

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Řídicí jednotka na bázi 8bit a 16bit mikrokontrolérů PIC

autor: Jiří Bryhcín

2012

Anotace

Práce se zabývá návrhem a realizací řídicí jednotky na bázi dvou 8 bitových mikrokontrolérů PIC s vestavěným PLC automatem. Zařízení je navrženo primárně pro řízení trojfázového asynchronního motoru.

Klíčová slova

Řídicí jednotka ,PLC, automat, automatizace, mikrokontrolér.

Abstract

This work deals with design and implementation control unit on base two 8 bit microcontrollers with included programmable logic controller. Device is designed primary for control three phase asynchronous machine.

Key words

Control unit, PLC, automat, automation, microcontroller.

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

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

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

V Plzni dne

Jiří Bryhcín

.....

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Janu Molnárovi Ph.D. za ochotu, cenné odborné rady a čas, který mi věnoval při vedení této práce.

Obsah

OBSAH	6
ÚVOD	7
1 ŘÍDICÍ JEDNOTKY	8
1.1 OBECNĚ O ŘÍDICÍCH JEDNOTKÁCH	8
1.2 PLC AUTOMATY	8
1.3 PROGRAMOVACÍ JAZYKY PLC	9
1.4 SOUČASNÝ STAV TRHU	10
2 NÁVRH ŘÍDICÍ JEDNOTKY	11
2.1 STANOVENÍ VLASTNOSTÍ ZAŘÍZENÍ	11
2.2 OBVODOVÉ ŘEŠENÍ	11
3 FIRMWARE ŘÍDICÍ JEDNOTKY	17
3.1 POPIS FUNKCE FIRMWARE A VÝVOJOVÝ DIAGRAM	17
4 INSTRUKCE ŘÍDICÍ JEDNOTKY	20
4.1 POPIS INSTRUKCÍ PLC	20
4.2 POPIS INSTRUKCÍ PRO ŘÍZENÍ FREKVENČNÍHO MĚNIČE	25
5 NAMĚŘENÉ PRŮBĚHY	36
5.1 MĚŘENÍ PROUDU A NAPĚTÍ TROJFÁZOVÉHO ASYNCHRONNÍHO MOTORU	36
ZÁVĚR	40
POUŽITÁ LITERATURA	41
PŘÍLOHY	1

Úvod

Předkládaná práce je zaměřena na návrh a realizaci řídicí jednotky na bázi dvou 8 bitových mikrokontrolérů PIC s vestavěným PLC automatem, určené primárně pro řízení trojfázového asynchronního motoru.

PLC automaty jsou univerzální uživatelsky programovatelné řídicí systémy, které jsou používány pro automatizaci řady průmyslových aplikací, řízení strojů a zařízení, regulaci neelektrických veličin, sběr dat, apod.

Zařízení je možné programovat z ovládacího panelu, který je tvořen LCD displejem a maticovou klávesnicí. Řídicí jednotka je vybavena osmi galvanicky oddělenými číslicovými vstupy, šesti galvanicky oddělenými číslicovými výstupy, třemi galvanicky oddělenými analogovými vstupy, šesti galvanicky oddělenými PWM výstupy a jedním analogovým vstupem bez galvanického oddělení.

Text je rozdělen do čtyř částí. První část se zabývá obecným popisem řídicích jednotek, zvláště PLC automatů, jejich částmi a použitím. Druhá část se zabývá návrhem zařízení, obvodovým řešením, zejména zapojením číslicových vstupů a výstupů, PWM výstupů, analogových vstupů a zapojením zdroje. Ve třetí části je popsána funkce firmware, který zajišťuje základní funkce řídicí jednotky. Funkce uživatelského rozhraní je znázorněna pomocí vývojového diagramu. Ve čtvrté části jsou popsány jednotlivé instrukce řídicí jednotky. Tato část je koncipována jako uživatelská příručka. U popisu jednotlivých instrukcí jsou uváděny krátké příklady uživatelského programu.

1 Řídicí jednotky

1.1 Obecně o řídicích jednotkách

Řídicí jednotka je systém, který na základě svého algoritmu řídí výstupy v závislosti na stavech vstupů. Řídicí jednotky mohou být jednoúčelové, nebo uživatelsky programovatelné, pracující samostatně, nebo komunikující s jinými řídicími jednotkami či s nadřazeným řídicím systémem pomocí sběrnic. V dnešní době jsou rozšířené řídicí jednotky PLC automaty a řídicí jednotky pro pohony (elektrické, spalovací, hydraulické i pneumatické, pro frekvenční měniče, řízené usměrňovače, regulaci topných systémů apod.). Nově se objevují řídicí jednotky pro frekvenční měniče rozšířené o PLC automat, celý systém je pak programován ve standardních jazycích PLC.

1.2 PLC automaty

PLC automaty jsou univerzální uživatelsky programovatelné řídicí systémy, které jsou dnes hojně používány pro automatizaci průmyslových aplikací. Tyto automaty jsou schopny vykonávat instrukce na základě programu, který je uložen v uživatelsky programovatelné paměti. Z této paměti je cyklicky čten centrální jednotkou, která požadované instrukce vykonává. PLC je spojeno s řízeným systémem prostřednictvím senzorů a akčních členů, bývá často součástí velkých řídicích systémů, jehož součástí je několik PLC automatů a nadřazený řídicí systém. V těchto systémech komunikují jednotlivé bloky pomocí sběrnic. Dle konstrukce se PLC automaty dělí na:

- ***Mikro PLC***

Jsou nejmenší a nejlevnější PLC automaty, které není možno dále rozšiřovat a jsou určeny pro nejjednodušší aplikace. Instrukční sada je omezena na minimum, omezena je i délka programu a komunikační možnosti.

- ***Kompaktní PLC***

Tato PLC nabízejí určitou volbu konfigurace, mají větší počet vstupů, výstupů a instrukcí než mikro PLC. K základnímu modulu lze připojit jeden, nebo několik rozšiřujících modulů, například moduly binárních vstupů a výstupů, moduly rychlých čítačů, moduly analogových vstupů nebo výstupů, moduly regulátorů apod.

- **Modulární PLC**

Tato PLC se skládají z nosného rámu, do kterého jsou zasouvány libovolné funkční moduly. Moduly jsou propojeny pomocí sběrnic a jejich počet je omezený pouze adresovatelným prostorem procesoru.

Moduly binárních vstupů jsou galvanicky oddělené, jeden modul obsahuje 16 nebo 32 vstupů. Stejnosměrné napěťové hladiny vstupů mohou být 5V, 12V, 24V a 48V. Střídavé napěťové úrovně vstupů jsou 24V, 48V, 115V a 230V.

Moduly binárních výstupů jsou galvanicky oddělené. Jsou řešeny pro stejnosměrné napájení v provedení pomocí optočlenů s tranzistory, nebo pro střídavé napájení prostřednictvím relé, nebo triaku.

Analogové moduly se používají pro různé napěťové a proudové rozsahy proti společné nule, nebo diferenciální v úrovních $\pm 50\text{mV}$, 256mV , 1V, 10V, 1mA, 5mA, 20mA s rozlišením minimálně 10 bitů. Existují také moduly pro konkrétní typ snímače, například pro termočlánky, nebo pro odporové snímače (Ni100, Ni200, Ni500, Ni1000, Ni2000, Pt100, Pt500). Analogové moduly s galvanickým oddělením výrazně zvyšují odolnost proti rušení.

Rychlé čítače a polohovací moduly slouží pro rychlé čítání, nebo pro snímání polohy a otáček pomocí inkrementálního snímače. Lze s nimi vyhodnocovat rychlé impulsy. Používají se pro měření úhlu, polohy, rychlosti, zrychlení, apod.

Speciální moduly, to jsou komunikační moduly pro různá rozhraní a také přídatné moduly umožňující rozšíření paměti, atd .

1.3 Programovací jazyky PLC

- **Jazyk mnemokódu**

Tento jazyk je podobný assembleru u počítačů, instrukce jsou psány pod sebe. Každé instrukci odpovídá jeden příkaz. Tento jazyk je dnes často používán, umožňuje nejlepší přizpůsobení úlohy možnostem PLC.

- **Jazyk kontaktních schémat**

Program obsahuje základní logické funkce, které se zobrazují v liniové podobě. Tento jazyk je podobný jako kreslení schémat s relé, stykači a kontakty.

- **Jazyk logických schémat**

V jazyce funkčních bloků má každá logická operace a každá funkce svou značku. Tento jazyk je podobný kreslení logických schémat pro integrované obvody.

- **Jazyk strukturovaného textu**

Tento jazyk je obdobou vyšších programovacích jazyků, jako je například C, C++ nebo Pascal.

1.4 Současný stav trhu

V současnosti se používají PLC automaty od mikro provedení až po modulární. Mikro PLC se dnes často vyskytují s několika analogovými vstupy, někdy i analogovými výstupy a několika binárními vstupy a výstupy se standartními logickými, aritmetickými, ale i speciálními funkcemi, například PID regulátor. Tato PLC dnes už dostatek paměť RAM až 512kB. Používají se jako náhrada reléové logiky, řízení velmi malých technologií, PID regulace, řízení vzduchotechnických jednotek apod.

Kompaktní PLC se používají pro menší aplikace řízení, regulace a měření. Jsou připojitelné na terminály a pomocí modulů, lze rozšířit vstupy a výstupy. Používají se pro řízení strojů a zařízení, monitoring a sběr dat, regulace neelektrických veličin apod.

Modulární PLC jsou flexibilní a univerzální systémy, které umožňují připojení několika modulů vstupně/výstupních, komunikačních, či speciálních. V jedné sestavě lze použít stovky vstupů, po připojení vzdálených vstupů/výstupů lze rozšířit počet až na několik tisíc vstupně-výstupních signálů. Použití těchto automatů je univerzální. Typické použití je řízení rozsáhlých technologických celků, koncentrátoři dat, komunikační centrály, řízení tepelných soustav, řízení a monitoring elektráren, vodáren, čistíren odpadních vod, řízení strojů a zařízení.

Drive PLC je kompletní automatizační systém, který je kombinací frekvenčního měniče s PLC automatem s rozhraním přizpůsobeným pro měnič v provedení kompaktním, nebo modulárním.



Obr. 1.1 Drive PLC, foto převzato z www.emp.cz

2 Návrh řídicí jednotky

2.1 Stanovení vlastností zařízení

Navržené zařízení bude schopno řídit pomocí PWM výstupů trojfázový frekvenční měnič, vykonávat základní kombinační, sekvenční a aritmetické instrukce. Požadované parametry vstupů a výstupů jsou uvedeny v tabulce Tab 2.1.

Vstup/výstup	počet	požadované parametry
Číslicový výstup	6	12V/120mA
Číslicový vstup	8	12V/10mA, 24V/30mA
Analogový galvanicky oddělený	2	0 až 5V
Analogový galvanicky oddělený	1	0 až 300mV
Analogový bez galvanického oddělení	1	0 až 5V
PWM výstup galvanicky oddělen	6	12V/120mA, spínací frekvence 100Hz až 10kHz

Tab 2.1 Požadované parametry a počet vstupů/výstupů

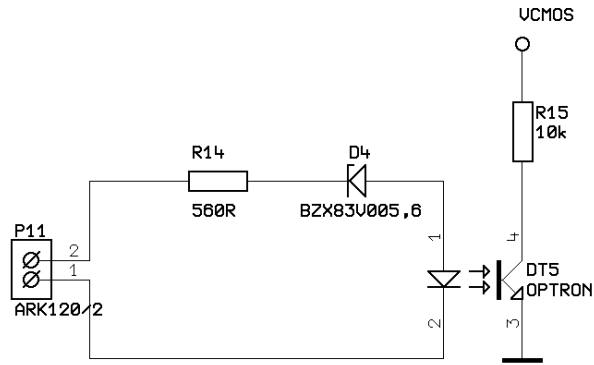
2.2 Obvodové řešení

Před řešením obvodového uspořádání je nutné zvolit vhodný mikrokontrolér, rozhodnout zda bude osmi, nebo šesnásobitový, zda bude jeden nebo více mikrokontrolérů, zvolit požadavek na rychlost mikrokontroléru, požadavek na paměť, A/D převodník, sériová rozhraní a počet I/O pinů.

Pro tuto aplikaci bylo zvoleno řešení se dvěma osmi bitovými mikrokontroléry PIC. Jedná se o mikrokontrolér PIC 18F4620, který bude umožňovat programování prostřednictvím ovládacího panelu a vykonávání standartních PLC instrukcí na základě uživatelského programu, který bude ukládán do externí IIC EEPROM paměti a mikrokontrolér PIC 18F4431, který bude komunikovat s mikrokontrolérem 18F4620 pomocí rozhraní UART a zajišťovat všechny funkce řízení frekvenčního měniče, zejména skalární řízení trojfázového asynchronního motoru s nastavitelnou spínací frekvencí a nastavitelnými dobami rozběhu a doběhu .

- **Zapojení číslicového vstupu**

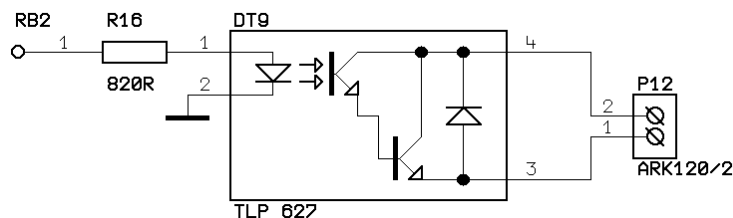
Zapojení je na obrázku Obr 2.1 . Zenerová dioda slouží pro oddělení napět'ových hladin stavů logická 0 a logická 1. Toto zapojení neumožňuje průchod proudem, při opačné polaritě napětí větší než 6V hrozí zničení vstupní LED diody optronu PC847.



Obr. 2.1 Zapojení číslicového vstupu

- **Zapojení číslicového výstupu**

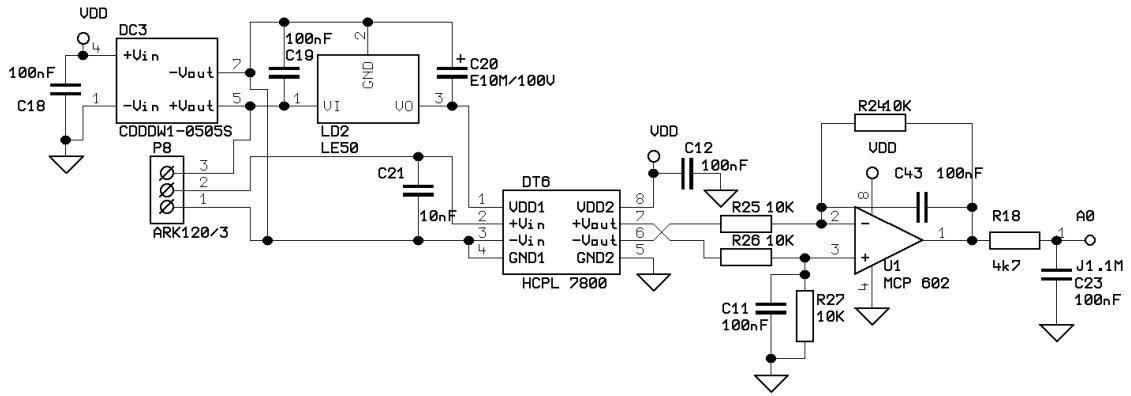
Zapojení číslicového výstupu je na obrázku Obr. 2.2. Požadavky na číslicové výstupy jsou malé vstupní proud přivedený z mikrořadiče a velký výstupní proud. Většina optronů vyžaduje na vstupu přibližně stejně veliký proud jako na výstupu. Při použití běžných optronů, například PC847 by bylo nutné zesílit výstupní proud pomocí vnějších tranzistorů v Darlingtonově zapojení. Proto je výhodnější použití optronu s vnitřním tranzistorem v Darlingtonově zapojení a se zpětnou diodou.



Obr. 2.2 Zapojení číslicového výstupu s optočlenem TLP 627

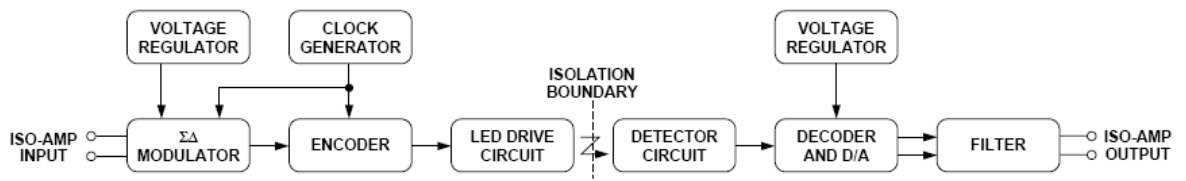
- **Zapojení analogových vstupů**

První možností je použití izolačního zesilovače pro galvanické oddělení a následné zesílení operačním zesilovačem v zapojení jako rozdílový zesilovač. Izolační zesilovač musí mít galvanicky oddělené napájení, k tomu slouží DC-DC konvertor U1. LD2 je low-drop stabilizátor, který stabilizuje výstupní napětí DC-DC konvertoru s malým úbytkem napětí. Tento způsob je vhodný pro mikrokontrolér s AD převodníkem. Zapojení je na obrázku Obr. 2.3.



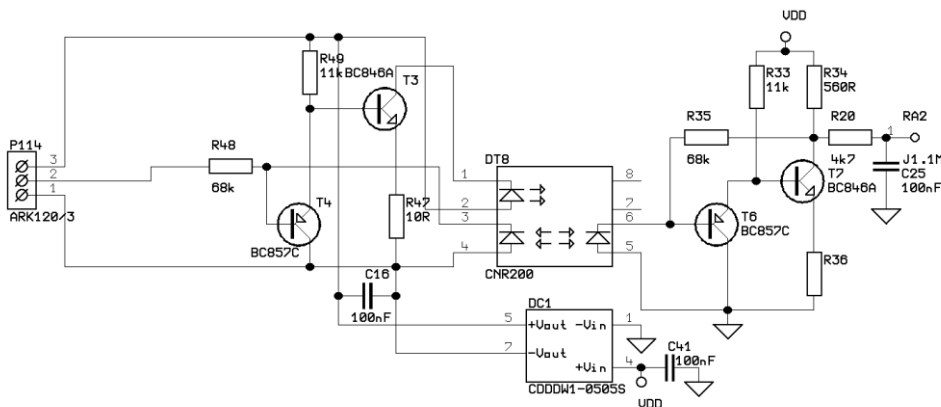
Obr 2.3 Zapojení analogového vstupu s izolačním zesilovačem HCPL 7800

Izolační zesilovač funguje na principu sigma-delta modulace, kde je spojitý analogový signál modulován na nespojitý, následuje optočlen a na výstupu D/A převodníkem převeden zpět na spojitý rozdílový signál se zesílením 8.



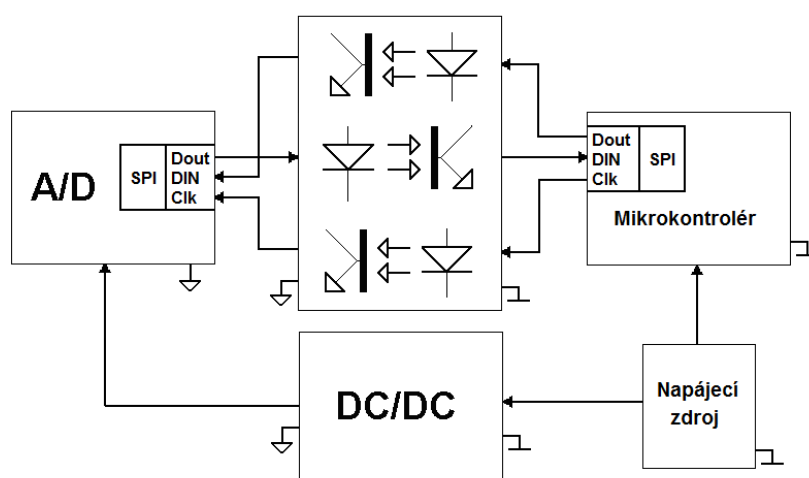
Obr 2.4 Blokové schéma izolačního zesilovače

Druhou možností je využití speciálních optočlenů, například CNR 200, který má na vstupu LED diodu a fotodiodu a na výstupu fotodiodu, která má totožné parametry jako fotodioda na vstupu. Vstupní fotodioda funguje jako zpětná vazba, snímá a stabilizuje osvětlení vstupní LED diody. Použitím optočlenu CNR 200 lze dosáhnout linearity až 0,01%. Zapojení je na obrázku 2.5 .



Obr 2.5 Zapojení analogového vstupu s optočlenem CNR200

Další možnost ukazuje blokové schéma na obrázku Obr 2.6 . Toto zapojení je složitější, ale přesnější než zapojení s izolačním zesilovačem nebo optočlenem CNR200. AD převodníkem je vstupní signál převeden na digitální a přes optočleny galvanicky oddělen. AD převodník musí mít rovněž galvanicky oddělené napájení, například pomocí DC-DC konvertoru. A/D převodník je vhodné použít se sériovým rozhraním nejčastěji používáno je SPI. Signál CS není na obrázku zakreslen, pokud používáme pouze jeden takový vstup, je možné na CS na obou stranách trvale přivést logickou 0. V případě použití více takových vstupů je nutné použít na každý vstup o jeden optočlen více a přepínat mezi jednotlivými vstupy pomocí signálu CS.



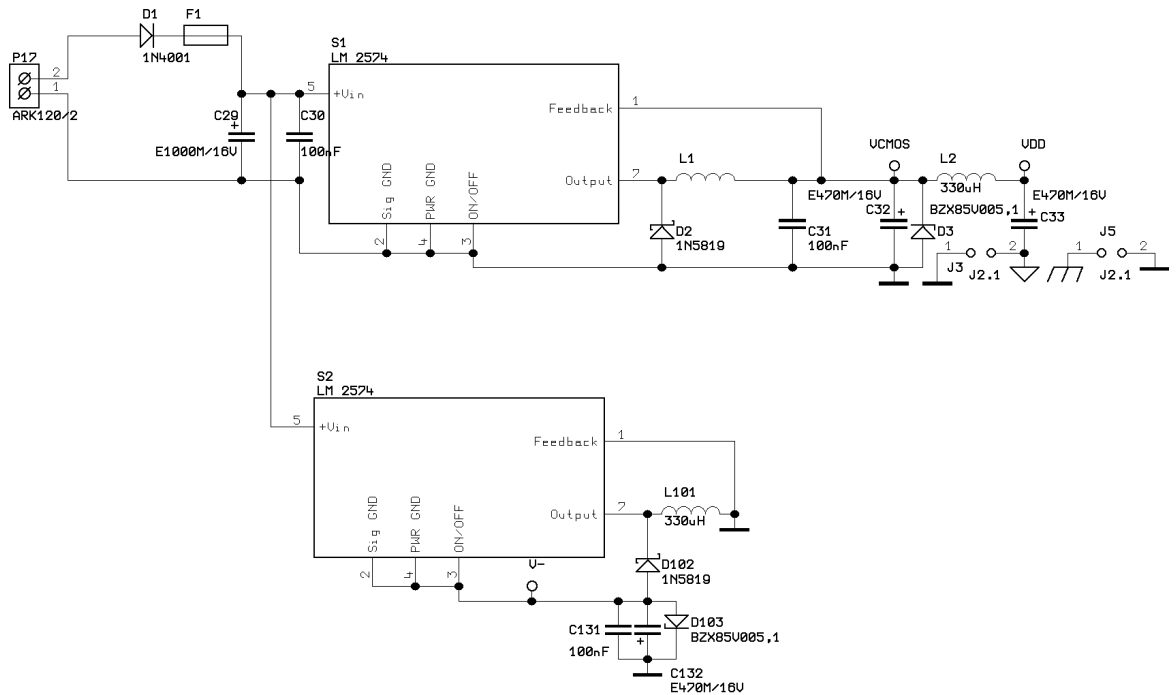
Obr 2.6 Blokové schéma zapojení analogového vstupu s SPI A/D převodníkem

• *Zapojení zdroje*

Zdroj musí napájet celou řídicí jednotku, zejména číslicovou část, galvanicky oddělené analogové vstupy a analogovou část tvořenou operačními zesilovači pro převod napěťových úrovní z proudových čidel na napěťové hladiny pro A/D převodník, ochranami proti nadproudu a ochranami napětí meziobvodu. Hodnoty napětí jednotlivých součástek vychází z katalogových hodnot, tyto hodnoty jsou uvedeny v tabulce Tab 2.2 . Bylo zvoleno zapojení se dvěma spínanými stabilizátory LM2574, zapojení je na obrázku 2.7.

Mikrokontroléry	5V
DC-DC konvertory	5V
Operační zesilovače MCP602	5V
Operační zesilovače TS912	5V, -5V
Izolační zesilovač HCPL 7800	5V
IIC EEPROM 24C32	5V
LCD displej	5V

Tab 2.2 Napájecí napětí jednotlivých součástek

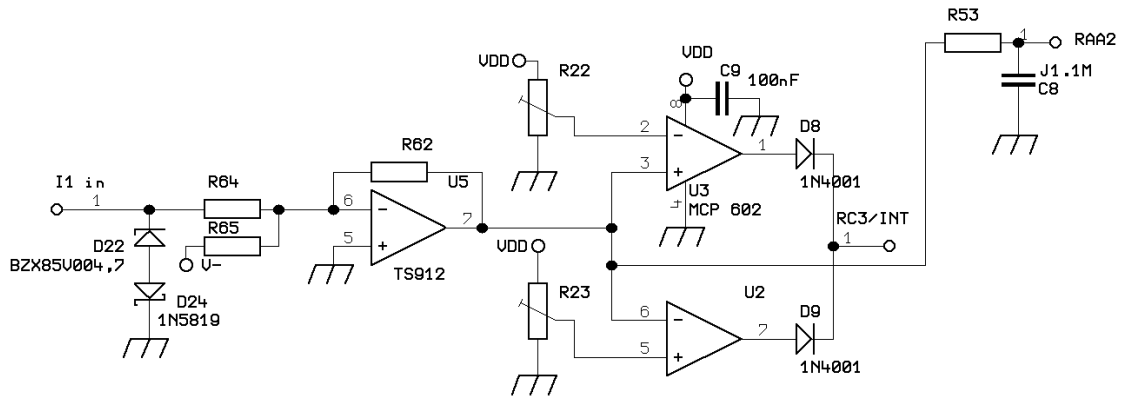


Obr 2.7 Zapojení zdroje se spínanými stabilizátory

V tomto zapojení je číslicová část napájena z výstupu S1 LM 2574 filtrovaného LC filtrem a analogové části přes další LC filtr pro potlačení rušení od číslicové části. S2 LM2574 vytváří -5V pro operační zesilovače.

- **Zapojení nadproudové ochrany a přizpůsobení napěťových hladin**

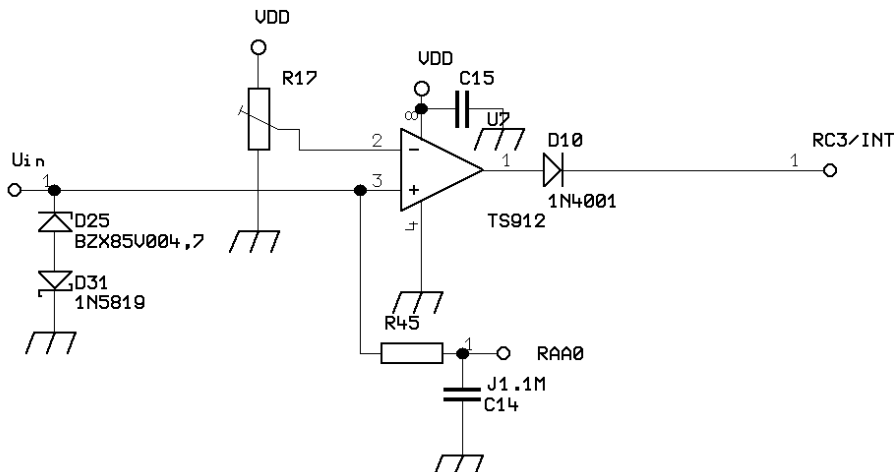
Operační zesilovač U5 pracuje jako převodník napěťových úrovní proudových čidel umístěných na měniči, pro který je řídicí jednotka primárně určena, jedná se o čidla LEM, s výstupy -5V až 5V na napěťové úrovni pro A/D převodník 0 až 5V. K tomu účelu je použit sumátor, k napětí z čidla proudu se přičítá -5V a se zesílením 0,5 se invertuje. Výsledkem je invertovaný průběh napětí, který lze přivést k A/D převodníku, přes antialiasing filtr tvořený integračním RC členem. Za operačním zesilovačem U5 jsou umístěny komparátory, které hlídají horní a dolní meze proudu. Nastavení komparačních mezí se provádí pomocí trimrů. Výstupy komparátorů jdou spřaženy přes schotkyho diody a vedeny k mikrokontroléru, kde vyvolají externí přerušení. Zapojení je na obrázku Obr 2.8 .



Obr 2.8 Zapojení nadproudové ochrany a napět'ového přizpůsobení

- **Zapojení ochrany napětí meziobvodu**

V tomto zapojení (Obr 2.9) není třeba úpravy vstupního signálu je zde pouze omezovač napětí se zenerovou diodou, která chrání A/D převodník proti překročení napětí z čidla napětí meziobvodu přes 5V. Při překročení úrovně napětí nastavené trimrem se přeploží komparátor, který vyvolá externí přerušení. Hodnoty napětí trimrů komparátoru lze zobrazit na LCD displeji, je ale nutné přitom nastavení tohoto režimu v uživatelském programu a je nutné přepnout na příslušný trimr pomocí DIP spínačů, tato funkce bude vysvětlena v poslední kapitole, kompletní schéma včetně DIP spínačů je v příloze E.



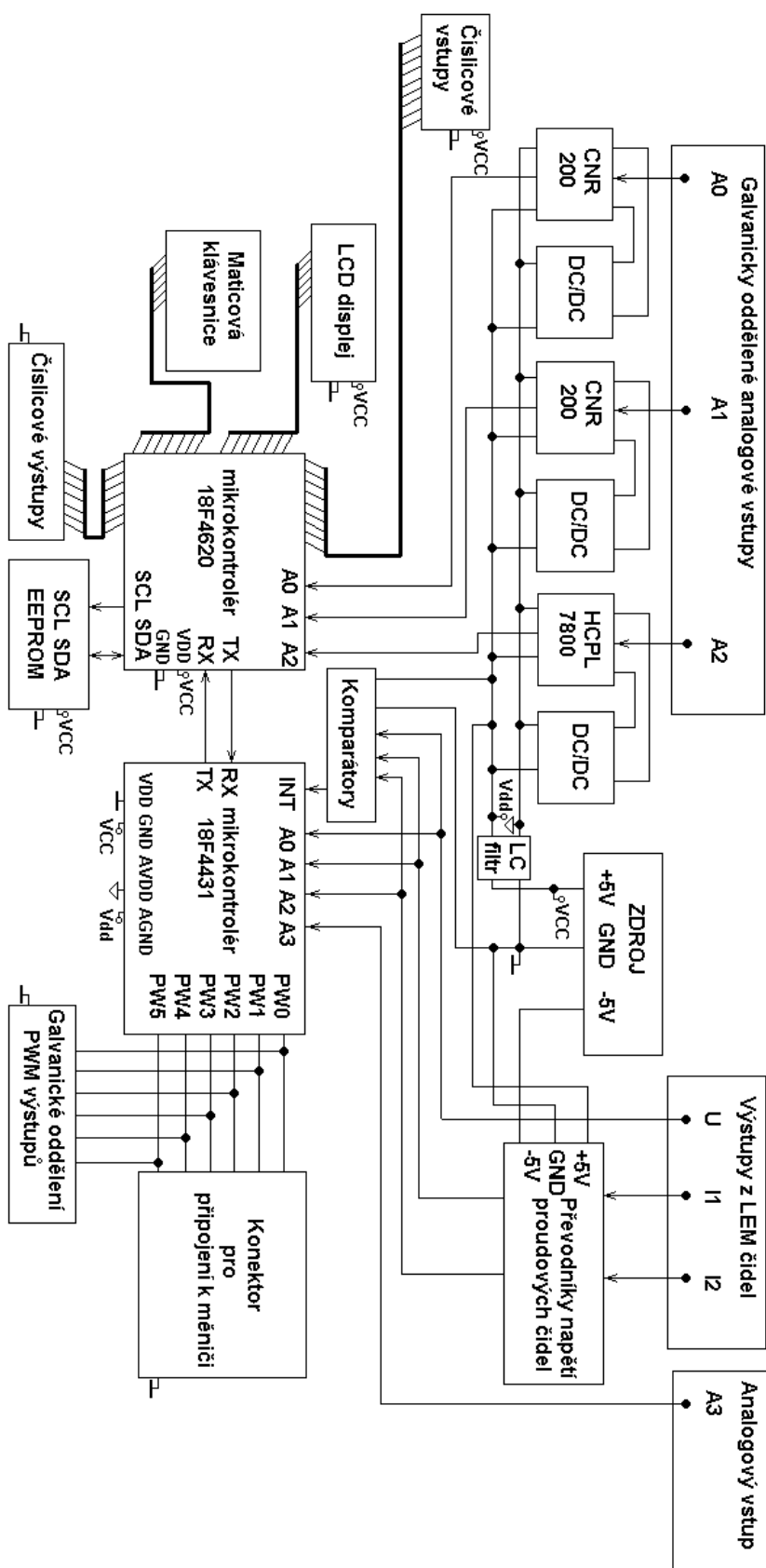
2.9 Zapojení ochrany proti překročení napětí ve stejnosměrném meziobvodu

3 Firmware řídicí jednotky

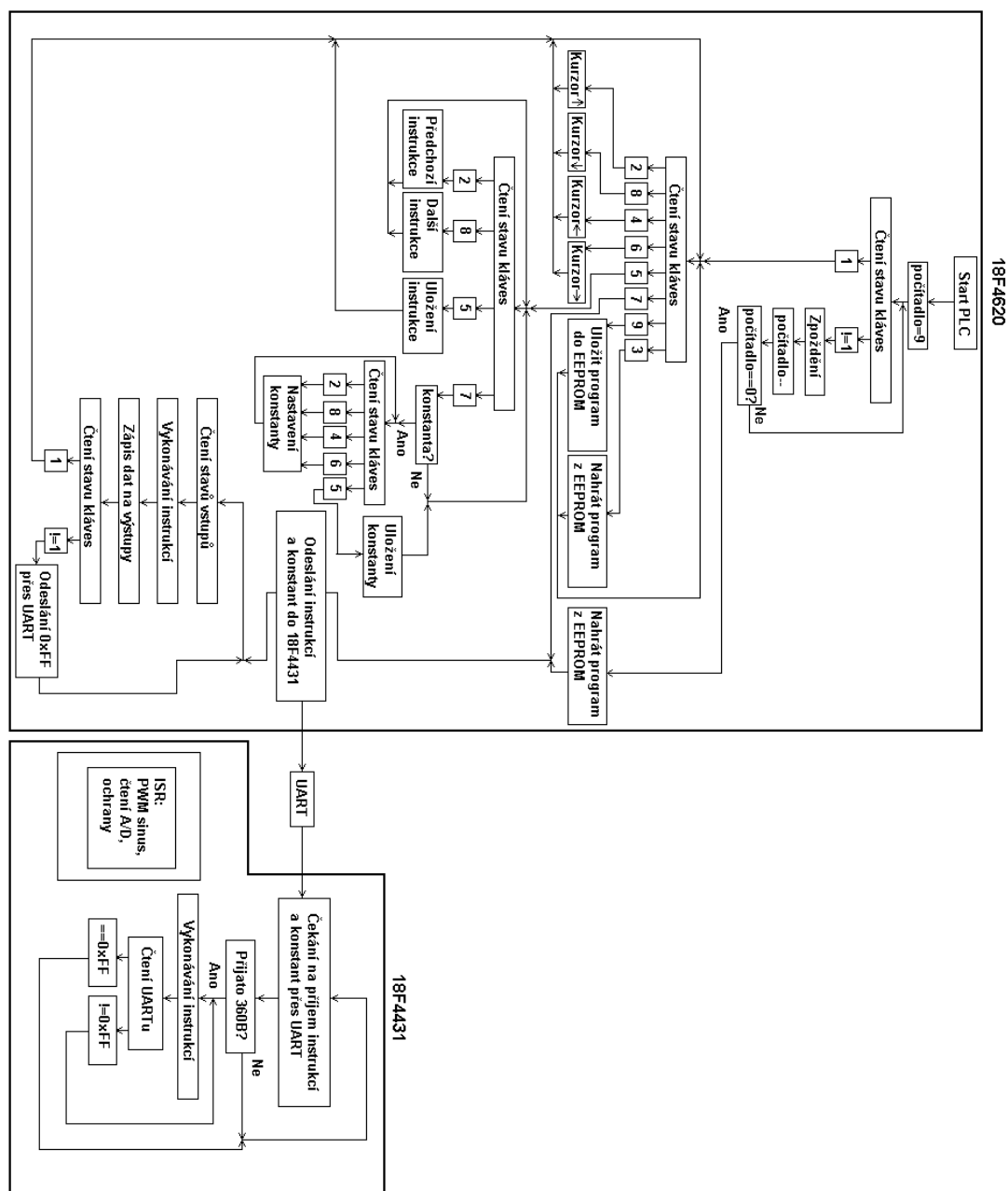
3.1 Popis funkce firmware a vývojový diagram

Firmware je program, který umožňuje základní funkčnost zařízení a umožní psaní uživatelského programu prostřednictvím uživatelského panelu, který je tvořen LCD displejem a maticovou klávesnicí, dále umožňuje uživateli editovat, ukládat, nahrávat a spouštět uživatelský program. Psaní uživatelského programu je jednoduché a intuitivní, podobně jako v textovém dokumentu na PC. Na displeji je blikající kurzor, který se pohybuje podle tlačítek na klávesnici, funkce tlačítek je patrná z vývojového diagramu na obrázku Obr 3.2. Když se uživatel dostane kurzorem na místo, kde bude chtít umístit, změnit instrukci nebo adresu, stiskne na klávesnici tlačítko 5 a pomocí kláves 2 a 8 si nastaví požadovanou instrukci/adresu.

Uživatelský program je uspořádán do dvou sloupců a tisíce řádků. Prvních 150 řádků je určeno pro řízení frekvenčního měniče, tyto instrukce jsou s konstantami odeslány před spuštěním uživatelského programu do mikrokontroléru 18F4431 pomocí rozhraní UART, kde jsou uloženy do paměti RAM a následně jsou zde cyklicky vykonávány. Zbývajících 850 řádků zůstává v paměti RAM mikrokontroléru 18F4620 a jsou zde cyklicky vykonávány. Tyto instrukce jsou odlišné od instrukcí odeslané do mikrokontroléru 18F4431, jsou to základní kombinační, sekvenční a aritmetické instrukce. Instrukce jsou vykonávány v cyklu, nejdříve jsou načteny číslíkové vstupy do pomocných proměnných, pak jsou vykonávány jednotlivé instrukce a nakonec se provede zápis číslíkových dat na výstupy. Analogové vstupy jsou načítány do proměnné *pomkonst* za běhu programu. Program se skládá z adres a instrukcí. Každá adresa a každá instrukce má svůj přidělený kód. Na obrázku Obr 3.1 je struktura celé řídicí jednotky znázorněna pomocí zjednodušeného blokového schématu.



Obr 3.1 Struktura řídicí jednotky



Obr 3.2 Vývojový diagram funkce uživatelského rozhraní

4 Instrukce řídicí jednotky

4.1 Popis instrukcí PLC

Všechny instrukce pro mikrokontrolér PLC jsou platné pro čísla řádků 150 až 999.

- **Instrukce LD**

Tato instrukce slouží k načtení číslicových vstupů, nebo bitových proměnných do zásobníku a k načtení analogových vstupů do pomocné proměnné *pomkonst*. Zásobník je tvořen proměnnou typu integer, jejíž jednotlivé bity představují prvky zásobníkové paměti. Při načítání dat do zásobníku se provede nejprve posun zásobníku doleva, tím se uvolní nultý bit a poslední bit se ztratí. Do nultého bitu zásobníku se zapíše stav daného vstupu prostřednictvím proměnné, do které byly uloženy stavy číslicových vstupů na počátku cyklu, nebo je možné načíst bitovou proměnnou.

Analogové vstupy jsou načítány do pomocné proměnné typu integer v programu označené jako *pomkonst* za běhu programu. Stejným způsobem se načítají proměnné typu integer a konstanty do proměnné *pomkonst*.

Příklad:

LD D00 - načtení číslicového vstupu D00

LD B01 - načtení bitové konstanty B01

LD A02 - načtení analogového vstupu A02

LD K03 - načtení konstanty K03

LD Q09 - načtení proměnné typu integer Q09

LD COM - načtení hodnoty z AD převodníku kontroléru 18F4431 přes UART

- **Instrukce LDC**

Tato instrukce načítá negovaná data, funguje stejně jako instrukce LD.

- **Instrukce WR**

Instrukce WR zapisuje data ze zásobníku na výstupy, nebo do bitových proměnných a data z proměnné *pomkonst* do proměnných typu integer.

V případě zápisu do proměnné typu integer je zápis podmíněný stavem zásobníku. Pouze když je v nultém bitu zásobníku logická 1, jsou data z proměnné *pomkonst* zapsána do příslušné proměnné. Při zápisu do proměnné se automaticky odesílá hodnota příslušné proměnné do mikrokontroléru pro řízení měniče (18F4431) pomocí rozhraní UART. Nejprve

se vyšle adresa proměnné, na kterou bude daná proměnná odeslána, následuje spodní a potom horní bajt příslušné proměnné.

Příklad:

WR O00 - zápis dat na číslicový výstup

WR B02 - zápis dat do bitové proměnné B02

WR Q02 - podmíněný zápis dat do proměnné typu integer Q02

Příklad podmíněného zápisu:

LD D00

LD K00 0100

WR Q01

- pouze když je na vstupu D00 logická 1 se zapíše konstanta K00 do proměnné Q01 a odešle se do mikrokontroléru 18F4431 na adresu Q01

- **Instrukce WRC**

Je negovaná instrukce WR.

- **Instrukce LET**

Provádí impuls délky jednoho cyklu od náběžné hrany. V prvním cyklu uloží stav nultého bitu zásobníku do bitové proměnné a v dalším cyklu porovná stav zásobníku s předchozím stavem, který je uložen v bitové proměnné. Když je v nultém bitu zásobníku logická 1 a v bitové proměnné logická 0, nechá v nultém bitu zásobníku logickou 1 a uloží ji do bitové proměnné. Když budou načteny do zásobníku negovaná data, bude se vyhodnocovat doběžná hrana.

Příklad:

LD D01 - načtení číslicového vstupu D01 do zásobníku

LET B03 - vyhodnocení náběžné hrany vstupu D01

- **Instrukce REV**

Pokud bude v nultém bitu zásobníku jiná hodnota než předchozí, je odeslán požadavek na změnu směru točení motoru, ke změně směru dojde k prohození prvních dvou fází motoru a točivé pole motoru bude mít opačný směr. Prohození fází nastane pouze v příradě, že frekvence klesne pod nastavenou frekvenci frv.

Příklad:

```
LD D01 načtení stavu tlačítka pro opačný směr točení
SET B00 nastavení bitové proměnné na logickou 1 když je D01 sepnuto
LD D02 načtení stavu tlačítka pro první směr točení
RES B00 nulování bitové proměnné, když D02 je sepnuto
LD B00 načtení požadavku na směr točení do zásobníku
REV odeslání požadavku na směr točení do mikrokontroléru 18F4431
```

- **Instrukce NOT**

Neguje nultý bit zásobníku.

- **Instrukce I/O**

Funguje jako klopný obvod T, pokud je v nultém bitu zásobníku logická 1, změní stav příslušné bitové proměnné.

Příklad: na první stisk tlačítka zapnutí na druhý stisk vypnutí

```
LD D00
LET B00
I/O B01
LD B01
WR O00
```

- **Instrukce AND,OR,ANC,ORC**

Při vykonávání instrukcí kombinačních funkcí AND,OR,ANC,ORC,XOR se předpokládá, že data jsou načtena v zásobníku. Zásobník přesune nultý bit do pomocné proměnné, následuje posun zásobníku doprava a vykonání požadované operace mezi nultým bitem zásobníku a pomocnou proměnnou, výsledek bude v nultém bitu zásobníku.

Příklad: $O01 = (D00 \& D01) | (D02 \& D03)$

```
LD D00
LD D01
AND
LD D02
LD D03
AND
```

OR

WR O01

- **Instrukce SET a RES**

SET nastaví příslušnou bitovou proměnnou na logickou 1, když je v nultém bitu zásobníku logická 1. RES nuluje příslušnou bitovou proměnnou, když je v nultém bitu zásobníku logická 1.

Příklad: RS klopný obvod s výstupem na O01

LD D00

SET B03

LD D01

RES B03

LD B03

WR O01

- **Instrukce EQ,GT a LT**

Tyto instrukce slouží k porovnání hodnoty uložené v proměnné *pomkonst* s konstantou, nebo proměnnou typu integer. Když je při vykonávání instrukce GT hodnota *pomkonst* větší než porovnávaná hodnota je do nultého bitu zásobníku zapsána logická 1, když je *pomkonst* menší nebo rovna porovnávané hodnotě, je do nultého bitu zásobníku zapsána logická 0. Obdobně funguje i instrukce pro rovnost EQ a instrukce menší než LT.

- **Instrukce CTU a CTD**

CTU je čítač nahoru, CTD je čítač dolů. Pro jejich spávnou funkci je nutné aby vstupní data čítače byla v prvním bitu zásobníku a požadavek na nulování čítače v nultém bitu zásobníku. Nejprve se zjistí stav nultého bitu zásobníku, když obsahuje logickou 1, je čítaná proměnná nulována, následuje posun zásobníku doprava. Jestliže v nultém bitu zásobníku byla logická nula, provede se posun zásobníku doprava a znovu se zjistí stav nultého bitu zásobníku. Když je v nultém bitu zásobníku logická 1 inkrementuje se příslušná proměnná v případě instrukce CTU, nebo se dekrementuje v případě instrukce CTD. Čítače CTU a CTD reagují na hladinu, při použití instrukce LET reagují na náběžnou, nebo doběžnou hranu.

Příklad: čítač čítá nahoru, reaguje na doběžnou hranu, když dosáhne čítaná proměnná hodnoty 100, vynuluje se a dále nečítá.

LDC	D00	
LET	B00	- vyhodnocení doběžné hrany od D00
LD	B01	- požadavek na nulování
CTU	Q05	- čítání proměnné Q05 nahoru
LD	Q05	- načtení proměnné Q05
EQ	K05 0100	- porovnání Q05 s konstantou K05=100
SET	B01	- nastaví B01 když Q05=K05 způsobí nulování a zastavení čítače

- **Instrukce TON, TOF a IMP**

Instrukce TON provádí zpožděné zapnutí, instrukce TOF zpožděné vypnutí a instrukce IMP vytváří impuls od náběžné hrany o délce dané konstantou. Tyto instrukce využívají běhu časovače TMR0, který každou milisekundu inkrementuje proměnnou *ctac*, po dosažení hodnoty 100 se vynuluje a inkrementuje proměnnou timer, po dosažení hodnoty 10000 se *timer* vynuluje. Proměnná timer tedy funguje jako čítač čítající od 0 do 9999 po 0,1s. Tento čítač běží po celou dobu běhu programu. Instrukce TON zjistí stav nultého bitu zásobníku, jestliže v prvním cyklu není nulový, je v instrukci nulován. Jestliže je v nultém bitu zásobníku logická 0, bude přečtena hodnota proměnné *timer* a podle velikosti konstanty bude vypočtena hodnota, kterou bude mít proměnná *timer* po uplynutí časového intervalu daného konstantou. Tato hodnota je počítána a ukládána v každém cyklu do pomocné proměnné. Jestliže je v nultém bitu zásobníku logická 1, bude uložená hodnota porovnávána s hodnotou proměnné *timer*. Když bude proměnná *timer* menší než hodnota pomocné proměnné, bude nultý bit zásobníku nulován. Když bude hodnota proměnné *timer* větší nebo rovna hodnotě uložené v pomocné proměnné zůstane v nultém bitu zásobníku logická 1 a pomocná proměnná se vynuluje. Když je hodnota pomocné proměnné vypočtena přes přetečení proměnné *timer*, je nutné zajistit aby v rozmezí hodnot proměnné *timer* od původní hodnoty do přetečení proměnné *timer* byla menší než pomocná proměnná. To je zajištěno nastavením posledního bitu pomocné proměnné, tento bit je po přetečení proměnné *timer* nulován. Obdobně funguje i instrukce TOF a IMP.

Příklad: zpožděné zapnutí o 10s

```
LD    D00
TON   K01  0100
WR    O04
```


- **Instrukce ADD,SUB,MUL,DIV**

Tyto instrukce vykonávají aritmetické celočíselné operace mezi hodnotou načtenou do proměnné *pomkonst* a konstantou, nebo proměnnou typu integer, výsledek zůstane v proměnné *pomkonst*. ADD provádí celočíselný součet, SUB rozdíl, MUL součin a DIV podíl.

Příklad: program načte vstup A01 do proměnné *pomkonst*, přičte 10 a násobí třemi

```
LD    A01
ADD   K03  0010
DIV   K04  0003
```

- **Instrukce LCD**

Tato instrukce zobrazí maximálně čtyřikrát hodnotu proměnné *pomkonst* na LCD displej.

Příklad: program zobrazí hodnotu z A02 a čítané proměnné Q02 na LCD displej

```
LD    A02    - načtení analogového vstupu A02 do proměnné pomkonst
LCD                    - zobrazení hodnoty proměnné pomkonst
LD    D00    - načtení vstupu D00 do nultého bitu zásobníku
LET   B00    - vyhodnocení náběžné hrany
CTU   Q02    - čítání Q02 nahoru
LD    Q02    - načtení Q02 do proměnné pomkonst
LCD                    - zobrazení hodnoty proměnné pomkonst
```

4.2 Popis instrukcí pro řízení frekvenčního měniče

Všechny instrukce pro řízení frekvenčního měniče jsou platné pro čísla řádků 0 až 149, v textu bude dále označováno jako instrukce pro FM.

- **Instrukce LD**

Tato instrukce slouží k načtení dat do zásobníku, v tomto případě se nejedná o bitový zásobník, ale o zásobník tvořený pětiprvkovým polem typu integer. Při každém načítání dat do tohoto zásobníku se poslední prvek pole odstraní a každý prvek s nižším indexem se posouvá na pozici s indexem o 1 vyšším. Po tomto posuvu se načte konstanta nebo proměnná do pozice nultého prvku zásobníku.

Příklad:

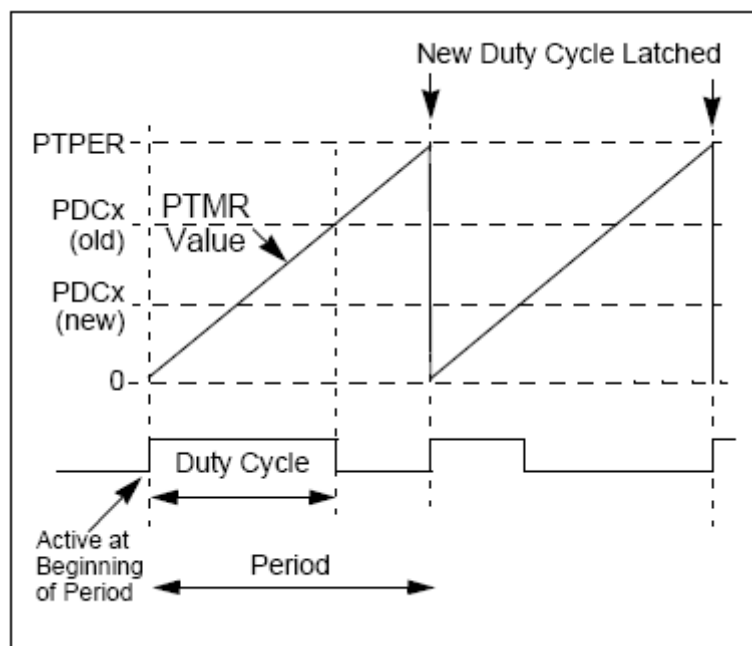
```
LD Q01
```

```
LD K00 0198
```

- načtení proměnné Q01 do nultého prvku zásobníku a následuje načtení konstanty, přičemž se nejprve provede posun Q01 na pozici 1 v zásobníku a na pozici 0 se načte konstanta K00

- **Instrukce WR**

Tato instrukce zapisuje nultý prvek zásobníku do PDC (Period Duty Cycle) registrů, to jsou registry určené pro PWM modulaci, určují střidu pulzně modulovaného výstupního průběhu. Činnost PWM modulace je zajišťována hardwarovým blokem Power Control PWM Module, jehož princip je znázorněn na obrázku Obr 4.1. K činnosti pulzně šířkové modulace je nutné nastavit pouze několik řídicích registrů, potom už stačí pouze zapisovat hodnoty do PDC registrů. Z obrázku Obr 4.1 je zřejmé, že registrem PTPER se nastavuje mez přetečení čítače PCPWM bloku a to ovlivňuje velikost pily a její frekvenci, což je spínací frekvence výstupního signálu. Tento pilovitý průběh je porovnáván s hodnotou v příslušném PDC registru, pokud je číslo v PDC registru vyšší než číslo v čítači, který vytváří pilový průběh, bude na příslušný výstup vyslána logická 1, pokud bude číslo v PDC registru nižší, než číslo v čítači, bude na příslušný výstup vyslána logická 0.



Obr 4.1 Princip generování PWM modulace pomocí Power Control PWM bloku, převzato z datasheetu mikrokontroléru 18F4431

Příklad:

LD Q00

WR PW1

- proměnná Q00 je načtena do zásobníku a následně do PDC0 registru, výsledkem je PWM modulace na výstupech PW0 a PW1 odpovídající číslu uloženému v proměnné Q00. PW výstupy jsou znázorněny na obrázku Obr 3.1, nebo v příloze H.

- **Instrukce PWF**

Tato instrukce určuje spínací frekvenci PWM modulace, dle hodnoty v pravém sloupci téhož řádku. Lze použít konstantu i proměnnou. Tímto příkazem lze měnit spínací frekvenci od 488 Hz do 9999Hz bez předděličky, lze použít i předděličky. Předděličky jsou popsány v níže uvedených instrukcích.

Příklad:

PWF K05 5620

- nastaví spínací frekvenci na 5620Hz

- **Instrukce PI**

Instrukce PI je univerzální PI regulátor, který lze použít pro méně náročné regulační aplikace, ale také pro lineární, nebo aperiodické náběhy požadovaných hodnot. Vzhledem k tomu, že instrukce je ve smyčce, jejíž rychlost je závislá na počtu instrukcí, není možné stanovit konstantní diferenci času potřebnou pro diskrétní integraci. Proto je nutné měřit časový interval mezi současným vykonáním instrukce a předchozím. To je provedeno pomocí přerušení od čítače/časovače timer0, který provádí přerušení o frekvenci 800Hz. Při každém přerušení se inkrementuje proměnná *citac* a když dosáhne hodnoty 4500, proměnná se vynuluje. Při prvním vykonání instrukce se do příslušného prvku pole pomocných proměnných uloží stav proměnné *citac* a při dalším cyklu se provede rozdíl současného stavu proměnné *citac* a minulého stavu, který je uložen v poli pomocných proměnných. Po výpočtu integrace je do pole pomocných proměnných uložena nová hodnota stavu proměnné *citac*, která bude použita pro příští integraci.

V této instrukci je nastavitelná časová konstanta, požadovaná hodnota, skutečná hodnota, proporční zesílení a omezovač. Integruje se rozdíl požadované a skutečné hodnoty dělený časovou konstantou a k tomu se přičítá rozdíl požadované a skutečné hodnoty násobený proporčním zesílením. Pokud je proporční zesílení nulové a skutečná hodnota nulová, pak se

PI regulátor chová jako klasický integrátor. Z tohoto PI regulátoru lze jednoduše udělat i aperiodický člen, což je integrátor s jednotkovou zpětnou vazbou.

Příklad:

PWF K00 9800 - nastavení frekvence PWM na 9800Hz

LD K01 0000 - nastavení proporčního zesílení

LD K02 2000 - nastavení časové konstanty

LD Q00 - nastavení zpětné vazby

LD K03 0500 - nastavení požadované hodnoty

PI K04 1000 - PI regulátor s omezovačem 0 až 1000

WR Q00 - zápis výstupu regulátoru do zpětné vazby

WR PW1 - zápis výstupu regulátoru do PDC registrů PWM modulu

- výše uvedený program vykoná aperiodický náběh z 0 na 500 a provede PWM modulaci tohoto průběhu na výstupech PW0 a PW1

- **Instrukce SN1, SN2, SN3**

Instrukce SN1 nastaví amplitudu, frekvenci, fázový posuv první sinusovky a povolení zápisu první sinusovky do PDC0 registru, SN2 a SN3 už jen nastavuje fázové posuvy druhé a třetí fáze a povolení zápisu druhé a třetí sinusovky do registrů PDC1 a PDC2. V obsluze přerušení o frekvenci 800Hz jsou počítány sinusovky a zapisovány do PDC registrů. Tato frekvence byla zvolena empiricky, je to frekvence přerušení, při které ještě mikrokontrolér 18F4431 stihne počítat z tabulky hodnoty sinusovek pro všechny tři fáze a v časovém intervalu mezi koncem výpočtu v obsluze přerušení a novým přerušením vykonávat požadované instrukce. Sinusový průběh je počítán pomocí tabulky, která obsahuje tisíc čísel. Tato čísla jsou posloupností hodnot sinusového průběhu o frekvenci 1Hz s krokem 1ms.

Ukazuje se pointerem na imaginární tabulku o velikosti 8000 prvků, z níž se vybírá každý f-tý prvek. A když se čte číslo z reálné tabulky o velikosti tisíc prvků, podělí se ukazatel osmi pomocí bitového posunu o 3 místa doprava a přečte se číslo z reálné tabulky, na kterou ukazuje pointer po vydělení osmi a pro $f = 1$ až 800 jsou výsledkem sinusové průběhy o frekvencích 0,1Hz až 80Hz s krokem 0,1Hz. Před vydělením osmi se ještě provádí fázový posuv pomocí přičtení příslušné hodnoty k pointeru, pokud pointer přeteče přes 7999, je odečtena hodnota 7999 a ukazatel se vrací na počátek imaginární tabulky. Nastavení fázového posuvu 2667 odpovídá fázovému posuvu 120 stupňů. Aby nebylo nutné provádět přepočty prvků imaginární tabulky je proveden přepočet na stupně s přesností desetiny stupně.

Dále je třeba posunout sinusovku o polovinu velikosti pily nahoru, vynásobit amplitudou a vhodným koeficientem daným spínací frekvencí, která má vliv na velikost pily, se kterou se bude sinusovka porovnávat.

Amplituda je normována tak, aby při zadání stejného čísla do amplitudy a frekvence, byla vypočítána tak, aby platil konstantní poměr amplitudy a frekvence, tento výpočet se provádí s ohledem na nastavenou jmenovitou frekvenci, pokud není jmenovitá frekvence nastavena, je automaticky brána jmenovitá frekvence 50Hz. Dále se k vypočítané amplitudě přičítá dU , jehož význam bude vysvětlen níže.

Příklad: generování PWM trojfázového sinusového průběhu

PWF K00 1500 - nastavení spínací frekvence
LD K01 0500 - nastavení frekvence sinusovky $f=50\text{Hz}$
LD K02 0500 - nastavení amplitudy odpovídající frekvenci
LD K03 0000 - nastavení fázového posuvu 1. fáze
SN1 - výpočet amplitudy podle frekvence a povolení zápisu sinusovky do PDC0 registru
LD K04 1200 - nastavení fázového posuvu 2. fáze
SN2 - povolení zápisu sinusovky do PDC1 registru
LD K05 2400 - nastavení fázového posuvu třetí fáze
SN3 - povolení zápisu sinusovky do PDC2 registru

- **Instrukce $R_s=$**

Načítá konstantu do proměnné r_s , vyjadřuje odpor statoru s přesností dvou desetinných míst.

- **Instrukce $U_c=$**

Načítá konstantu do proměnné u_c , to je celočíselné napětí meziobvodu napětí.

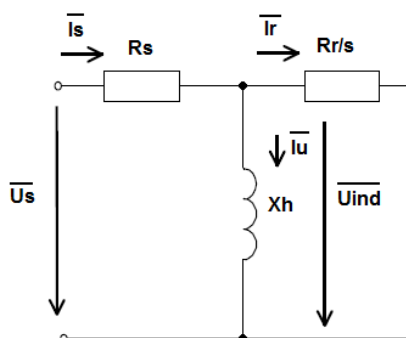
- **Instrukce $I_z=$**

Načte konstantu do proměnné i_z , což je požadovaný záběrný proud s přesností dvou desetinných míst.

- **Instrukce $=dU$**

Tato instrukce z nastaveného odporu statoru R_s , záběrného proudu I_z a napětí meziobvodu U_c počítá úbytek na satorovém odporu, který je nezbytně nutný pro roztočení asynchronního motoru. Výpočet záběrného proudu vychází ze zjednodušeného schématu asynchronního

motoru na obrázku Obr 4.2 . Konstantním poměrem napětí a frekvence se zadává indukované napětí, které asynchronní stroj pouze nabudí, ale moment by byl nulový. Úbytkem na satorovém odporu se zadává záběrný proud a moment. Pokud bude nulová satorová frekvence, bude nulové indukované napětí a záběrný proud bude dán pouze poměrem napětím na satoru a satorovým odporem.



Obr 4.2 Zjednodušené náhradní schéma asynchronního motoru

- **Instrukce dU=**

Touto instrukcí lze zadat dU bez výpočtu v rozmezí 0 až 1023. To je vhodné, pokud neznáme odpor satoru.

Příklad:

Rs= K00 0195 - nastavení odporu satoru 1,95Ω

Uc= K01 0030 - nastavení napětí meziobvodu 30V

Iz= K02 0060 - nastavení záběrného proudu na 0,6A

=dU - výpočet úbytku na satorovém odporu

dU= K03 0512 - druhá možnost - nastavení úbytku na satorovém odporu bez výpočtu

- **Instrukce U>**

Pokud napětí stejnosměrného meziobvodu přesáhne nastavenou mez, dojde k sepnutí brzdného odporu umístěného v měniči. Pokud přesáhne mez nastavenou trimrem dojde k odpojení PWM výstupů.

- **Instrukce U<**

Pokud napětí stejnosměrného meziobvodu klesne pod nastavenou mez, dojde k odpojení všech PWM výstupů. Pokud poklesne napětí meziobvodu a motor je roztočen, došlo by k odbuzení motoru a mohlo by dojít ke zničení motoru, zejména pokud by byl motor naprázdno.

- **Instrukce I>**

Pokud absolutní hodnota proudu jedné ze dvou snímaných fází přesáhne nastavenou mez, dojde k odpojení všech PWM výstupů. Pokud kladná nebo záporná půlvlna proudu přesáhne meze nastavené trimry, dojde k odpojení PWM výstupů.

Příklad:

U> K00 0030 při překročení napětí meziobvodu hodnoty 30V je spínán brzdový odpor

U< K01 0025 při napětí menším, než 25V dojde k odpojení PWM výstupů

I> K02 0100 při absolutní hodnotě proudu vyšší než 1A dojde k odpojení PWM výstupů

- **Instrukce PR0, PR1, PR2**

Jsou to předděličky spínací frekvence pulzně šířkové modulace. PR0 nastavuje předděličku 1:4, PR1 je předdělička 1:16 a PR2 předdělička 1:64. Nejnižší spínací frekvence, jakou lze touto řídicí jednotkou dosáhnout je 7,6Hz, maximální 9999Hz.

- **Instrukce fmn**

Nastavuje minimální frekvence, když je požadovaná frekvence nižší, než fmn nejsou generovány sinusové průběhy.

- **Instrukce fjm**

Nastavuje jmenovitou frekvenci, pokud není nastavena, je automaticky brána jmenovitá frekvence 50Hz.

- **Instrukce fmx**

Nastavuje maximální frekvenci.

- **Instrukce frv**

Nastavuje maximální frekvenci, při které lze reverzovat, pokud je z PLC odeslán požadavek na reverzaci. Pokud frekvence klesá pod frv a je z PLC odeslán požadavek na reverzaci, nastane reverzace až když se znovu začne zvyšovat frekvence. Snížení a zvýšení požadované frekvenci musí zajistit PLC.

- **Příklad programu pro řízení asynchronního motoru:**

Program bude realizovat následující funkce:

- zadávání otáček pomocí potenciometru s plynulým náběhem
- zadávání spínací frekvence potenciometrem v rozmezí 488Hz až 9999Hz
- roztočení motoru po stisknutí tlačítka START/ STOP
- snížení otáček, provedení reverzace a zvýšení otáček po stisknutí tlačítka pro reverzaci
- minimální frekvenci $f_{mn}=5\text{Hz}$, maximální frekvence $f_{mx}=70\text{Hz}$ a jmenovitá frekvence $f_{jm}=50\text{Hz}$ a maximální frekvence, při které lze provést reverzaci $f_{rv}=20\text{Hz}$
- maximální napětí meziobvodu 35V, minimální napětí 25V, maximální proud 2A
- Zapojení ovládacích prvků je na obrázku Obr 4.3

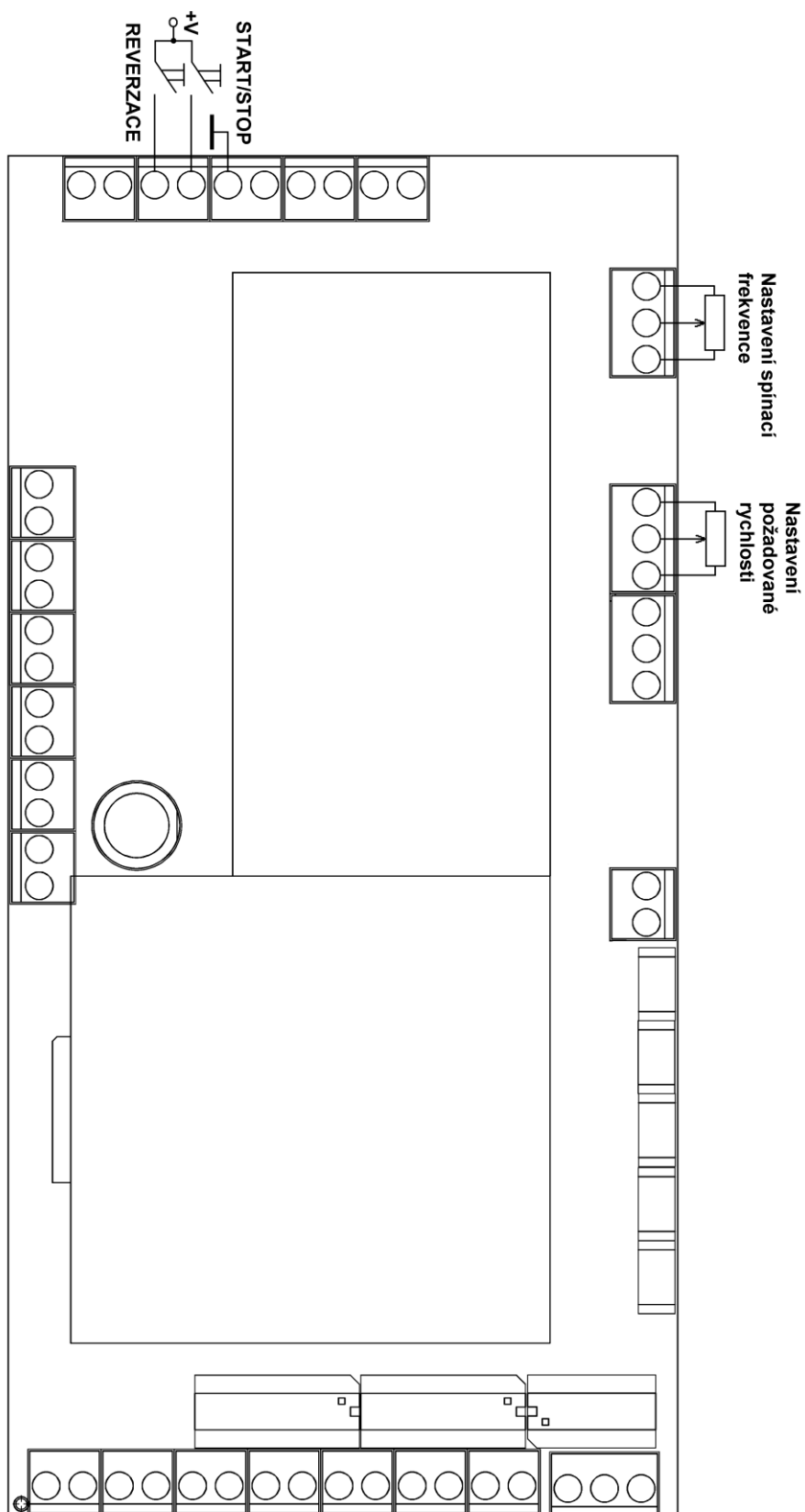
Program pro PLC (18F4620) - řádky 150 až 999, program pro FM (18F4431) - řádky 0 až 149:

```

000 PWF Q00 nastavení spínací frekvence, je nastavováno z 18F4620
001 LD K00 0000 - nastavení proporčního zesílení
002 LD K01 2333 - nastavení časové konstanty
003 LD Q01 - skutečná hodnota – zpětná vazba
004 LD Q02 - požadovaná hodnota hodnota
005 PI K02 1000 - PI regulátor s omezovačem 0 až 1000
006 WR Q01 - zápis výstupu PI regulátoru do zpětné vazby
007 Rs= K03 0195 - nastavení odporu statoru 1,95Ω
008 Uc= K04 0030 - nastavení napětí meziobvodu 30V
009 Iz= K05 0050 - nastavení záběrného proudu 0,5A
010 =dU - výpočet úbytku napětí na statorovém odporu
011 fmn K06 0050 - nastavení minimální frekvence na 5Hz
012 fjm K07 0500 - nastavení jmenovité frekvence na 50Hz
013 fmx K08 0700 - nastavení maximální frekvence na 70Hz
014 U> K09 0035 - nastavení horní meze napětí meziobvodu na 35V
015 U< K10 0025 - nastavení spodní meze napětí meziobvodu na 25V
016 I> K11 0200 - nastavení meze absolutní hodnoty proudu na 2A
017 LD Q01 - nastavení požadované frekvence do zásobníku
018 LD Q01 - nastavení požadované amplitudy do zásobníku
019 LD K12 0000 - nastavení fázového posuvu 1.fáze do zásobníku
020 SN1 - načtení amplitudy, frekvence, fázového posuvu a povolení PWM 1.fáze

```


- 021 LD K13 1200 - nastavení fázového posuvu 2.fáze do zásobníku
- 022 SN2 - načtení fázového posuvu a povolení PWM 2.fáze
- 023 LD K14 2400 - nastavení fázového posuvu 3.fáze do zásobníku
- 024 SN3 - načtení fázového posuvu a povolení PWM 3.fáze
- 025 frv K20 0020 - nastavení maximální frekvence pro reverzaci
- 150 LD D00 - načtení stavu START/STOP tlačítka
- 151 LET B00 - vyhodnocení náběžné hrany
- 152 I/O B01 - klopný obvod T
- 153 LDC B01 - negované načtení do požadavku START/STOP do zásobníku
- 154 LD K15 0000 - načtení konstanty do pomocné proměnné
- 155 WR Q02 - podmíněný zápis a odeslání požadovaných otáček při požadavku STOP
- 156 LD B01 - načtení požadavku START/STOP
- 157 LD A01 - načtení požadovaných otáček do pomocné proměnné
- 158 LCD - zobrazení požadovaných otáček
- 159 WR Q02 - podmíněný zápis a odeslání požadovaných otáček při požadavku START
- 160 LD D01 - načtení stavu tlačítka pro reverzaci
- 161 LET B02 - vyhodnocení náběžné hrany
- 162 I/O B03 - klopný obvod T
- 163 LD B03 - načtení požadavku na reverzaci do zásobníku
- 164 REV - odeslání požadavku na reverzaci
- 165 LD D01 - načtení stavu tlačítka pro reverzaci
- 166 RES B01 - nulování bitové proměnné pro odeslání požadavku nulových otáček
- 167 IMP K16 0070 - impuls od náběžné hrany 7s
- 168 NOT - negace nultého bitu zásobníku
- 169 LET B04 - vyhodnocení doběžné hrany
- 170 SET B01 - nastavení bitové proměnné po 7s od požadavku na reverzaci
- 171 LD A00 - načtení požadované spínací frekvence
- 172 MUL K17 0010 - násobení deseti
- 173 LCD - zobrazení požadované spínací frekvence
- 174 LDC B06 načtení logické 1 do zásobníku
- 175 WR Q00 podmíněný zápis a odeslání požadované spínací frekvence



Obr 4.3 Zapojení ovládacích prvků

- **Příklad použití a nastavení ochran motoru:**

Příklad:

151 LD COM - načtení kanálu 3 AD převodníku do pomocné proměnné

152 LCD - zobrazení na displeji čísla z převodníku

Při nastavení ochran je nutné přepínat spínače DIP, zapojení tohoto přepínače se nachází v příloze E. V poloze 1 je snímána hodnota z analogového vstupu, kde je možné připojit potenciometr a řídit například otáčky motoru. Spínač 2 připojuje ke kanálu 3 AD převodníku trimr nastavující horní komparační mez napětí meziobvodu. Aby nebylo nutné provádět přepočty je vhodné použít funkci, která přepočte číslo z převodníku na napětí 0 až 45V.

Příklad :

151 LD COM - načtení čísla z převodníku kontroléru 18F4431 pomocí rozhraní UART

152 LD VLT - přepočty na napětí 0 až 45V

153 LCD - zobrazení přepočtené nastavené hodnoty na trimru

Při sepnutí spínače 3 se připojí ke kanálu 3 AD převodníku trimr nastavující hodnotu spodní komparační meze proudu první fáze, spínačem 4 se připojí trimr nastavující horní komparační mez proudu první fáze, spínačem 5 se nastavuje spodní komparační mez proudu druhé fáze a spínačem 6 horní komparační mez proudu druhé fáze. Aby nebylo nutné provádět přepočty hodnoty z AD převodníku je vhodné použít funkci, která přepočte číslo z převodníku na proud -10A až 10A.

Příklad:

151 LD COM - načtení čísla z převodníku kontroléru 18F4431 pomocí rozhraní UART

152 LD AMP - přepočty na proud -10A až 10A s přesností na desetiny ampéru

153 LCD - zobrazení přepočtené nastavené hodnoty na trimru

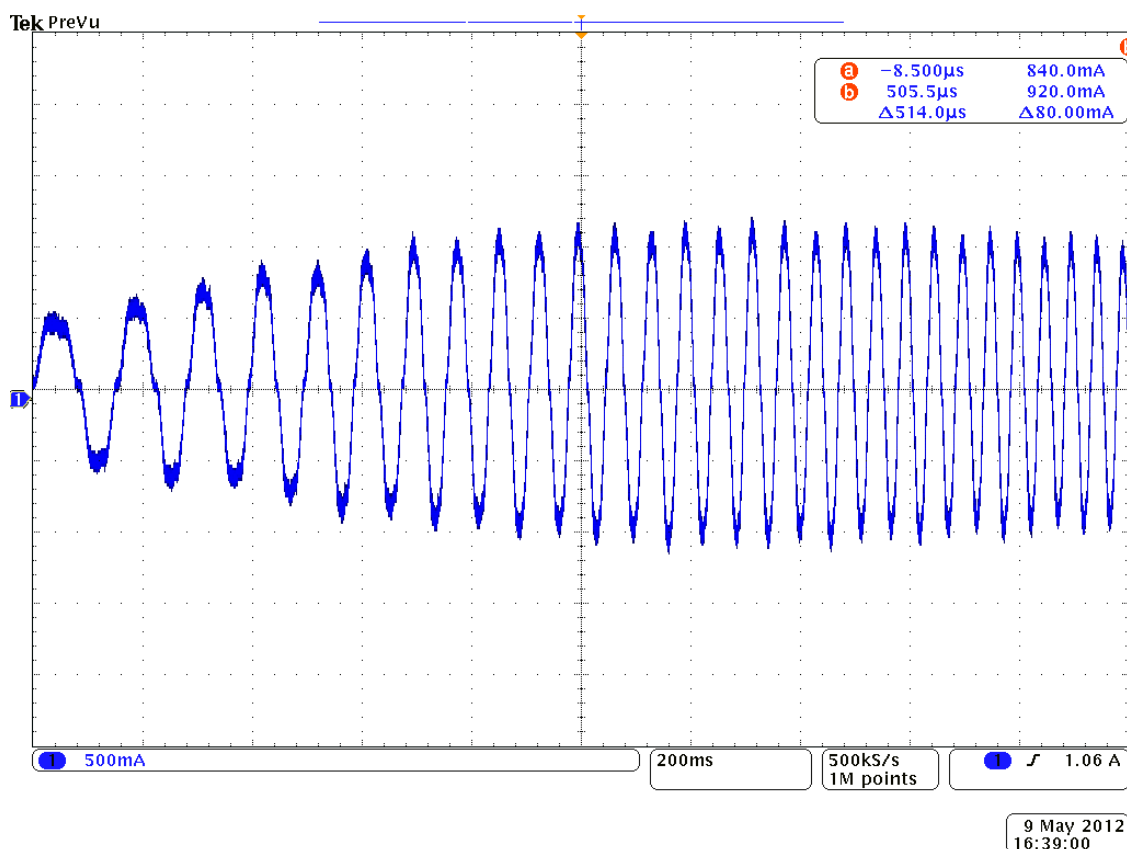
- **Zobrazení chybových hlášení:**

Příkaz **LD COM** nezajišťuje pouze načtení čísla z kanálu 3 AD převodníku, ale také příjem stavových hlášení z FM (mikrokontroléru 18F4431). Čísla z převodníku jsou desetibitová, pokud z rozhraní UART je přijímáno číslo větší než desetibitové, jsou to zprávy o překročení mezí napětí meziobvodu, nebo proudu fáze měniče. Pokud je v uživatelském programu PLC použit příkaz **LCD**, bude na LCD displeji zobrazeno chybové hlášení.

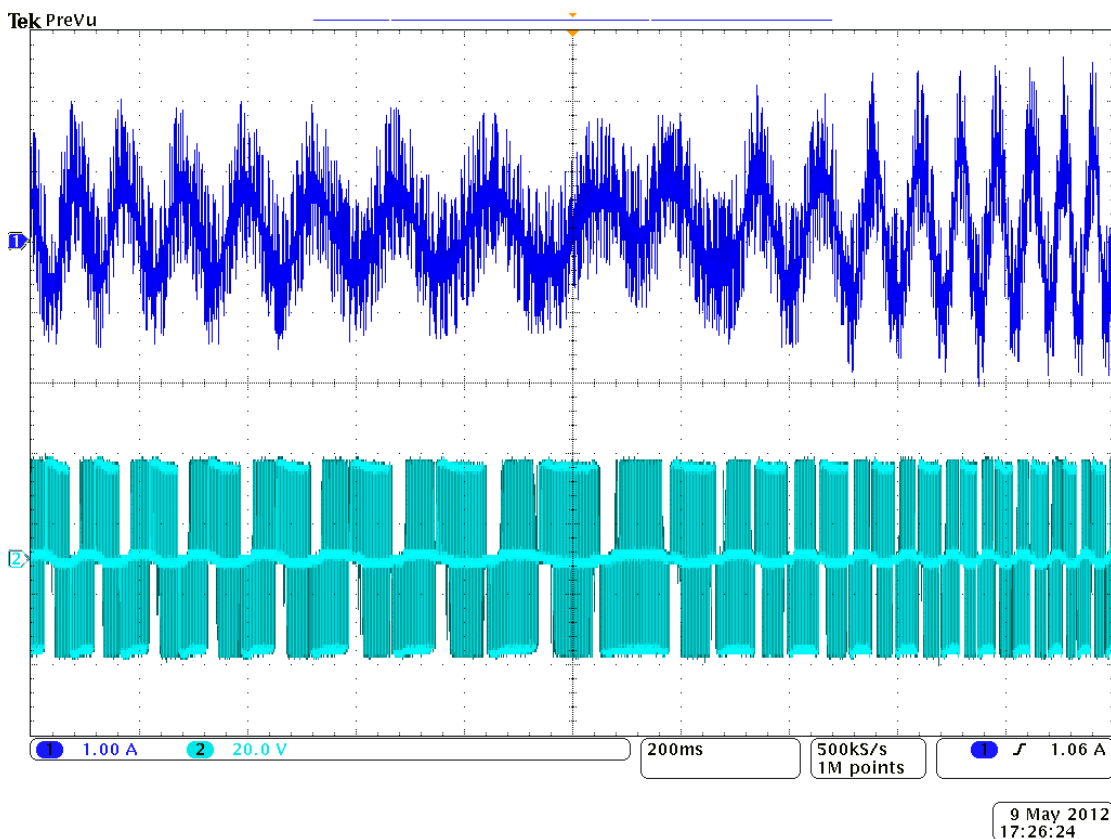
5 Naměřené průběhy

5.1 Měření proudu a napětí trojfázového asynchronního motoru

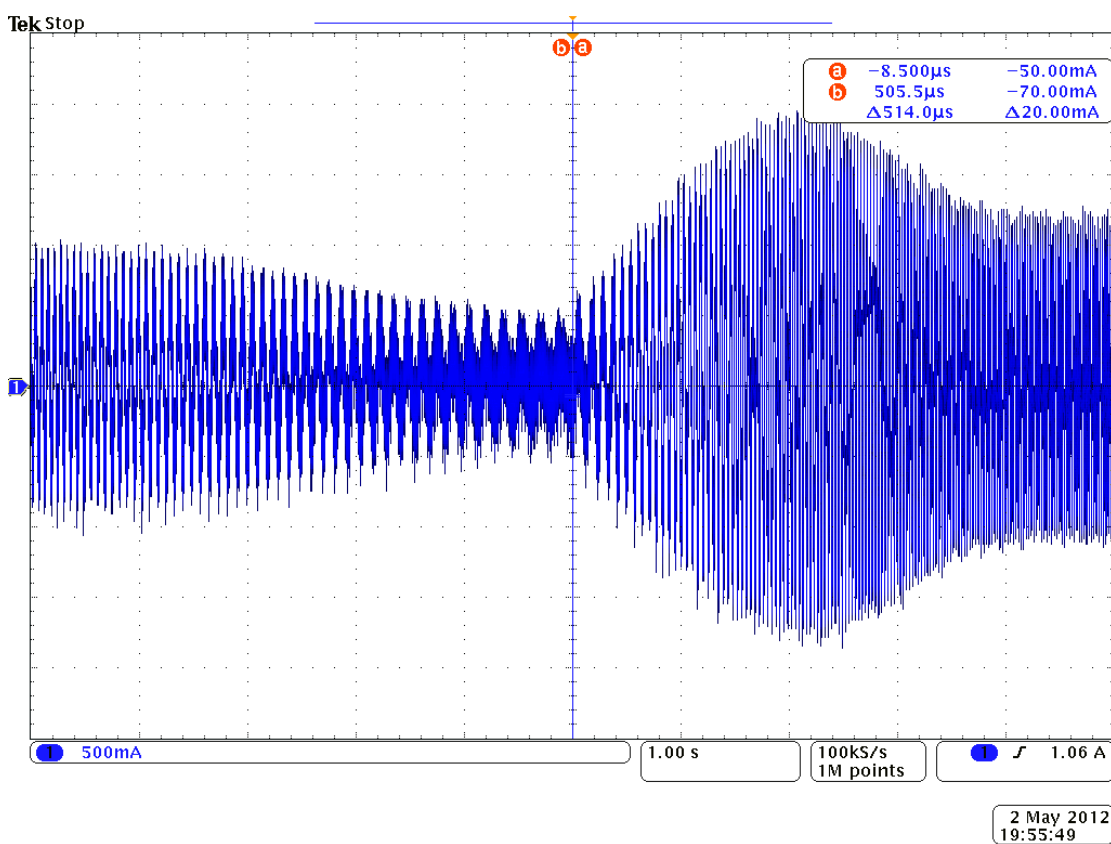
Následující obrázky (Obr. 5.1 až Obr. 5.7) zachycují naměřené průběhy proudu a sdruženého napětí trojfázového asynchronního motoru při rozběhu z 6Hz na 20Hz za 2s, při doběhu z 20Hz na 6Hz za 5s a rozběhu z 6Hz na 50Hz za 4s, při reverzaci a při ustáleném stavu se spínací frekvencí 9,99kHz, 5kHz, 2,5kHz a 1,25kHz.



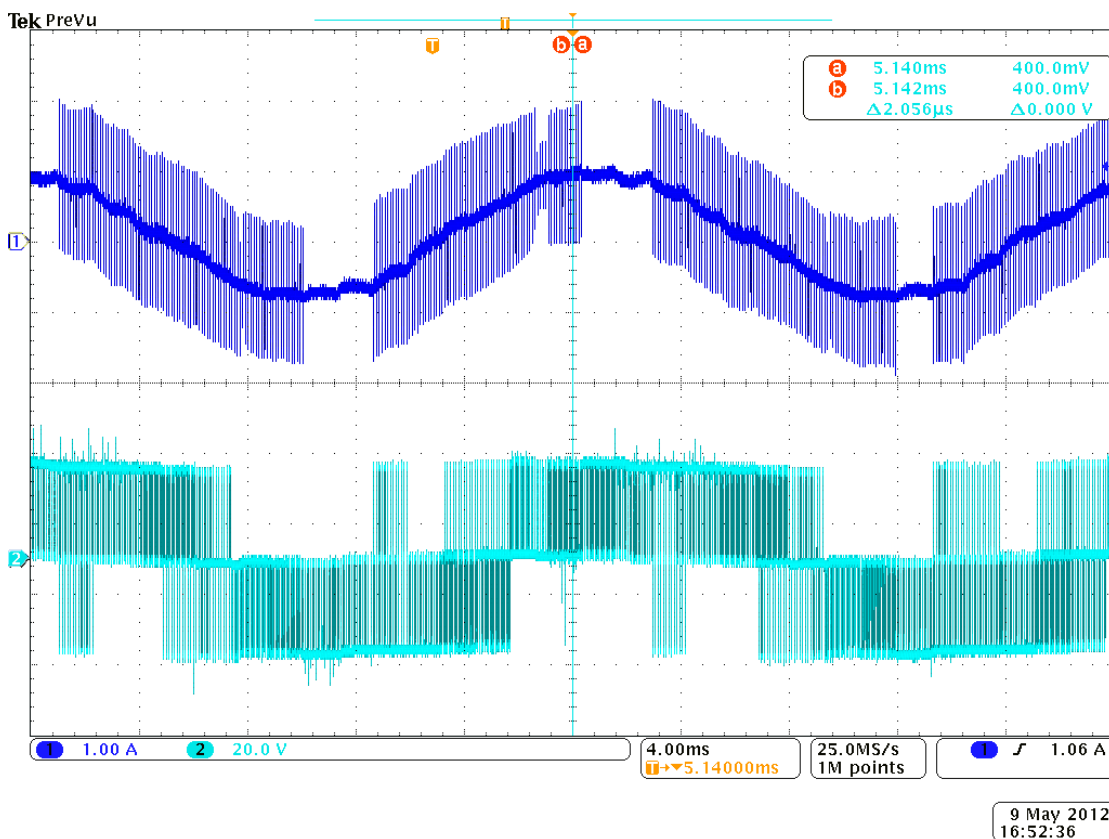
Obr 5.1 Naměřený průběh proudu motorem při rozběhu z 6Hz na 20Hz za 2s



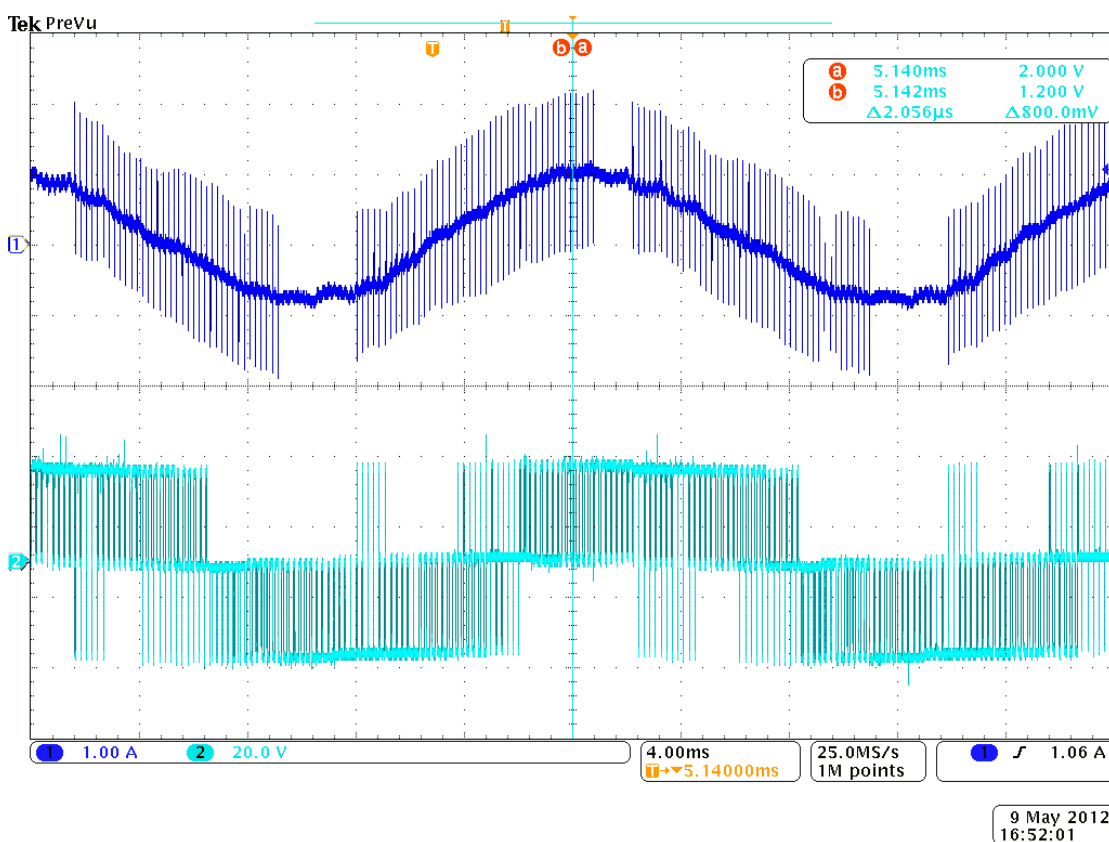
Obr 5.2 Naměřený průběh proudu motorem a napětí při reverzaci



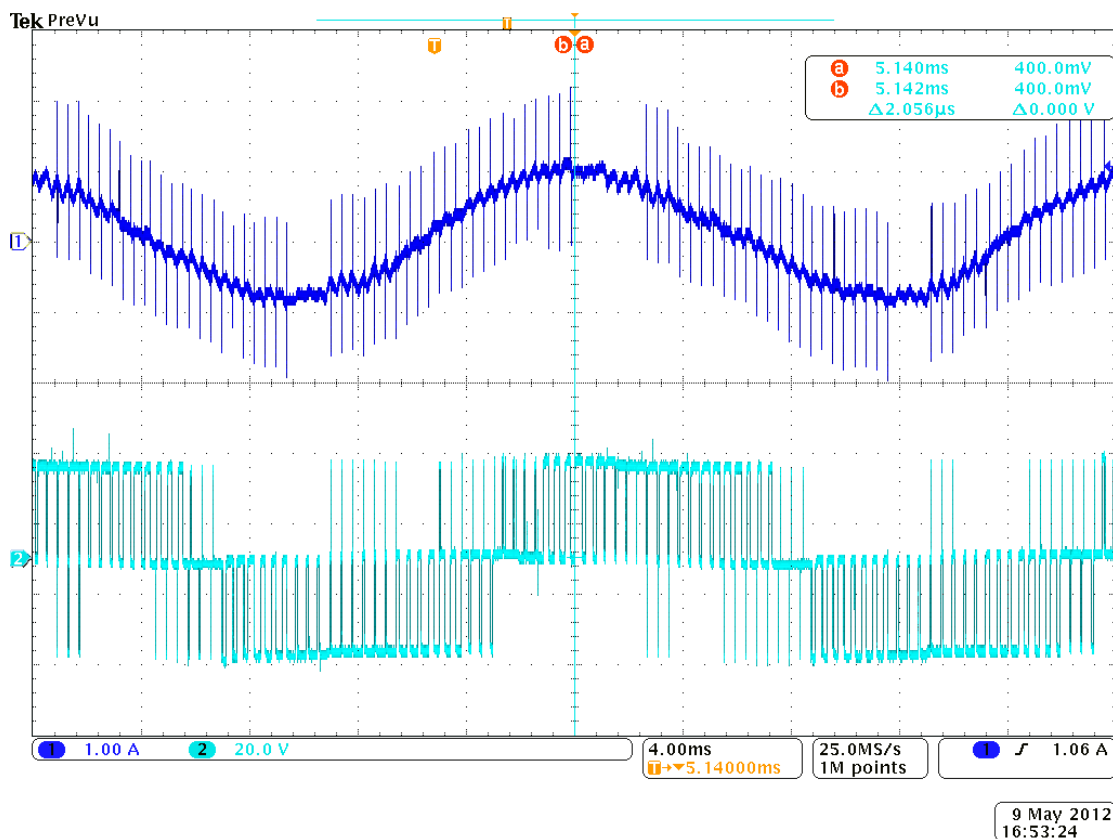
Obr 5.3 Naměřený průběh proudu motorem při doběhu z 20Hz na 6Hz za 5s a rozběhu z 6Hz na 50Hz za 4s



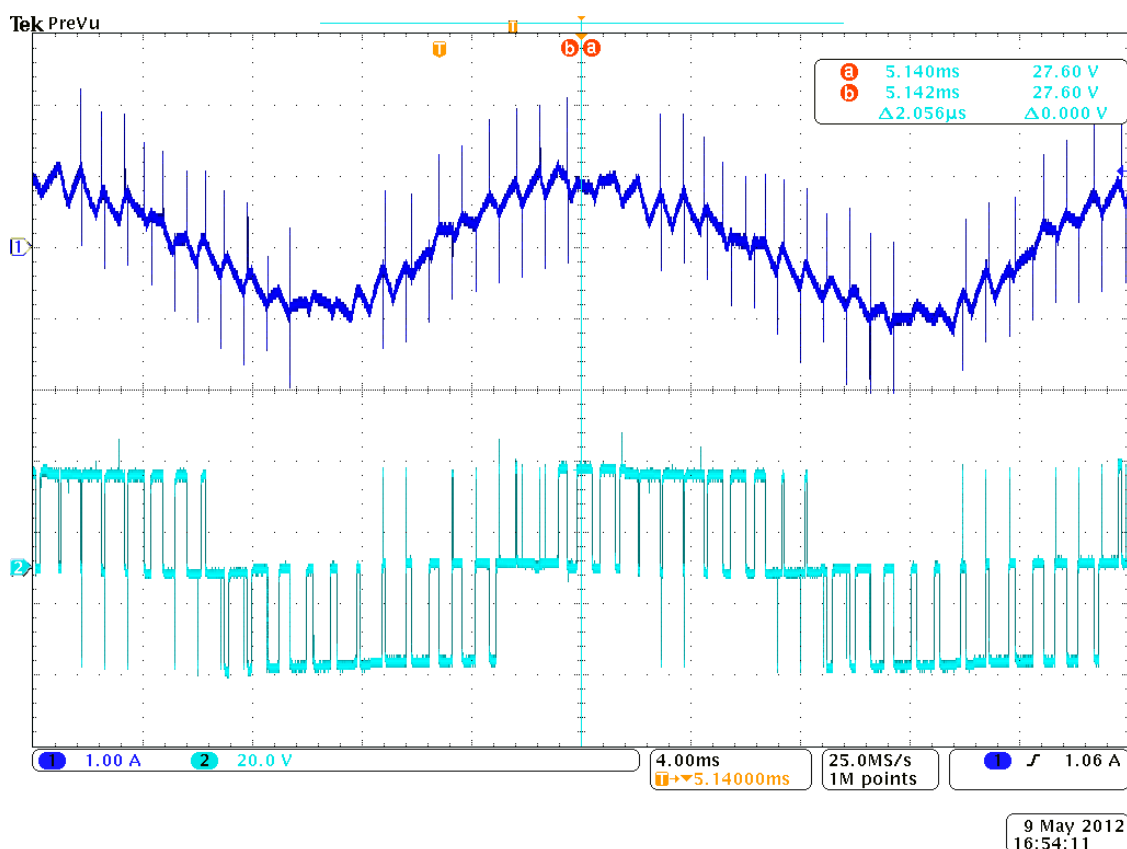
Obr 5.4 Naměřený průběh proudu motorem a napětí při spínací frekvenci 9,99kHz



Obr 5.5 Naměřený průběh proudu motorem a napětí při spínací frekvenci 5kHz



Obr 5.6 Naměřený průběh proudu motorem a napětí při spínací frekvenci 2,5kHz



Obr 5.7 Naměřený průběh proudu motorem a napětí při spínací frekvenci 1,25kHz

Závěr

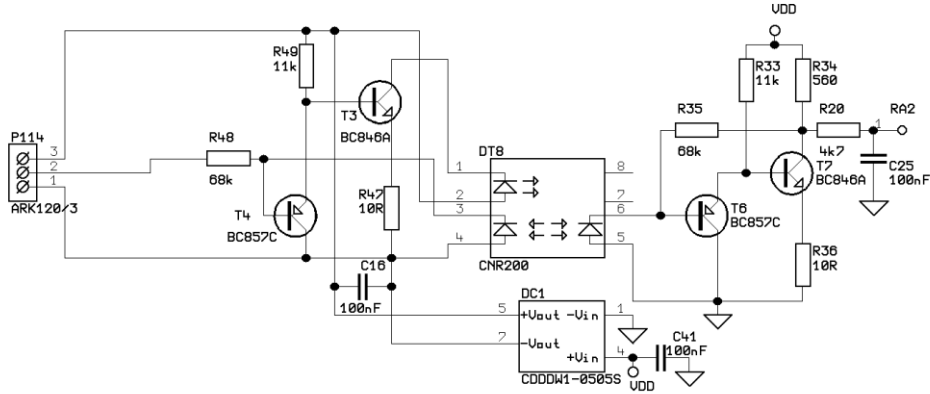
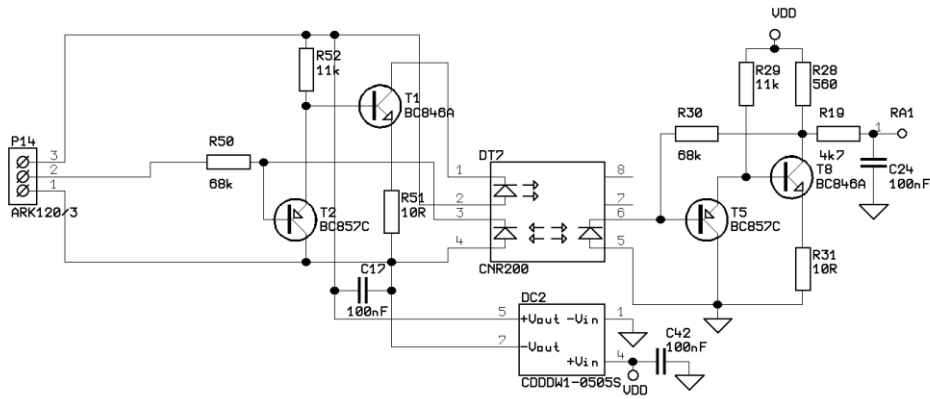
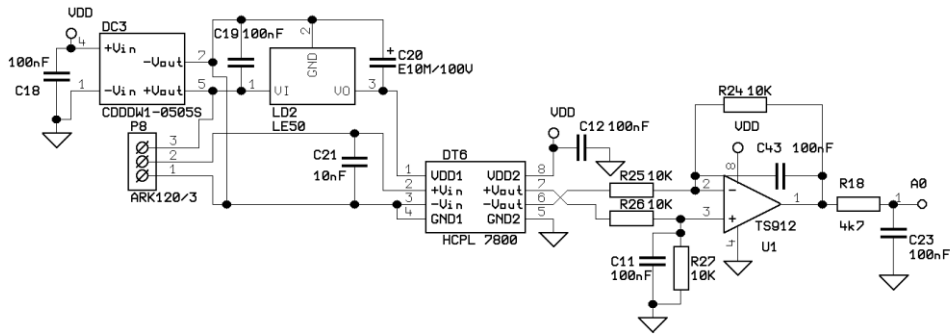
Podařilo se navrhnout a realizovat uživatelsky programovatelnou řídicí jednotku na bázi dvou 8 bitových mikrokontrolérů PIC. Řídicí jednotka umožňuje skalární řízení asynchronních motorů, včetně řízení pomocí vestavěného PLC automatu, který zajišťuje základní kombinační, sekvenční a aritmetické instrukce a komunikaci s řízením měniče. Řídicí jednotka byla nejprve zapojena na zkušebních deskách a programována pomocí programátoru PICKIT2 v programu MPLAB v jazyce C. Schéma zapojení a plošný spoj byly navrženy v programu Formica. Při konstrukci byl problém s resetem mikrokontroléru 18F4620, u něhož po stisknutí tlačítka reset docházelo ke kolizi. Tento problém byl vyřešen zakázáním bitů LVP a STACK OVERFLOW v registru CONFIG4L. Další problém se objevil při generování pulzně šířkové modulace třetí fáze, výstup PWM4 na RB5. Pokud se v konfiguračním registrech nastavilo použití PWM4 a PWM5 v komplementárním režimu, přestal fungovat celý blok PCPWM (blok PWM modulace). Toto je v rozporu s dokumentací výrobce mikrokontroléru. Bylo zjištěno, že je nutné pro PWM4 použít alternativní pin RD5 a upravit plošný spoj. U bloku PCPWM nastaly potíže v režimu přemodulování, kde amplituda přesahovala horní i spodní mez pily, tam docházelo k chybnému generování pulzně šířkové modulace. Na výstupech se objevovaly nahodilé impulsy, které neodpovídaly číslům v PDC registrech (registry, které určují střidu výstupního PWM signálu). Zde bylo nutné zajistit, aby číslo zapisované do PDC registrů nebylo větší než 0 a zároveň menší nebo rovno 4. Pokud číslo spadá do tohoto intervalu je do PDC registru zapsána nula. Dále bylo nutné zajistit, aby číslo zapisované do PDC registrů nebylo větší nebo rovno číslu o 4 nižšímu, než je velikost pily a zároveň menší než velikost pily. Pokud číslo spadá do tohoto intervalu je do PDC registru zapsáno číslo rovné velikosti pily. Tento problém je podrobně popsán v dokumentaci A2 Silicon ERRATA a souvisí s logikou generování mrtvých časů. Pokud by bylo požadováno zpětnovazební řízení, bylo by možné použít modul QEP pro snímání otáček, který je součástí mikrokontroléru 18F4431 a doplnit skalární řízení zpětnou vazbou od čidla otáček. Řídicí jednotka by mohla být v budoucnu rozšířena o externí zálohovanou paměť RAM, potom by mikrokontrolér 18F4620 s LCD displejem a klávesnicí společně s externí pamětí tvořil nadřazený řídicí systém, který by pomocí sériového rozhraní komunikoval s podřazenými moduly s mikrokontroléry 18F4431 a bylo by možné stejným způsobem řídit jednou řídicí jednotkou nezávisle několik motorů. Správná funkce řídicí jednotky byla ověřena v laboratoři (Příloha L), naměřené proudy a napětí asynchronního motoru jsou v kapitole 5 (obrázky Obr 5.1 až Obr 5.7).

Použitá literatura

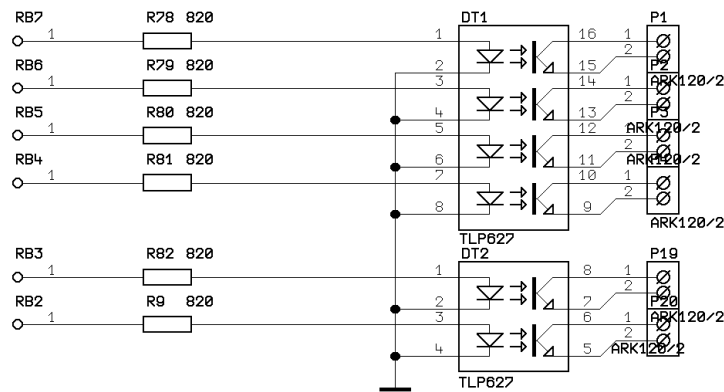
- [1] Šmejkal, L, Martinásková, M.: *PLC a automatizace*, BEN - technická literatura, Praha 1999
- [2] www.amit.cz
- [3] www.tecomat.cz
- [4] www.microchip.com
- [5] Matoušek, D.: *C pro mikrokontroléry ATMEL AT89S52*, BEN – technická literatura, Praha 2007
- [6] Beneš, P, Chlebný, J, Král, J, Langer, J, Martinásková, M.: *Automatizace a automatizační technika III, Prostředky automatizační techniky*, CP Books, Brno 2005
- [7] Zeman, K, Peroutka, Z, Janda, M.: *Automatická regulace pohonů s asynchronními motory*, Západočeská univerzita, Plzeň 2004
- [8] Vondrášek, F.: *Výkonová elektronika. Sv. III, Měníče s vlastní komutací a bez komutace*, Západočeská univerzita, Plzeň 2003
- [9] Zeman, K.: *Regulační technika*, výtah z přednášek
- [10] Peroutka Z.: *Mikroprocesorové řízení pohonů*, výběr z přednášek
- [11] www.emp.cz/Drive-PLC.htm
- [12] Pinker, J, Koucký, V.: *Analogové elektronické systémy*, Západočeská univerzita, Plzeň 2006
- [13] Pinker, J.: *Mikroprocesory a mikropočítače*, BEN – technická literatura, Praha 2008
- [14] Pinker, J, Poupa M.: *Číslicové systémy a jazyk VHDL*, BEN – technická literatura, Praha 2006
- [15] Bryhcín, J.: *Univerzální PLC automat pro účely výuky*

Přílohy

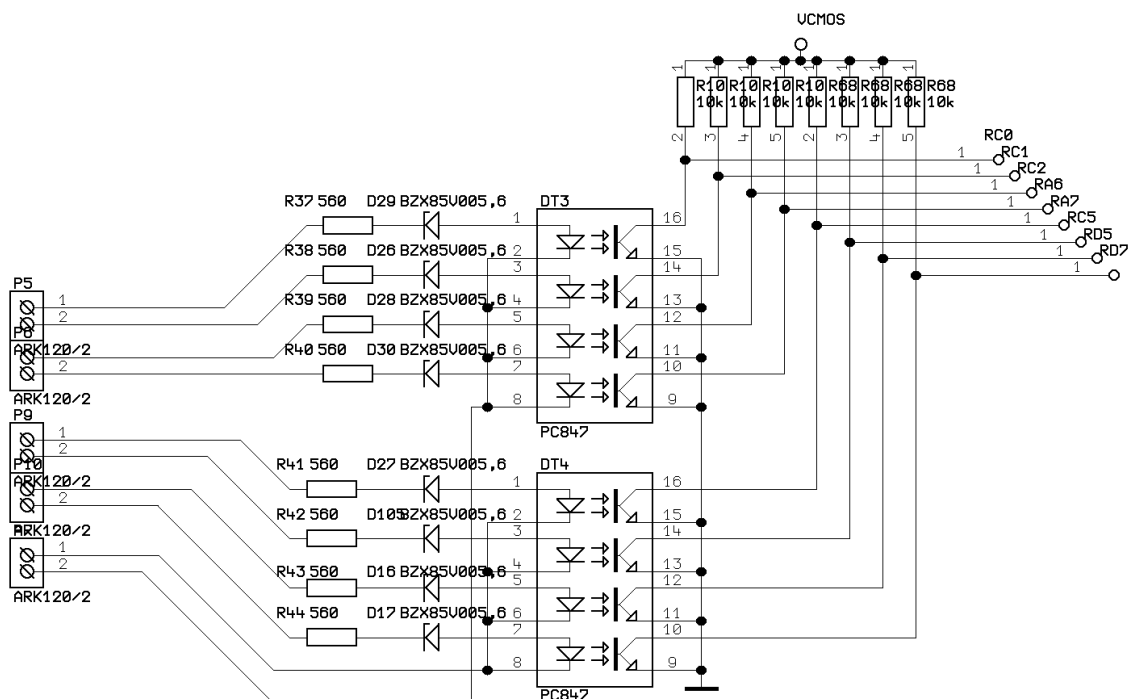
Příloha A: zapojení analogových galvanicky oddělených vstupů mikrokontroléru 18F4620



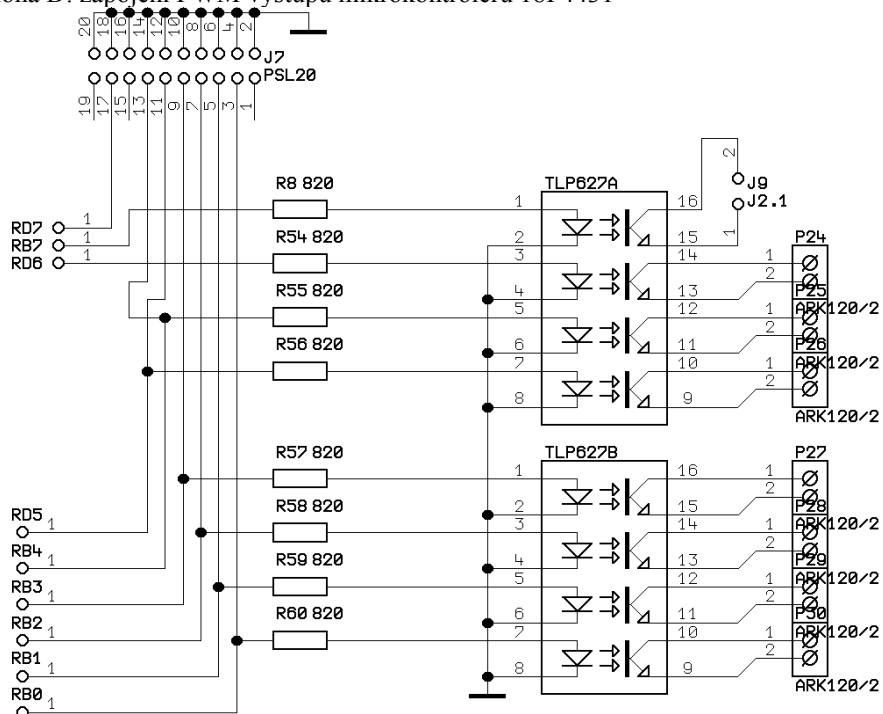
Příloha B: zapojení číslicových výstupů mikrokontroléru 18F4620



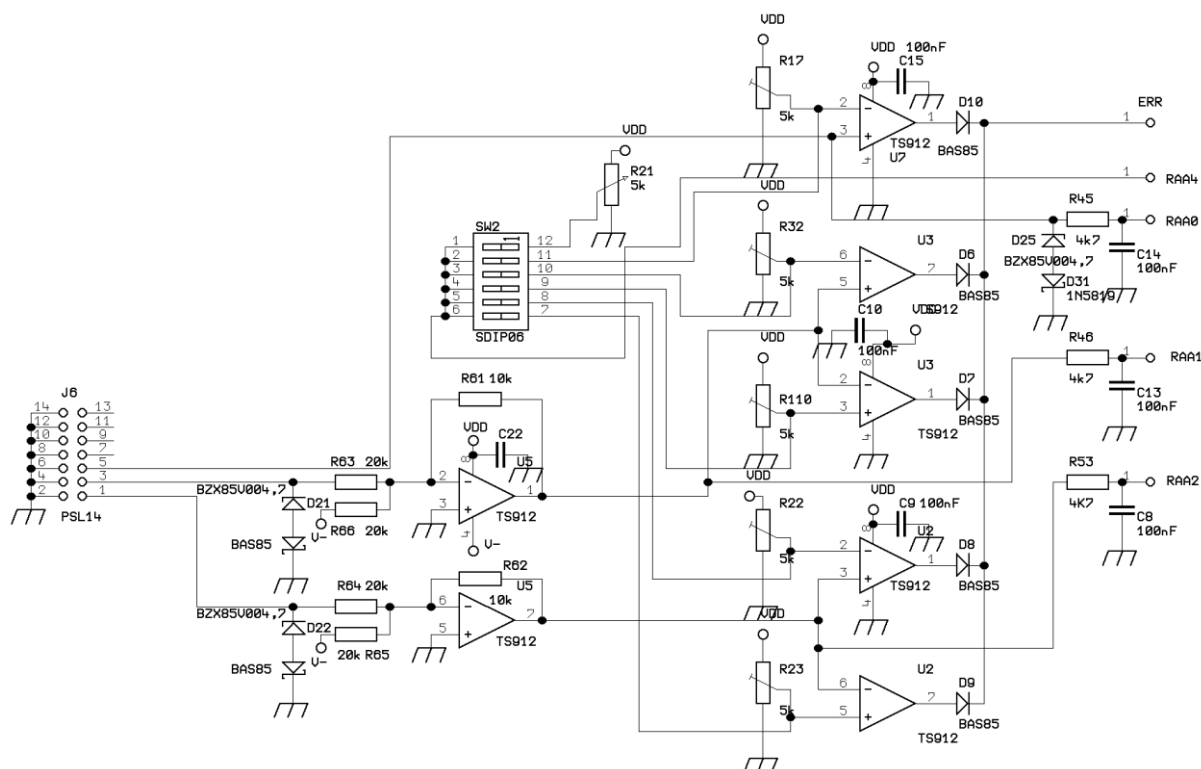
Příloha C: zapojení číslicových vstupů mikrokontroleru 18F4620



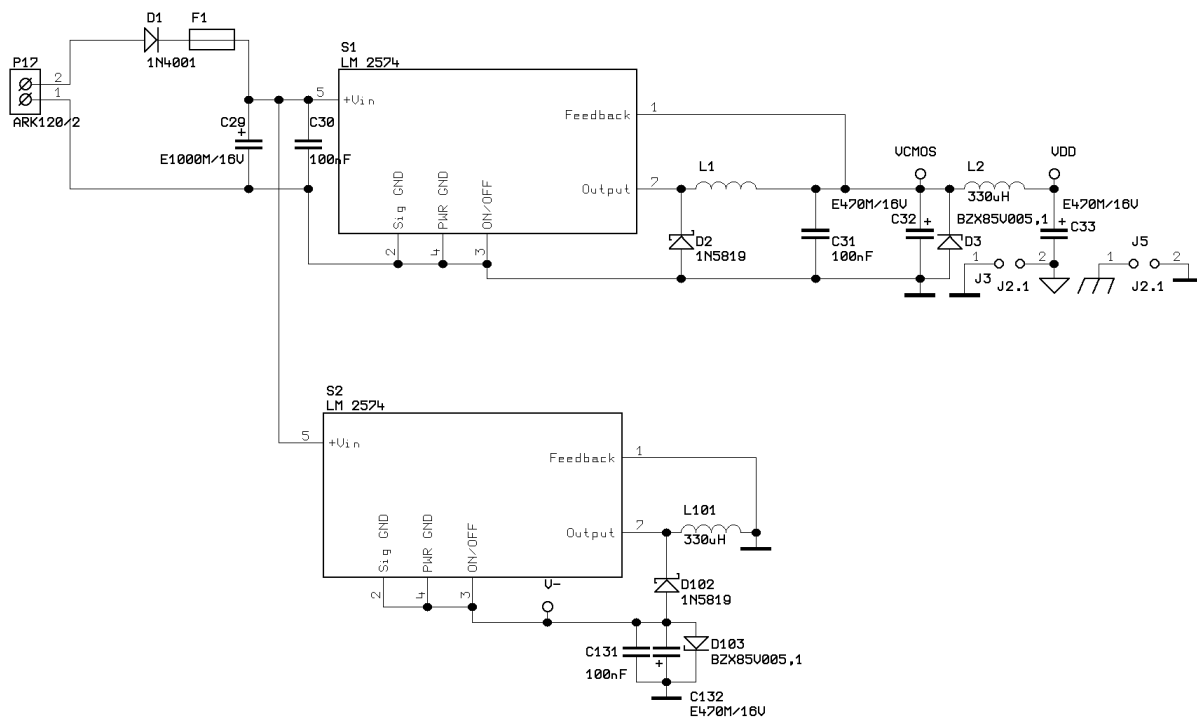
Příloha D: zapojení PWM výstupů mikrokontroleru 18F4431



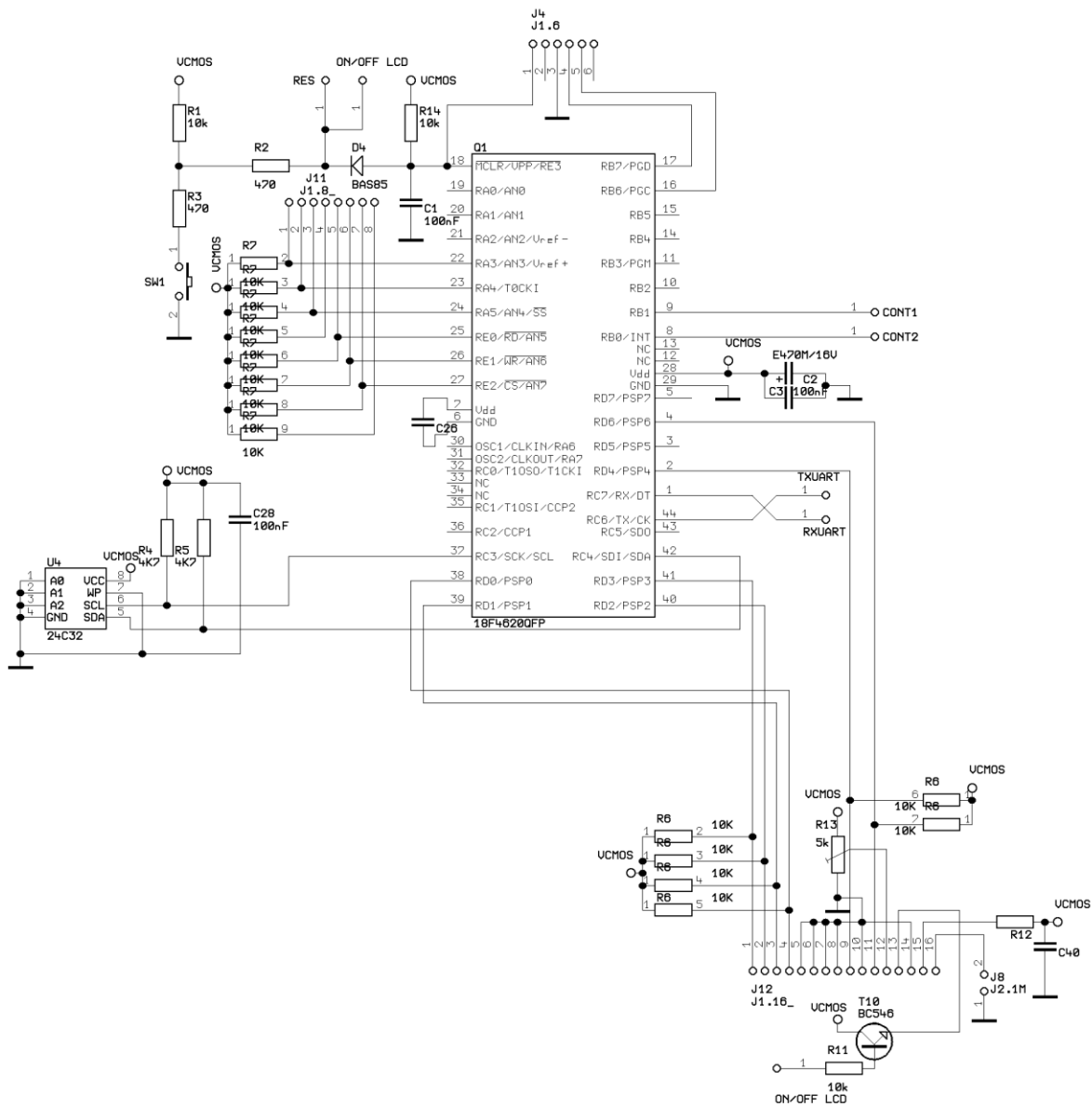
Příloha E: zapojení analogové části mikrokontroléru 18F4431



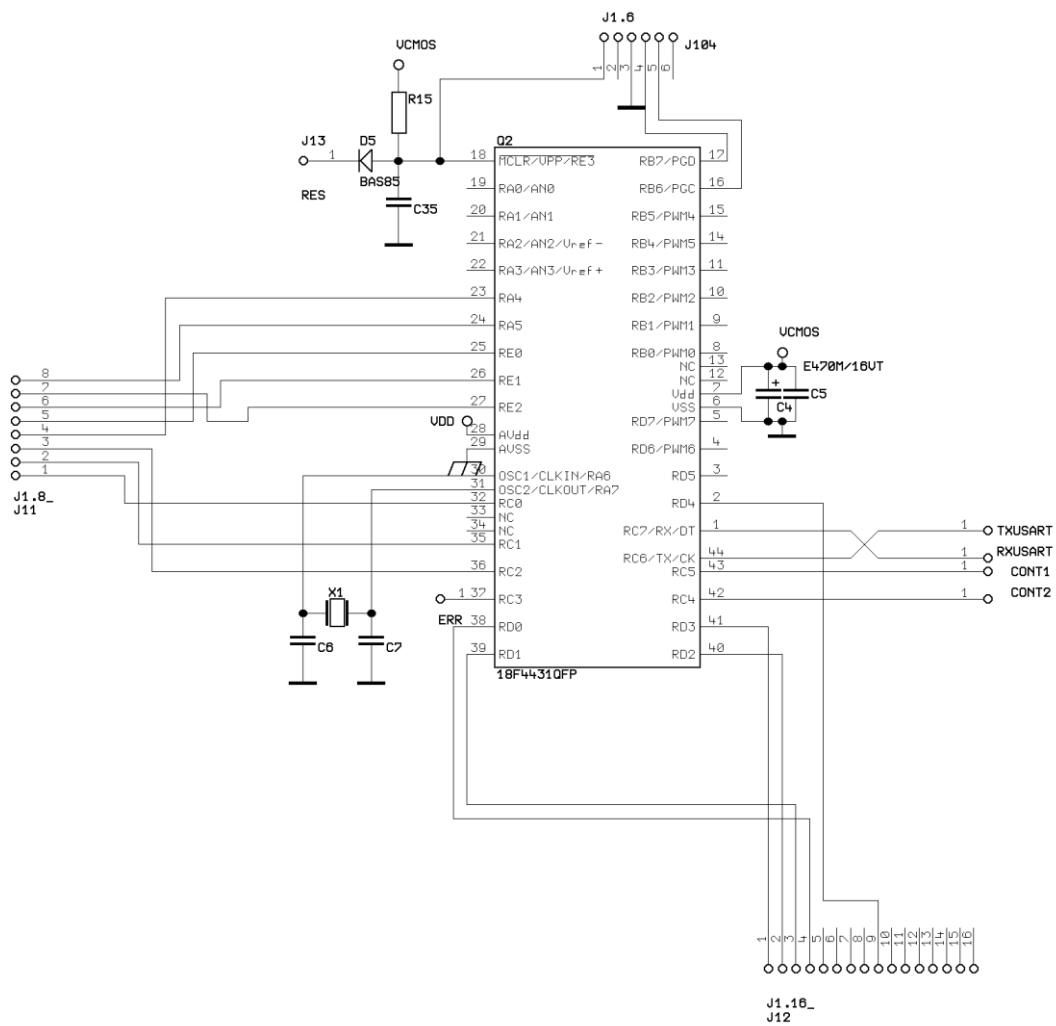
Příloha F: zapojení zdroje



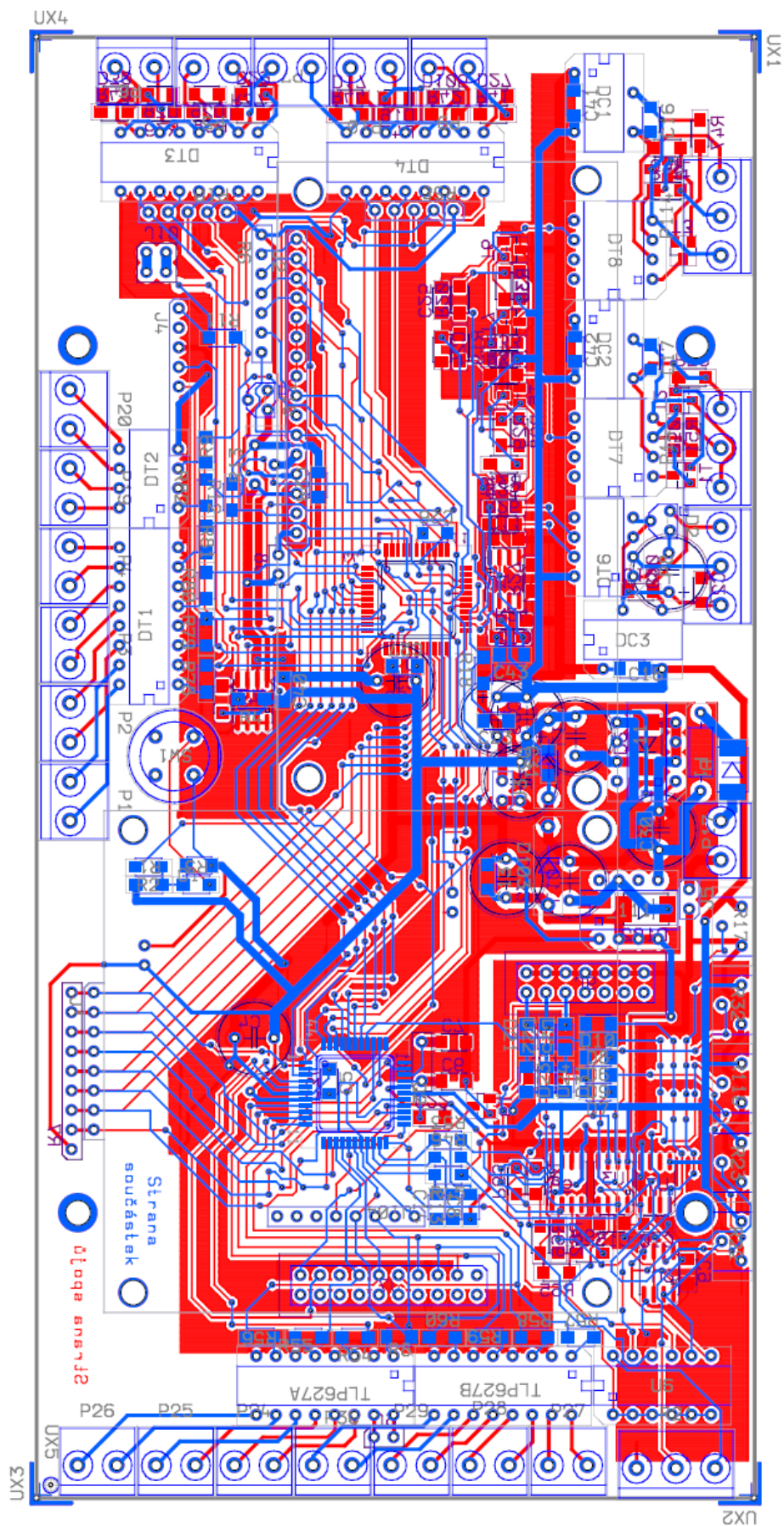
Příloha G: zapojení mikrokontroléru 18F4620



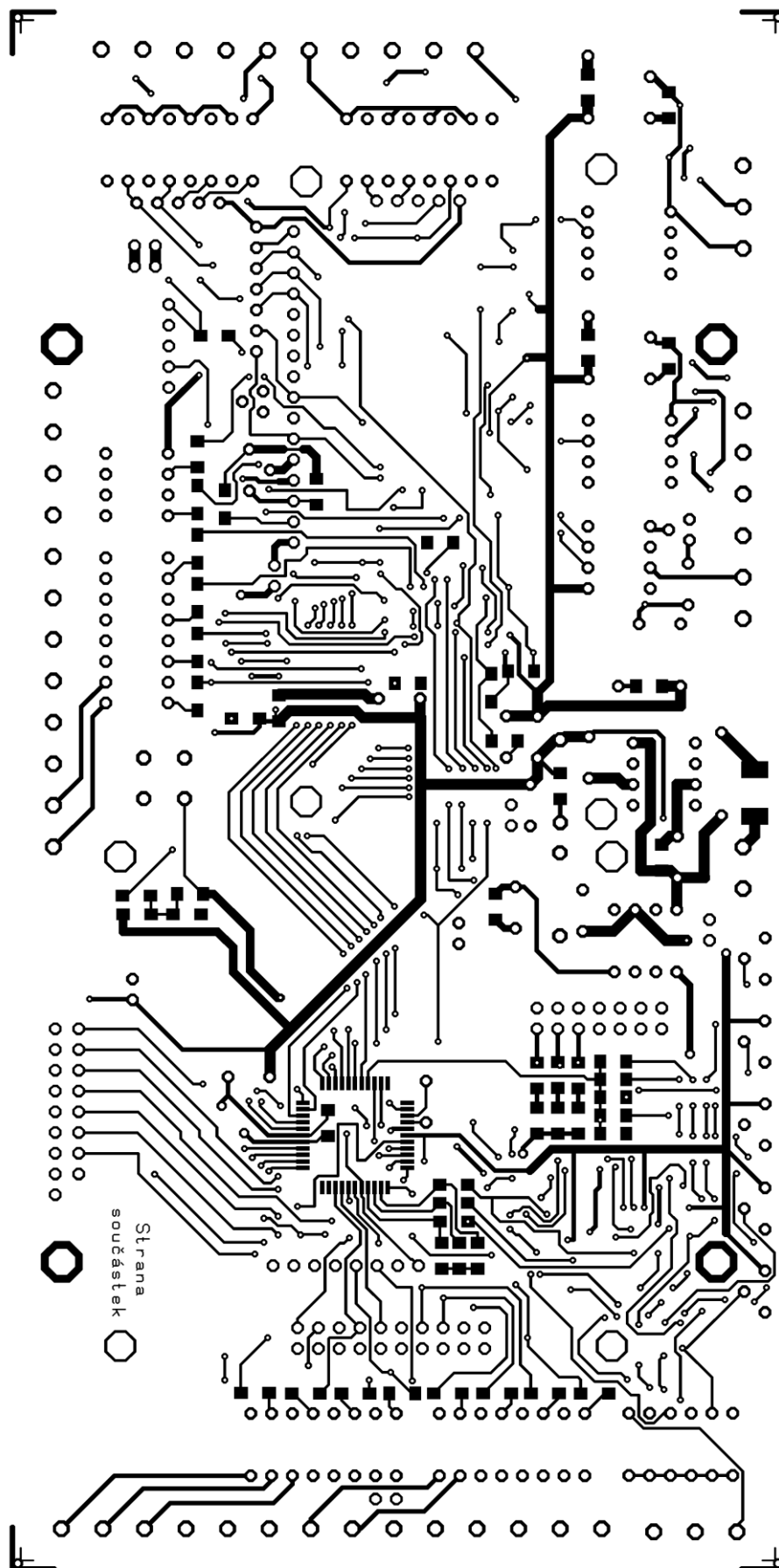
Příloha H: zapojení mikrokontroléru 18F4431



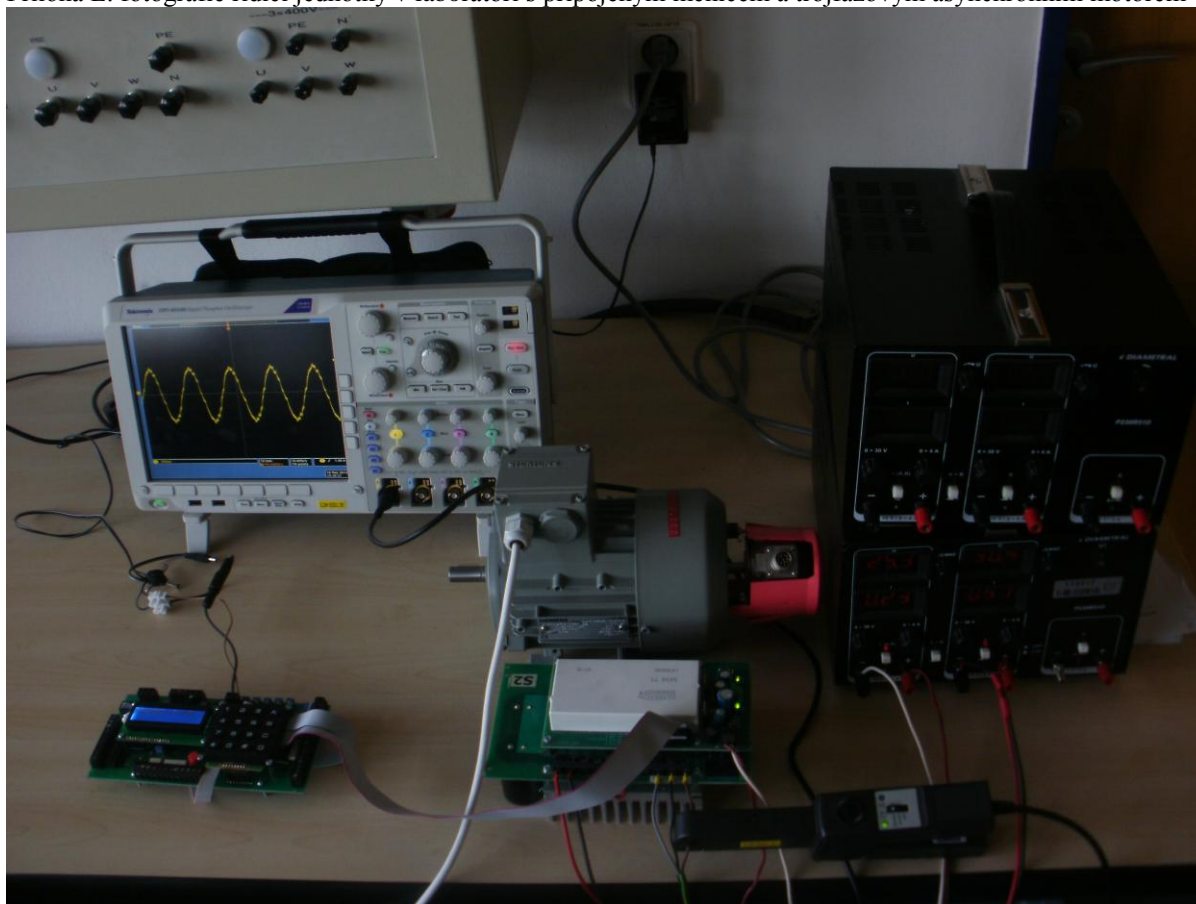
Příloha I: plošný spoj strana A i B, pohled ze strany součástek:



Příloha J: plošný spoj strana B, pohled ze strany součástek



Příloha L: fotografie řídicí jednotky v laboratoři s připojeným měničem a trojfázovým asynchronním motorem



Příloha M: fotografie realizované řídicí jednotky

