napěťová čidla na měřicí desce produkují bipolární napěťový signál. Pro měření napětí v DC meziobvodu uvažují jen kladnou úroveň signálu (při správném napájení meziobvodu) s maximální úrovní 3.3V při napětí 660V DC. V případě měření sdružených napětí nabývá signál obou polarit. Na závěr je ale nulová úroveň signálu posunuta napěťovým děličem na 1.65V ( $3.3V/2$ ).

Pulzním napětím nazýváme signál reprezentující sled úrovní (nulové a maximální) napětí na výstupu střídače mezi jednotlivými fázemi (A, B, C) a záporným potenciálem DC

meziobvodu. Na výstupu obvodu pro úpravu měřených signálů požadují logický TTL signál, který nese informaci o hranách (tedy délce) pulzů měřeného napětí, nikoliv o jeho velikosti. Z těchto pulzů lze pak v řídicím procesoru rekonstruovat skutečné napětí na svorkách motoru, a použít jej v řídicím algoritmu.



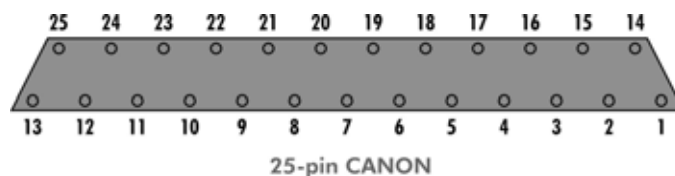
**Obr.6-12:** Hlavní deska celého rozhraní (*Mitsu Main Board*)

### 6.3.5 Vstupně/výstupní svorky a konektory

Celý střídač je instalován v konstrukci z ocelových úhelníků (akváriu) o rozměrech 250 x 250 mm (podstava) x 300 mm (výška). Síťové napětí 230V/50Hz pro napájení elektroniky je přiváděno PC konektorem v zadní stěně. V konektoru je integrován hlavní vypínač a pojistka. Na zadní stěně je dále umístěn pomocný síťový konektor a vypínač ventilátoru chladiče.

#### Konektor digitálních signálů

Pro vedení digitálních signálů mezi střídačem a řídicí deskou slouží 25-ti pinový konektor typu canon umístěný na čelní desce střídače vlevo dole. Na obr.6-14 je zobrazeno uspořádání jednotlivých pinů v konektoru a v následující tabulce je uvedeno, jaké signály jsou jimi vedeny.



**Obr.6-14:** 25-ti pinový konektor typu canon

pin	signál	pin	Signál
1	+5V_D	14	Shielding
2	PWM_AT	15	Shielding
3	PWM_AB	16	Shielding
4	PWM_BT	17	Shielding
5	PWM_BB	18	Shielding
6	PWM_CT	19	Shielding
7	PWM_CB	20	Shielding
8	Brake_Control	21	Shielding
9	Fault_F1	22	Shielding
10	Fault_F2	23	Shielding
11	Fault_F3	24	Shielding
12	Fault_F4	25	n.c.
13	n.c.		

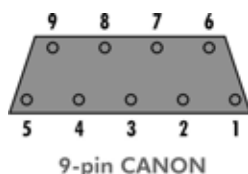
### Konektor analogových signálů

Analogové signály, tedy převážně měřené proudy a napětí, jsou ze střídače vyvedeny konektorem stejného typu jako je na obr.6-14. V následující tabulce jsou uvedeny signály příslušející jednotlivým pinům.

pin	signál	pin	Signál
1	I_A	14	Shielding
2	I_B	15	Shielding
3	I_C	16	Shielding
4	I_DCB	17	Shielding
5	U_AB	18	Shielding
6	U_BC	19	Shielding
7	U_CA	20	Shielding
8	U_DCB	21	Shielding
9	GND_A	22	Shielding
10	+3.3V_A	23	Shielding
11	+5.0V_A	24	Shielding
12	+15V_A	25	Shielding
13	+15V_A		

### Konektor signálů pulzního napětí

Mezi digitálním a analogovým konektorem je umístěn 9-ti pinový konektor (obr.6-15) pro logické signály pulzního napětí. Tabulka za obrázkem popisuje jeho výstupní piny.



Obr.6-15: 9-ti pinový konektor typu canon

pin	Signál	pin	signál
1	+5V_D	6	GND_D
2	U_Pulze_A	7	n.c.
3	U_Pulze_B	8	n.c.
4	U_Pulze_C	9	n.c.
5	n.c.		

## 6.4 Snímače rychlosti a polohy

Pro získání informace o rychlosti otáčení, respektive o poloze hřídele motoru jsem použil val buď inkrementální čidlo nebo resolver.

### 6.4.1 Inkrementální čidlo

Inkrementální optické čidlo je napevno instalováno ke hřídeli jednoho z asynchronních motorů v laboratoři na straně ventilátoru. Použil jsem starší model IRC 120 vyráběný v osmdesátých letech firmou LARM Netolice.

Otáčením hřídele čidla se získávají tři elektrické signály obdélníkového průběhu. Dva signály jsou vzájemně posunuty o  $\frac{1}{4}$  periody ( $90^\circ$  elektrických). Třetí výstupní signál, nulový pulz, tvořený jedním impulzem za otáčku, je určen k stanovení referenční nulové polohy. Jedné otáčky ( $360^\circ$  mechanických) odpovídá 1000 pulzů.

#### Mechanické vlastnosti:

- Moment setrvačnosti rotační části:  $20 \text{ gcm}^2 \pm 10\%$
- Mechanické otáčky: max.6000 ot/min
- Max.přípustné zrychlení:  $20000 \text{ rad/s}^2$
- Třecí moment: max.12 mNm
- Přesnost úhlu natočení:  $\pm 0.5$  inkrementu

Čidlo vyžaduje napájení 5V DC ( $I_{\text{max}}=200\text{mA}$ ).

#### Výstupní signály:

- Logická "0" (úroveň L): max. 0.4 V
- Logická "1" (úroveň H): min. 2.5 V

### 6.4.2 Resolver

Používaný resolver je součástí DC motoru s cizím buzením, jenž je v laboratoři využíván jako zátěž. Jedná se o bezkartáčový model firmy Tamagawa Seiki, typ FA-Solver TS2014N180. Následují jeho hlavní parametry:

- Max. referenční (budící) napětí: 26V / 2381 Hz
- Max. budící proud: 22mA
- Transformační koeficient:  $0.454 \pm 0.5$

## 6.5 Řízený a brzdňý motor

Při prvních pokusech s řízením ASM napájeného IGBT střídačem jsem poháněl motor americké značky Reliance Electric (5HP/460V/5.1A/60Hz). Jeho konstrukce umožňovala upevnit na robustní kryt ventilátoru inkrementální čidlo. Časem jsem ale u tohoto motoru objevil netypické vlastnosti (např. při měření charakteristik naprázdno a nakrátko). Pravděpodobně je to návrhem statorového magnetického obvodu a způsobem vinutí, který byl optimalizován pro provoz motoru při frekvenci 60Hz. Proto jsem od řízení tohoto motoru odstoupil (a tím i od použití inkrementálního čidla), a raději jsem použil standardní ASM vyrobený bývalým MEZ Mohelnice. V následující tabulce jsou uvedeny jeho štítkové hodnoty.

Parametr	Hodnota
Jmenovitý výkon	1.5 kW
Jmenovité napětí	400 V
Jmenovitý proud	3.4 A
Jmenovité otáčky	1410 ot/min
$\cos\phi$	0.82

Štítkové hodnoty řízeného ASM

Pro monitorování skutečných otáček jsem místo inkrementálního čidla musel použít resolver integrovaného v brzdňém DC motoru. S tím ovšem souvisel návrh a realizace obvodu pro přizpůsobení vstupních a výstupních signálů resolveru požadavkům řídicí DSP desky a implementace algoritmu pro vyhodnocení rychlosti ze signálů resolveru do řídicího programu.

Pro zatěžování řízeného ASM jsem používal cize buzený DC motor.

Parametr	Hodnota
Jmenovitý výkon	2.2 kW (3HP)
Kotevní napětí / proud	240 V / 11 A
Budící napětí	240 V
Budící proud	0.74 A / 0.38 A
Otáčky	1750 / 2300 ot/min

Štítkové hodnoty brzdňého DC motoru

Základní parametry resolveru jsou uvedeny v kapitole 6.4.2. Budící signál pro resolver je generován časovačem DSP s pomocí speciálního analogového filtru na řídicí desce. Do resolveru tedy vstupuje sinusový signál o amplitudě 4V a frekvenci 8kHz. Výstupní signály resolveru (SIN a COS) jsou pomocí operačních zesilovačů zesíleny taky aby se amplituda signálu zpracovávaného AD převodníkem signálového procesoru blížila maximální hodnotě 1.65 V.

## 6.6 Měření napětí a proudů

Sdružené napětí na výstupu napěťového střídače je složeno z řady pravoúhlých pulsů s amplitudou rovnou aktuální úrovni napětí v DC meziobvodu, šířkou danou modulátorem a nárůstem hran asi 2 – 10 kV/ $\mu$ s. Postihnout takto rychlé změny měřením je samozřejmě velmi náročné. Digitální zpracování by vyžadovalo velmi vysokou vzorkovací frekvenci

AD převodníku a celý řídicí algoritmus by musel být vykonáván v extrémně rychlé smyčce. Takový výpočetní výkon však dnešní standardní signálové procesory většinou neposkytují. Proto jsem od přesného měření výstupních střídavých napětí ustoupil. V řídicím algoritmu ale využívám měřeného napětí DC meziobvodu. Místo skutečného napětí na svorkách motoru používám jako vstup do matematického modelu ASM referenčních fázových napětí vstupujících do modulátoru. Toto napětí lze více přiblížit skutečnému kompenzační vlivu ochranných dob (*deadtime*) a úbytků na spínacích výkonových součástkách střídače.

Pro většinu vektorově řízených pohonů je nutné znát okamžitou hodnotu alespoň dvou fázových proudů tekoucích motorem. Jejich snímání jsem prováděl pomocí Halloových sond od firmy LEM. Jejich výstupní signál je následně upraven operačním zesilovačem pro potřeby AD převodníku, respektive signálového procesoru. Obzvláště velký důraz je třeba dát na shodný offset a zesílení obou signálů. Pokud není tato podmínka splněna, nebudou proudy transformované do synchronních souřadnic v ustáleném stavu ani při přesném výpočtu polohy magnetického toku konstantní, ale budou obsahovat střídavou složku. Tato chyba se pak samozřejmě promítne do kvality regulace.

## 6.7 Mezní hodnoty pohonu

Celý pohon má několik elektrických a mechanických omezení. Následující tabulka uvádí hlavní z nich.

Veličina	Mezní hodnota
Napětí DC meziobvodu	630 V
Proud fází motoru	18.5 A
Otáčivá rychlost hřídele	1750 ot/min
Mechanický výkon na hřídeli	2.2kW (3HP)

Maximální hodnoty navrženého pohonu

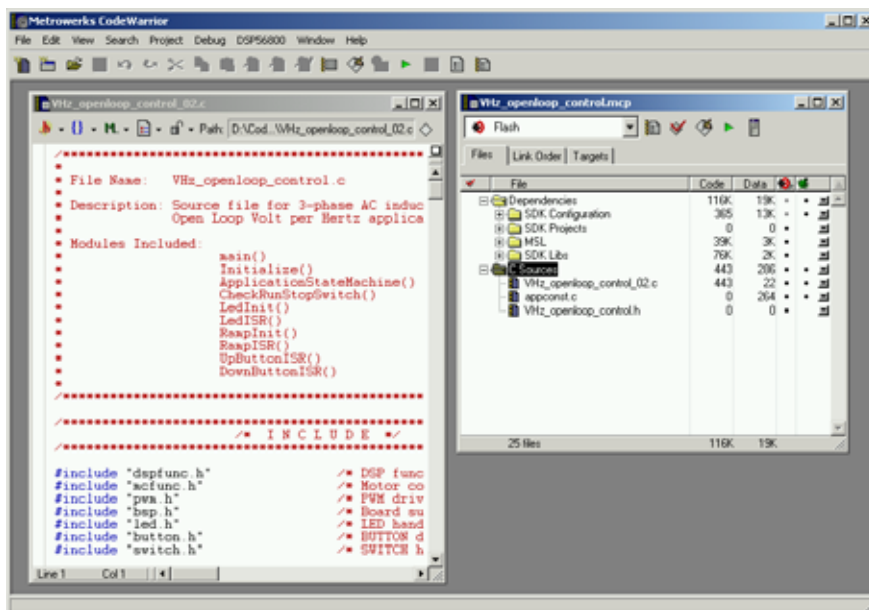
Napěťová a proudová omezení jsou určena konkrétním nastavením rozsahu napěťových a proudových čidel. Rychlost otáčení a maximální výkon jsou omezeny použitým brzdícím DC motorem. Řídicí algoritmus počítá s maximálním rozsahem otáček  $\pm 2400$  ot/min.

## 6.8 Programové prostředí CodeWarrior

Firma Metrowerks se specializuje na vývoj programovacích prostředí pro profesionální tvorbu konečných aplikací. Jedním z jejich produktů je i CodeWarrior, jenž je určený pro vývoj aplikací pro signálové procesory firmy Motorola.

V CodeWarrioru lze zdrojový kód psát jak v assembleru, tak v jazyku C. Program umožňuje kompilaci, načítání kódu do procesoru (přes paralelní kabel a JTAG) a následný debugging. Více se lze dozvědět v literatuře<sup>[43]</sup>.





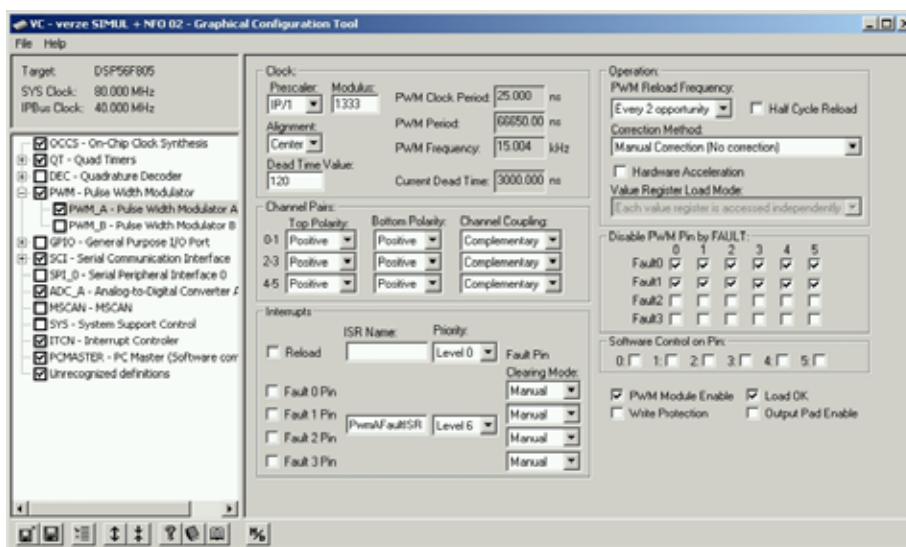
Obr.6-16: Pohled na uživatelské rozhraní programu CodeWarrior

### 6.8.1 DSP56800 QuickStart

QuickStart (dříve Radegast) je nadstavbou programového prostředí CodeWarrior jenž uživateli usnadňuje tvorbu aplikací pro řízení motorů. Obsahuje knihovny pro ovládání a nastavování parametrů všech periférií procesorů řady DSP56800. Umožňuje tak programátorovi vytvořit přehledně strukturovaný kód v jazyku C. Kompletní popis tohoto produktu je v literatuře<sup>[37]</sup>.

Součástí QuickStartu je i program Graphical Configuration Tool. Používá se pro snadné a přehledné nastavování parametrů jádra a periférií DSP. Na obr.6-17 je zobrazena karta tohoto programu pro nastavování parametrů PWM bloku.

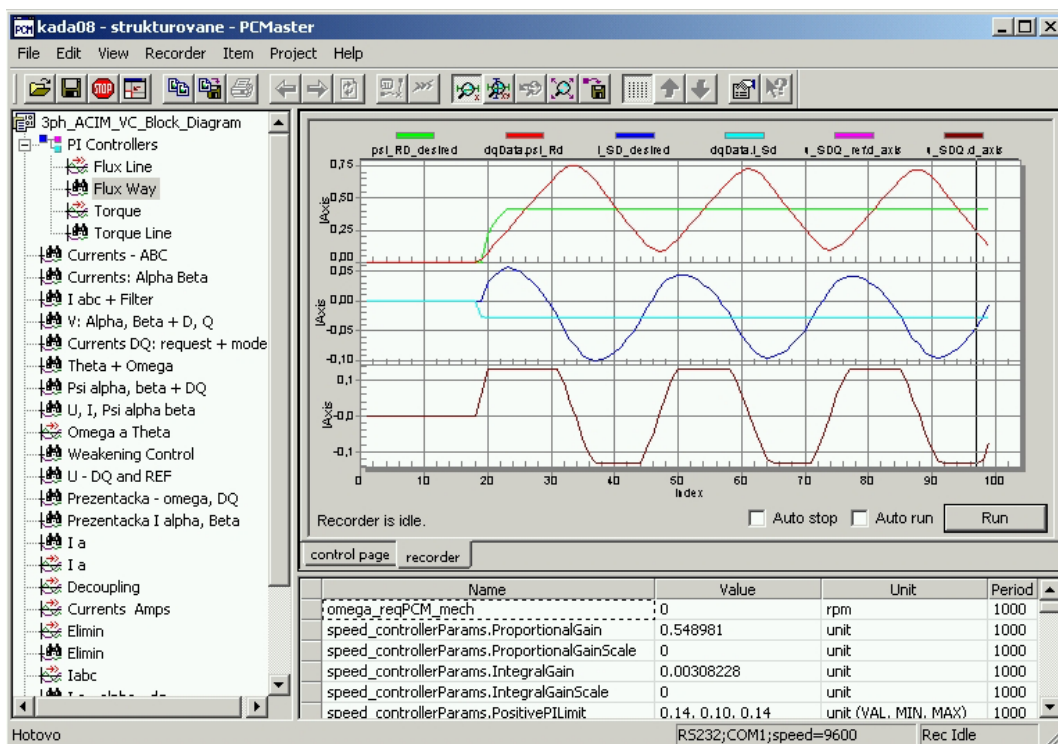
QuickStart není zařazen do oficiální distribuce programové podpory firmy Motorola a není tedy volně přístupný široké veřejnosti. I z tohoto důvodu zde neuvádím podrobný popis jeho vlastností. Pro získání instalace je však možné osobně kontaktovat vývojáře výzkumného centra Motoroly v Rožnově pod Radhoštěm.



Obr.6-17: Pohled na program Graphical Configuration Tool

## 6.8.2 PC Master

Program PC Master slouží jako uživatelské rozhraní pro průběžné monitorování vybraných registrů paměti DSP. Data jsou mezi PC a procesorem vyměňována sériovou linkou. Na obr.6-18 je zobrazen vzhled tohoto programu.



**Obr.6-18:** Výřez uživatelského rozhraní programu PC Master

Podrobný popis programu PC Master je v literatuře [38].

Programy PCMaster a QuickStart jsou v případě zájmu poskytovány zdarma.

# Obsah

## Kapitola **Programové a přístrojové vybavení**

6.1	Signálový procesor .....	2
6.2	Vývojová deska s DSP56F805 .....	3
6.2.1	Základní vlastnosti .....	4
6.2.2	Komunikace s PC .....	5
6.2.3	Konektor UNI-3 .....	5
6.2.4	Ovládací a signalizační prvky .....	6
6.2.5	Konektory pro snímání rychlosti .....	6
6.3	Napěťový IGBT střídač Mitsu .....	7
6.3.1	IGBT modul .....	8
6.3.2	Úprava digitálních signálů .....	8
6.3.3	Měření proudů a napětí .....	10
6.3.4	Úprava měřených signálů .....	11
6.3.5	Vstupně/výstupní svorky a konektory .....	12
6.4	Snímače rychlosti a polohy .....	14
6.4.1	Inkrementální čidlo .....	14
6.4.2	Resolver .....	14
6.5	Řízený a brzdňý motor .....	15
6.6	Měření napětí a proudů .....	15
6.7	Mezní hodnoty pohonu .....	16
6.8	Programové prostředí CodeWarrior .....	16
6.8.1	DSP56800 QuickStart .....	17
6.8.2	PC Master .....	18

**Pozn.:** Tento dokument je jednou z kapitol mé disertační práce nazvané "Řízení asynchronního motoru bez použití snímače rychlosti" na Katedře elektrických pohonů a trakce (FEL ČVUT Praha).

**Poslední aktualizace:** 6. září 2004

**Autor:** Petr Kadaník

**Email:** petr@kadanik.cz