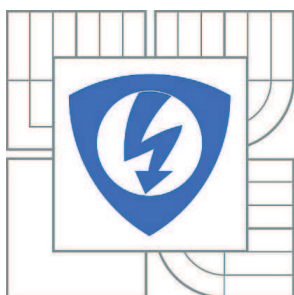


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

NÁVRH EFEKTIVNÍHO VÝKONOVÉHO REGULÁTORU OTÁČEK 3-FÁZOVÉHO MOTORU

DESIGN EFFECTIVE POWER SPEED CONTROLLER FOR 3-PHASE MOTOR

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

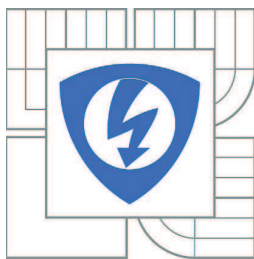
FILIP UCHYTIL

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. IVO LATTENBERG, Ph.D.

BRNO 2010



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav telekomunikací

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Teleinformatika

Student: Filip Uchytíl

ID: 106844

Ročník: 3

Akademický rok: 2009/2010

NÁZEV TÉMATU:

Návrh efektivního výkonového regulátoru otáček 3-fázového motoru

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

V bakalářské práci jde o co nejefektivnější regulaci napětí a proudu 3-fázového motoru s převodovkou. Cílem práce je návrh a konstrukce zařízení s důrazem na nízké zatížení akumulátorů a co nejnižší spotřebu. Zařízení bude umět měřit okamžité napětí a proud v obvodu a v kombinaci s požadavkem na výkon od řídicí jednotky vypočítat a nastavit vhodné napětí, proud a převodový poměr tak, aby bylo dosaženo výše zmíněných požadavků. Zařízení bude schopno komunikovat s PC přes sběrnici USB. Obvod přitom bude řízen procesorem ATmega64.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] MATOUŠEK, D. Práce s mikrokontroléry Atmel AVR, Nakladatelství BEN - technická literatura, 376 stran, Praha 2006, ISBN 80-7300-209-4.

[2] VÁŇA, V. Mikrokontroléry ATMEL AVR: programování v jazyce C: popis a práce ve vývojovém prostředí CodeVision AVR C, Praha: BEN - technická literatura, 2003, 215 stran, ISBN 80-7300-102-0

[3] MATOUŠEK, D. Práce s mikrokontroléry ATMEL AT89C2051, Nakladatelství BEN - technická literatura, 248 stran, Praha 2002, ISBN 80-7300-094-6

Termín zadání: 29.1.2010

Termín odevzdání: 2.6.2010

Vedoucí práce: doc. Ing. Ivo Lattenberg, Ph.D.

prof. Ing. Kamil Vrba, CSc.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

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

ABSTRAKT

Tato práce se zabývá regulací otáček 3-fázového asynchronního motoru pomocí frekvenčního měniče. Nejprve jsou rozebrány jednotlivé typy motorů, způsoby regulace motorů, měření aktuálního napětí a proudu na motoru až po programování mikroprocesoru ATMEGA64. Řízení je provedeno signálem PWM, který zajišťuje nízkou spotřebu obvodu. Výkonová část je tvořena tranzistory MOSFET. Práce se také věnuje komunikaci procesoru po USB portu. Převodový poměr i měření napětí a proudu se zobrazuje na LCD displeji. Výsledkem této práce je efektivní regulace 3-fázového asynchronního motoru s možností sledovat výše zmíněné parametry zobrazené na displeji.

KLÍČOVÁ SLOVA

3-fázový motor, regulace otáček, frekvenční měnič, PWM, mosfet tranzistor, měření napětí

ABSTRACT

This paper deals with the regulation of revolution of the asynchronous three phase engine with the frequency transformer. Firstly we will look into individual types of engines, the ways of regulation of the engines, the measuring of contemporary voltage and current at the engine and programming the ATMEGA64 microprocessor. The supervision is being handled by the PWM signal, which ensures low consumption of our circuit. The outputting part is comprised by the MOSFET transistors. The thesis devotes to communication of the ATMEGA64 processor via the USB port. The transmission ratio, voltage and even the contemporary current is displayed on the LCD monitor. The outcome of this thesis is the effective regulation of the asynchronous three phase engine, with the possibility of tracking all of the parameters mentioned above which are shown on the LCD display.

KEYWORDS

3-phase engine, speed control, frequency converter, PWM - pulse width modulation, mosfet transistor, voltage measurement

Bibliografická citace mé práce:

UCHYTIL, F. Návrh efektivního výkonového regulátoru otáček 3-fázového motoru. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2010. 43 s, 7 příloh. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Ivo Lattenberg, Ph.D.

Prohlášení o původnosti práce

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma „Návrh efektivního výkonového regulátoru otáček 3-fázového motoru“ jsem vypracoval samostatně pod vedení vedoucího bakalářské práce s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny uvedeny v seznamu literatury na konci práce

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

V Brně dne

.....
Filip Uchytíl

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Ivo Lattenbergovi, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne

.....
Filip Uchytíl

Obsah

1	Úvod.....	8
2	Elektromotory	9
2.1	Trojfázové asynchronní motory.....	9
2.1.1	Asynchronní motor s kotvou nakrátko.....	10
2.1.2	Asynchronní motory s kroužkovou kotvou	13
2.2	Synchronní motory	15
2.3	Stejnoseměrné motory	16
3	Regulace otáček motorů.....	17
3.1	Druhy regulace.....	17
3.1.1	Regulace počtem pólů.....	17
3.1.2	Regulace změnou skluzu	18
3.1.3	Regulace změnou frekvence	18
3.2	PWM řízení 3-fázového střídače	19
3.2.1	Výkonové spínací tranzistory	20
3.2.2	Funkce 3-fázového střídače	21
3.2.3	Signál PWM.....	23
4	Návrh obvodu	24
4.1	Napájení obvodu	24
4.2	Logický obvod	25
4.3	Výkonová část a volba motoru	26
4.3.1	Výkonové tranzistory.....	26
4.3.2	Volba motoru	26
4.4	Signalizace převodu motoru	26
4.5	Obvod pro měření aktuálního napětí a proudu na motoru	27
4.5.1	Funkce obvodu.....	28
5	Realizace obvodu.....	28
5.1	Návrh plošného spoje.....	28
5.2	Osazení součástek	29
6	Programování.....	29
6.1	Programátor	29
6.2	Princip spínání tranzistorů	29
6.3	Softwarová implementace.....	30
6.4	Vlastní návrh programu	31
6.4.1	Dead Time.....	33
7	Závěr	34
8	Literatura.....	35
	Přílohy.....	36

Seznam použitých obrázků

Obr. 2.1: Zapojení vinutí hvězda nebo trojúhelník	11
Obr. 2.2: Rotorová klec [2]	11
Obr. 2.3: Průběh točivého momentu asynchronního motoru s kotvou nakrátko [1]	12
Obr. 2.4: Kroužkový motor [2]	13
Obr. 2.5: Řízení rychlosti otáček, vřazením do obvodu spouštěcí rezistory [2]	15
Obr. 3.1: Měníč frekvence	19
Obr. 3.2: Trojfázový střídač řízený PWM signálem	22
Obr. 3.3: PWM řízení 3-fázového střídače	23
Obr. 4.1: Logický obvod	25
Obr. 4.2: Měření napětí na motoru	27
Obr. 6.1: Sled spínání tranzistorů na jednotlivých fázích	30
Obr. 6.2: Rozdělení jedné periody na časové sloty	31
Obr. 6.3: Složení jedné půl-periody	32
Obr. 6.4: Poměry v jednom časovém slotu	32

1 Úvod

Elektromotory jsou všude kolem nás, aniž bychom si toho mnohdy vůbec všimli. V dnešní společnosti jsou téměř nepostradatelným doplňkem pro běžný život. Můžeme se s nimi setkat v domácnostech, nemocnicích, na ulici nebo třeba letadlech. Začínají se i hodně prosazovat v automobilovém průmyslu. Naprostá většina automobilů je poháněna naturáliemi jako je nafta nebo plyn. Zásoby těchto surovin jsou však vyčerpateľné a značně poškozují kvalitu ovzduší, což je jeden z důvodů, proč vyvíjet automobily poháněné elektromotory. Samotný motor připojený k síti nebo jakémukoli napájení by nám byl téměř k ničemu, kdyby se nedaly řídit jeho otáčky. Proto je motor a obvod regulace otáček téměř nerozlučnou dvojicí.

V bakalářské práci se zabývám nejprve jednotlivými typy elektromotorů. Je zde rozebráno jejich rozdělení, použití v praxi a jejich výhody či nevýhody. Dále navazuji na jejich regulaci. Popisuji, jakými způsoby se v dnešní době reguluje a některé typy regulace jsou rozebrány podrobněji. Zejména způsob regulace, který jsem použil v praktické realizaci mého obvodu. Po této kapitole rozebírám teoretický návrh. Popisuji jednotlivé části navrženého schématu, jako je řídicí část, výkonová část, napájení nebo obvod pro měření napětí a proudu na motoru. Dále se zmiňuji o praktické realizaci mého obvodu a použitých technologiích. Nakonec je popsán způsob programování, myšlenka k vytvoření programu a funkce řízení výkonové části. V příloze je přiloženo navržené schéma, plošný spoj a zdrojový kód z AVR studia.

Na závěr hodnotím funkci mého obvodu a dosaženého výsledku.

2 Elektromotory

Elektrický motor je elektrické zařízení, které přeměňuje elektrický proud na mechanickou práci. Každý elektromotor musí mít identifikační štítek, který obsahuje: výrobce, typ motoru, třídu izolace a krytí, účinník $\cos \varphi$, jmenovité hodnoty napětí, proudu, výkonu a otáček. Na vstupu motoru je vždy výkon a na výstupu je díky ztrátám příkon. Ztráty vznikají např. třením rotoru o ložiska a vzduch, hysterezi v železe. Dále mohou být ztráty ve vinutí rotoru a statoru, tepelné ztráty závislé na zatížení motoru. Množství těchto ztrát určuje účinnost η a je to poměr mezi výkonem a příkonem. Pro představu mají např. trojfázové asynchronní motory od 2kW účinnost asi 80% a při výkonech nad 11kW je to cca 88%. Směr otáčení rotoru je vpravo. Určuje se to tak, že se podíváme na konec hřídele. Pokud se jedná o motor s dvěma konci hřídele, bere se směr otáčení podle hlavní hřídele. Hlavní hřídel je konec hřídele proti ventilátoru, komutátoru, kroužkové kotvě nebo brzdě.

2.1 Trojfázové asynchronní motory

Trojfázové asynchronní motory se skládají ze dvou hlavních částí. Z pevné části, statoru a otočné části rotoru. Stator i rotor jsou zkonstruovány z jednostranně izolovaných dynamoplechů s drážkami, v nichž je vinutí z Cu drátů. Podle vinutí na rotoru, se potom rozlišují Asynchronní motory s kotvou nakrátko a asynchronní motory s kroužkovou kotvou.

Tyto motory pracují na principu točivého magnetického pole, které vytvoří stator, jestliže přivedeme na jeho vinutí 3f napětí. Magnetické pole potom vytvoří indukci proud v rotoru a hřídel motoru se roztočí. Rychlost otáček motoru závisí na frekvenci rozvodné sítě a na počtu pólpárů vinutí. Čím bude vyšší frekvence, tím bude rychlost otáčení rotoru větší. Snížíme-li počet pól párů, rychlost otáčení rotoru se nám také zvýší.

Každý asynchronní motor má otáčky rotoru menší než otáčky točivého magnetického pole, vyvolaného statorem. Čím je tento typ motoru více zatížen, tím větší diference v otáčkách nastane. Tento jev se nazývá skluz. V zásadě mají větší a výkonnější motory skluz menší, než motory malé. Skluz se dá definovat vztahem:

$$s = \frac{n_s - n}{n_s}, \quad (2.1)$$

kde n_s (ot/min) jsou synchronní otáčky točivého magnetického pole a n (ot/min) jsou otáčky rotoru.

Definice skluzu v %, se potom vyjádří jako:

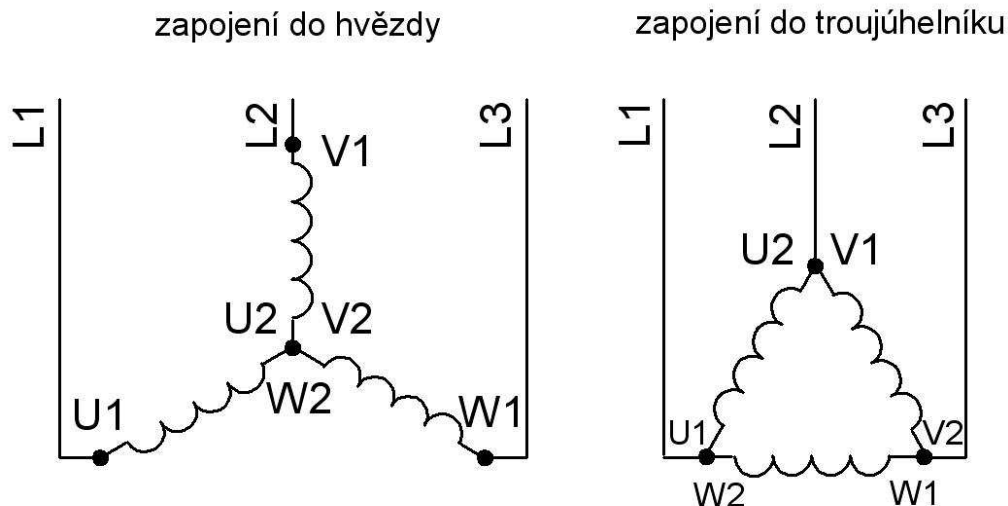
$$s = \frac{n_s - n}{n_s} \cdot 100. \quad (2.2)$$

Průměrný skluz motorů, bývá v rozmezí od 1% do 15%, ale je to hodně závislé na zatížení.

2.1.1 Asynchronní motor s kotvou nakrátko

- **Stator**

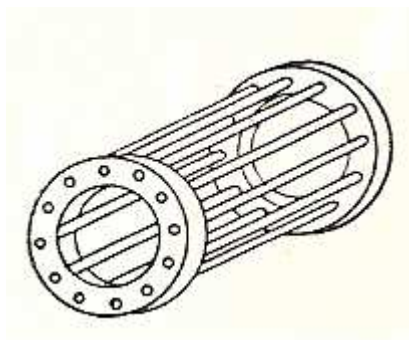
Je složen z dvoupólového nebo vícepólového nástavce (vinutí), které jsou zpravidla trojfázová. Do drážek dynamoplechů u trojfázového motoru jsou vložena tři vinutí, jejichž začátek je posunut vždy o 120° . Existují dva způsoby zapojení těchto vinutí, a to zapojení do hvězdy nebo zapojení do trojúhelníka, viz obr. 2.1. Jestliže spojíme konce všech tří vinutí, vznikne nám zapojení do hvězdy. Spojíme-li konce prvního vinutí se začátky následujícího vinutí, vznikne nám zapojení do trojúhelníka.



Obr. 2.1: Zapojení vinutí hvězda nebo trojúhelník

- **Rotor**

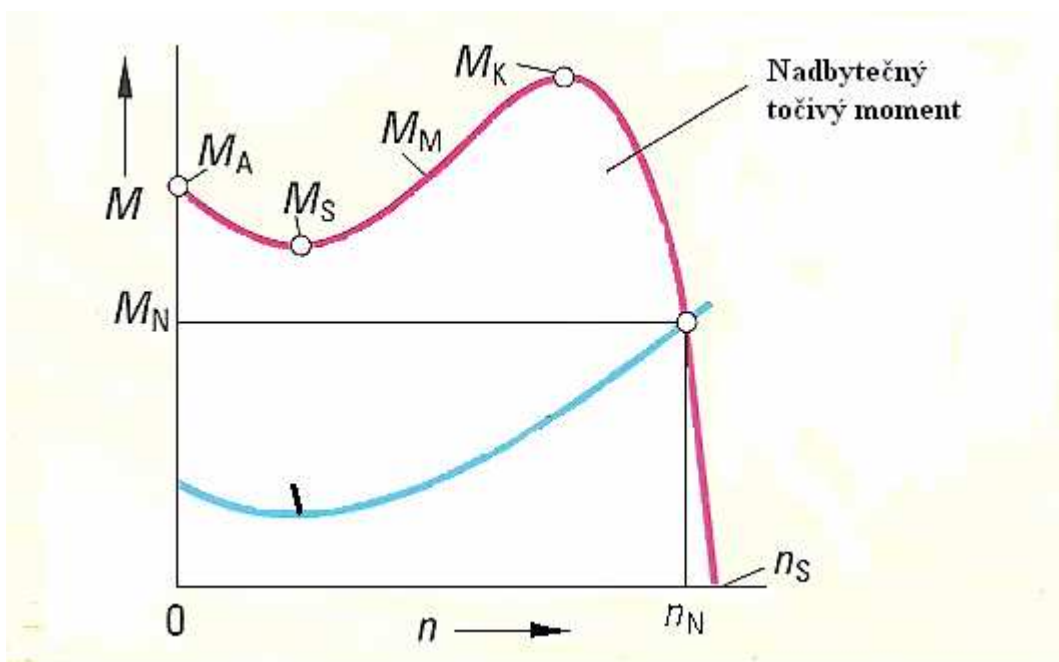
Rotorové vinutí je nejčastěji provedeno z hliníkových tyčí, ale lze nalézt i motory, které ho mají z mědi nebo dokonce z bronzu. Na čelech rotoru jsou kruhy ze stejného materiálu spojeny nakrátko. Tvar, velikost a materiál rotorové klece, velice ovlivňují vlastnosti motoru. Takové nejznámější rotorové klece jsou klece s kruhovou drážkou nebo hlubokou drážkou. Pokud jsou drážky v plechu větší, je v nich zalito více vodivého materiálu, což má za následek zvětšení činného odporu. Má-li rotorové vinutí větší odpor, protéká jím tak menší proud, který nám zlepší účinnost motoru. Při výběru motoru se špatnou nebo příliš jednoduchou rotorovou klecí, můžeme docílit špatné rozběhové charakteristiky. Motor má potom při spouštění malý záběrný moment, protože klecí protéká velký záběrný proud. Jak vypadá takový rotor lze vidět na obr. 2.2.



Obr. 2.2: Rotorová klec [2]

- **Momentová charakteristika asynchronního motoru s kotvou nakrátko**

Momentová charakteristika nám znázorňuje, jaký moment M dokáže vyvinout motor při určitých otáčkách n . Moment musí být v jakémkoliv bodě charakteristiky větší, než příslušný zatěžovací moment poháněného stroje. To lze vidět z obr. 2.3.



Obr. 2.3: Průběh točivého momentu asynchronního motoru s kotvou nakrátko [1]

- **Záběrný moment M_A**

Je točivý moment, který vytváří motor při připojení k síti. U motoru s hlubokodrážkovým rotorem nebo s dvojitou klecí dosahuje asi dvojnásobku až trojnásobku jmenovitého momentu.

- **Moment sedla M_S**

Je nejmenší moment motoru po rozběhu. Konstrukční úpravou, např. šikmo uspořádanými rotorovými drážkami se moment sedla omezí.

- **Moment zvratu M_K**

Je největší moment motoru; vzniká po dosažení momentu sedla. U trojfázových normalizovaných motorů dosahuje moment zvratu asi 2,5 až 3 násobek jmenovitého momentu.

- **Jmenovitý moment M_N**

Je moment, který působí na hřídeli motoru při jmenovitém výkonu. Při zatížení jmenovitým momentem má motor jmenovité otáčky.

- **Moment M_L**

Je charakteristika pracovního stroje. [1]

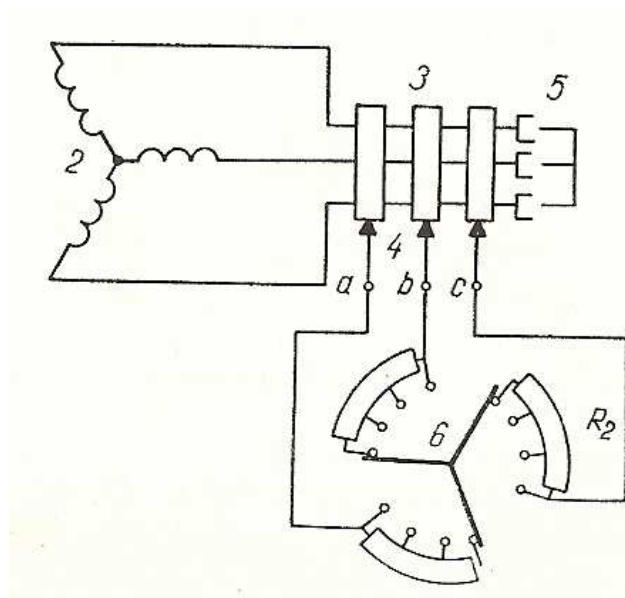
2.1.2 Asynchronní motory s kroužkovou kotvou

Tento typ motoru se nejčastěji používá tam, kde je nepřijatelný velký záběrný proud. Je tedy vhodný pro těžké rozběhy. Stator je řešen stejně jako u motoru s kotvou nakrátko.

Rotor se opět otáčí pomocí točivého kruhového elektromagnetického pole, které vytvoří statorové vinutí. Tyto synchronní otáčky jsou dány vztahem:

$$n_s = \frac{60f}{p}, \quad (2.3)$$

kde $n_s (min^{-1})$ jsou synchronní otáčky, $f (Hz)$ kmitočet napájecího proudu sítě a $p (-)$ počet pólových dvojic.



Obr. 2.4: Kroužkový motor [2]

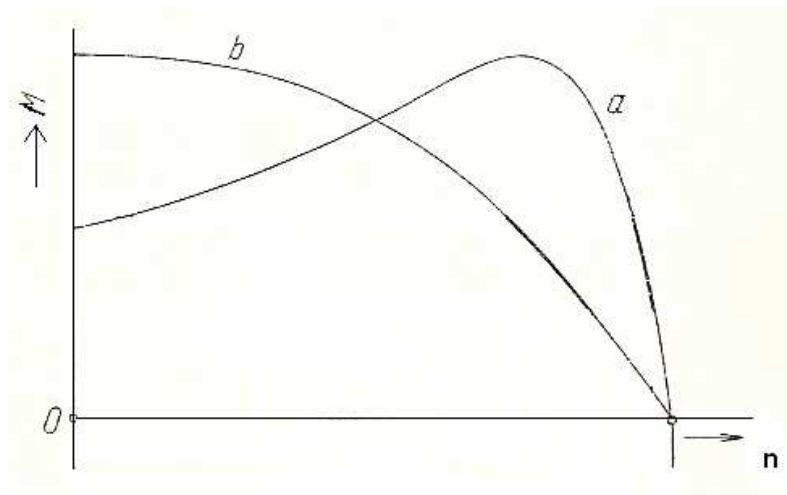
Rotorové vinutí je nejčastěji zapojeno do hvězdy a jeho začátky jsou připojeny na tři vodivé kroužky, které jsou izolovaně připevněny na hřídeli. Na každý z těchto kroužků jsou připojeny spouštěcí rezistory přes uhlíkové kartáčky. Tyto rezistory dokáží při rozběhu motoru zmenšit velké záběrné proudy a naopak zvýšit záběrný moment. To je dáno fázovým posuvem proudu a napětí v rotoru. Vícestupňové odpory nemůžou být do obvodu vřazeny věčně, protože při zvyšujících se otáčkách by moment motoru silně klesal.

Abychom tomuto defektu předešli, musíme při zvyšujících se otáčkách odpory postupně zmenšovat až do úplného zkratu. Po zkratu tyto kroužkové motory pracují stejně jako motory s kotvou na krátko.

Motory s kroužkovou kotvou se tak používají u strojů, které pracují s velikou zátěží. To mohou být např. jeřáby nebo navijáky. Nevýhodou těchto motorů je, že jsou na výrobu velice drahé a mají horší účinník než motory s kotvou nakrátko.

- **Řízení rychlosti kroužkových motorů**

Kroužkový asynchronní motor má momentovou charakteristiku při zkratovaných spouštěcích rezistorech stejnou, jako u motoru s kotvou nakrátko viz obr. 2.5, charakteristika „a“. Pokud k němu připojíme spouštěcí rezistory, musejí vydržet trvalé zatížení. Jsou-li tedy připojeny ke kroužkům, zvětší se odpor rotorového vinutí, ten sníží proud v rotoru a napětí se zvýší. Následek je potom takový, že motor má větší skluz. Otáčky se zmenší a momentová charakteristika bude vypadat podle obr. 2.5, charakteristika „b“. Takto jednoduše se dají řídit otáčky kroužkových motorů. Nevýhodou tohoto řízení je, že se nedají nastavit malé otáčky a vřazením spouštěcích odporů do obvodu rotoru, na nich vznikne poměrně velké ztrátové teplo. To způsobí pokles účinnosti až pod 50%.



Obr. 2.5: Řízení rychlosti otáček, vřazením do obvodu spouštěcí rezistory [2]

2.2 Synchronní motory

Otáčky točivého magnetického pole vytvořeného statorem jsou synchronní s otáčkami rotoru. Mají tedy synchronní otáčky a neexistuje u nich skluz. Kmitočet na svorkách synchronního motoru je přímo úměrný otáčkám podle vztahu:

$$f = \frac{p \cdot n_s}{60}, \quad (2.4)$$

kde f (Hz) je frekvence, p (-) počet pólových dvojic a n_s jsou synchronní otáčky (min^{-1}).

Synchronní motory se nedokáží sami rozběhnout. Po připojení k síti bez pomocného obvodu by vytvořili velký proudový náraz. Potřebují k tomu pomocný obvod ve statoru (budič) - ten je tvořen spouštěcími tlumivkami neboli reaktory, které se po rozběhu motoru zkratují. Spouštění může být také tvořeno přepínáním vinutí hvězda / trojúhelník nebo postupným paralelním spojováním větví statorového vinutí.

Nezatěžuje elektrickou síť svým jalovým proudem tak, jako motor asynchronní. V přebuzeném stavu dokonce dokáže jalový proud do obvodu dodávat. Má vyšší účinnost a je méně citlivý na kolísání napětí v síti. Motory do výkonu cca 1200 kW se mohou do obvodu připojovat přímo. Otáčky se dají řídit pouze změnou frekvence.

Synchronní motory se používají tam, kde není potřeba velký záběrný moment či tam, kde se moc nepoužívá řízení otáček a reverzní chod. V praxi se mohou vyskytovat

u velkých generátorů, mlýnů, lodních šroubů, dmychadel pro vysoké pece, v ocelárnách nebo u točivých a pístových kompresorů.

2.3 Stejnoseměrné motory

Stejnoseměrné motory mají v průmyslu celkem hojné zastoupení. Používají se například v automobilech, letadlech, jako pohony pro automatizované stroje a mnoho dalších. Otáčky stejnosměrného motoru se dají snadno regulovat, a proto se často používají také u obráběcích strojů. Základní rozdělení těchto motorů podle druhu buzení je:

- **Derivační**

možnost regulace proudu ve statoru a rotoru. Změnou těchto proudů změníme i magnetický tok, čímž lze snadno měnit otáčky. Buzení je paralelně připojeno k rotoru.

- **Cizí**

budící vinutí potřebuje ke svému chodu cizí buzení. Například akumulátor nebo dynamo. Při zatížení motoru, otáčky klesají jen mírně. Lze je regulovat budícím proudem nebo napětím na kotvě.

- **Sériové**

budící vinutí je zapojeno v sérii s rotorovým vinutím. Má největší záběrný moment z těchto motorů. Při chodu naprázdno jsou otáčky tohoto motoru velice vysoké, až nebezpečné. Po rozběhu a následovným zatížením otáčky rychle klesají.

- **Kompaundní**

Kombinace motoru se sériovým buzením a derivačním. Při chodu naprázdno se chová jako derivační motor. Zatížíme-li tento motor, jeho otáčky klesají rychle.

Každý stejnosměrný motor může pracovat jako generátor nebo jako motor. Pracuje-li jako motor, prochází proud jeho rotorem od začátku ke konci vinutí a rotor se otáčí doprava. Pracuje-li jako generátor, rotor se otáčí doleva, přičemž směr toku proudu ve vinutí je stejný. Při spuštění motoru v něm vznikne velký proudový náraz. Abychom tomuto nárazu předešli, je potřeba k vinutí zařadit spouštěcí rezistory.

- **Stator**

Stator se skládá z ocelového prstence na němž jsou umístěny póly s budícím vinutím. U motorů s větším výkonem se často používají pomocné póly s kompenzačním vinutím. Tyto pomocné póly jsou umístěny mezi hlavními póly a jsou vinty ze silnějších drátů.

- **Rotor**

Rotor se skládá ze svazku dynamoplechů v jehož drážkách je umístěno vinutí. Začátky a konce vinutí jsou přivedeny na plošku komutátoru.

3 Regulace otáček motorů

Otáčky rotoru jsou dány vztahem:

$$n = \frac{f}{p} \cdot (1 - s), \quad (3.1)$$

kde n (ot/min⁻¹) jsou otáčky rotoru, f (Hz) frekvence napájení, p (-) počet pólů a s (-) skluz motoru.

Ze vzorce 3.1 je patrné, že otáčky motoru, se dají řídit frekvencí, změnou počtu pólů nebo skluzem.

3.1 Druhy regulace

3.1.1 Regulace počtem pólů

Regulace počtem pólů není příliš používanou regulací. Otáčky motoru totiž nejdou měnit plynule, ale pouze skokově. Obecně platí, že čím méně pólů stator má, tím vyšší otáčky motor dokáže vyvinout. Jestliže za chodu motoru snížíme otáčky tímto skokovým způsobem, motor nám bude chvíli pracovat jako generátor. V tomto okamžiku nastává velké elektrické i mechanické namáhání, což je jedna z dalších nevýhod této regulace. Tato regulace se používá např. u čerpadel nebo ventilátorů.

3.1.2 Regulace změnou skluzu

Regulace používaná výhradně u asynchronních motorů s kroužkovou kotvou. Funguje na principu změny odporu v rotorovém obvodu viz kapitola výše. Zařazením těchto odporů do obvodu, zvýšíme spotřebovaný výkon. Skluz se nám tedy zvětší a otáčky klesnou. Otáčky rotoru jsou vždy menší než otáčky točivého pole. Tato regulace je však nevhodná, kvůli ztrátě výkonu na spouštěcích rezistorech. Použití nalezneme např. v hornictví.

3.1.3 Regulace změnou frekvence

Regulace změnou frekvence nebo slangově „frekvenční měnič“, je nejpoužívanější typ regulace motorů. Se zvyšující se frekvencí napětí na statoru se úměrně zvyšují i otáčky. Otáčky motoru se dají regulovat plynule a mohou být menší i větší než otáčky točivého elektromagnetického pole. Proto, abychom mohli měnit frekvenci sítě a napětí, musíme před motor zařadit speciální obvod, který se skládá z následujících částí, které jsou také vidět na obr. 3.1, v blokovém schématu. :

- **Usměrňovač**

Usměrní jednofázové nebo trojfázové napětí sítě s frekvencí 50Hz na stejnosměrné napětí pomocí řízeného nebo neřízeného můstku.

- **Meziobvod**

Meziobvod se skládá z nabíjecího odporu, vyhlazovacího kondenzátoru a tlumivky, pro tlumení proudového nárazu při zapojení nenabitého kondenzátoru. Tato tlumivka nám také zlepšuje průběh síťového proudu, čímž nám výrazně zlepšuje účinnost.

Odděluje nás síť od střídavého měniče a pracuje jako zásobník energie. Aby při okamžité nízké hodnotě spínaného napětí dokázal zdroj dodat konstantní napětí

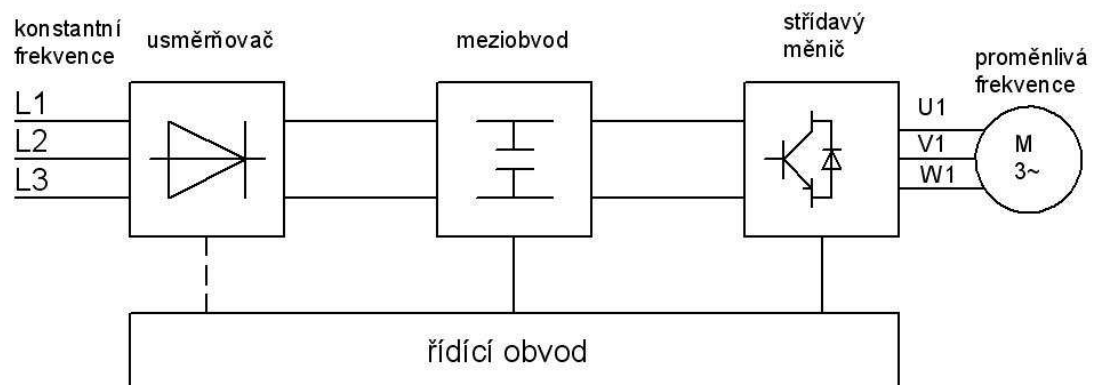
do obvodu, je zde v meziobvodu zařazen kondenzátor. Frekvenční měnič odebírá z obvodu pouze činný výkon. Pro dodání jalového výkonu, potřebného ke správné funkci magnetického obvodu je zde zařazen právě tento meziobvod. Tím se lze vzdát kompenzačních zařízení účiníku na straně napájecí sítě. Účiník $\cos \varphi$ je pak roven téměř 1.

- **Střídavý měnič**

Střídavý měnič v podstatě tvoří výkonovou část celého řízení motoru. Přeměňuje stejnosměrné napětí z meziobvodu na napětí střídavé o měnitelné frekvenci a úměrně tomu i napětí. K tomu se používá např. pulzní šířková modulace (PWM). Změnou šířky pulzu, tedy měním i délku (čas) sepnutí tranzistoru a naopak. Výkonovou část potom nejčastěji tvoří unipolární a bipolární výkonové tranzistory. Pro spínání vysokých frekvencí se používají tranzistory IGBT (Insultated Gate Bipolar Tranzistor).

- **Řídicí obvod**

Řídicí obvod řídí výkonovou část regulátoru a komplexní chod regulace. Kontroluje funkce a přenos dat. Obsahuje jeden nebo více mikroprocesorů, které řídí mnoho dalších úkonu včetně pulzní šířkové modulace. Někdy si lze dokonce volit vlastní typ modulace. Dokonce je možné řídit brzdění a regulaci brzdného proudu. Řídicí obvod může obsahovat také ochranné a jistící funkce. Řídicí část dokáže velice oživit funkci celého řetězce například tím, že stanoví parametry připojeného motoru. Lze k ní přiřadit měniče jako je inteligentní akční člen a další nepřeberné množství funkcí, které se v praxi jen těžko všechny uplatní.



Obr. 3.1: Měníč frekvence

3.2 PWM řízení 3-fázového střídače

Trojfázový střídač se skládá celkem ze šesti koncových tranzistorů různých typů, popsané v bodě 3.2.1. Tyto tranzistory mohou být spínány klasickým sinusovým signálem nebo Pulsní šířkovou modulací (PWM) na kterou se z hlediska většího

rozšíření a použití v mé práci zaměřím. Protože každý tranzistor má nejmenší ztráty pokud je plně sepnutý nebo pokud je úplně vypnutý, je z hlediska spotřeby a účinnosti toto řízení neekonomičtější. Signál PWM může generovat přímo mikroprocesor, jestliže umožňuje tuto funkci nebo jej můžeme vytvořit pomocí kombinační a sekvenční logiky.

3.2.1 Výkonové spínací tranzistory

- **Bipolární tranzistor**

K jeho funkci využívá nosiče náboje obou polarit. Skládá se z dvou přechodů PN. Pokud je střední vrstva N, nazýváme tranzistor PNP a pokud P, nazýváme ho NPN. Ve výkonové elektronice se můžeme často setkat s tranzistorem BJT nebo BT. Jedná se o bipolární plošný tranzistor vyrobený z dopovaných polovodičů. Sepneme ho přivedením elektrického proudu na bázi. Hlavní výhoda tohoto tranzistoru je vedení velkého proudu v poměrně malém pouzdře.

- **MOSFET tranzistor**

Tranzistor MOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Tranzistor)

je v poslední době velice používaný kvůli svým výborným vlastnostem. Je to tranzistor řízený elektrickým polem. Má 3 nebo 4 vývody, a to G (Gate hradlo), S (Source, emitor), D (Drain, kolektor) a někdy dokonce B (substrát, obvykle je propojen se Sourcem). Podle použití tranzistoru může být MOSFET typu N (NMOS) nebo typu P (PMOS). MOSFET se neotevívá a nezavírá pomocí proudu tekoucího do báze tak jako u bipolárního tranzistoru, protože je Gate elektroda dielektricky izolována od zbytku tranzistoru. Otevírá/zavírá se přivedením napětí mezi elektrody Gate a Source. Není-li přivedeno napětí na tyto dvě elektrody, tranzistor je zavřený a ve směru D-S případně B-S neprotéká téměř žádný proud. Můžeme tedy také říci, že tranzistor MOSFET je řízený napětím.

Pro malá napětí U_{DS} (cca do 1V) funguje tranzistor jako napětím řízený odpor. Této oblasti se říká odporová oblast. Po překročení U_{DS} o cca 3V nastává zlom na VA-charakteristice, kterému se říká bod zaškrcení kanálu. Za tímto zlomem se proud I_D téměř nezvyšuje a charakteristika je skoro lineární až do saturace tranzistoru. [4]

- **IGBT tranzistor**

Jedná se o tranzistor s izolovaným hradlem, který je chopen sepnout velmi vysoké proudy (až desítky MW) a zároveň pracovat s vysokou frekvencí i napětím. Má malý ztrátový výkon v sepnutém stavu. Používá se u dopravních prostředků jako jsou vlaky nebo trolejbusy. V současné době je ve výkonových měničích nejpoužívanějším prvkem.

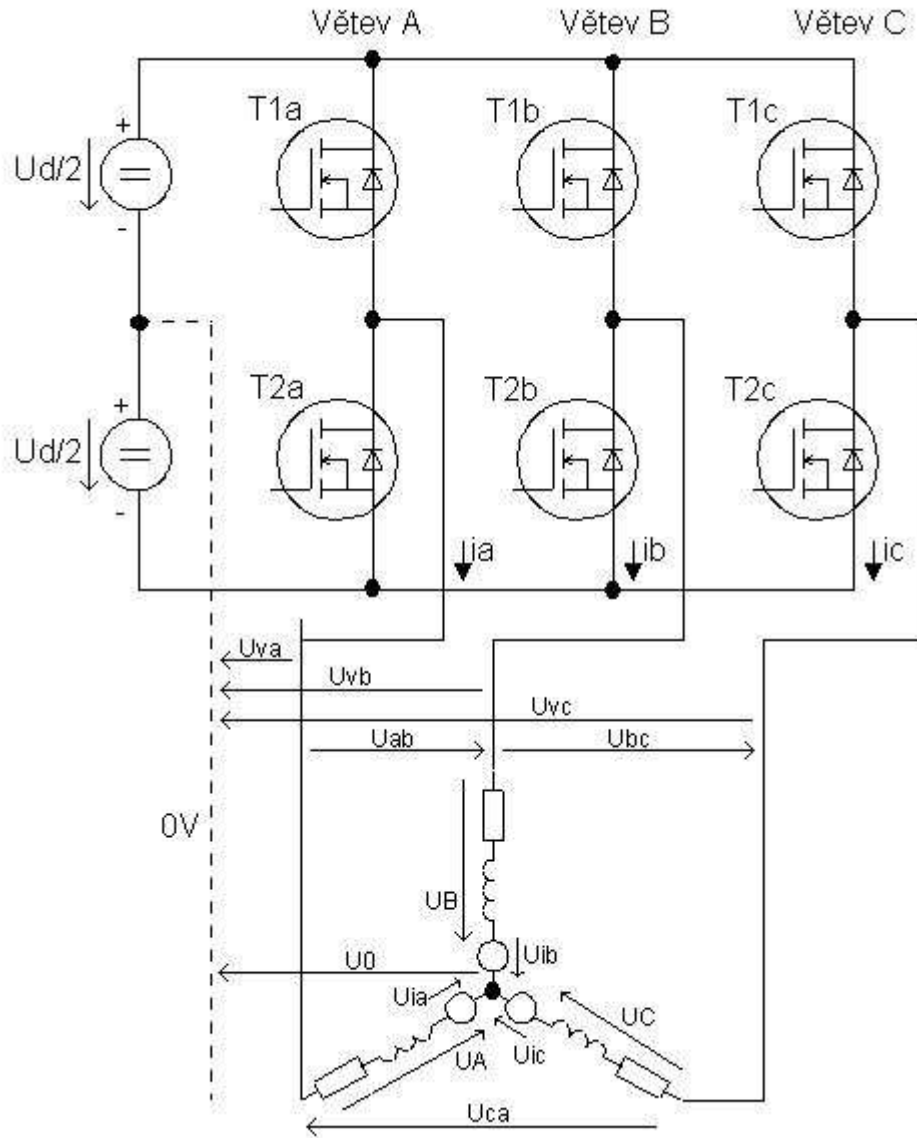
- **Tyristor GTO**

Zkratka GTO znamená z angličtiny (gate turn off). Tento tyristor lze zapnout i vypnout proudem řídící elektrody. Pro zapnutí se využívá kladný impuls a pro vypnutí naopak záporný. Spínací proudy jsou vysoké, řádově 3 kA a pracovní napětí dosahuje 4,5kV. Používají se v těžkém průmyslu pro pohony, kde výkony přesahují 500kW.

3.2.2 Funkce 3-fázového střídače

Základní zapojení 3-fázového střídače je na obr. 3.2. Tranzistory spínají vždy v páru. Sepne-li tranzistor T1a, spolu s ním sepne T2b. Proud potom protéká od kladné svorky zdroje přes tranzistor T1a, skrz první fázi motoru, druhou fázi a vrací se přes tranzistor T2b až na zápornou svorku zdroje. Dále sepne tranzistor T1b spolu s T2c, takže proud protéká přes druhou a třetí fázi. Nakonec sepne tranzistor T1c a T2a a proud protéká od třetí fáze k první. Tato posloupnost spínání tranzistorů probíhá velmi rychle stále dokola, podle napsaného programu.

Tranzistory se mohou použít z kapitoly 3.3.1, přičemž jejich řízení může obstarávat naprogramovaný mikroprocesor. Signál přivedený do každého páru tranzistorů musí být opožděný o 120° vůči předchozímu signálu. Jednotlivá sdružená a další napětí se dají vypočítat podle obecných rovnic 3.2 - 3.10.



Obr. 3.2: Trojfázový střídač řízený PWM signálem [6]

Podle II. Kyrchhoffova zákona vyplývají z obrázku následující rovnice:

$$u_{AB}(t) = u_{VA}(t) - u_{VB}(t) \quad (3.2)$$

$$u_{BC}(t) = u_{VB}(t) - u_{VC}(t) \quad (3.3)$$

$$u_{CA}(t) = u_{VC}(t) - u_{VA}(t) \quad (3.4)$$

$$u_A(t) = \frac{2}{3}u_{VA}(t) - \frac{1}{3}u_{VB}(t) - \frac{1}{3}u_{VC}(t) + \frac{1}{3}\sum u_i(t) \quad (3.5)$$

$$u_C(t) = \frac{2}{3}u_{VC}(t) - \frac{1}{3}u_{VA}(t) - \frac{1}{3}u_{VB}(t) + \frac{1}{3}\sum u_i(t) \quad (3.6)$$

$$u_0(t) = \frac{1}{3}u_{VA}(t) + \frac{1}{3}u_{VB}(t) + \frac{1}{3}u_{VC}(t) - \frac{1}{3}\sum u_i(t) \quad (3.7)$$

$$u_{AB}(t) + u_{BC}(t) + u_{CA}(t) = 0 \quad (3.8)$$

$$u_A(t) + u_B(t) + u_C(t) = 0 \quad (3.9)$$

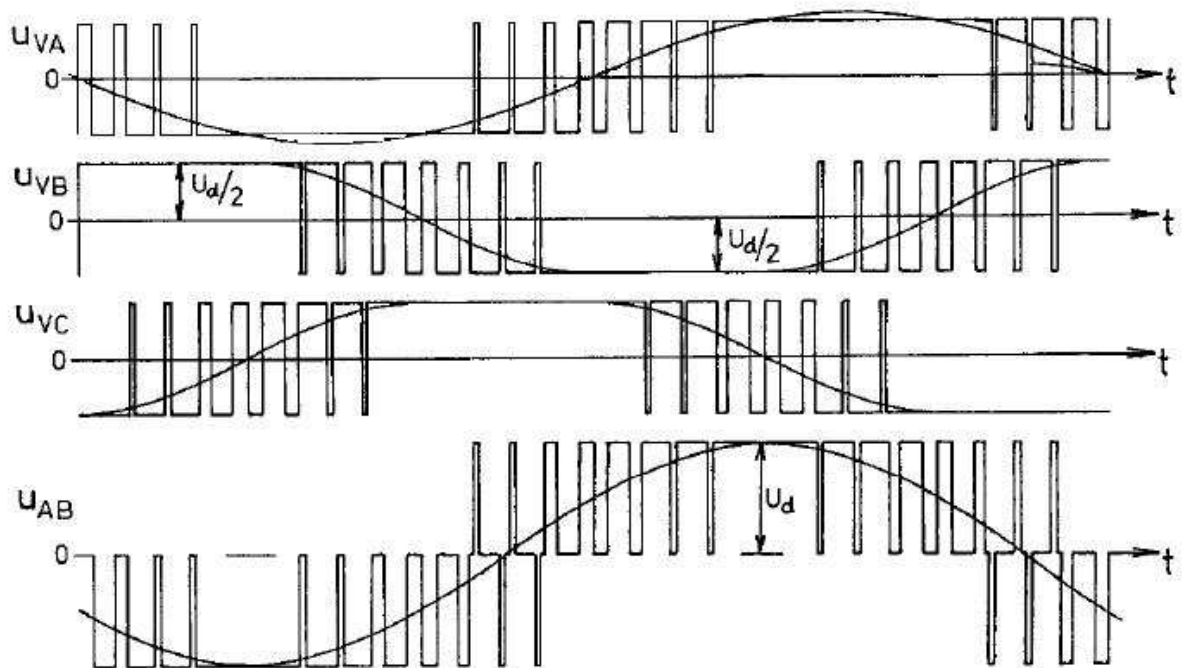
$$u_{VA}(t) + u_{VB}(t) + u_{VC}(t) \neq 0 \quad (3.10)$$

3.2.3 Signál PWM

Tato modulace se používá hlavně u řídicích systémů a ve výkonové elektronice. Jedná se o diskrétní, dvouúrovňový signál, který může nabývat hodnot log. 0 nebo log. 1. Informace se přenáší na základě šířky pulzu nebo také střídy. Existují dva základní typy této modulace.

Střída se může měnit v čase konstantně. To se používá pro řízení a regulaci např. stejnosměrných motorů, topení, atd. Pokud chceme aby se ss motor vůbec netočil, nastavíme střidu PWM na poměr 0:100. To znamená, že doba vypnuto trvá 100% času a doba zapnuto 0% času. Chceme li, nastavit maximální otáčky motoru, střida se položí v poměru 100:0. Aby jel motorek na 50% výkonu, střida se nastaví na poměr 50:50, atd.

Druhý způsob regulace PWM je založen např. na změně šířky pulzu podle sinusového signálu. To se nejčastěji používá u frekvenčních měničů. Jak takové frekvenční řízení podle sinusového signálu vypadá je znázorněno na obr. 3.3. Uvedená napětí v tomto obrázku se vztahují k obr. 3.2. Demodulace takového signálu se dá provést jednoduše zařazením dolní propusti.



Obr. 3.3: PWM řízení 3-fázového střídače [6]

4 Návrh obvodu

Schéma obsahuje dle zadání následující části:

- osmibitový mikroprocesor ATMEGA64L
- USB konektor s převodníkem FT232 pro komunikaci s PC
- operační zesilovače v zapojení komparátoru tvořící část řídicího obvodu
- logický obvod pro zabránění hazardních stavů koncových tranzistorů
- výkonovou část složenou z tranzistorů MOSFET
- sběrnici pro připojení displaye, který zobrazuje aktuální napětí a proud na motoru
- programovací sběrnici pro naprogramování mikroprocesoru

Některé z nich jsou rozebrány v následujících kapitolách.

4.1 Napájení obvodu

Celý obvod je napájen z tříčlánkové Li-pol baterie. Každý tento článek má svorkové napětí 3,7V. Celkem je tedy k obvodu připojena baterie s napětím 11,1V. Její celková kapacita činí 480 mAh.

Baterie Li-pol jsou známy především svým vysokým svorkovým napětím. Jsou však velice náchylné na poškození zejména při nabíjení a vybíjení. Nesprávné zacházení těchto baterií může vést až k její explozi.

Dále je těchto 11,1V stabilizováno přes stabilizátor 78M05 SMD DPAK na 5 voltů. Tento stabilizátor je schopen dodat proud 0,5A, což je vzhledem ke spotřebě mikroprocesoru a USB převodníku plně dostačující. Napětí před stabilizátorem je vyfiltrováno kondenzátorem 0,33 μ F a kondenzátorem 0,1 μ F za stabilizátorem. Ostatní části obvodu, jako je integrovaný obvod s operačními zesilovači, hradla AND i invertory jsou napájeny přímo z baterie 11,1V.

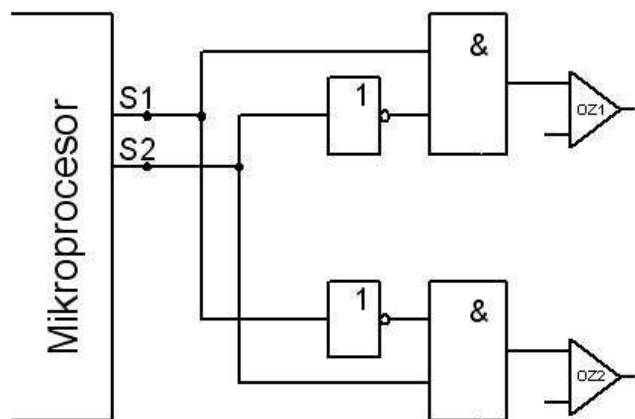
4.2 Logický obvod

Po připojení mikroprocesoru k napájení chvíli trvá, než se aktivuje nahraný software a procesor začne vykonávat algoritmus, podle naprogramovaného programu. V této prodlevě by mohlo dojít k dostavení nežádoucích logických jedniček na výstupu mikroprocesoru. Ty by potom způsobily, že se sepnou tranzistory v páru proti sobě a navzájem by se zkratovaly. Pro zabránění tohoto hazardního stavu jsem do obvodu mezi mikroprocesor a operační zesilovače, které spínají tranzistory, zařadil logický obvod.

Obvod pracuje podle tabulky 4.1, ze které se určí rovnice 4.1 a 4.2, pomocí nichž se realizuje schéma viz. obr. 4.1. Je tedy patrné, že pokud při startu mikroprocesoru vzniknou na signálu S1 a S2 současně logické jedničky nebo nuly, nesepe ne ani jeden operační zesilovač a tím pádem ani jeden tranzistor. Bude-li signál S1 nulový a signál S2 jedničkový, sepe pouze OZ₂ a naopak.

Tab. 4.1: Tabulka stavů

S ₁	S ₂	OZ ₁	OZ ₂
0	0	0	0
0	1	0	1
1	0	1	0
1	1	0	0



Obr. 4.1: Logický obvod

$$OZ_1 = S_1 \wedge \overline{S_2} \quad (4.1)$$

$$OZ_2 = \overline{S_1} \wedge S_2, \quad (4.2)$$

,kde OZ₁ a OZ₂ jsou operační zesilovače spínající koncové tranzistory.

4.3 Výkonová část a volba motoru

4.3.1 Výkonové tranzistory

Výkonovou část tvoří tranzistory MOSFET IRF 3704ZS, které přímo spínají jednotlivé fáze motoru. Tyto tranzistory jsou dimenzované pro napětí V_{DSS} 20V a k jejich sepnutí stačí velmi malé napětí V_{GS} . Dle výrobce je jejich odpor $R_{DS(on)}$ velmi malý již při $V_{GS} = 4,5V$.

Tranzistory T2a, T2b a T2c z obr. 3.2 jsou spínány proti 0V, proto stačí pro jejich sepnutí nízké napětí cca 5V přímo z mikroprocesoru. Tranzistory T1a, T1b a T1c spínají proti zemi přes jednotlivé vinutí motoru. Jejich napětí mezi Gatem a Sourcem musí být tedy stejně velké nebo větší než napětí mezi Drainem a Sourcem. Jsou proto spínány přes operační zesilovače napětím 12V.

4.3.2 Volba motoru

Zvolil jsem motor modelářský od firmy RAY s označením C2826/18. Je to motor asynchronní se zapojením do hvězdy. Jeho technické parametry jsou uvedeny v tabulce 4.2.

Tab. 4.2: Parametry zvoleného motoru

Napájení	Otáčky na volt	Počet závitů	Výkon	Vnitřní odpor	Proud naprázdno
(V)	(ot./min/V)	(-)	(W)	(mOhm)	(A)
7,2 - 11,1	1000	18	140	262	0,5

Max. zatížitelnost	Regulátor	Průměr	Délka	Hřídél	Hmotnost
(A/60s)	(A)	(mm)	(mm)	(mm)	(g)
18	18	27,8	27	3,17	50

4.4 Signalizace převodu motoru

Podle zadání Bakalářské práce, by měl být obvod schopen signalizovat aktuální převod motoru. V semestrální projektu jsem navrhl do schématu přímo obvod, který tento převod signalizoval pomocí třech LED, které byly spínány pomocí tranzistorů. Toto jsem však vypustil a rozhodl se, že jednotlivé převody se budou zobrazovat přímo na LCD displeji. Ušetří se tím tak místo na plošném spoji a konstrukce bude jednodušší.

4.5 Obvod pro měření aktuálního napětí a proudu na motoru

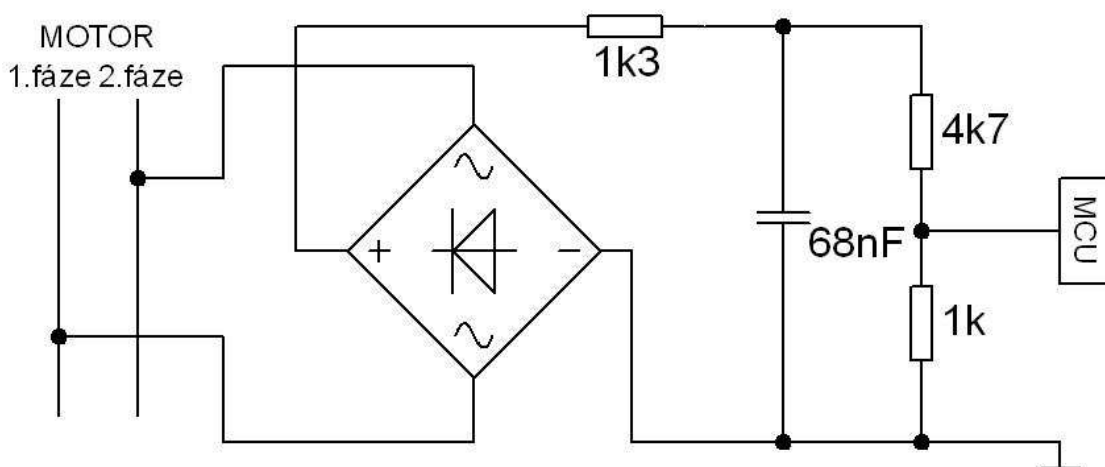
Obvod by měl měřit aktuální napětí a proud na motoru. Pro tento účel jsem navrhnul schéma na obr. 4.2, který je ve skutečném schématu 3X. Obvod bude měřit sdružené napětí mezi jednotlivými fázemi. Výsledný proud se vypočítá v procesoru podle ohmova zákona:

$$I = \frac{U}{R} \quad (4.3)$$

,kde U (V) je změřené napětí přivedené na mikroprocesor, I (A) je vypočítaný proud tekoucí motorem a R (Ω) je celkový odpor vynutí motoru a tranzistorů v sepnutém stavu.

Zvolený motor má vnitřní odpor jednoho vinutí $R_V=262$ m Ω . Toto číslo, se musí vynásobit dvěma, protože proud teče ve skutečnosti přes dvě vinutí rotoru. Celkový odpor vinutí motoru je tedy $R_{Vc}=524$ m Ω . Dále se k tomuto číslu musí připočítat odpor dvou tranzistorů v sepnutém stavu. Výrobce zvoleného tranzistoru uvádí odpor v sepnutém stavu $R_{DS} = 7,9$ m Ω . To se opět musí vynásobit dvěma, takže celkový odpor $R_{DSc} = 15,8$ m Ω . Na závěr stačí sečíst celkový odpor R_{DSc} celkový odpor vinutí motoru R_{Vc} .

$$R = R_{Vc} + R_{DSc} = 0,524 + 0,0158 = 0,5398 \Omega = 540 \text{ m}\Omega \quad (4.4)$$



Obr. 4.2: Měření napětí na motoru

4.5.1 Funkce obvodu

Protože je signál PWM střídavý, musí se nejprve usměrnit přes Graetzův můstek. Po usměrnění by ve stejnosměrném signálu mohly vzniknout nechtěné špičky, díky kterým by se měření zkreslovalo, ba dokonce probíhalo úplně špatně. Za Graetzovým můstkem následuje dolní propust, která je naladěná na maximální frekvenci PWM 1,8 kHz. Dolní propust je naladěna dle vzorce

$$C = \frac{1}{2\pi Rf} = \frac{1}{2\pi \cdot 1300 \cdot 1800} = 68nF \quad (4.5)$$

,kde C (F) je kapacita kondenzátoru v dolní propusti, R (Ω) je odpor v dolní propusti, který jsem si stanovil na 1300Ω a f (Hz) je maximální frekvence PWM signálu 1800 Hz.

Motor je napájen přes koncové tranzistory přímo z baterie $11,1V$ a po usměrnění Graetzovým můstkem je efektivní hodnota tohoto napětí téměř $16V$. Takto vysoké napětí nemůžeme přivést přímo na A/D převodník mikroprocesoru. Zařadil jsem tak za dolní propust klasický odporový dělič, který je v poměru $1:4,7$. Do procesoru na A/D převodník s tímto odporovým děličem přichází $2,81V$. To se ve výsledném programu bude muset vynásobit zpětně konstantou, pro získání reálné hodnoty napětí.

5 Realizace obvodu

5.1 Návrh plošného spoje

Návrh plošného spoje jsem provedl v programu Eagle 5.7.0. Použil jsem volně stažitelnou verzi freeware, která má omezenou velikost plošného spoje na $100 \times 80mm$. Všechny další funkce jsou plně přístupné. Tento program nabízí automatický návrh plošného spoje ze schématu, ale tato funkce není příliš dokonalá. Návrh jsem realizoval vlastnoručně také z důvodu libovolného rozmístění součástek. DPS je vyhotovena jako dvouvrstvá s prokovy. Celá deska má rozměry $101 \times 72mm$.

5.2 Osazení součástek

Součástky jsem volil převážně v SMD pouzdru z důvodu miniaturizace celého obvodu. Vodivé cesty i součástky jsou od sebe dostatečně daleko, aby byla splněna norma. Všechny konektory jsem rozmístil na kraje desky pro lepší přístup při zásahu do desky a pro případné umístění do přístrojové skříně. Součástky jsem napájel olovnatým cínem pomocí mikropáčky.

6 Programování

Naprogramování procesoru ATMEGA64L jsem provedl v jazyce C. Použil jsem program přímo od výrobce těchto mikroprocesorů AVR Studio Code Vision. Výsledný program je přiložený v příloze 7.

6.1 Programátor

Programátor jsem použil paralelní, připojený na LPT port stolního počítače. Sestaven byl na nepájivém kontaktním poli ZSB354 o velikosti 180x240mm. Tento programátor převádí signály přímo z mé DPS (MISO, MOSI, SCK, RESET, +5V, 0V) na signály potřebné právě pro LPT port. Zapojení jsem provedl dle přílohy 6.

Naprogramovat procesor lze také pomocí USB konektoru vyvedeného na DPS, který je připojený na USB převodník FT232RL.

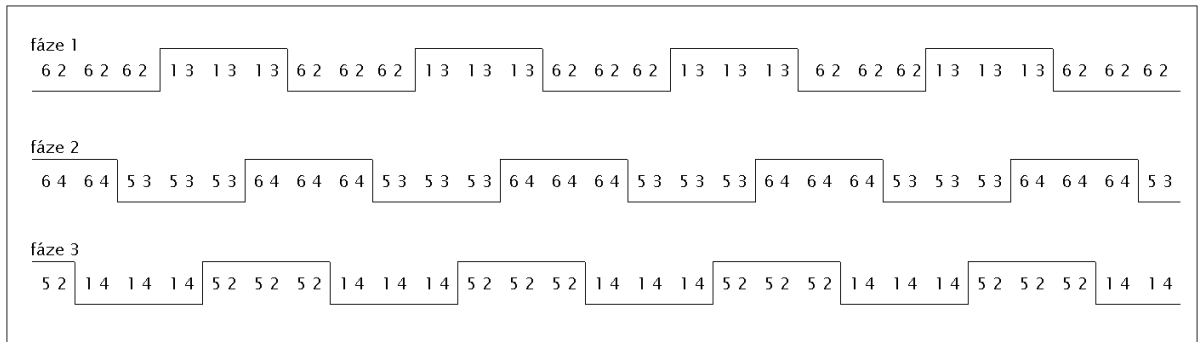
6.2 Princip spínání tranzistorů

Program vytváří pseudosinusový signál použitím pulsně šířkové modulace PWM. Tento signál je vytvářen přímo softwarově způsobem, který bude dále popsán. Vlastní třífázový měnič tvoří 6 pólů řízených tranzistorů T1 až T6. Spínání jednotlivých fází ukazuje tab. 6.1.

Tab. 6.1: Spínání fází

Fáze	Kladná půl-perioda	Záporná půl-perioda
1	T1, T3	T6, T2
2	T6, T4	T5, T3
3	T5, T2	T1, T4

Sled, jakým jsou tranzistory spínány ukazuje obr.6.1.



Obr. 6.1: Sled spínání tranzistorů na jednotlivých fázích

Tab. 6.2: Připojení tranzistorů na port procesoru

Tranzistor	Port / vývod procesoru
T1	PC7 / 42
T2	PC6 / 41
T3	PC4 / 39
T4	PC2 / 37
T5	PC3 / 38
T6	PC5 / 40

Jak je vidět z obr. 6.1, pro každý tranzistor jsou dva požadavky na jejich sepnutí. Zatímco v jedné fázi pochází požadavek od kladné půl-periody, pro fázi která následuje je to od záporné půl-periody. Tyto požadavky jsou sloučeny softwarově pomocí funkce OR. Po dobu trvání každé půl-periody nejsou tranzistory trvale sepnuty, ale vytvářejí obdélkový průběh s měnící se střídou, která je stejná jako pro sinusový průběh, takže střední hodnota napětí v půl-periodě kopíruje sinusovku.

6.3 Softwarová implementace

Pro vlastní implementaci jsem se rozhodoval mezi dvěma principiálně rozdílnými způsoby vytváření simulovaného sinusového průběhu:

- Použít aparát PWM procesoru, založený na komparaci hodnot AD převodníku z interního generátoru sinusového signálu a čítače.

- Vytvářet PWM signál se střídou měnící se podle sinusového průběhu vlastním software.

Po uvážení a prostudování dokumentace použitého procesoru ATmega64L jsem se rozhodl pro druhé řešení. Důvodem bylo zejména to, že ačkoli tvorba jednofázového pseudosinusového signálu by byla velmi jednoduchá, nevěděl jsem jak odvodit od tohoto signálu další dvě fáze s požadovaným fázovým posunem.

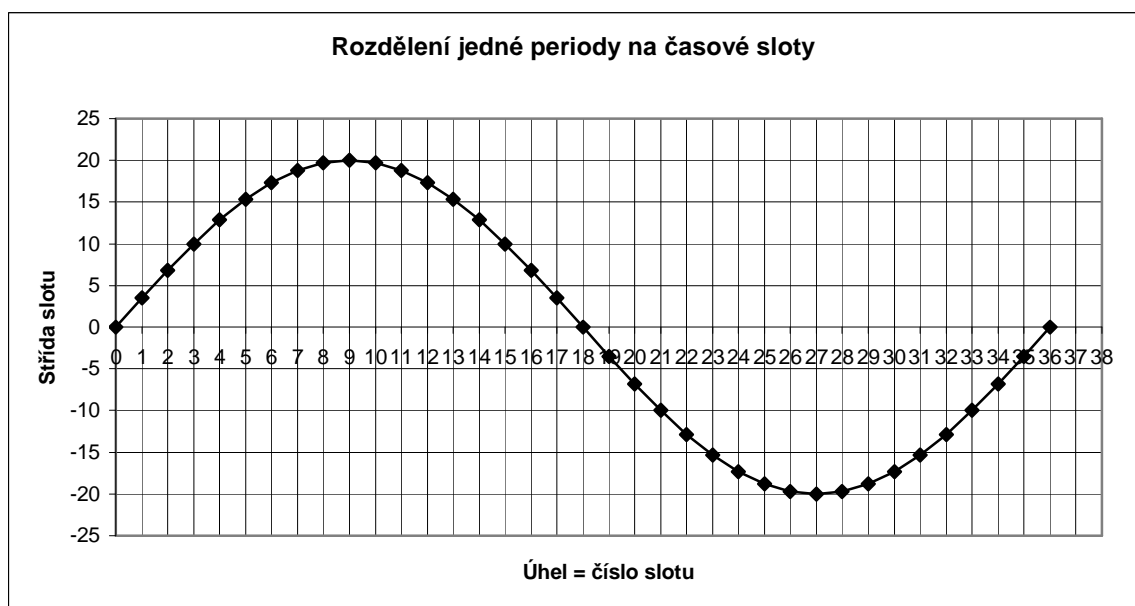
6.4 Vlastní návrh programu

Jednu periodu sinusového průběhu jsem rozdělil na 36 úseků o velikosti $\pi/18 = 10^\circ$. Tyto úseky jsem nazval časové sloty (zkráceně jen sloty). Tyto sloty vytvářejí obdélníkový signál o kmitočtu:

$$f_{SLOT} = \frac{f_z}{36} \quad (6.1)$$

,kde f_z (Hz) je základní simulovaná frekvence.

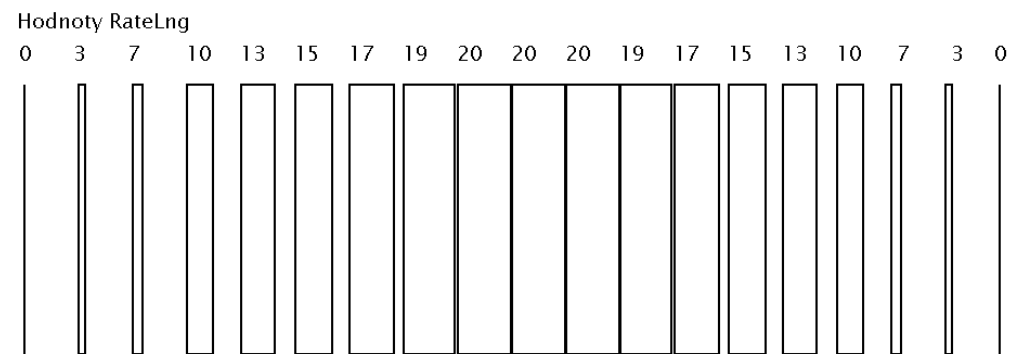
Sloty jsou v programu čítány čítačem SlotCt. V každém slotu je logický signál pro příslušný tranzistor po určitou dobu v log. 1 a po určitou dobu v log. 0, přičemž poměr doby log.1 a log.0 jsem vypočítal v programu MS Excel. Na obr. 6.2 vidíme graf, který znázorňuje časové sloty jedné fáze a hodnoty střídny v nich v intervalu <0,20>



Obr. 6.2: Rozdělení jedné periody na časové sloty

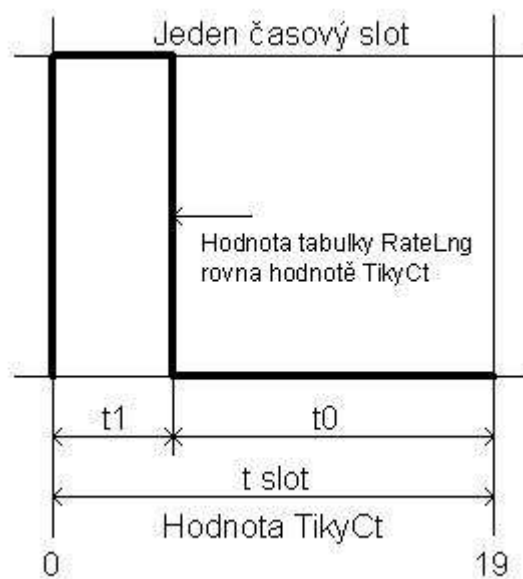
Každý slot jsem pomyslně rozdělil na 20 časových úseků, které nazývám tiky, přičemž střída signálu je definována jako počet těchto dílků – viz. obr. 6.2. V programu jsou tiky čítány proměnnou TikyCt. Počet 20 dílků jsem zvolil s ohledem na výkon procesoru. Pokud bych zvolil jemnější dělení, nedokázal by již procesor provést potřebný výpočet pro simulované frekvence nad cca 60Hz.

Z hodnot střídání slotu jsem vytvořil tabulku, kterou jsem nazval RateLng[], která obsahuje 3 sloupce hodnot, vzájemně proti sobě posunutých o 120°. S hodnotami této tabulky je porovnáván čítač TikyCt a když jeho hodnota překročí hodnotu v tabulce, dojde k přepnutí log. úrovně v příslušném slotu z log.1 na log. 0. Na obr. 6.3 vidíme jak je složena jedna půl-perioda. Uvedeny jsou i hodnoty střídání signálu v rozsahu 0 až 20, kde 20 je 100%.::



Obr. 6.3: Složení jedné půl-periody

Na obr. 6.4 vidíme poměry v jednom časovém slotu:



Obr. 6.4: Poměry v jednom časovém slotu

6.4.1 Dead Time

V technice frekvenčních měničů je velmi důležité, aby dvojice tranzistorů ve stejné větvi nevedly ani na okamžik současně, neboť současné otevření obou tranzistorů se rovná zkratu. Okamžité přepnutí tranzistorů tento zkrat způsobí, neboť ve skutečnosti k okamžitému přepnutí nedojde. Hrany spínaného signálu nejsou ideálně kolmé a proto vzniká určitý přesah. vlivem setrvačnosti vodivosti tranzistoru. Tento přesah je nutno eliminovat tím, že mezi vypnutím prvního tranzistoru a zapnutím druhého ve stejné větvi je doba, kdy nevede žádný z tranzistorů. Této době je zvykem říkat „dead time“.

V mém případě je mezi tranzistory stejné větve dead time o šířce jednoho slotu, neboť při přechodu z kladné půlvlny do záporné a naopak je vždy jeden slot s nulovou střídou a není tedy zapnut žádný tranzistor.

7 Závěr

V Bakalářské práci jsem nejprve navrhl obvod, který obsahuje všechny části mého zadání. Jeho součástí je obvod pro řízení otáček 3-fázového motoru, obvod pro měření aktuálního sdruženého napětí na motoru mezi jednotlivými fázemi a komunikace procesoru ATMEGA64L s počítačem pomocí USB portu. Komplexně navržený obvod neobsahuje převodovku, ale pouze její simulaci. Ta probíhá na bázi vyhodnocení vhodného převodového poměru, který se zobrazí ve výsledku na LCD displeji. Na něm se mimo jiné zobrazují také proudy a napětí na motoru. Celé schéma je navržené tak, aby se dbalo na co nejnižší spotřebu, neboť je celý obvod napájen z jedné Li-pol baterie 11,1V. Kvůli spotřebě se výkonová část skládá z tranzistorů MOSFET, které jsou řízeny velmi malým napětím a pro jejich sepnutí není potřeba žádného dalšího budícího tranzistoru. Řídící část složená z procesoru ATMEGA64L generuje signál PWM pro řízení výkonové části. Tranzistory mají nejmenší ztráty ve dvou stavech. Tím je stav plně vypnuto nebo plně zapnuto. Z tohoto důvodu je signál PWM výborným kompromisem z hlediska ztrát a celkové spotřeby obvodu, což je jistě podstatné pro dodržení mého zadání.

Procesor jsem programoval pomocí paralelního konektoru D-Sub25, připojeného na LTP port stolního počítače. Oživení DPS proběhlo v pořádku a nevznikly žádné závažnější problémy. Celý obvod odebírá v klidové fázi proud pouze 14mA. Protože tento obvod umí snadno komunikovat přes USB port i rozhraní SPI, přichází v úvahu i jeho případné rozšíření nebo vylepšení programu. Při použití elektromotoru o výkonu 140W, není obvod příliš výkonný a v praxi by se dal jen těžko použít. Ovšem při použití výkonnějšího motoru a výkonových tranzistorů by se takovýto návrh mohl uplatnit například v úvodu již zmiňovaném automobilovém průmyslu.

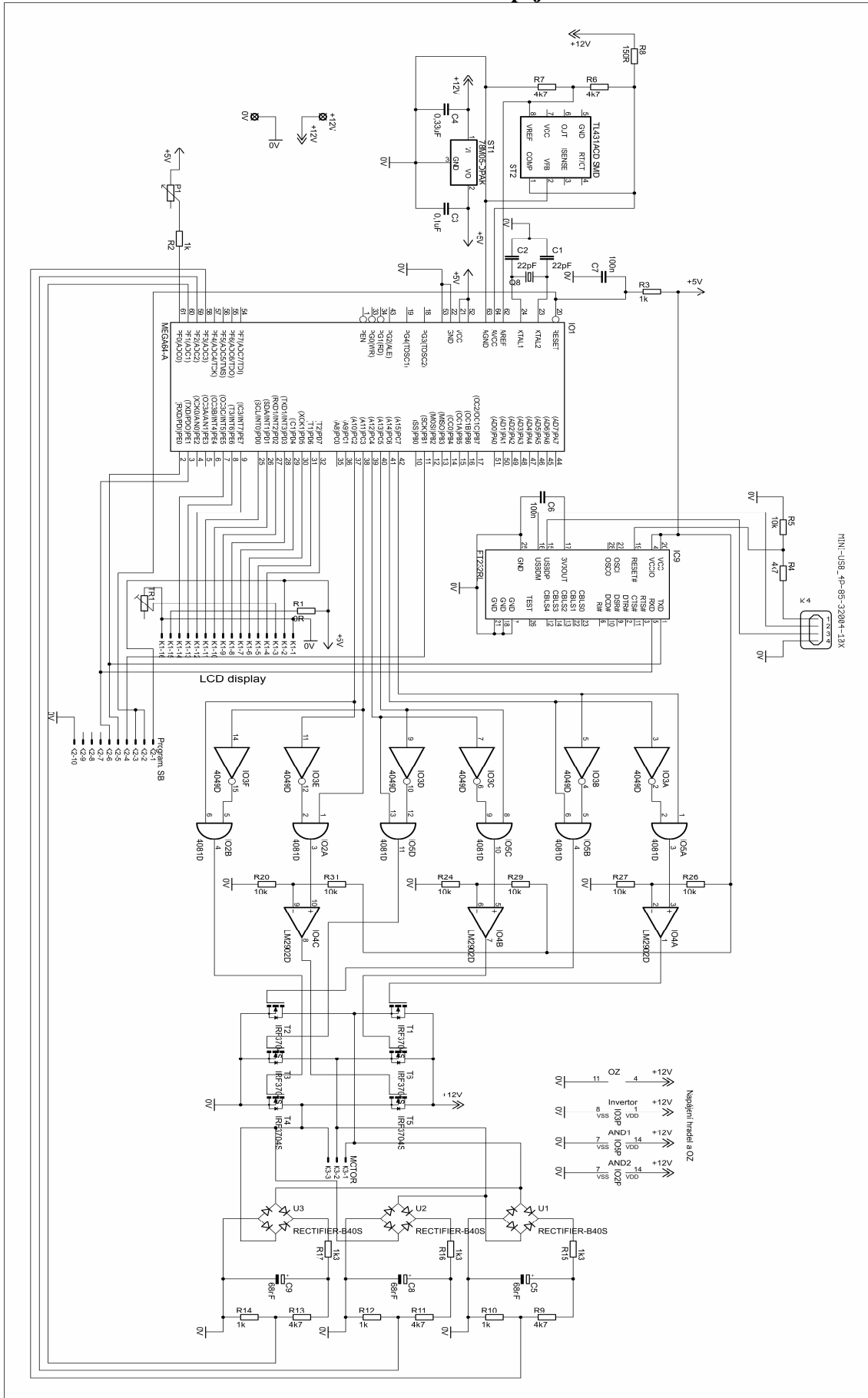
8 Literatura

- [1] BASTIAN, P. PRAKTICKÁ ELEKTROTECHNIKA. 8th ed. 2004. ISBN 80-86706-07-9.
- [2] FETTER, F. Asynchronní motory. 1st ed. 1966. ISBN 04-507-66
- [3] BALÁK, R. Silnoproudá zařízení. 2nd ed. 1987. ISBN 04-505-87.
- [4] OLEJÁR, Martin. www.elweb.cz [online]. 1999-2009 [cit. 2009-12-14]. Dostupný z WWW: <http://www.elweb.cz/clanky.php?clanek=94>
- [5] Webové stránky, <http://www.aplomb.nl/>, stránky firmy Aplomb
- [6] Patočka, Miroslav. Výkonová elektronika 2.

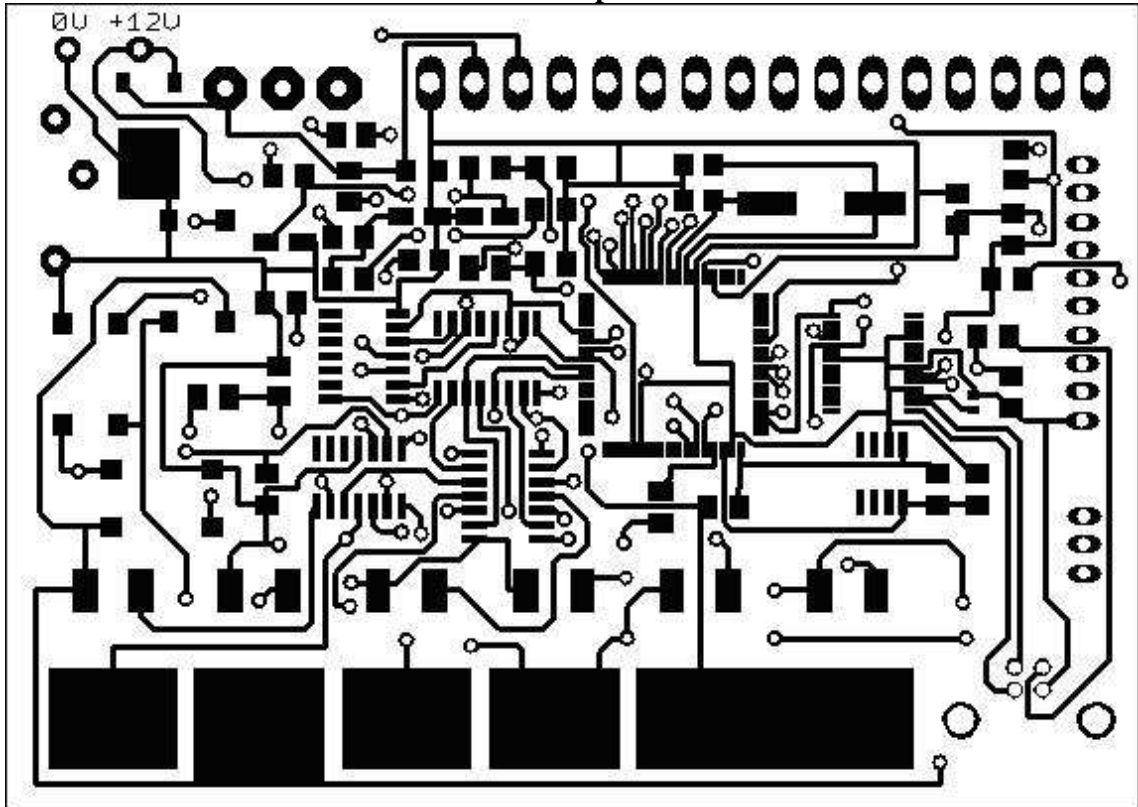
Přílohy

Příloha 1: Schéma zapojení.....	37
Příloha 2: DPS z pohledu TOP	38
Příloha 3: DPS z pohledu BOTTOM.....	38
Příloha 4: Osazovací plán	39
Příloha 5: Seznam použitých součástek.....	39
Příloha 6: Schéma programátoru [5].....	40
Příloha 7: Zdrojový kód.....	41

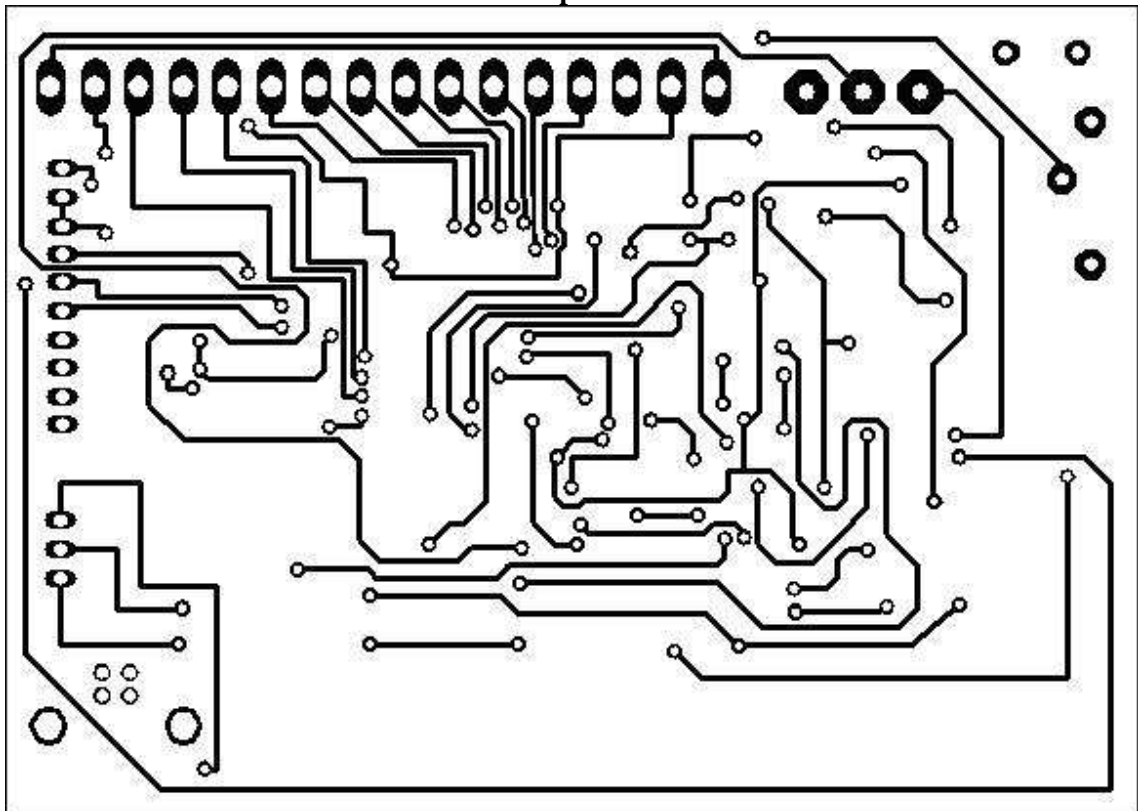
Příloha 1: Schéma zapojení



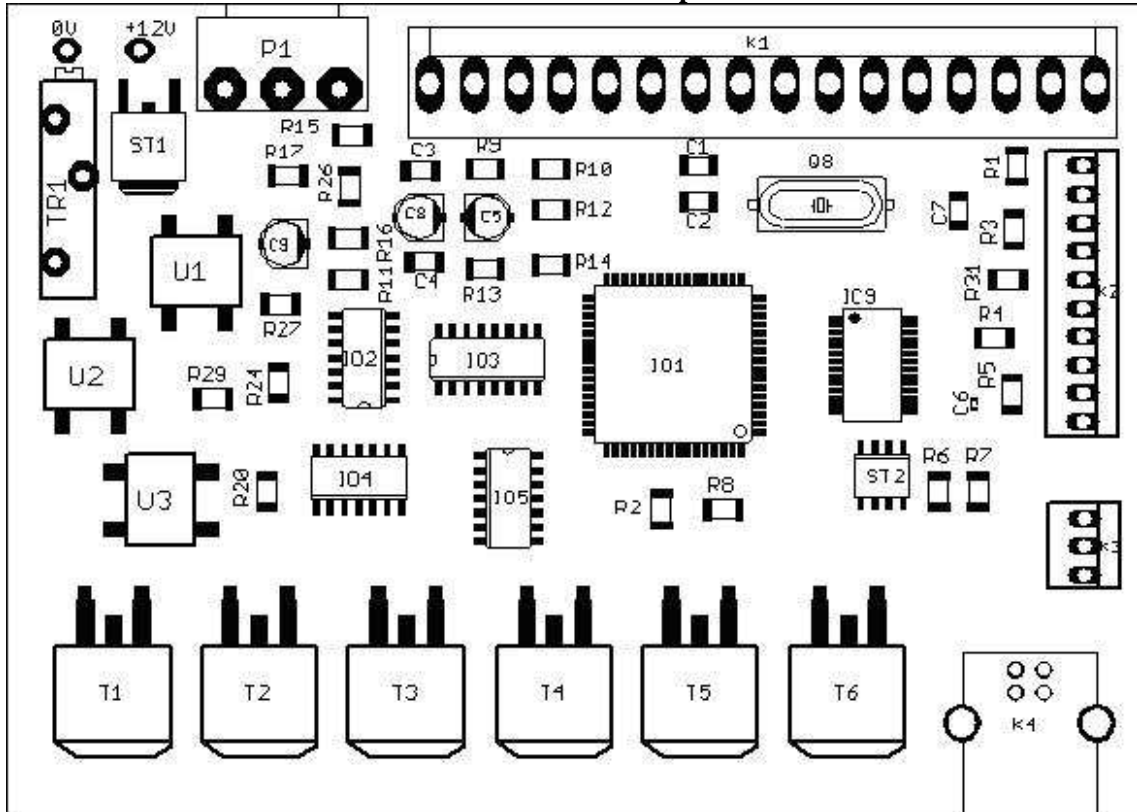
Příloha 2: DPS z pohledu TOP



Příloha 3: DPS z pohledu BOTTOM



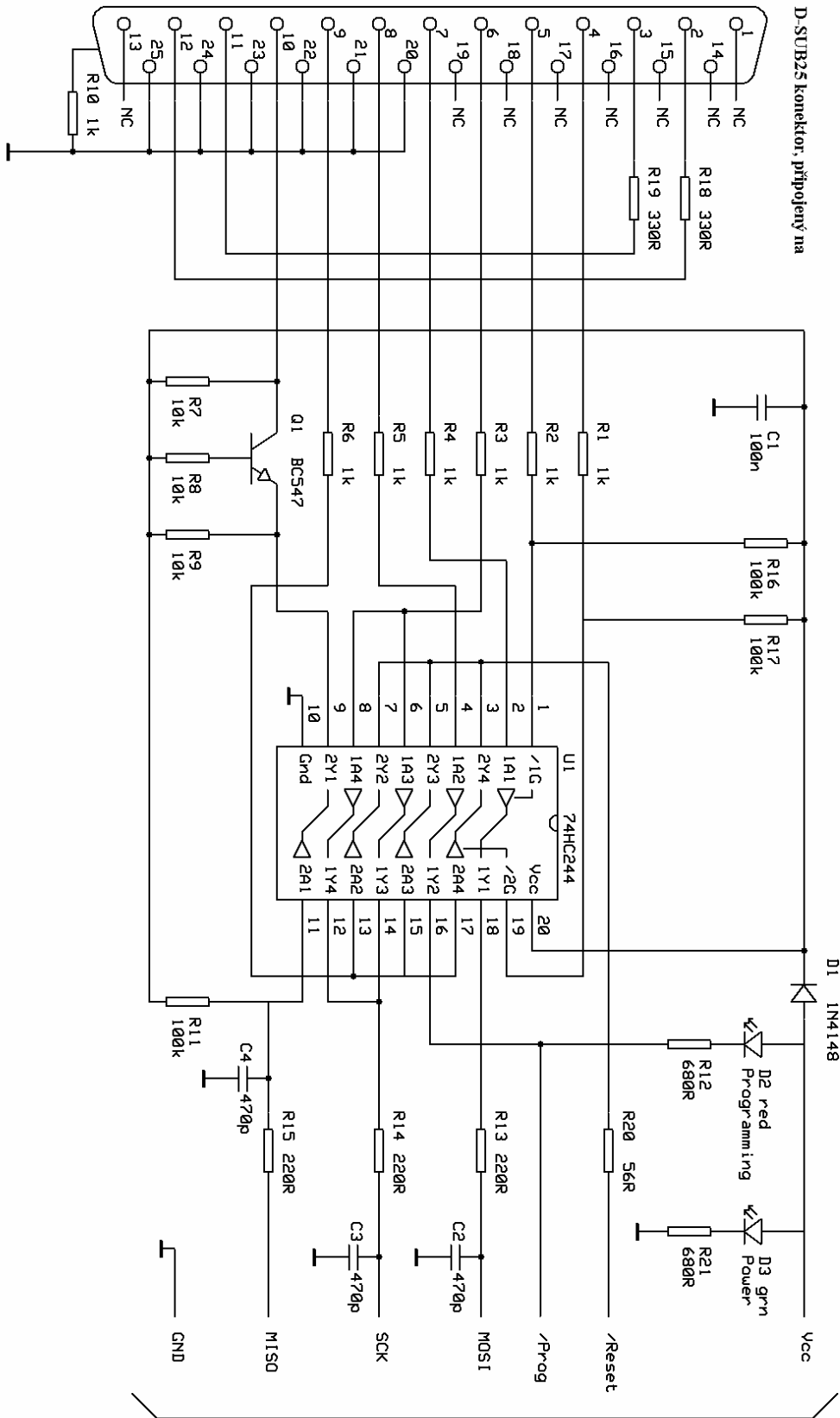
Příloha 4: Osazovací plán



Příloha 5: Seznam použitých součástek

Rezistory		Kondenzátory		Integrované obvody	
Číslo	Hodnota	Číslo	Hodnota	Číslo	Označení
R1	0 Ω	C1	22 pF	IO1	ATMEGA 64L
R2	1 kΩ	C2	22 pF	IO2	4081D
R3	1 kΩ	C3	100 nF	IO3	4049D
R4	4,7 kΩ	C4	330 nF	IO4	LM2902D
R5	10 kΩ	C5	68 nF	IO5	4081D
R6	4,7 kΩ	C6	100 nF	IC9	FT232RL
R7	4,7 kΩ	C7	100 nF	Stabilizátory	
R8	150 Ω	C8	68 nF	Číslo	Označení
R9	4,7 kΩ	C9	68 nF	ST1	78M05-DPAK
R10	1 kΩ	Tranzistory		ST2	TL431ACD SMD
R11	4,7 kΩ	Číslo	Označení	Konektory	
R12	1 kΩ	T1	IRF3704ZS	Číslo	Označení
R13	4,7 kΩ	T2	IRF3704ZS	K1	na drátky
R14	1 kΩ	T3	IRF3704ZS	K2	PSH02-10PG
R15	1,3 kΩ	T4	IRF3704ZS	K3	PSH02-03PG
R16	1,3 kΩ	T5	IRF3704ZS	K4	USB1X90B PCB
R17	1,3 kΩ	T6	IRF3704ZS	LCD display	
R20	10 kΩ	Graetzůvy můstky		DEM 16217 SYH-LY	
R24	10 kΩ	Číslo	Označení	Elektromotor	
R26	10 kΩ	U1	B380C1500	RAY C2826/18	
R27	10 kΩ	U2	B380C1501	Baterie Li-pol	
R29	10 kΩ	U3	B380C1502	RAY Li-Pol 25C, 480 mAh/11,1V	
R31	10 kΩ				

Příloha 6: Schéma programátoru [5]



Příloha 7: Zdrojový kód

```
Chip type      : ATmega64L
Program type   : Application
AVR Core Clock frequency: 8,000000 MHz
Memory model   : Small
External RAM size : 0
Data Stack size : 1024
*****/

#include <mega64.h>
#include <delay.h>

//-----
// Konstanty
//-----

#define TIKY_CNT 20 // Jemnost rozliseni tiku ve slotu
#define SLOT_CNT 36 // Pocet slotu na periodu sinusu

#define TRANZISTOR_1 PORTC.7 // Vystupy na tranzistory
#define TRANZISTOR_2 PORTC.6
#define TRANZISTOR_3 PORTC.4
#define TRANZISTOR_4 PORTC.2
#define TRANZISTOR_5 PORTC.3
#define TRANZISTOR_6 PORTC.5
#define BLIKACKA PORTA.1

//-----
// Globalni promenne
```

```
//-----
unsigned char
TikyCt, // Citac tiku ve slotu
SlotCt, // Citac slotu ve vlne
FazeCt, // Citac fazi v poli hodnot
NicCt ;

bit
OUTPUT_1, // Logicke vystupy na tranzistory
OUTPUT_2,
OUTPUT_3,
OUTPUT_4,
OUTPUT_5,
OUTPUT_6,
OUTPUT_1M,
OUTPUT_2M,
OUTPUT_3M,
OUTPUT_4M,
OUTPUT_5M,
OUTPUT_6M,
Blik;

// Sinus x prevedeny pro tiky do 20ti
flash char
RateLng[3 * SLOT_CNT] = {
// F1 F2 F3 uhel
00, 117, 17, // 0 Pomery logicke 1 a 0 presne podle
03, 119, 15, // 1 funkce sinus.
07, 120, 13, // 2 Druhy a treti sloupec je vzdy o 120'
```

```

10, 120, 10, // 3   posunut jak to ma pro trojfazovou
13, 120, 07, // 4   soustavu byt.
15, 119, 03, // 5

17, 117, 00, // 6   Zaporne hodnoty znamenaji spinani
19, 115, 103, // 7   druhe trojice tranzistoru.
20, 113, 107, // 8
20, 110, 110, // 9
20, 107, 113, // 10
19, 103, 115, // 11

17, 00, 117, // 12
15, 03, 119, // 13
13, 07, 120, // 14
10, 10, 120, // 15
07, 13, 120, // 16
03, 15, 119, // 17

00, 17, 117, // 18
103, 19, 115, // 19
107, 20, 113, // 20
110, 20, 110, // 21
113, 20, 107, // 22
115, 19, 103, // 23

117, 17, 00, // 24
119, 15, 03, // 25
120, 13, 07, // 26
120, 10, 10, // 27
120, 07, 13, // 28

```

```

119, 03, 15, // 29

117, 00, 17, // 30
115, 103, 19, // 31
113, 107, 20, // 32
110, 110, 20, // 33
107, 113, 20, // 34
103, 115, 19, // 35
};

//-----
// Funkce preruseni
//-----

// Timer0 overflow interrupt service routine
interrupt [TIM0_OVF] void timer0_ovf_isr(void)
{
    // Reinitialize Timer1 value

    #asm("cli")

    NicCt++;

    // if (DutyCycleCt < 100) PORTA = 36; else PORTA = 1;
    // PORTA = DutyCycleCt;

    TCNT0 = 5;

    #asm("clv")
    #asm("sei")

```

```

}

//-----
// Funkce programu
//-----

//-----
// Funkce main
//-----

void main(void)
{
    char ratelng;

    // Input/Output Ports initialization
    PORTA=0x00; DDRA=0x00;
    PORTB=0x00; DDRB=0x00;
    PORTC=0x00; DDRC=0x00;
    PORTD=0x00; DDRD=0x00;
    PORTE=0x00; DDRE=0x00;
    PORTF=0x00; DDRF=0x00;
    PORTG=0x00; DDRG=0x00;

    // Timer/Counter 0 initialization
    // Clock source: System Clock
    // Clock value: Timer 0 Stopped
    // Mode: Normal top=FFh
    // OC0 output: Disconnected

    ASSR=0x00;
    TCCR0=0x01;
    TCNT0=0x00;
    OCR0=0x00;

    // External Interrupt(s) initialization
    // INT0: Off
    // INT1: Off
    // INT2: Off
    // INT3: Off
    // INT4: Off
    // INT5: Off
    // INT6: Off
    // INT7: Off
    EICRA=0x00; // External interrupt Control A
    EICRB=0x00; // External interrupt Control B
    EIMSK=0x00; // External Interrupt Mask Register

    // Timer(s)/Counter(s) Interrupt(s) initialization
    //Timer/Counter Interrupt Mask Register
    // TIMSK = 0x37 = OCIE2 TOIE2 TICIE1 OCIE1A OCIE1B
    TOIE1 OCIE0 TOIE0
    TIMSK=0x01;

    // ETIMSK – Extended Timer/Counter Interrupt Mask Register
    // ETIMSK = 0x7D = -- TICIE3 OCIE3A OCIE3B TOIE3
    OCIE3C OCIE1C
    ETIMSK=0x00;

    // Global enable interrupts

```

```

#asm("sei")

while (1) {
    delay_us(10);

    if (++TikyCt >= TIKY_CNT) {
        TikyCt = 0;
        if (++SlotCt >= SLOT_CNT) {
            SlotCt = 0;
            // Toto blika portem PORTA.1 v rytmu simulovane frekvence
            if (Blik) {
                Blik = 0;
                BLIKACKA = 0;
            }
            else {
                Blik = 1;
                BLIKACKA = 1;
            }
        }
    }
}

// Zasynchronizovani citace faze
FazeCt = 3 * SlotCt;

// Faze 1.
rateLng = RateLng[FazeCt++];
if (rateLng > 100) {
    rateLng -= 100;
    if (TikyCt < rateLng) { OUTPUT_6M = 1; OUTPUT_2M = 1; }
    else { OUTPUT_6M = 0; OUTPUT_2M = 0; }
}

```

```

}
else {
    if (TikyCt < rateLng) { OUTPUT_1 = 1; OUTPUT_3 = 1; }
    else { OUTPUT_1 = 0; OUTPUT_3 = 0; }
}

// Faze 2.
rateLng = RateLng[FazeCt++];
if (rateLng > 100) {
    rateLng -= 100;
    if (TikyCt < rateLng) { OUTPUT_5M = 1; OUTPUT_3M = 1; }
    else { OUTPUT_5M = 0; OUTPUT_3M = 0; }
}
else {
    if (TikyCt < rateLng) { OUTPUT_6 = 1; OUTPUT_4 = 1; }
    else { OUTPUT_6 = 0; OUTPUT_4 = 0; }
}

// Faze 1.
rateLng = RateLng[FazeCt++];
if (rateLng > 100) {
    rateLng -= 100;
    if (TikyCt < rateLng) { OUTPUT_1M = 1; OUTPUT_4M = 1; }
    else { OUTPUT_1M = 0; OUTPUT_4M = 0; }
}
else {
    if (TikyCt < rateLng) { OUTPUT_5 = 1; OUTPUT_2 = 1; }
    else { OUTPUT_5 = 0; OUTPUT_2 = 0; }
}
}

```

```
// Sloučení výstupu od kladné a záporné větve  
TRANZISTOR_1 = OUTPUT_1 | OUTPUT_1M;  
TRANZISTOR_2 = OUTPUT_2 | OUTPUT_2M;  
TRANZISTOR_3 = OUTPUT_3 | OUTPUT_3M;  
TRANZISTOR_4 = OUTPUT_4 | OUTPUT_4M;  
TRANZISTOR_5 = OUTPUT_5 | OUTPUT_5M;  
TRANZISTOR_6 = OUTPUT_6 | OUTPUT_6M;  
}  
}
```