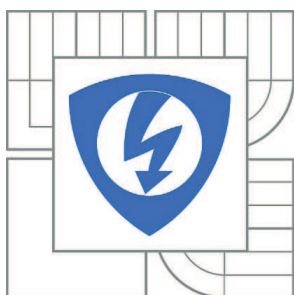


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

ŘÍZENÍ ASYNCHRONNÍHO MOTORU POMOCÍ FREKVENČNÍHO MĚNIČE

CONTROL OF ASYNCHRONOUS MOTOR BY POWERFLEX DRIVE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

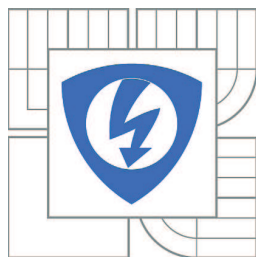
PAVEL KOVÁŘ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. RADEK ŠTOHL, Ph.D.

BRNO 2010



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav automatizace a měřicí techniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Automatizační a měřicí technika

Student: Pavel Kovář

ID: 106532

Ročník: 3

Akademický rok: 2009/2010

NÁZEV TÉMATU:

Řízení asynchronního motoru pomocí frekvenčního měniče

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Seznamte se s instrumentací firmy Rockwell Automation pro řízení motorů - frekvenční měniče.
2. Seznamte se možnostmi řízení asynchronního motoru pomocí frekvenčního měniče PowerFlex 700.
3. Vytvořte jednoduchou laboratorní úlohu řízení motoru.
4. Vytvořte příslušnou vizualizaci laboratorní úlohy.
5. Vytvořte příslušnou technickou dokumentaci.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

PowerFlex 70 & 700 Adjustable Frequency AC Drive. Milwaukee: Rockwell Automation, Inc., 2004. 300 s.

Dle vlastního literárního průzkumu a doporučení vedoucího práce.

Termín zadání: 8.2.2010

Termín odevzdání: 31.5.2010

Vedoucí práce: Ing. Radek Štohl, Ph.D.

prof. Ing. Pavel Jura, 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

Bakalářská práce se zabývá základními principy funkce asynchronního motoru. Popisuje také frekvenční měnič PowerFlex 700 a PLC ControlLogix od firmy Allen Bradley, okrajově se zde popisuje i průmyslová síť EtherNet/IP.

Hlavním bodem projektu je řízení asynchronního motoru pomocí frekvenčního měniče. Jako ukázkou tohoto řízení se projekt zabývá řízením jednoduché výrobní linky pro vyvrtávání otvorů do kovových nosníků. Tato výrobní linka bohužel fyzicky neexistuje, a proto je její činnost pouze simulována.

Hlavní problém řízení této výrobní linky je bezesporu řízení asynchronního motoru na přesnou polohu. Úloha výrobní linky byla navrhována s ohledem na to, že se v budoucnu bude využívat jako laboratorní úloha pro výuku. Poslední část práce se věnuje animované vizualizaci této linky v programu FactoryTalk View Studio, kterou je možno nahrát do zobrazovacího terminálu určeného k vizualizaci v průmyslu.

KLÍČOVÁ SLOVA

Asynchronní motor, Frekvenční měnič, PLC, EtherNet/IP

ABSTRACT

The Thesis deals with the basic principles of function of Asynchronous motor. It also describes Frequency inverter PowerFlex 700 and PLC ControlLogix from the company Allen Bradley, and marginally industrial network EtherNet/IP.

The main part of this project is control of asynchronous motor in aid of frequency inverter. As an example of this control in this Thesis is used control of production line for drilling holes into the metal beams. Unfortunately, its activity is only simulating, because of this production line does not exist physically.

The main problem of control of this production line is undoubtedly the control of asynchronous motor on correct location. The task of production line was designed with regard to using as a laboratory task for teaching.

The last part of this Thesis deals with the animated visualization of this production line in the program FactoryTalk View Studio, which is possible to record to display terminal, which is designated for visualization in industry.

KEYWORDS

Asynchronous motor, Frequency inverter, PLC, Ethernet/IP

KOVÁŘ, P. *Řízení asynchronního motoru pomocí frekvenčního měniče*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2010. 64s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Radek Štohl, Ph.D.

Prohlášení

„Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Řízení asynchronního motoru pomocí frekvenčního měniče jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a 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 osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.“

V Brně dne: **31. května 2010**

.....
podpis autora

Poděkování

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

V Brně dne: **31. května 2010**

.....
podpis autora

OBSAH:

1.	ÚVOD	9
2.	ASYNCHRONNÍ MOTOR	10
2.1	PRINCIP ASYNCHRONNÍHO MOTORU	10
2.2	CHOVÁNÍ ASYNCHRONNÍHO MOTORU.....	13
2.3	BRZDĚNÍ ASYNCHRONNÍHO MOTORU	14
2.3.1	<i>Brzdění protiproudem</i>	14
2.3.2	<i>Brzdění stejnosměrným napětím</i>	15
2.3.3	<i>Generátorické brzdění</i>	15
2.4	SPOUŠTĚNÍ ASYNCHRONNÍHO MOTORU	15
2.5	ŘÍZENÍ OTÁČEK ASYNCHRONNÍHO MOTORU	16
2.5.1	<i>Druhy frekvenčních měničů</i>	17
2.5.2	<i>Druhy řízení motoru frekvenčním měničem</i>	18
2.5.3	<i>Brzdění motoru pomocí frekvenčního měniče</i>	20
3.	POPIS POUŽITÝCH ZAŘÍZENÍ	21
3.1	PLC CONTROLLOGIX	21
3.1.1	<i>Procesor ControlLogix 5561</i>	21
3.1.2	<i>Ethernet/IP modul</i>	22
3.1.3	<i>HSC modul</i>	23
3.1.4	<i>Modul logických výstupů</i>	26
3.1.5	<i>Modul logických vstupů</i>	27
3.2	SÍŤ ETHERNET	28
3.2.1	<i>Ethernet/IP (EtherNet/Industrial Protocol)</i>	29
3.3	POWERFLEX 700	31
3.4	ASYNCHRONNÍ MOTOR.....	37
4.	ÚLOHA VRTACÍ LINKA	38
4.1	POPIS ÚLOHY	38
4.1.1	<i>Popis výrobní linky</i>	40
4.1.2	<i>Popis procesu</i>	42
4.2	POSTUP ŘEŠENÍ ÚLOHY.....	43
4.2.1	<i>Prostředí RSLogix 5000</i>	44
4.2.2	<i>Konfigurace automatu</i>	45

4.2.1	<i>Konfigurace frekvenčního měniče</i>	46
4.2.2	<i>Oživení měniče.....</i>	48
4.2.3	<i>Připojení indukčního inkrementálního snímače.....</i>	50
4.3	POPIS VYTVOŘENÉHO ŘÍDICÍHO PROGRAMU.....	54
4.4	POPIS VYTVOŘENÉ VIZUALIZACE PROCESU	58
5.	ZÁVĚR	61
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	62
	SEZNAM ZKRATEK A SYMBOLŮ	64
	SEZNAM PŘÍLOH	64
	SEZNAM PŘILOŽENÉHO CD	64

Seznam Tabulek:

TABULKA Č. 3.1	POPIS SVORKOVNICE ŘÍDICÍ KAZETY [10]	36
TABULKA Č. 3.2	POPIS SVORKOVNICE ENKODÉRU [10]	37
TABULKA Č. 4.1	VÝPIS ZÁKLADNÍCH PROMĚNNÝCH	41
TABULKA Č. 4.1	MĚŘENÍ REGULACE RYCHLOSTI	54

Seznam Obrázků:

OBRÁZEK Č. 2.1 PRŮBĚH PROUDU VE TŘÍFÁZOVÉ SÍTI [1]	10
OBRÁZEK Č. 2.2 ROTOROVÁ KLEC [2]	11
OBRÁZEK Č. 2.3 PÓLPÁRY MOTORU	12
OBRÁZEK Č. 2.4 MOMENTOVÁ CHARAKTERISTIKA [1].....	13
OBRÁZEK Č. 2.5 CYKLOKONVERTOR A MATICOVÝ MĚNIČ [3]	17
OBRÁZEK Č. 2.6 MĚNIČE S NAPĚŤOVÝM MEZIOBVODEM [3].....	18
OBRÁZEK Č. 2.7 POKLES MOMENTU [1]	19
OBRÁZEK Č. 3.1 MODUL 1756-L61 A [14].....	22
OBRÁZEK Č. 3.2 MODUL 1756-ENBT A [14].....	23
OBRÁZEK Č. 3.3 MODUL 1756-HSC A [14]	25
OBRÁZEK Č. 3.4 MODUL 1756-OB16D A [14]	26
OBRÁZEK Č. 3.5 MODUL 1756-IB16 A[14]	27
OBRÁZEK Č. 3.6 ISO/OSI MODEL PRO ETHERNET/IP, CONTROLNET, DEVICENET [7]	30
OBRÁZEK Č. 3.7 ROZDĚLENÍ KOLIZNÍCH DOMÉN [7]	30
OBRÁZEK Č. 3.8 LCD DISPLEJ S KLÁVESNICÍ [9]	32
OBRÁZEK Č. 3.9 POWERFLEX 700 [8]	32
OBRÁZEK Č. 3.10 ROZMÍSTĚNÍ ZNAČEK NA ENKODÉRU [12].....	34
OBRÁZEK Č. 3.11 ŠTÍTEK ASYNCHRONNÍHO MOTORU.....	37
OBRÁZEK Č. 4.1 SETRVAČNÍK.....	39
OBRÁZEK Č. 4.2 NÁKRES VÝROBNÍ LINKY	40

OBRÁZEK Č. 4.3 PROSTŘEDÍ RSLOGIX 5000.....	45
OBRÁZEK Č. 4.4 NASTAVENÍ RYCHLOSTI MĚNIČE[10]	48
OBRÁZEK Č. 4.5 ŘÍDICÍ STRUKTURA [10].....	49
OBRÁZEK Č. 4.6 STRUKTURA HLÁŠENÍ STAVŮ [10]	50
OBRÁZEK Č. 4.6 ZAPOJENÍ INKREMENTÁLNÍHO SNÍMAČE OTÁČEK DO HSC [13].....	51
OBRÁZEK Č. 4.7 ZARUŠENÍ SIGNÁLU PŘI BĚHU MOTORU	52
OBRÁZEK Č. 4.8 ZARUŠENÍ SIGNÁLU PŘI VOLNÉM DOBĚHU MOTORU	53
OBRÁZEK Č. 4.9 VÝVOJOVÝ DIAGRAM VYTVOŘENÉHO PROGRAMU	57
OBRÁZEK Č. 4.10 FACTORYTALK VIEW STUDIO.....	58
OBRÁZEK Č. 4.11 VIZUALIZACE VRTACÍ LINKY.....	60

1. ÚVOD

Asynchronní motor byl dříve díky své jednoduchosti, spolehlivosti, nízké ceně a mnoha dalším vlastnostem nejpoužívanější elektrický pohon v aplikacích, které nevyžadovaly regulaci pohonu, protože jeho regulace byla v minulosti složitá a nepřinášela dobré výsledky. Také proudový náraz, který vzniká při startu tohoto motoru, byl v minulosti překážkou v masivním rozvoji. S příchodem výkonové elektroniky se však problém regulace a proudového nárazu podařilo vyřešit a tento motor se v dnešní době používá i k přesnému řízení otáček, momentu nebo polohování. Vzhledem k masové výrobě řídicích jednotek (frekvenčních měničů) se jejich cena snížila a tak došlo k rozšíření využití tohoto pohonu i na aplikace vyžadující regulaci pohonu.

Hlavním cílem této bakalářské práce je seznámit se s řízením asynchronního motoru pomocí frekvenčního měniče Powerflex 700 od firmy Allen Bradley. Další úkol, který v této práci bude řešen, spočívá ve vytvoření laboratorní úlohy, která bude jakousi ukázkou řízení asynchronního motoru. Laboratorní úloha ponese název výrobní linka pro vyvrtávání otvorů do kovových nosníků. Výrobní linka bohužel nebude fyzicky postavena ale bude nahrazena simulátorem vstupů a výstupů používaným v laboratoři pro výuku, připojeným frekvenčním měničem a asynchronním motorem, na jehož hřídeli se nachází setrvačnick pro simulaci zátěže motoru. Pro potřebnou zpětnou vazbu se na setrvačnicku nachází tři vyvrtané otvory a na nosné konstrukci upevněný inkrementální indukční snímač. Jako řídicí jednotka pro naši úlohu poslouží PLC řady ControlLogix od stejného výrobce jako frekvenční měnič.

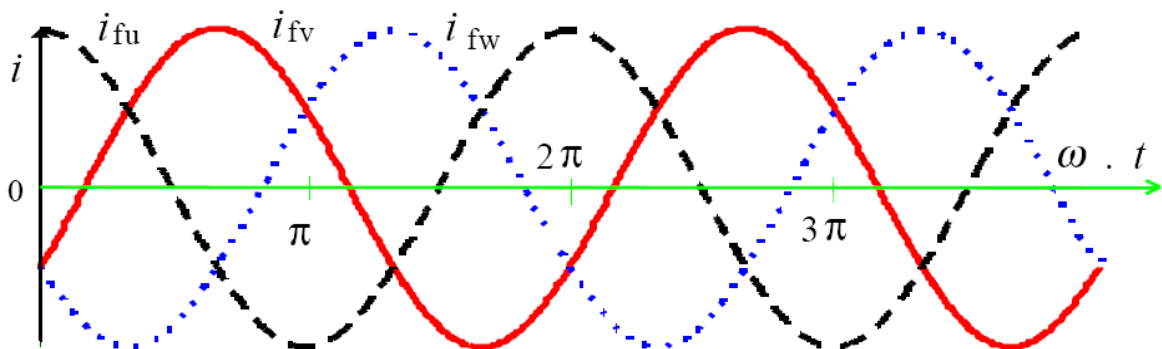
Posledním cílem této práce bude vytvoření animované vizualizace popisující aktuální stav simulované úlohy. Vizualizace bude vytvořena v programu FactoryTalk View Studio a bude ji možné nahrát do PanelView terminálu, který slouží pro účely vizualizace v procesu.

2. ASYNCHRONNÍ MOTOR

Asynchronní motor [1], [2] je bezesporu nejpoužívanějším motorem v současnosti, své místo si vydobyl díky jednoduchosti, spolehlivosti, nenáročné údržbě a ceně. Své využití našel jako pohon ventilátorů, čerpadel, kompresorů a podobně. Dříve bylo velmi obtížné regulovat otáčky tohoto motoru, ale tento problém vyřešil příchod výkonové elektroniky zejména frekvenčních měničů. Možnost regulace otáček odstranila největší a zároveň v podstatě jedinou nevýhodu tohoto motoru a způsobila, že se tento motor začal používat i v aplikacích, které požadují přesné regulace otáček nebo dojezdu a posunula hranice tohoto motoru. V dnešní době se motor používá v drtivé většině aplikací. Vyrábí se ve výkonových řadách od několika wattů až do 20MW.

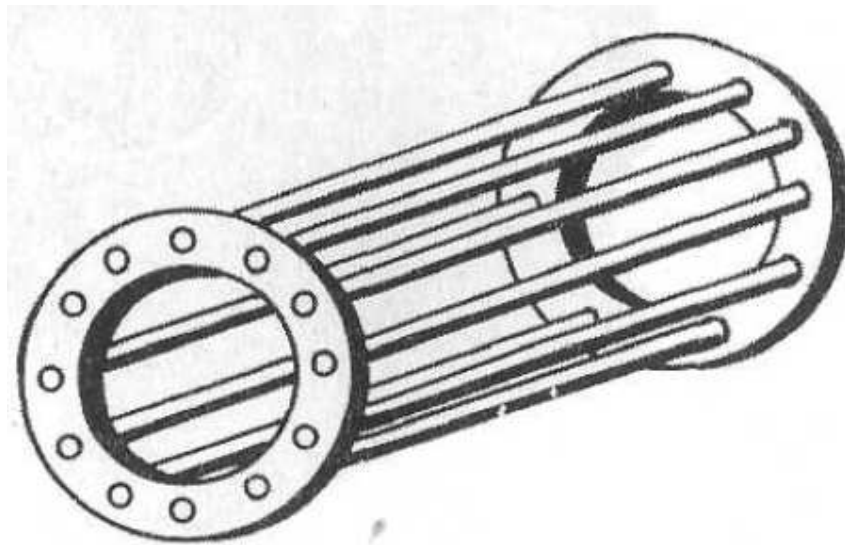
2.1 PRINCIP ASYNCHRONNÍHO MOTORU

Princip tohoto motoru [1] je založen na silovém působení točivého magnetického pole statoru a rotoru. Jednotlivé cívky ve statoru jsou prostorově posunuty o 120° a napájeny ze symetrické třífázové sítě. Průběhy proudů v této síti zobrazuje obrázek č. 2.1.



Obrázek č. 2.1 Průběh proudu ve třífázové síti [1]

Průchodem proudu v jednotlivých vinutích se uvnitř statoru objevuje magnetické pole tvořené vektorovým součtem mag. polí vytvořených jednotlivými cívkami. Časovými průběhy proudu jednotlivých fází a prostorovým rozložením vinutí ve statoru dochází k rotaci tohoto výsledného mag. pole. Rotor bývá klecový [2] (obrázek č. 2.2), tyče uložené v drážkách rotoru a na obou koncích spojeny kroužky (vyrobena nejčastěji jako hliníkový odlitek).



Obrázek č. 2.2 Rotorová klec [2]

Nebo vinutý [2] s vyvedenými konci vinutí na kroužky umístěnými na hřídeli motoru.

Podle indukčního zákona (rovnice 2.1) [2]

$$U = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \quad (2.1)$$

se při vzájemném pohybu vodiče a mag. pole ve vodiči indukuje napětí a jelikož rotor je tvořen zkratovaným obvodem, protéká v něm podle Ohmova zákona značný proud, který budí své vlastní mag. pole. Vzájemným působením těchto polí vzniká točivý moment, který roztočí rotor motoru. Z indukčního zákona vyplývá, že k indukci napětí do vodiče je potřeba časová změna mag. pole, to v našem případě znamená, že pokud by se otáčky rotoru rovnaly otáčkám mag. pole statoru, motor by

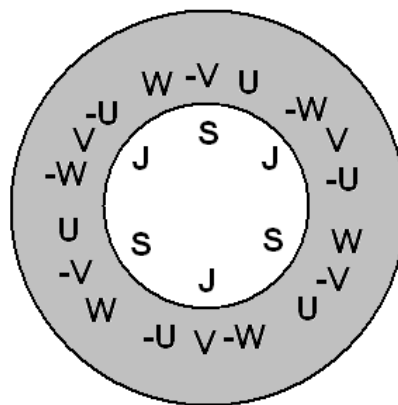
ztratil svůj točivý moment. Proto v souvislosti s asynchronním motorem mluvíme o skluzu (rovnice 2.2) [2],

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

je to rozdíl synchronních otáček (otáčky statorového pole) a otáček rotoru, uvádí se v procentech. Synchronní otáčky (rovnice 2.3) [2]

$$n_s = \frac{60 \cdot f}{p} [\text{min}^{-1}] \quad (2.3)$$

jsou závislé na frekvenci sítě a na počtu pólů (obr. č. 2.3), které vytváří vinutí statoru, uvádí se počet otáček za minutu.



6-pólový rotor

Obrázek č. 2.3 Pólpáry motoru

Příkon odebíraný motorem ze sítě popisuje rovnice 2.4[1]

$$P = 3 \cdot U_F \cdot I_F \cdot \cos \varphi = \sqrt{3} \cdot U_S \cdot I_S \cdot \cos \varphi [W] \quad (2.4)$$

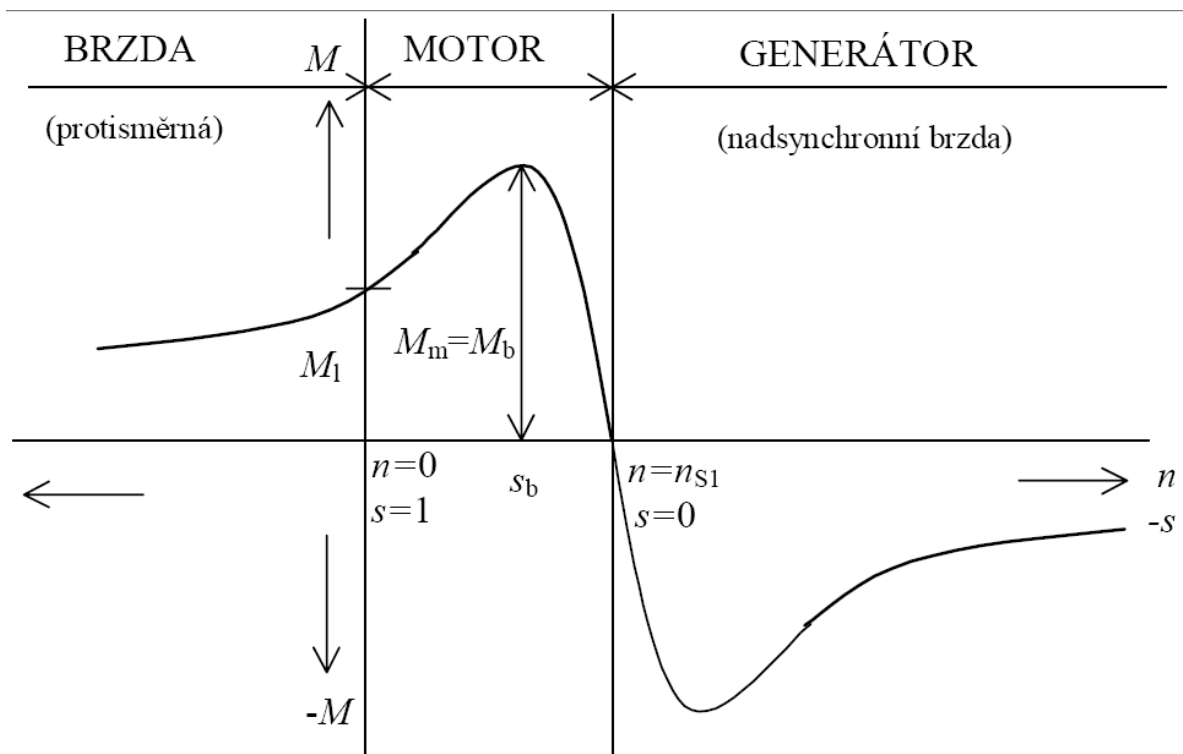
kde U_F , I_F jsou veličiny fázové a U_S , I_S jsou veličiny sdružené. Ve zmiňované rovnici se vyskytuje ještě $\cos \varphi$ zvaný účinník, jde o kosinus úhlu fázového posunutí napětí a proudu. Moment působící na hřídeli motoru při zanedbání mechanických ztrát je dán vztahem 2.5[2]

$$M = \frac{P_\delta}{2 \cdot \pi \cdot n} \cdot 60 [Nm] \quad (2.5)$$

kde P_δ je výkon přenášený vzduchovou mezerou a n otáčky rotoru.

2.2 CHOVÁNÍ ASYNCHRONNÍHO MOTORU

Graf závislosti momentu na otáčkách se nazývá momentová charakteristika [1] (obr. č. 2.4), ta je rozdělena na tři hlavní části. První se nazývá protisměrná brzda, jde o stav motoru, kdy moment, kterým působí zařízení na hřídel motoru, donutí motor zpomalovat, zastavit a roztočit v opačném směru. V tomto případě je moment kladný a otáčky záporné, moment motoru klesá s rostoucími zápornými otáčkami a proud odebíraný ze sítě roste. Za těchto podmínek motor pracuje jako brzda, což je pro některé aplikace velmi užitečné, ale zároveň se vlivem nadměrného průtoku proudu tepelně i silově přetěžuje, a proto nelze tento stav provozovat dlouhodobě. Druhá část charakteristiky vyjadřuje přirozený běh motoru. Moment motoru převyšuje



Obrázek č. 2.4 Momentová charakteristika [1]

zatěžovací moment hnaného zařízení, motor se rozbíhá s dynamickým momentem, který je roven rozdílu momentu motoru a zatěžovacímu momentu hnaného zařízení,

až do chvíle kdy se tyto momenty budou rovnat, pak se rychlost motoru ustálí. Moment motoru při nulových otáčkách se nazývá záběrový a je to moment, se kterým se motor začne rozbíhat po připojení k síti. S rostoucími otáčkami se moment motoru zvětšuje až do dosažení momentu zvratu, tento moment je maximální a vyznačuje začátek pracovní části charakteristiky. Od tohoto bodu se moment motoru začne s rostoucími otáčkami zmenšovat až do chvíle, kdy dosáhne rotor synchronních otáček. V té chvíli je moment motoru nulový, což vyplývá z jeho principu otáčení a indukčního zákona. Proud procházející motorem klesá s rostoucími otáčkami, v okamžiku otáčení rotoru synchronními otáčkami je proud tvořen jen ztrátami. Třetí část charakteristiky odpovídá stavu, kdy je motor připojeným zařízením nucen točit se rychlostí větší než synchronními otáčkami, motor přechází do generátorického stavu, smysl napětí a proudů se obrátí a motor je schopen dodávat elektrickou energii do sítě.

2.3 BRZDĚNÍ ASYNCHRONNÍHO MOTORU

Brzdění motoru [1] používáme nejčastěji ve dvou případech a to pokud aplikace vyžaduje rychlé zastavení motoru s hnaným zařízením a nebo pokud je potřeba, aby motor danou aplikaci brzdil. Brzdění pomocí asynchronního motoru se provádí třemi způsoby: brzdění protiproudem, stejnosměrným napětím a generátorické brzdění.

2.3.1 Brzdění protiproudem

Brzdění protiproudem [1] nastává, když je rotor hnaným zařízením donucen točit se proti směru svého původního otáčení nebo pokud je v motoru, přehozením dvou libovolných napájecích napětí, otočen směr otáčení. Při tomto brzdění se motor po zastavení roztočí směrem, který odpovídá otáčení jeho mag. pole, proto je nutno jej po zastavení odpojit od napájecího napětí. Proud protékající motorem v tomto případě je značný a velmi přetěžuje motor, lze tedy toto brzdění použít jen krátkodobě.

2.3.2 Brzdění stejnosměrným napětím

Brzdění stejnosměrným napětím [1] (dynamické brzdění) se provádí připojením stejnosměrného napětí na svorky motoru, stejnosměrné napětí vytvoří stojící mag. pole, které vyvolá moment motoru, který působí proti směru otáčení motoru. Lze tak vytvořit moment motoru i při nulových otáčkách, čehož se využívá v aplikacích, kde je nutné pevně držet nastavenou polohu zařízení např. výtahy.

2.3.3 Generátorické brzdění

Generátorické brzdění [1] nastává, pokud je motor hnaným zařízením roztočen nad své synchronní otáčky, z motoru se tak stane generátor, který je schopen dodávat energii do sítě. Moment motoru působí proti směru otáčení do té doby, než klesnou otáčky pod synchronní, v tom případě se moment změní a motor se stane opět spotřebičem a začne energii ze sítě spotřebovávat. Frekvenční měniče brzdí postupným snižováním frekvence, motor se začne chovat jako generátor a přebytečná energie se rekuperuje nebo přemění v teplo na brzděném odporu.

2.4 SPOUŠTĚNÍ ASYNCHRONNÍHO MOTORU

Při startu asynchronního motoru nastává nežádoucí jev velkého proudového nárazu [1], který je způsoben velkým rozdílem otáček statorového magnetického pole a indukovaného magnetického pole rozbíhajícího se rotoru, proud při startu tohoto motoru může být až 6 až 8krát větší než jmenovitý proud. Tento proudový náraz zatěžuje vinutí statoru, přívodní kabely a v neposlední řadě i napájecí síť. Při nesprávném návrhu tohoto pohonu může dojít k zareagování ochrany a odpojení motoru od napájení. Pro omezení tohoto nárazu se používají různé metody rozběhu motoru. V průmyslu se motory s malým výkonem do 5,5kW mohou spouštět přímo, protože jejich proudový náraz při startu je natolik malý, že není potřeba přidávat žádné ochranné opatření. U motorů s výkonem nad 5,5kW se používá jedno s následujícími opatřeními, které zmírní nebo odstraní proudový náraz při startu motoru:

- Statorový spouštěč
- Rotorový spouštěč
- Rozběhový autotransformátor
- Přepínač hvězda-trojúhelník
- Speciální úprava klece
- Rozběhová spojka
- Softstartér
- Frekvenční měnič

2.5 ŘÍZENÍ OTÁČEK ASYNCHRONNÍHO MOTORU

Z rovnice č. 2.6 [1] vyplývá, že otáčky motoru se dají měnit změnou skluzu, počtu pólů nebo změnou rychlosti otáčení statorového mag. pole. Řízení změnou skluzu většinou vede k neúsporné regulaci otáček, řízení změnou rychlosti statorového mag. pole vede k použití frekvenčního měniče.

$$n = n_s \cdot (1 - s) = \frac{60 \cdot f}{p} \cdot (1 - s) \text{ [min}^{-1}\text{]} \quad (2.6)$$

Motory s kotvou kroužkovou lze řídit pomocí zařazování odporů do obvodu rotoru [1], dochází tak ke změně zatěžovací charakteristiky a jiným ustáleným otáčkám. Tato možnost regulace otáček sebou nese jednu velikou nevýhodu a to v podobě kroužků a kartáčů, které se opotřebovávají a snižují tak spolehlivost a bezúdržbovost asynchronních motorů.

Motory s kotvou nakrátko nemají možnost regulace odporu kotvy, regulují se proto změnou napájecího napětí [1]. Změnou napájecího napětí se mění moment motoru a pro určitý zatěžovací moment i ustálené otáčky, moment motoru se mění s napětím kvadraticky, což má za následek změnu otáček jen v omezeném rozsahu.

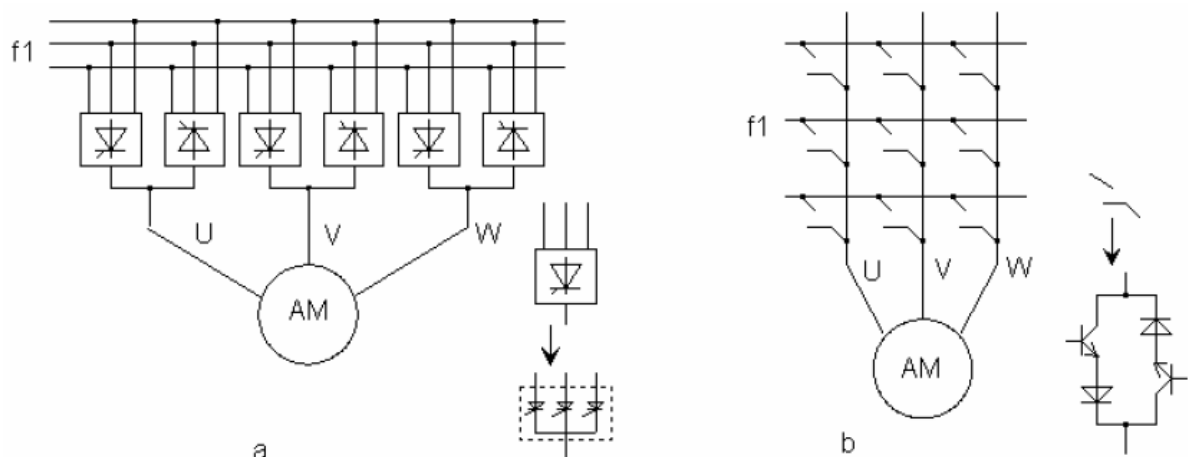
Další možnost řízení otáček vyplývající z rovnice 2.6 je změnou počtu pólů [1], tato regulace je ovšem jen skoková a požaduje speciálně vinutý obvod statoru.

V poslední době se stále více mluví o řízení asynchronních motorů frekvenčními měniči [1], způsobila to cenová dostupnost, jednoduchost ovládání a především také, že lze kombinací frekvenčního měniče a asynchronního motoru dosáhnout téměř

vlastností stejnosměrných motorů tzn. konstantní moment při v podstatě libovolných otáčkách a jednoduchá regulace otáček napětím. Asynchronní motory mají oproti stejnosměrným výhodu v jednoduchosti konstrukce, vlivem absence kartáčů také bezúdržbovosti, nejspření, možnosti větších výkonů a otáček, menší hmotnosti na jednotku výkonu a menší rotující hmotnosti. Proto se mohou používat v jaderné energetice (bezúdržbovost), ve výbušných prostředích (absence kartáčů) jako hornický a chemický průmysl a v aplikacích, kde je potřeba malého momentu setrvačnosti.

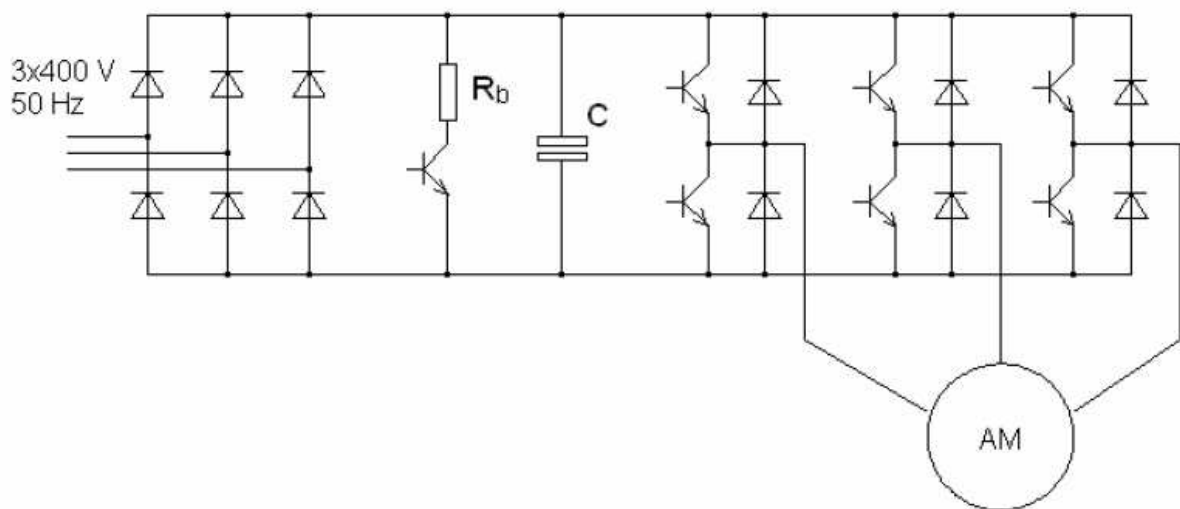
2.5.1 Druhy frekvenčních měničů

Měniče se vyrábí ve dvojnásobném základním provedení. Přímé měniče kmitočtu [3] (maticové a cyklokonvertory). Cyklokonvertory obr. (č. 2.5a) se skládají ze tří reverzačních tyristorových usměrňovačů, které spínají vstupní frekvenci tak, aby vytvořily jinou výstupní frekvenci. Tímto způsobem lze vytvořit výstupní frekvenci velikosti až 25% vstupní frekvence, proto se tyto měniče využívají pro pomaloběžné motory s velkými výkony. Maticové měniče obr. (č. 2.5b) používají vypínatelné tranzistory nebo GTO tyristory, což umožňuje dosáhnout výstupní frekvence vyšší než vstupní. A nepřímé měniče kmitočtu [3] (se stejnosměrným meziobvodem), tyto měniče mají tři hlavní části usměrňovač, stejnosměrný meziobvod a střídač s IGBT tranzistory.



Obrázek č. 2.5 Cyklokonvertor a maticový měnič [3]

Nejznámější a nepoužívanější jsou nepřímé měniče s napět'ovým meziobvodem [3] (obr. 2.6). Jako usměrňovač je možno v levnějších variantách použít šestipulzní usměrňovač v dražších variantách, tento usměrňovač umožňuje i rekuperaci energie zpět do sítě. Napět'ový meziobvod je tvořen elektrolytickým kondenzátorem doplněný o brzdny odpor, který je používán k brzdění motoru bez rekuperace. Třífázový střídač s IGBT tranzistory používá sinusovou pulzně šířkovou modulaci, která spočívá ve střídavém připojování zátěže k napětí meziobvodu, díky vlastnostem indukční zátěže protéká téměř sinusový proud.



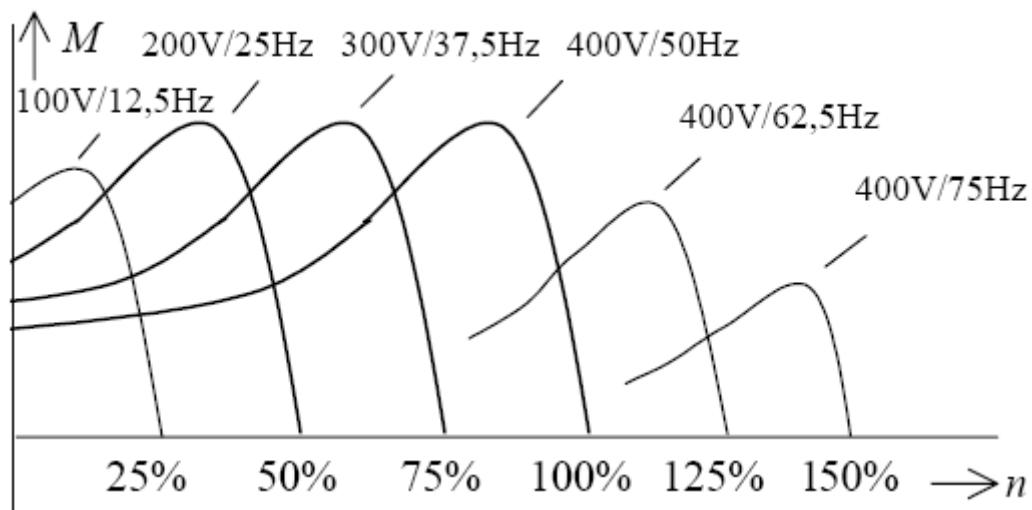
Obrázek č. 2.6 Měníče s napět'ovým meziobvodem [3]

2.5.2 Druhy řízení motoru frekvenčním měničem

Skalární řízení

Nejpoužívanější řízení, někdy se mu říká řízení typu napětí/frekvence [3], výhoda tohoto řízení spočívá v možnosti řízení v otevřené smyčce tzn. bez zpětné vazby, uvádí se, že přes 90% regulovaných asynchronních motorů v průmyslu je řízeno skalárním řízením bez zpětné vazby. Nevýhodou tohoto řízení je, že nedosahuje tak dobrých výsledků v řízení statické přesnosti regulace a dynamiky pohonu jako další metody řízení, zavedením zpětné vazby a použitím PI regulátoru se statická přesnost výrazně zlepší, ale dynamické vlastnosti pohonu nejsou stále tak dobré jako u jiných typů řízení. Skalární řízení spočívá v regulaci konstantního mag.

toku v motoru, což se provádí udržováním konstantního poměru vstupního napětí a frekvence. Při nízkých kmitočtech nelze udržet konstantní mag. tok motoru, a proto se moment v této oblasti snižuje, ve vysokých kmitočtech nelze vlivem příliš vysokého napětí pokračovat v jeho zvyšování, to má za následek opět pokles momentu. Obr. č. 2.7 zobrazuje momentovou charakteristiku pro skalární řízení.



Obrázek č. 2.7 Pokles momentu [1]

Vektorové řízení

U vektorového řízení [3] je potřeba řídit nejen velikost vektoru mag. toku, ale i polohu natočení, vektorové řízení se dělí podle toho, jak se získávají informace o poloze vektoru mag. toku, na přímé a nepřímé.

Přímé - vektor mag. toku je získáván ze statorových napětí a proudů, pokud máme k dispozici matematický model pro výpočet skluzu, není potřebné žádné dodatečné snímání otáček nebo polohy rotoru.

Nepřímé - vektor mag. toku je vypočten z matematického modelu výpočtu skluzu a polohy rotoru, což přináší nutnost měření polohy rotoru. Snímač polohy rotoru lze využít také pro řízení otáček a polohy, pro řízení otáček se používá jako při skalárním řízení PI regulátor, pro řízení polohy se používá pouze P regulátor.

Přímé řízení momentu

Pro tuto metodu je nezbytné mít k dispozici přesný model motoru. Ten se zjišťuje při identifikačním běhu, který se provádí při instalaci motoru do aplikace. Moment motoru je tvořen vektorovým součinem vektoru mag. toku statoru a rotoru. Pokud udržujeme absolutní hodnotu statorového toku konstantní, je moment úměrný velikosti úhlu statorového a rotorového toku. Při identifikačním běhu se ladí hlavní parametry modelu motoru. Přímé řízení momentu [3] vyžaduje výkonný signálový mikroprocesor. Princip spočívá ve vytvoření točivého mag. pole statoru s možností řízení rychlosti otáčení tohoto pole a tím i momentu motoru. Toto řízení dosahuje velmi dobrých výsledků pro dynamicky náročné aplikace, ale problém tohoto řízení spočívá v řízení nízkých otáček a reverzací.

2.5.3 Brzdění motoru pomocí frekvenčního měniče

Frekvenční měniče umožňují brzdění stejnosměrným napětím [3]. Jak již bylo popsáno v kapitole 2.4.2, tento způsob brzdění se používá spíše pro aretaci polohy rotoru. Pro zpomalování se využívá generátorické brzdění [3], popsáno v kapitole 2.4.3. při kterém se frekvence postupně snižuje a tím se snižují i synchronní otáčky. Motor se tak dostane do generátorického stavu a měnič tento stav udržuje až do chvíle zastavení hřídele motoru. Při výkonově náročnějším zpomalování motoru dochází vlivem generované energie k přetěžování stejnosměrného meziobvodu. Tento problém se řeší připojením rezistoru, na kterém se nadbytečný výkon meziobvodu přemění v tepelnou energii, u technicky vyspělejších modelů se přebytečná energie rozstřídá a navrátí do napájecí sítě, tento proces se nazývá rekuperace. Některé měniče umožňují propojení na úrovni stejnosměrného obvodu a předávání energie ve stejnosměrné formě. Při použití více zařízení s možností rekuperace nastává úspora elektrické energie, protože dochází ke zpětné přeměně mechanické energie na elektrickou a aplikace spotřebovává energii pouze na kompenzaci ztrát.

3. POPIS POUŽITÝCH ZAŘÍZENÍ

3.1 PLC CONTROLLOGIX

Jedná se o modulární systém [4], [5], [6] poprvé představený firmou Allen Bradley v roce 1999 na veletrhu v Hannoveru. Jednotlivé moduly se umísťují do šasi s napájecím zdrojem, šasi se vyrábí v různých velikostech pro 4, 7, 10, 13 a 17 modulů. Umístění modulů v šasi je libovolné, může zde být i více procesorů, v takovém případě si každý procesor po nahrání svého programu vyhledá moduly, které bude zpravovat a nahraje do nich konfigurační data, tyto data určují způsob a periodu komunikace. Systém umožňuje vkládání a vyjímání modulů nebo jejich svorkovnic za chodu automatu. V případě potřeby většího počtu modulů se mohou šasi propojit některou z komunikačních jednotek, nejčastěji sítí ControlNet [4]. Pro vnitřní komunikaci využívá sběrnici ControlBus [4], [5], [6]. Tato paralelní 64 bitová sběrnice využívá kromě komunikační metody klient/server (pro přenos časově nekritických dat) také metodu producent/spotřebitel (pro přenos cyklických časově kritických dat). Výhodou je i možnost opatření dat časovou značkou. Všechny moduly sdílí stejná přístupová práva ke sběrnici.

3.1.1 Procesor ControlLogix 5561

Jedná se o nejslabší procesor z řady ControlLogix 556x [4], [5] s uživatelskou pamětí 2MB, pamětí CompactFlash o velikosti 64MB pro zálohování programu v době vypnutí PLC, ale i tak se jedná o výkonný procesor, který podporuje zpracovávání až 32 tasků. Součástí procesoru je i hardwarová a softwarová diagnostika. Modul lze programovat pomocí integrovaného rozhraní RS-232 nebo pomocí jiného komunikačního modulu (Ethernet/IP, ControlNet, DeviceNet atd.) v šasi. Paměť vyhrazená pro vstupy a výstupy má velikost 478MB, a proto lze připojit až 128 000 digitálních a 4000 analogových vstupů a výstupů. Modul ke své práci nepotřebuje zálohovací paměť CompactFlash ani lithiovou baterii, ovšem v takovémto případě nedojde k zálohování a znovunačtení dat ze zálohovací paměti a PLC si po vypnutí a opětovném zapnutí nebude nic pamatovat. Procesor lze

programovat reléovým diagramem (LD), strukturovaným textem, funkčními bloky (FB) a nebo sekvenčními funkčními diagramy (SFC). Modul je zobrazen na obrázku č. 3.1.

Přehled základních parametrů:

Uživatelská paměť:	2MB
Paměť pro zálohu:	64MB
Komunikační rozhraní:	RS-232
Max. počet digitálních I/O:	128 000
Max. počet analogových I/O:	4000
I/O paměť:	478KB
Izolační pevnost:	30V trvale, 707V po dobu 60s
Hmotnost:	0,32Kg
IEC teplotní kód:	T4 (max. trvalá teplota povrchu 135°C)
Katalogové číslo:	1756-L61 A



Obrázek č. 3.1 Modul 1756-L61 A [14]

3.1.2 Ethernet/IP modul

Síť EtherNet/IP bude věnována celá kapitola 3.2, a proto ji zde nebudu rozepisovat. Jen připomenou, že se jedná o síť plně kompatibilní s Ethernetem

používaným v IT oblasti a jeho jedinou odlišností je aplikační vrstva, která zajišťuje bezpečnost a reálnou odezvu. Modul [4] je zobrazen na obrázku č. 3.2.

Základní parametry modulu:

Přenosová rychlost:	10/100Mbps
Max. počet komunikačních spojů:	128 Logix, 64 TCP/IP
Ztrátový výkon:	3,65W
Izolační pevnost:	30V trvale, 707V po dobu 60s
Konektor portu:	RJ45, kategorie 5
Katalogové číslo:	1756-ENBT A



Obrázek č. 3.2 Modul 1756-ENBT A [14]

3.1.3 HSC modul

Modul rychlého čítače [4], [5], [13] obsahuje dva nezávislé tříkanálové rychlé čítače pro sledování velmi rychlých akcí, jako jsou například výstupy z inkrementálních enkodérů nebo výstupy různých jiných čítačů. Kanály každého z dvojice čítačů se označují A, B a Z, což přesně odpovídá výstupům z inkrementálního snímače polohy. Uživatelé jsou k dispozici dva programovatelné digitální výstupy na každý čítač, tyto výstupy ovládá přímo čítačový modul, a proto nejsou závislé na běhu programu v PLC. Čítač nabízí čtyři možnosti režimů práce. (Modul je zobrazen na obrázku č. 3.3)

Čítačový mód

Načítané impulzy přicházejí na vstup A a stav vstupu B určuje, zda se jedná o čítání nahoru nebo dolů. Zbývající vstup Z může mít následující čtyři funkce.

STORE/CONTINUE - náběžnou hranou signálu na vstupu Z se aktuální hodnota čítače přepíše do záchytného registru STORE, odkud si ji uživatel může vyzvednout a použít ji pro potřeby řízení. Čítání pokračuje nezávisle na této operaci.

Druhá funkce je funkce STORE/WAIT/RESUME. Tato funkce se od předchozího případu liší pouze tím, že po dobu trvání signálu na vstupu Z se čítání impulzů na vstupu A zastaví a spustí se s příchodem sestupné hrany signálu na vstupu Z.

Funkce STORE-RESET/WAIT/START pracuje podobně jako předchozí funkce, s nástupnou hranou signálu na vstupu Z se provede přepis aktuální hodnoty a čítání je pozastaveno a spuštěno s příchodem sestupné hrany signálu na vstup Z. Rozdíl oproti minulé funkci spočívá v resetování čítače s náběžnou hranou signálu na vstupu Z.

Poslední funkce STORE-RESET/START pracuje následovně: s příchodem nástupné hrany signálu na vstupu Z se provede odečtení aktuální hodnoty čítače do registru STORE a čítač je resetován a okamžitě znovu spuštěn bez ohledu na dobu trvání signálu na vstupu Z.

Mód enkodér X1

Na vstupy A a B se připojí fázově posunuté výstupy A a B z enkodéru. Po zaznamenání celé periody na obou vstupech se hodnota v čítači inkrementuje nebo dekrementuje podle toho, jestli se enkodér točí dopředným nebo zpětným směrem, tento směr si čítač dekóduje sám. Vstup Z lze využít stejně jako v čítačovém módu.

Mód enkodér X4

Tento mód se od předchozího liší pouze skutečností, že k inkrementaci nebo dekrementaci hodnoty v čítači dochází při jakékoliv hraně signálu A nebo B. Toto řešení přináší čtyřnásobné zvětšení rozlišení enkodéru.

Frekvenční mód

V tomto módu se na vstup A přivede požadovaný signál a hodnota čítače odpovídá periodě vstupujícího signálu.

Základní parametry čítačového modulu:

Počet čítačů:	2
Počet vstupů každého čítače:	3 (A, B a Z)
Počet digitálních výstupů:	4 (2 na každém čítači)
Vstupní napětí:	4,5-5,5V nebo 10-31,2V
Vstupní proudy:	300mA pro 5,1V a 3mA pro 24V
Izolační odolnost:	125V trvale, 1700V DC po dobu 1s
Vstupní frekvence:	1MHz čítačový mód, 500kHz frekvenční mód, 250kHz mód enkodér X1, X2
Doba sepnutí výstupů:	20μs typicky, 50 μs max.
Doba rozepnutí výstupů:	60μs typicky, 300 μs max.
Katalogové číslo:	1756-HSC A



Obrázek č. 3.3 Modul 1756-HSC A [14]

3.1.4 Modul logických výstupů

Logické výstupy [4], [6] se v průmyslu používají pro signalizaci nebo ovládání procesů např. kontrolky různých stavů zařízení nebo spouštění nejrůznějších relé. Modul logických výstupů použitý v našem případě obsahuje šestnáct výstupů ve dvou skupinkách, součástí modulu je i čelní panel s indikací stavů jednotlivých výstupů a vlastní diagnostikou. Každý výstup se chová jako spínací prvek s unipolárním tranzistorem, který je schopen sepínat napětí až 30V DC a proudem 2A (4A po dobu 10ms s periodou 1s). Všechny výstupy jsou opticky odděleny. Modul je zobrazen na obrázku č. 3.4.

Základní parametry logického výstupního modulu:

Počet výstupů:	16
Operační napětí:	19-30V DC
Doba sepnutí:	1ms
Doba rozepnutí:	5ms
Max. proud jedním výstupem:	2A, 4A po dobu 10ms s periodou 1s
Izolační odolnost:	250V, 2546V DC po dobu 1s
Katalogové číslo:	1756-OB16D A



Obrázek č. 3.4 Modul 1756-OB16D A [14]

3.1.5 Modul logických vstupů

Digitální výstupy [4], [6] se v průmyslu používají pro sledování diskretních událostí např. sepnutí stykače nebo aktivace koncového spínače. Modul logických vstupů použitý v našem případě obsahuje šestnáct vstupů ve dvou skupinkách, součástí modulu je i čelní panel s indikací stavů jednotlivých výstupů a vlastní diagnostikou. Aby došlo k aktivaci vstupu, musí na něho být přivedeno proti systémové zemi napětí 10-30V. V případě potřeby lze nastavit i číslicový filtr až na 2ms. Všechny vstupy jsou samozřejmě opticky odděleny. Modul je zobrazen na obrázku č. 3.5.

Základní parametry logického vstupního modulu:

Počet vstupů:	16
Operační napětí:	10-30V DC
Zpoždění při aktivaci vstupu:	1ms+ filtr (0, 1, 2ms)
Zpoždění při deaktivaci vstupu:	2ms+ filtr (0, 1, 2, 9, 18ms)
Max. proud při aktivním vstupu:	10mA
Max. vstupní impedance:	3,12k Ω
Izolační odolnost:	250V, 2546V DC po dobu 1s
Katalogové číslo:	1756-IB16 A



Obrázek č. 3.5 Modul 1756-IB16 A[14]

3.2 SÍŤ ETHERNET

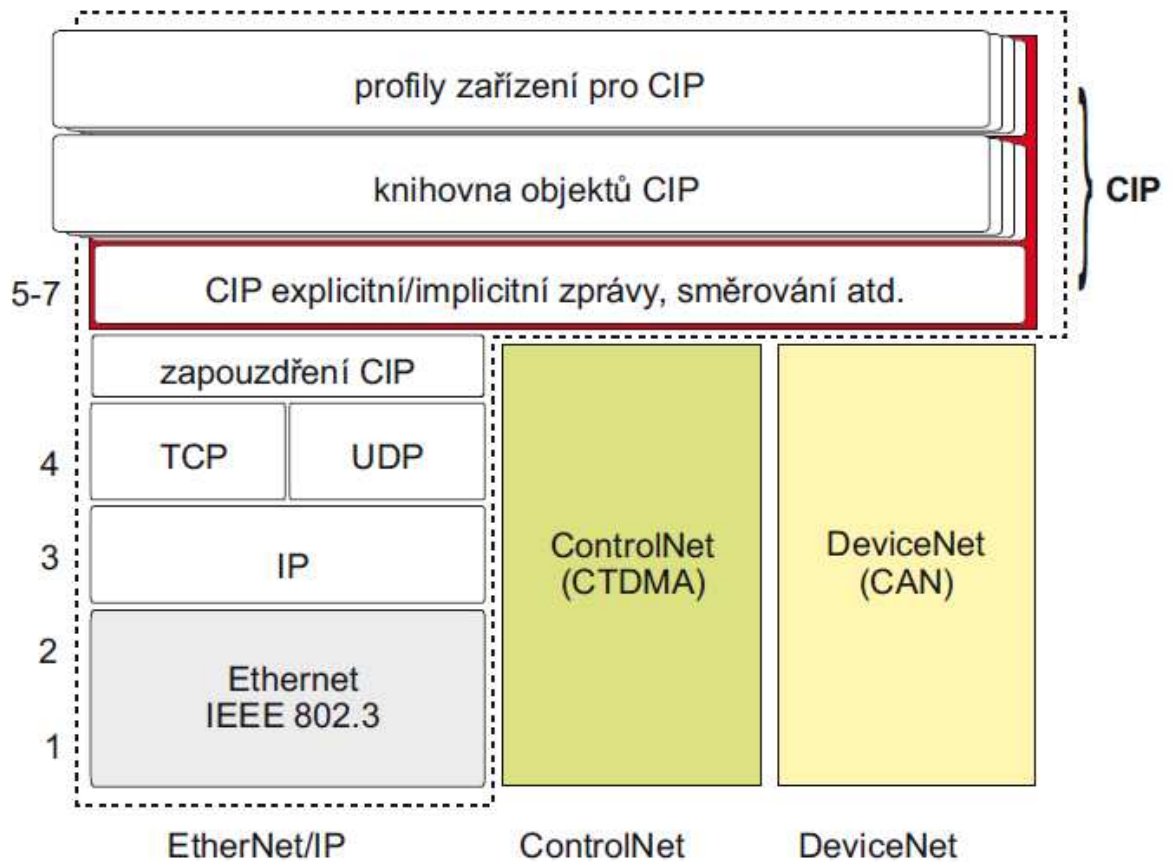
Na počátku 70. let minulého století potřebovala firma Xerox propojit sériovým rozhraním několik počítačů s tiskárnou, a proto vyvinula první verzi Ethernetu [7], tato verze dosahovala přenosové rychlosti až 2,94 Mbps a umožňovala připojení až 100 účastníkům. V roce 1978 se k firmě Xerox připojily firmy DEC a Intel a společně vytvořili novou verzi Ethernet V1.0 známou jako DIX Ethernet. Začátkem 80. let byl Ethernet standardizován jako IEEE 802.3 s přenosovou rychlostí 10Mbps, topologií typu sběrnice s použitím koaxiálního kabelu a přístupovou metodou CSMA/CD. V následujících letech se Ethernet vyvíjel, měnila se jak jeho přenosová rychlost 100Mbps, 1Gbps nakonec až na 10Gbps, tak také topologie a fyzické přenosové cesty. Místo koaxiálního kabelu se začala používat kroucená dvojlinka, topologie se změnila ze sběrnice na strom. V současné době se Ethernet mohutně používá v místních sítích k propojení počítačů navzájem ale i k připojení periférií. K velikému rozvoji Ethernetu přispívá jeho popularita a především cena, která se díky masové výrobě dostala na velmi nízkou úroveň.

Již v druhé polovině 80. let byl Ethernet pokusně využíván v průmyslových sítích. Příkladem by mohla být síť Sinec H1, která sloužila pro propojení PLC, byla plně kompatibilní se standardem 802.3, ovšem byl zde kladen důraz na robustní konektory a kvalitní stínění. Později se objevily i verze (např. Sinec H1FO) využívající pro přenos optické vlákna do velmi zarušených prostředí nebo pro přenos na velkou vzdálenost. V té době se ovšem vynakládaly velké prostředky na rozvoj průmyslových sítí, a proto se základem komunikace v průmyslu staly sítě jako Field bus, Device bus apod. Výhodou těchto průmyslových sítí byla jejich robustnost a komunikace v reálném čase, na které Ethernet v tehdejších dobách nebyl přizpůsoben. Na konci 90. let se stále častěji začala objevovat potřeba komunikace průmyslu a IT oblasti. Proto se opět začal rozvíjet Ethernet jako průmyslová síť. Velmi důležité je si uvědomit, že Ethernet v průmyslu není stejný jako jeho varianty v IT oblasti a jeho rozvoj v oblastech funkční bezpečnosti a práce v reálném čase se za poslední léta značně zdokonalil a umožnil tak jeho efektivní využívání v průmyslu.

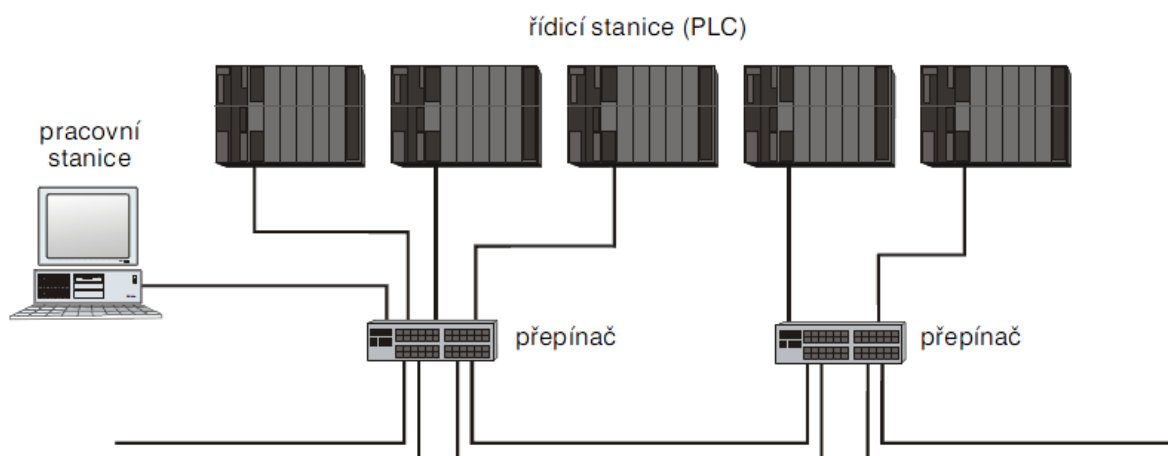
3.2.1 Ethernet/IP (EtherNet/Industrial Protocol)

Poprvé představen v roce 2001 jako produkt konsorcia ODVA (Open DeviceNet Vendor Association) a ControlNet International v čele s firmou Rockwell Automation a jeho standardizace proběhla v roce 2005 pod názvem IEC 62413. Mezi jeho hlavní výhody patří plná kompatibilita se sítěmi Ethernet, v případě potřeby lze tedy použít klasické komponenty Ethernetu, například k připojení PC do sítě Ethernet/IP postačí pouze „obyčejná“ síťová karta, což je velmi levné rychlé a dostupné řešení. Vrstvy Ethernetu/IP a klasického Ethernetu se až na poslední aplikační vrstvu nijak neliší. Bezpečnost a reálnou odezvu tedy zaručuje aplikační vrstva tvořená protokolem CIP (Common Industrial Protocol), který se využívá i u sítí ControlNet a DeviceNet (obr.: 3.6). Tento protokol používá objektového zpracování jednotlivých uzlů a jejich vlastností. Každé zařízení charakterizuje jeho skupina objektů a každý objekt je charakterizován svými daty, příkazy a reakcemi na události. Existují různé skupiny objektů, objekty identifikující zařízení, specifikující předávání zpráv, pro zprávu spojení a parametry konfigurace sítě.

Síť Ethernet/IP [7] používá dva druhy přenosu: Explicitní (TCP/IP) přenos typu žádost - odpověď mezi dvěma uzly a implicitní (UDP/IP) pro cyklický přenos uživatelských a I/O dat. Protokol CIP používá dva principy komunikace: Spojovaná pro přenos I/O dat s vysokou prioritou a nespojovaná pro přenos nepravidelných dat s nízkou prioritou. Komunikace probíhá následovně: uzel, který žádá o spojení (originator), vyšle nespojovanou explicitní zprávu s žádostí o spojení, obsahující návrh parametrů spojení. A příjemce spojení (target) odešle potvrzení s parametry (identifikátor, implicitní/explicitní přenos, cyklická data/změna stavu, počet a formát přenášených dat) a naváže spojení. Reálná odezva je v této síti zajištěna rozdělením kolizních domén pomocí switchů (obr.: 3.7) a dostatečnou kapacitou sítě. Pro náročnější aplikace se využívá mechanismus distribuovaných hodin (CIP Sync) a kompenzace doby přenosu.



Obrázek č. 3.6 ISO/OSI model pro EtherNet/IP, ControlNet, DeviceNet [7]



Obrázek č. 3.7 Rozdělení kolizních domén [7]

3.3 POWERFLEX 700

Frekvenční měnič od firmy Allen-Bradley z řady PowerFlex [10], [11] klade důraz na jednoduchost ovládání a kompaktnost celého zařízení (obrázek č. 3.9). Firma Allen-Bradley nabízí tyto měniče s výkonem od 0,37kW až do 132kW s napájecím napětím 200 až 240V AC, 380 až 480V AC, 500 až 600V AC, 690V AC, 540V DC a 650V DC v proudových variantách od 1,1A až do 180A. Měniče řady PowerFlex nabízí tři základní typy řízení: Tvorba momentu, Regulace rychlosti, Regulace momentu. V režimu tvorby momentu je motor řízen metodou známou jako U/f, měnič disponuje funkcí Sensorless Vector která na základě znalostí parametrů motoru zdokonaluje tvorbu momentu a rozšiřuje rozsah použitelných rychlostí. Tato možnost se využívá v průmyslu pro řízení pohonů odstředivek, lisů nebo dopravníků. V módu regulace rychlosti máme na výběr kompenzaci skluzu, která dosahuje přesnosti až 0,5% z nominální rychlosti nebo vektorová řízení s enkodérem, při použití enkodéru lze rychlost regulovat až na 0,001% z nominální rychlosti. Pro regulaci momentu je možno využít funkce Encoderless, řízení momentu bez zpětné vazby od enkodéru nebo Fore Technology řízení momentu se zpětnou vazbou, tento typ regulace dosahuje výborných výsledků v celém rozsahu rychlostí včetně nulových otáček. Měnič obsahuje také PI regulátor, modul dynamického brzdění, který snižuje požadavek na použití brzděného odporu, síťový filtr pro odrušení nežádoucích frekvencí, detekci výpadku napájecí sítě. Funkce Auto-tune optimalizuje nastavení měniče podle připojeného pohonu a zátěže. Samozřejmostí jsou funkce zakázaných frekvencí, snížení spotřeby v režimu Sleep Mode apod. Měnič dále disponuje pamětí na posledních 8 alarmů a detekci chyb se zaznamenáním času, LED diody indikují aktuální stav měniče (chod, stop, chyba). Na čelním panelu se nachází LCD displej s klávesnicí (viz obr. 3.8) pomocí kterého lze měnič konfigurovat a ovládat. Standartní I/O jednotka má 6 digitálních vstupů, 2 reléové výstupy a 2 analogové vstupy. Na port DPI 5 je připojen komunikační modul pro síť Ethernet/IP dále je možno zde připojit i moduly pro DeviceNet, ControlNet, Universal Remote I/O, RS-232/485, Profibus, Interbus-S, Modbus a Modbus+.



Obrázek č. 3.8 LCD displej s klávesnicí [9]

Obrázek č. 3.9 PowerFlex 700 [8]

Výstupní napětí je sinusově modulovaná PWM (pulzně šířková modulace) s programovatelnou nosnou frekvencí (2, 4, 8 a 10KHz). Rozsah výstupní napětí je 0–540V, frekvence 0-420Hz s přesností $\pm 0,01\%$ z aktuální frekvence při použití digitálního vstupu a $\pm 0,4\%$ z max. výstupní frekvence při použití analogového vstupu. Chyba regulace rychlosti v otevřené smyčce $\pm 0,5\%$ ze jmenovité rychlosti. Brzdění lze nastavit jako volný dojezd, stejnosměrné brzdění, volitelnou rampou s možností S-křivky a konečnou nenulovou hodnotou. Pro rozjezd a zastavení můžeme využít dva programovatelné, nezávislé časovače v rozsahu 0-3600sekund s krokem 0,1s. Měnič dovoluje přetížení 110% po dobu až 1min, nebo 115% po dobu až 3s.

Řídicí kazeta

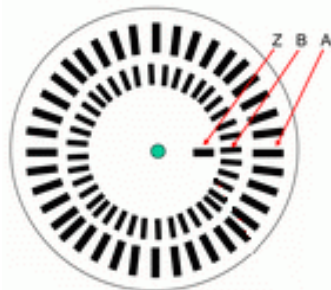
Manuální ovládání měniče se provádí připojením ovládacích prvků ke svorkovnici řídicí kazety [10], která se nachází na levé straně měniče. Popis svorkovnice se nachází v tabulce č. 3.1. S využitím této karty můžeme řídit chod motoru například pomocí tlačítek a otáčky pomocí potenciometru, proudové nebo

napěťové smyčky. Pro správnou funkci jednotlivých kontaktů je nutné vždy nastavit příslušné parametry měniče. Nyní si popíšeme možné způsoby řízení otáček pomocí řídicí karty. V prvním případě se jedná o plynulé řízení otáček pouze v jednom směru otáčení motoru. Provádí se připojením potenciometru (doporučený odpor 10k Ω) na svorkovnici řídicí jednotky. Takové řízení použijeme v případě nenáročných aplikací a doplníme toto řízení o reverzaci otáček. Druhý možný příklad zapojení umožňuje plynule měnit velikost ale i smysl otáčení motoru. Provádí se zapojením potenciometru na napájení $\pm 10V$. Tuto variantu využijeme, pokud naše aplikace požaduje ruční řízení v obou směrech, například posuv zařízení po jedné ose. K řízení otáček lze použít i proudovou (4 – 20 mA) či napěťovou (0 – 10V nebo $\pm 10V$) smyčku a to jak pro unipolární tak i bipolární řízení. Pro případ, kdy chceme zobrazovat nebo číst hodnotu otáček pomocí napěťové nebo proudové smyčky, lze využít analogový výstup (4 - 20mA, 0 – 10V, $\pm 10V$). Na svorkovnici řídicí kazety se také připojují tlačítka pro řízení startu, reverzace a zastavení motoru. Manuál popisuje čtyři doporučené zapojení, první dvou vodičové nereverzující zapojení, kdy má uživatel možnost motor zapnout nebo vypnout pomocí jediného spínače. Tato volba nevyžaduje zvláštní napájení, je použito napájení z měniče a při kombinaci s řízením otáček v obou směrech se odstraní i nevýhoda neschopnosti řídit smysl otáček motoru. Druhé doporučené zapojení je dvou vodičové reverzující zapojení, znázorňující řízení pomocí dvou spínačů napájených z interního nebo vlastního zdroje (115V/+24V). Pokud tuto možnost doplníme o regulaci otáček v jednom směru, můžeme využít takto řízený pohon například k řízení domácího soustruhu, kdy je potřeba řídit otáčky v přímém i zpětném směru. Pro případ signalizace nabízí měnič digitální výstupy (relátka), kterými měnič signalizuje poruchu a chod. Každý z těchto signálů je zde reprezentován přímou i invertovanou hodnotou.

Použití enkodéru

V tabulce č. 3.2 vidíme popis svorkovnice enkodéru [10], svorky 8 a 7 slouží pro napájení a zbývající svorky pro připojení jednotlivých kanálů enkodéru. Kanál A se používá jako vstup, pokud máme enkodér pouze s jedním kanálem. Pokud připojený enkodér disponuje dvěma kanály (posunutými o 90°), připojuje se první na svorku

kanálu A a druhý na svorku kanálu B. Výhoda, kterou přináší použití dvoukanalového pulzního enkodéru, spočívá v možnosti rozpoznání směru otáček a zvýšení přesnosti. Enkodéry mohou mít i tzv. značkovací vstup, který udává referenční nulovou polohu, tento kanál se připojí na vstup Z. Každý z uvedených kanálů disponuje dvěma vstupy a to přímým a invertovaným. Rozmístění značek na tříkanalovém enkodéru vidíme na obrázku č. 3.10.



Obrázek č. 3.10

Rozmístění značek na enkodéru [12]

Parametry měniče použitého v našem případě:

Napájecí napětí:	400V, 3-f
Výstupní proud:	11A
Krytí:	IP 20
Napětí I/O	24V AC/DC
CE Filtr	
Encoder, 12V	
Tolerance vstupního napětí	±10%
Tolerance kmitočtu	47-63Hz
Účinník	0,98 v celém rozsahu
Účinnost	97,5% při jm. proudu a napětí
Max. zkratový proud	200A
Při napájení jednou fází	50% výkonu

Ochranné prvky:

Mez přepětí na vstupu	475V AC
Mez přepětí meziobvodu	810V DC
Mez podpětí meziobvodu	305V DC

Jmenovité napětí meziobvodu	540V DC
Vypnutí při nadproudu:	softwarové 200%, hardwarové 230-300%
Porucha sítě (průrazné napětí)	6kV špička-špička
Chod bez chyby při výpadku napájení	15ms při plném zatížení
Chod řídicí logiky při výpadku napájení	min. 0,5s, typicky 2s
Vypnutí při zkratu fáze proti zemi i při zkratu fáze proti fázi	

Prostředí

Nadmořská výška	1000m bez poklesu výkonu
Max. teplota okolí	0-50°C
Max relativní vlhkost	90% nekondenzující
Nárazy	15G po dobu 11ms
Vibrace	amplituda 0,152mm, 1G

Přehled nejdůležitějších parametrů

- 001 [Output Freq] – výstupní frekvence
- 003 [Output Current] – celkový výstupní proud
- 004 [Output Voltage] – výstupní napětí
- 007 [Output Power] – výstupní výkon
- 012 [DC Bus Voltage] – napětí DC meziobvodu
- 041 [Motor NP Volts] – štítkové napětí motoru
- 043 [Motor NP Hertz] – štítková frekvence motoru
- 044 [Motor NP RPM] – jmenovité otáčky motoru
- 045 [Motor NP Power] – jmenovitý výkon motoru
- 049 [Motor Poles] – počet pólů motoru
- 053 [Motor Cntl Sel] – nastavuje způsob řízení motoru
- 054 [Maximum Voltage] – maximální výstupní napětí
- 055 [Maximum Freq] – maximální výstupní frekvence
- 080 [Feedback Selekt] – nastavuje zdroj zpětné vazby
- 084 [Skip Frequency 1] – zakázané frekvence
- 085 [Skip Frequency 2]

086 [Skip Frequency 3]

087 [Skip Freq Band] – šířka pásma zakázané frekvence

088 [Speed/Torque mode] – nastavuje zdroj reference momentu

140 [Accel Time 1] – rozběhové rampy (0.1 – 3600s)

141 [Accel Time 2]

142 [Deccel Time 1] – doběhové rampy (0.1 – 3600s)

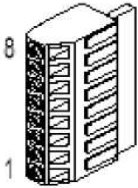
143 [Deccel Time 2]



Č.	Signál	Tovární nastavení	Popis	Souvis. param.	
1	Anlg Volts In 1 (-)	(2)	Izolovaný ⁽³⁾ , bipol., diferenciální, ±10V, 11 bitů + znaménko, 88 kΩ vstup. impedance	320-327	
2	Anlg Volts In 1 (+)				
3	Anlg Volts In 2 (-)	(2)	Izolovaný ⁽⁴⁾ , bipol., diferenciální, ±10V, 11 bitů + znaménko, 88 kΩ vstup. impedance		
4	Anlg Volts In 2 (+)				
5	Pot Common	-	Pro (+) a (-) 10V - potenciometr		
6	Anlg Volts Out 1 (-)	(2)	Bipolární, diferenciální, ±10V, 11 bitů + znaménko, 2 kΩ min. zátěž	340-344	
7	Anlg Volts Out 1 (+)				
8	Anlg Current Out 1 (-)	(2)	4-20 mA, 11 bitů + znaménko, 400 Ω max. zátěž		
9	Anlg Current Out 1 (+)				
10	Rezervováno pro budoucí použití				
11	Digital Out 1 - N.C. ⁽¹⁾	Fault	Max. odporová zátěž: 240V AC/30V DC – 1200VA, 150W	380-387	
12	Digital Out 1 – Common				
13	Digital Out 1 - N.O. ⁽¹⁾	NOT Fault	Max. proud: 5A, min. zátěž: 10mA		
14	Digital Out 2 - N.C. ⁽¹⁾	NOT Run	Max. induktivní zátěž: 240V AC/30V DC – 540VA, 105W		
15	Digital Out 2 - Common		Max. proud: 3.5A, min. zátěž: 10mA		
16	Digital Out 2 - N.O. ⁽¹⁾	Run			
17	Anlg Current In 1 (-)	(2)	Izolovaný ⁽³⁾ , 4-20mA, 11 bitů + znaménko, 124Ω vstup. impedance	320-327	
18	Anlg Current In 1 (+)				
19	Anlg Current In 2 (-)	(2)	Izolovaný ⁽⁴⁾ , 4-20mA, 11 bitů + znaménko, 124Ω vstup. impedance		
20	Anlg Current In 2 (+)				
21	-10V Pot reference	-	Min. 2kΩ		
22	+10V Pot reference	-			
23	Rezervováno pro budoucí použití				
24	+24V DC ⁽⁵⁾	-	Napájení logických vstupů z měniče. ⁽⁵⁾		
25	Digital In Common	-			
26	24V Common ⁽⁵⁾	-	Napájení logických vstupů z měniče. ⁽⁵⁾		
27	Digital In 1	Stop - CF	115V AC, 50/60Hz – opticky izolované	361-366	
28	Digital In 2	Start	Dolní stav: < 30V AC		
29	Digital In 3	Jog	Horní stav: > 100V AC		
30	Digital In 4	Speed Sel 1	24V AC/DC, 50/60Hz – opticky izolované		
31	Digital In 5	Speed Sel 2	Dolní stav: < 5V AC		
32	Digital In 6	Speed Sel 3	Horní stav: > 20V AC, 11.2 mA DC		

Tabulka č. 3.1 Popis svorkovnice řídicí kazety [10]

Viz detail na Obr. 1.6

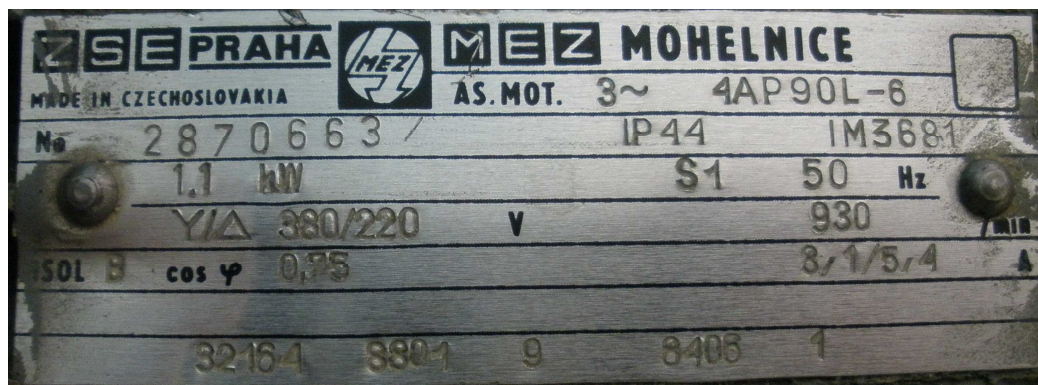


Č.	Popis (specifikace enkodéru viz str. A-3)	
8	+12 V DC Power	Vnitřní napájecí zdroj 250 mA
7	-12 V DC Return (Common)	
6	Enkodér Z (NOT)	Pulzní, registrační nebo značkovací vstup
5	Enkodér Z	
4	Enkodér B (NOT)	Kvadraturní vstup B.
3	Enkodér B	
2	Enkodér A (NOT)	Jednoduchý kanál nebo kvadraturní vstup A.
1	Enkodér A	

Tabulka č. 3.2 Popis svorkovnice enkodéru [10]

3.4 ASYNCHRONNÍ MOTOR

Asynchronní motor již byl popsán v kapitole 2.1, nyní si jen shrneme vlastnosti motoru použitého v našem konkrétním případě. Podle údajů na štítku motoru (obr.: 3.11) se jedná o třífázový asynchronní motor s kotvou nakrátko (vinutí rotoru je tvořeno rotorovou klecí) od firmy MEZ Mohelnice. Jmenovitý výkon 1,1kW řadí tento motor mezi motory s malým výkonem, napájecí napětí pro zapojení do hvězdy je 380V, pro zapojení do trojúhelníku 220V. Proto tento motor není konstruován pro použití přepínače hvězda/trojúhelník v běžné třífázové síti, protože jeho statorová vinutí jsou určena pro napájecí napětí 220V a především velikost jeho výkonu nevyžaduje použití žádných prostředků pro snížení proudového nárazu při startu. Uvedený počet otáček rotoru 930min^{-1} určuje počet pólů na tři. Synchronní otáčky vypočteme ze vzorce č. 2.3 dosazením za frekvenci 50Hz a za počet pólů 3, vyjde nám 1000min^{-1} . Jmenovitý proud při zapojení do hvězdy je 3,1A a trojúhelníka 5,4A. Kosinus φ tedy účinník je stanoven na 0.75. Třída izolace B dovoluje maximální trvalou teplotu motoru 130°C a krytí IP 44 značí ochranu motoru před vnikem pevného tělesa o průměru 1mm a stříkající vodou v libovolném směru.



Obrázek č. 3.11 Štítek asynchronního motoru

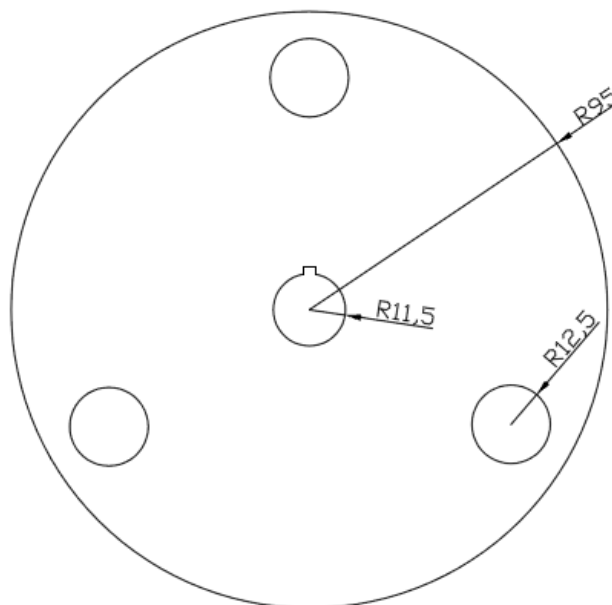
4. ÚLOHA VRTACÍ LINKA

4.1 POPIS ÚLOHY

Úkolem této bakalářské práce je řízení asynchronního motoru pomocí frekvenčního měniče PowerFlex 700. K samotnému měniči je sice možno připojit potenciometr a tlačítka či spínače a ovládat tak motor ručně, ale tato možnost se spíše než v průmyslu využívá v domácích aplikacích jako jsou například domácí soustruhy apod. Řídicí jednotky v průmyslu využívají pro komunikaci s měničem nejrozličnější sítě nebo jen proudovou smyčku. Řídicí jednotky neřídí jen motor s měničem, ale obvykle mají za úkol zajišťovat chod celého zařízení bez pomoci člověka. Středem takového řídicího řetězce je již zmíněná řídicí jednotka, nejčastěji a i v našem případě PLC (programovatelný logický automat) s jednou nebo i více komunikačními sítěmi, které zajišťují spojení s nejrozličnějšími prvky procesu nebo mají za úkol informovat uživatele o stavu, ve kterém se proces nachází. PLC získává informace od jednotlivých snímačů prostřednictvím analogových a logických vstupů, tyto informace vyhodnocuje program uvnitř PLC a následně z nich vyvozuje stavy jednotlivých výstupů, které se přes výstupní jednotky projeví v procesu. Z předchozích vět vyplývá, že celý řídicí systém je jen jakýmsi mozkiem celého procesu, aby mohl tento systém působit na proces, musí zde být přítomny i výkonové prvky jako jsou stykače a nebo již zmíněný frekvenční měnič. V poslední řadě k výkonovým i nevýkonovým prvkům patří také jejich ochrany a napájení. Všechny dosud jmenované prvky se nachází zpravidla v rozváděči, kde jsou chráněny proti poškození například prachem a zároveň je chráněn i uživatel proti úrazu elektrickým proudem.

Jelikož se v laboratoři nenachází žádný model ani zařízení, na kterém by bylo možno řízení motoru testovat, budeme se muset spokojit se simulací pomocí simulátoru, který se skládá z LED diod napojených na logické výstupy PLC, spínačů a tlačítek napojených na logické vstupy, potenciometrů a přístrojových ampérmetrů připojených na analogové vstupy a výstupy automatu. Aby se motor netočil na

prázdko, na jeho hřídeli je upevněn setrvačník (obrázek č. 4.1), který slouží zároveň jako pohyblivá část inkrementálního indukčního snímače. Frekvenční měnič je ukryt

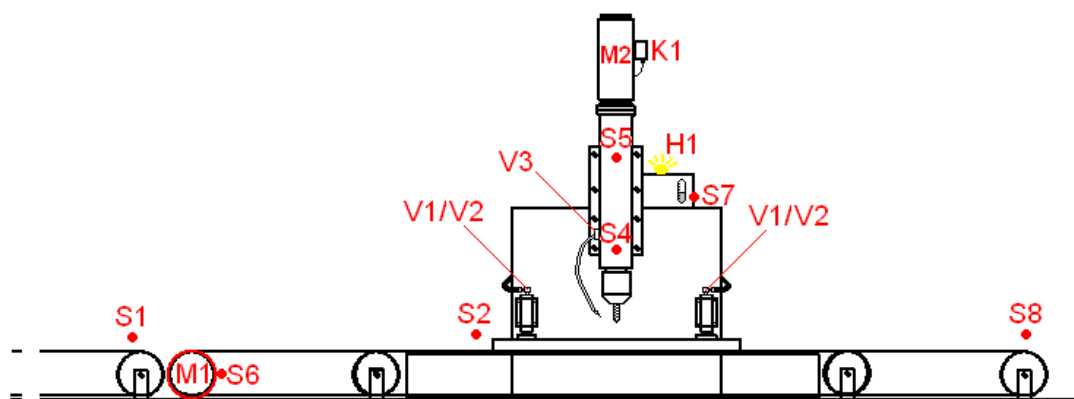


Obrázek č. 4.1 Setrvačník

a napájen z rozváděče pro řízení motorů od firmy Allen Bradley. Hlavní komponenty, ze kterých se skládá naše úloha, jsem již popsal ve 3. kapitole. Naši simulovanou úlohu tedy tvoří PLC řady ControlLogix, simulátor pro zobrazování a nastavování vstupů a výstupů PLC a frekvenční měnič PowerFlex 700 s připojeným motorem a setrvačníkem. Komunikace mezi PLC, frekvenčním měničem a počítačem, z něhož je PLC programováno, probíhá po síti EtherNet/IP s využitím manažovaného switchu.

Jedním z úkolů mé bakalářské práce bylo vymyslet a nasimulovat laboratorní úlohu, na které by bylo možno řízení motoru vyzkoušet. Jako hlavní úkol v řízení motoru jsem si vybral řízení motoru na požadovanou polohu, ale vzhledem k nedostačujícímu rozlišení inkrementálního snímače způsobené pouhými třemi vyvrtanými otvory do kovového setrvačníku, se budeme snažit řídit motor na požadovaný počet otáček. Při konzultaci tohoto problému mi vedoucí mé práce doporučil vymyslet úlohu, kde se bude požadovat dojezd dopravníku s materiálem na zvolenou polohu. Na základě tohoto doporučení jsem se snažil vymyslet úlohu, která bude dostatečně jednoduchá na to, aby studenti zvládli během jednoho cvičení

naprogramovat řídicí program pro tuto úlohu a zároveň aby se alespoň trochu podobala podmínkám a potřebám průmyslu. Nakonec se jako nejlepší varianta ukázala výrobní linka, která bude mít za úkol vyvrtávání otvorů do kovových nosníků jedoucích po dopravním pásu. Nákres této výrobní linky zobrazuje obrázek č. 4.2.



Obrázek č. 4.2 Nákres výrobní linky

4.1.1 Popis výrobní linky

Jak již bylo řečeno, linka byla navržena pro vyvrtávání otvorů do kovových nosníků přijíždějících po dopravním pásu. Jelikož není možné vyvrtávat díry do nosníků přímo na dopravním pásu, byla linka vybavena hydraulickým zařízením pro fixaci nosníku po dobu vyvrtávání otvorů. Tato hydraulická fixovací zařízení se ovládají pomocí ventilů V1 a V2. Pro fixaci nosníku musí být otevřen ventil V2 a po celou dobu fixování musí zůstat otevřený. Pro uvolnění nosníku z hydraulického zařízení se zavře ventil V2 a otevře ventil V1, který zůstane po celou dobu uvolnění nosníku otevřený. V případě, že by po delší dobu zůstaly otevřeny oba ventily, mohlo by dojít k poškození zařízení, proto tento stav nesmí nastat. Vrtací hlava má dva stupně volnosti. Motor č. 2, který otáčí vrtákem, se spouští pomocí stykače K1, jehož ovládací cívka je připojena na logický výstup z PLC. Druhý stupeň volnosti zajišťují kontakty relé ovládající motor č. 3. První kontakt T1 spouští relé, které zapíná nebo vypíná motor č. 3. Druhý kontakt T2 spíná relé určující směr rotace motoru č. 3 a tím i směr posuvu hlavy ve vertikální ose. Pro polohování vrtací hlavy

ve vertikální ose lze využít dvou snímačů. První snímač S4 ohlašuje dolní nastavenou polohu, ve které se vrtací hlava zastaví a začne se opět zvedat a druhý S5 ohlašující horní výchozí polohu. V průmyslu se šetří čas, a proto se vrtá rychleji, než by vrtal člověk. Za těchto podmínek je nutné ochlazovat vrták, aby nedošlo k jeho přehřátí a následným ochlazením k výžhání, které způsobí změknutí materiálu vrtáku, vrták by se následně dříve otupil. Ochlazování se provádí vstřikováním chladicí emulze do místa vrtání. V našem případě se vstřikování chladicí emulze spouští ventilem V3. V nádrži s chladicí emulzí se nachází snímač minimální hladiny, v případě indikace minimální hladiny emulze v nádrži se dokončí vyvrtání všech otvorů do nosníku, ale nesmí být spuštěna další sekvence pro následující nosník. Vrtací linka disponuje ještě inkrementálním snímačem od pohonu dopravníku, který se používá k polohování dopravního pásu s nosníkem a snímači umístěnými na začátku a konci této linky pro její spouštění a vypnutí. Výpis základních proměnných linky najdeme v tabulce č. 4.1.

Označení	Popis
V1	Ventil pro fixování nosníku
V2	Ventil pro uvolnění nosníku
V3	Ventil vstřikování chladicí emulze
K1	Kontakt pro spuštění rotace vrtáku
T1	Kontakt pro zapnutí vertikálního posuvu
T2	Kontakt určující směr vertikálního posuvu
S1	Snímač aktivní při příchodu nosníku
S2	Snímač určující polohu nosníku
S4	Snímač dolní koncové polohy vrtací hlavy
S5	Snímač horní koncové polohy vrtací hlavy
S6	Inkrementální snímač otáček motoru dopravníku
S7	Snímač minimální hladiny chladicí emulze
S8	Snímač aktivní při odjetí nosníku z linky
H1	Kontrolní světlo pro minimální hladinu chladicí emulze
STOP	Tlačítko pro zastavení linky
START	Tlačítko pro resetování poruchy

Tabulka č. 4.1 Výpis základních proměnných

4.1.2 Popis procesu

Po připojení linky k napájecí síti a její aktivaci tlačítkem START se provede inicializace celé vrtací linky, to znamená, že všechny ventily a kontakty se nastaví do výchozích pozic. A linka vyčkává na spuštění, které se provede při aktivaci snímače S1 a v okamžiku, kdy se tak stane, spustí se motor dopravního pásu. Kovový nosník je dopravním pásem posouván pod vrtací hlavu. Snímač S2 ohlásí polohu nosníku 45 inkrementů před požadovanou polohou, úkolem řídicího systému je zastavit pás spolu s nosníkem přesně na požadované poloze. Jakmile se nosník nachází na požadované poloze, může začít sekvence úkonů vedoucí k vyvrtání díry do nosníku. Sekvence začíná upnutím nosníku, toto upnutí se provede otevřením ventilu V1 a uzavřením ventilu V2. Upínání nosníku trvá 5s. Po uplynutí této doby je nosník pevně fixován a připraven pro vrtání. Jakmile je nosník upnut, spustí se rotace vrtáku stykačem K1, zapne se vertikální posuv a nastaví se směr dolů a spustí se vstřikování chladicí emulze ventilem V3. Vrtání probíhá až do doby kdy snímač S4 ohlásí dolní nastavitelnou koncovou polohu vrtací hlavy, v tomto okamžiku se musí obrátit směr vertikálního posuvu vrtací hlavy pomocí kontaktu T2, příslušný výstup je potřeba nastavit do logické nuly. Poté, co vrtací hlava dosáhne výchozí horní polohy, se vypne vertikální posuv kontaktem T1, zastaví se rotace vrtáku, uzavře se ventil vstřikování emulze a začne se s uvolňováním nosníku, to se provede otevřením ventilu V2 a uzavřením ventilu V1. Nyní následuje rozhodování, zda už se do nosníku vyvrtal požadovaný počet otvorů, v případě že ne následuje posun dopravníku s nosníkem o dalších 45 inkrementů a sekvence vrtání se opakuje, v případě vyvrtání všech potřebných otvorů do nosníku se rozjede dopravník s nosníkem a k jeho zastavení dojde až ve chvíli, kdy snímač S8 ohlásí vyjetí nosníku z dopravního pásu. Pokud nosník není již na této lince, zastaví se dopravník a program vyčkává na příchod dalšího nosníku (ohlásí snímač S1).

Kvůli ochraně osob a zařízení je nutné zavést některá bezpečnostní opatření. Dopravník nesmí dopravit nosník pod vrtací hlavici, pokud není v horní poloze. Pokud probíhá jakákoliv část sekvence vrtání otvorů do nosníku, nesmí se dopravník pohnout. Sekvence vrtání se nespustí, pokud snímač minimální hladiny „S7“ ohlásí nedostatek chladicí emulze. V takovém případě se rozsvítí kontrolka nedostatku

chladicí emulze „H1“. V případě stisknutí tlačítka STOP se dopravník zastaví, zastaví se také vrtání a vrtací hlavice je vysunuta do horní polohy.

Zadání laboratorní úlohy přikládám jako přílohu č. 1.

4.2 POSTUP ŘEŠENÍ ÚLOHY

Druhým úkolem praktické části mé práce bylo sestavit a oživit řídicí řetězec popsany v kapitole 4.1.1. Řetězec se skládá z PLC ControlLogix, frekvenčního měniče PowerFlex 700 s připojeným asynchronním motorem, laboratorního simulátoru vstupů a výstupů, PC pro naprogramování řídicího softwaru a ethernetového switche pro propojení jednotlivých komponentů tohoto řetězce. Ve cvičení, které probíhalo v této laboratoři, jsme používali PLC ControlLogix s připojenými I/O moduly na simulátor vstupů a výstupů a jeho komunikační karta pro síť EtherNet/IP byla připojena do switche Stratix 800, jmenovaný switch tvořil komunikační uzel, prostřednictvím kterého byla zajištěna možnost připojit se z kteréhokoliv PC v laboratoři na jakýkoliv PLC v laboratoři, programovat ho nebo sledovat jeho činnost a hodnoty proměnných. Tuto část řetězce jsem zachoval a pomocí komunikačního modulu 20-COMM-E, sloužícího pro připojení frekvenčního měniče do sítě EtherNet/IP, připojil do této sítě i měnič. Nyní bylo zapotřebí připojit frekvenční měnič na napájení. Jelikož jsem při zpracovávání mého semestrálního projektu našel nedostatky v zapojení rozváděče, bylo nezbytné připojit pod napětí pouze nejnutnější část rozvodu elektrické energie v rozváděči. Z dokumentace popisující zapojení rozváděče, přiložené k již zmiňovanému semestrálnímu projektu vyplývá, že pro napájení měniče je nutné zapojit hlavní ovládací obvod (pojistka FU1) a obvod napájení měniče (jistič QF7). Pro přehlednost a kontrolu přikládám výňatek z dokumentace rozváděče jako přílohu č. 2. Napájení PLC zajišťuje zdroj integrovaný v tomto systému. Laboratorní simulátor obsahuje vlastní interní zdroj 24V DC, svorky tohoto zdroje jsou vyvedeny na levém boku simulátoru a zde se na ně napojuje napájení ethernetového switche. Komunikační prvky sítě EtherNet/IP se propojují se switchem UTP kabelem (Unshielded Twisted Pair), jedná se o osmižilový kabel skládající se ze čtyřech kroucených párů vodičů.

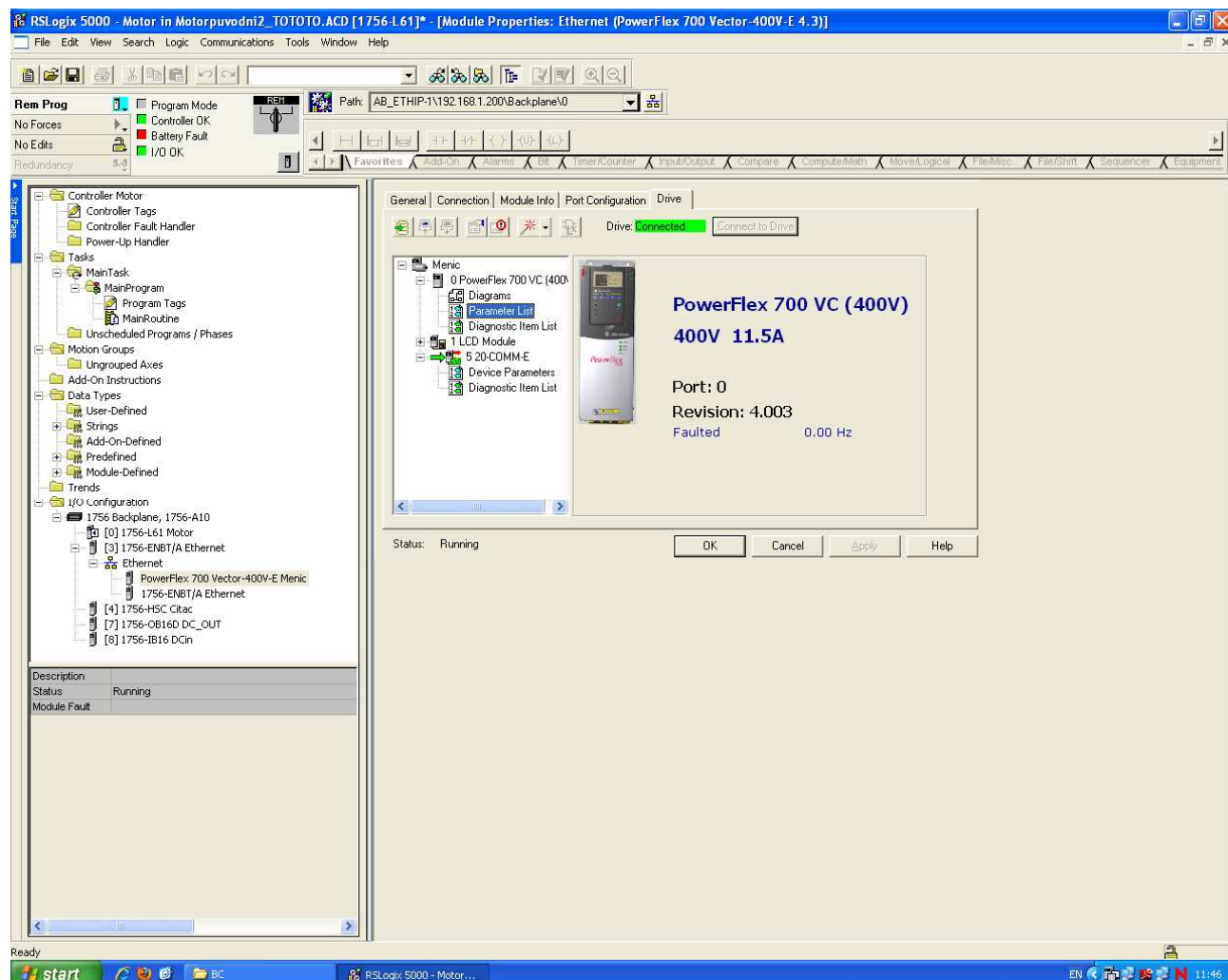
4.2.1 Prostředí RSLogix 5000

Veškeré konfigurace nebo programování at' už PLC nebo frekvenčního měniče se provádí v Prostředí RSLogix 5000. Vzhled a rozmístění jednotlivých oken zobrazuje obrázek č. 4.3. Jak můžeme vidět na obrázku č. 4.3, v levém horním rohu nás program informuje o stavu PLC a o druhu připojení, kterým je program připojen. První položka *Program Mode* indikuje stav připojení programu a PLC uživatel si může vybrat z nabídky *Offline*, *Online Program Mode*, *Online Run Mode* nebo *Online test Mode*. V režimu *Offline* pracuje program a PLC nezávisle na sobě. V režimech *Online* se program připojí k PLC a sleduje jeho proměnné. Pokud chceme sledovat PLC při běhu programu, musíme zvolit možnost *Online Run Mode*, jinak se program v PLC nevykonává. Následující položky *Controler OK*, *Battery Fault* a *I/O OK* informují uživatele o stavu PLC, baterie a vzdálených I/O modulů.

Na levé straně se nachází okno se stromem složek reprezentující jednotlivé položky potřebné ke konfiguraci nebo programování připojených zařízení. Z této nabídky vybereme pouze ty nejpoužívanější, které vám nyní představím. První z nich je položka *I/O Configuration*, pomocí níž se PLC konfiguruje a připojují se k němu jednotlivá zařízení. Pod druhou položkou *Task/MainTask/MainProgram* se skrývá záložka *MainRoutime*, do které se zapisuje uživatelský program v reléovém schématu (LD). Pro vytvoření vlastních proměnných, konfiguraci čítačů, časovačů a pojmenovávání již existujících proměnných popř. I/O kontaktů (tzv. vytváření aliasů) slouží položka *Controler Tags* ve složce *Controller Motor*.

Poslední okno tohoto programu, o kterém se zde zmíním, se nachází ve zbylé části celého prostředí, jedná se o největší okno, které se mění podle aktuální položky ve stromu zmiňovaném v předchozím odstavci. Pokud ze stromu vlevo vybereme položku *I/O Configuration* a následně vybereme nějakou kartu nebo zařízení, objeví se v tomto okně informace o vybraném objektu a možnosti jeho konfigurace. Na obrázku 4.3 vidíme okno při výběru položky s frekvenčním měničem. Při výběru položky *Task/MainTask/MainProgram/MainRoutime* se zobrazí prostředí pro vkládání bloků, ze kterých se vytváří uživatelský program. Pro položku *Controler Tags* ve složce *Controller Motor* se zobrazí tabulka, ve které se nachází výpis všech proměnných, které byly vytvořeny uživatelem nebo se vytvořily při nakonfigurování

zařízení. Uživatel si zde může jednotlivé položky pojmenovat nebo přidávat vlastní proměnné.



Obrázek č. 4.3 Prostředí RSLogix 5000

4.2.2 Konfigurace automatu

Po seznámení s prostředím RSLogix 5000 následovala konfigurace automatu a frekvenčního měniče. Před začátkem konfigurace je nutné se připojit k požadované komunikační kartě. Protože se v laboratoři nachází více PLC a všechny jsou připojeny do jedné sítě, musíme si zjistit IP adresu naší komunikační karty. Adresa komunikační karty se zobrazuje na jejím displeji. Připojení se provádí vybráním položky *Who Active* z nabídky Communications, zobrazí se okno, ve kterém

vybereme síť, v našem případě Ethernet/IP a zvolíme komunikační kartu, jejíž IP odpovídá naší požadované kartě a potvrdíme. Konfigurace, jak již jsem naznačil v předchozí kapitole, se provádí v okně, které se otevře po kliknutí na položku *I/O Configuration*. Ve 3. kapitole, která popisuje naše PLC, se dočteme o konfiguraci a to zejména o možnosti libovolného počtu procesorů v jedné šasi, proto jako první musíme nakonfigurovat procesor a později k němu můžeme zkonfigurovat potřebné karty a zařízení. Při konfiguraci budeme potřebovat přesný typ a revizi konfigurovaného zařízení. Tyto údaje se nachází na štítku každé karty, a nebo je lze zjistit pomocí programu RSLinx, který se nachází na používaném PC. Jako první tedy nakonfigurujeme procesor, kliknutím pravým tlačítkem na položku s označením *1756 Backplane* (ve složce *I/O Configuration*) se zobrazí nabídka, ze které vybereme *New Modul* a v zobrazeném okně vyplníme požadované údaje, hlavně přesný typ a revizi. Po potvrzení se nám procesor zařadí pod naší šasi. Podobným způsobem nakonfigurujeme i ostatní moduly. V naší aplikaci využijeme pouze logické vstupy a výstupy, kartu s rychlým čítačem a samozřejmě frekvenční měnič, ostatní moduly není nutné konfigurovat.

4.2.1 Konfigurace frekvenčního měniče

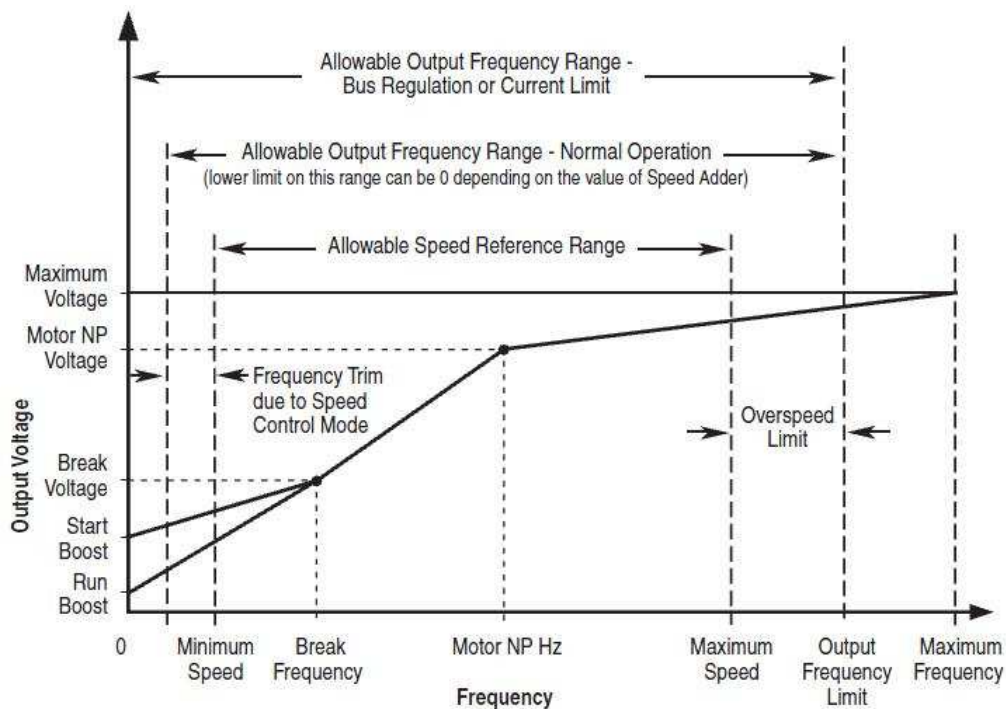
Pro nakonfigurování komunikace mezi frekvenčním měničem a PLC je zapotřebí nastavit ethernetovou kartu ve frekvenčním měniči. Pokud se podařilo navázat spojení, konfiguraci můžeme provést přímo z prostředí RSLogix 5000, pokud ke spojení nedojde, musíme kartu nakonfigurovat přímo na frekvenčním měniči pomocí displeje a klávesnice. Mezi nejdůležitější parametry patří číslo DPI portu (port, na kterém je karta v měniči připojena), rychlost komunikace, IP adresa, maska sítě a výchozí brána, úplný výpis parametrů síťové karty ve frekvenčním měniči přikládám jako přílohu č. 3. Po nastavení jmenovaných parametrů se můžeme přesunout ke konfiguraci samotného frekvenčního měniče. Parametry frekvenčního měniče lze samozřejmě také nastavovat přímo na měniči, ale vzhledem k tomu, že měnič je již připojen, budeme z důvodu přehlednosti konfigurovat měnič pomocí prostředí RSLogix 5000. Jak můžeme vidět na obrázku č. 4.3, pro nakonfigurování měniče musíme nejprve otevřít jeho konfigurační menu (*I/O Configuration / 1756-*

ENBT A / Ethernet / PowerFlex 700 Vector-400V-E), v zobrazeném okně vidíme jednotlivé části měniče. Vlastní měnič, LCD modul, komunikační kartu, zde můžeme konfigurovat zmíněná zařízení. Vybereme položku *PowerFlex 700 Vector-400V-E/Parametr List*, nyní se nám otevře okno s tabulkou, ve které se nachází jednotlivé parametry měniče. Měnit můžeme pouze parametry určené pro zápis, parametry určené pouze ke čtení nelze měnit. Jako první se zde nachází parametry oznamující stav měniče např. výstupní frekvence, proud nebo napětí, napětí v meziobvodu a podobně. Následují parametry, které zadává uživatel podle připojeného motoru (typ motoru, jmenovitý výkon, proud, napětí a frekvence apod.), tyto parametry jsem nastavil podle štítkových údajů motoru. Ostatní parametry nastavují další chování měniče. Uvedu zde pouze nejvýznamnější parametry, které bylo nutné nastavit pro požadovanou úlohu.:

53. Motoru Cntl Sel	Sensrsls Vect – nastavuje způsob řízení motoru bez zpětné vazby
54. Maximum Voltage	400.0 – maximální výstupní napětí
55. Maximum Freq	75 – maximální výstupní frekvence
80. Feedback Select	Slip Comp – nastavuje kompenzaci skluzu
81. a 82. Max/Min Sped	0.0/55.0 – nastavuje rozsah frekvence pro řízení
83. Overspeed Limit	15.0 – maximální přírůstek nad <i>Maximum Speed</i> pro kompenzaci skluzu
88. Speed/Torque Mod	Speed Reg – motor bude pracovat jako regulátor rychlosti
90. Speed Ref A Sel	DPI Port 5 – nastavuje jako referenci rychlosti hodnotu z komunikační karty
155. Stop/Brk Mode A	Ramp – 1. způsob brzdění motoru nastaven jako rampa
156. Stop/Brk Mode B	DC Brake – 2. způsob brzdění motoru nastaven jako stejnosměrné brzdění
158. DC Brake Level	11.5 – max. brzdící proud 11,5A
158. DC Brake Time	0.5 – doba DC brzdění 0,5s

Úplný výpis parametrů přikládám jako přílohu č. 4.

Parametry 55, 81, 82 a 83 je nutno volit tak, aby splňovaly podmínku *Maximum Speed + Overspeed Limit < Maximum Freq* vyplývající z obrázku č. 4.4.



Obrázek č. 4.4 Nastavení rychlosti měniče[10]

4.2.2 Oživení měniče

Po nastavení všech potřebných parametrů měniče přichází na řadu jeho první vyzkoušení v kombinaci s motorem. Při nakonfigurování měniče v PLC se v proměnných automatu vytvořila struktura, pomocí které se měnič ovládá a struktura prostřednictvím které měnič hlásí svůj stav. Řídicí struktura obsahuje následující příkazy start, stop, korkování, mazání chyb, nastavení reference rychlosti, výběr rampy měniče apod. Řídicí strukturu popisuje obrázek č. 4.5. Struktura pro hlášení stavů měniče se nachází na obrázku č. 4.6. Z této struktury může uživatel vyčíst, jestli je měnič v chodu, čeká-li na příkaz a nebo která rampa a reference rychlosti je právě aktivní. Pro zadávání příkazů měniče a sledování jeho hlášení není nutné, aby se PLC nacházelo v režimu *Online Run mode*, ale postačí režim *Online Program mode*. V programovacím režimu můžeme pomocí PC nastavovat hodnoty jednotlivých proměnných a to pro odzkoušení funkčnosti měniče postačuje. V řídicí

strukturu tedy nastavíme všechny potřebné parametry jako například směr otáčení, rampy a referenci rychlosti. A nyní už stačí jen nastavit bit Start do logické jedničky. Ihned po potvrzení se motor začne rozbíhat se zvolenou rampou. V této souvislosti upozorňuji na poznámku v manuálu [10], která popisuje okolnosti, za kterých ke spuštění motoru nedojde, a to: za prve pokud jsou digitální vstupy nastaveny na dvouvodičové řízení nebo na výběr přednastavené rychlosti 1, 2 nebo 3. A za druhé každému příkazu start musí předcházet příkaz stop.

Logické bity															Příkaz	Popis	
15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1			0
															X	Stop ⁽¹⁾	0 = Not Stop 1 = Stop
															X	Start ⁽¹⁾⁽²⁾	0 = Not Start 1 = Start
														X		Jog	0 = Not Jog 1 = Jog
												X				Clear Faults	0 = Not Clear Faults 1 = Clear Faults
									X	X						Direction	00 = Not Command 01 = Forward Command 10 = Reverse Command 11 = Hold Present Direction
									X							Local Control	0 = No Local Control 1 = Local Control
								X								MOP Increment	0 = Not Increment 1 = Increment
						X	X									Accel Rate	00 = No Command 01 = Accel Time 1 10 = Accel Time 2 11 = Use Present Time
			X	X												Decel Rate	00 = No Command 01 = Decel Time 1 10 = Decel Time 2 11 = Use Present Time
	X	X	X													Reference Select ⁽³⁾	000 = No Command 001 = Ref.1(Ref A Select) 010 = Ref.2(Ref B Select) 011 = Ref.3(Preset3) 100 = Ref.4(Preset4) 101 = Ref.5(Preset5) 110 = Ref.6(Preset6) 111 = Ref.7(Preset7)
X																MOP Decrement	0 = Not Decrement 1 = Dekrement

Obrázek č. 4.5 Řídicí struktura [10]

Výběr reference rychlosti jsme již nastínili v předchozím odstavci, pro referenci rychlosti z PLC se v řídicí struktuře nachází proměnná typu intiger, jejíž hodnota lze měnit v rozsahu $\pm 24\ 000$. Pro orientační převod této hodnoty na hodnotu otáček lze

použít přednastavené hodnoty reference rychlosti a porovnáním tak zjistit přibližnou hodnotu koeficientu pro převod. Pro přesnou hodnotu koeficientu převodu bylo nutné přesné zjištění otáček motoru.

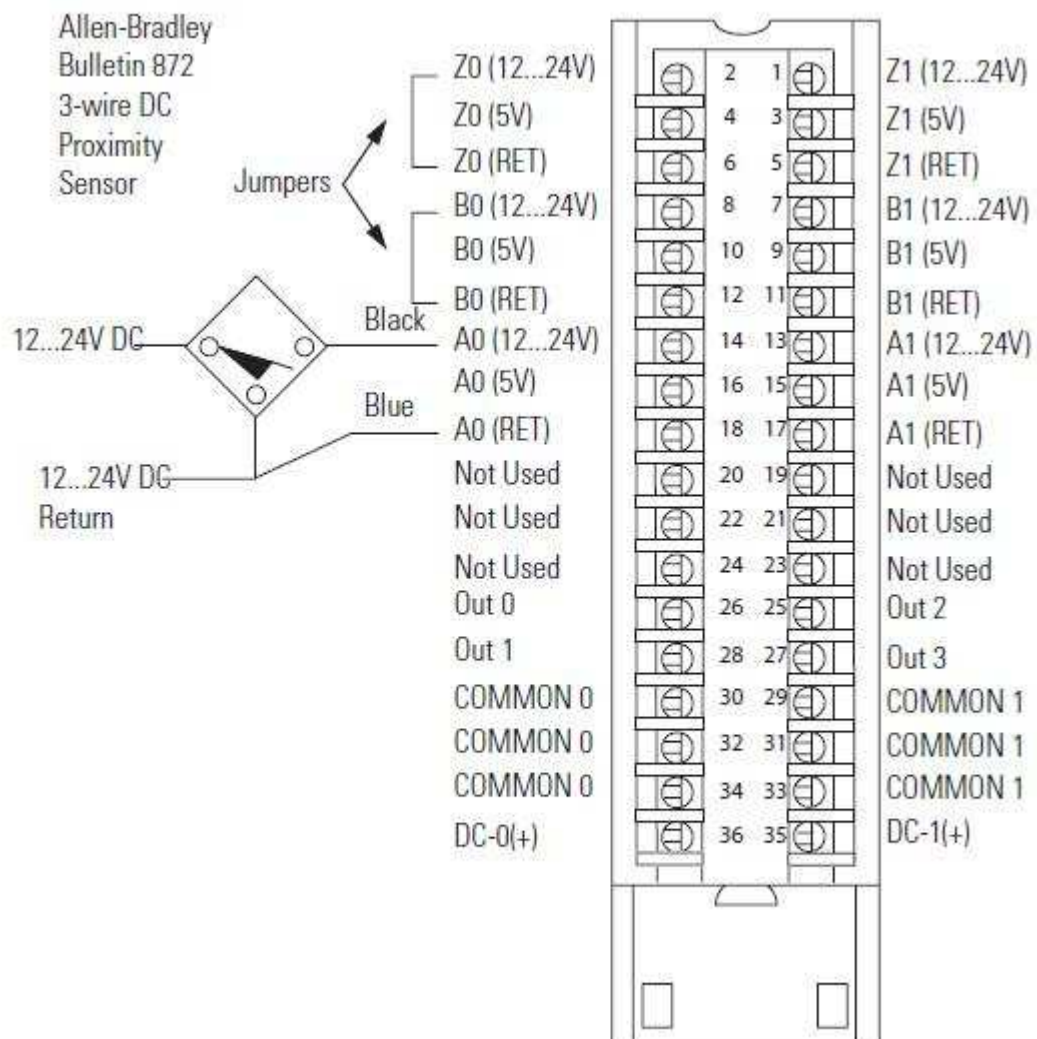
Logické bity																Příkaz	Popis
15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0		
															X	Ready	0 = Not Ready 1 = Ready
															X	Active	0 = Not Active 1 = Active
													X			Command Direction	0 = Reverse 1 = Forward
												X				Actual Direction	0 = Reverse 1 = Forward
											X					Accel	0 = Not Accelerating 1 = Accelerating
										X						Decel	0 = Not Decelerating 1 = Decelerating
									X							Alarm	0 = No Alarm 1 = Alarm
								X								Fault	0 = No Fault 1 = Fault
							X									At Speed	0 = Not At Reference 1 = At Reference
				X	X	X										Local Control ⁽¹⁾	000 = Port 0 (TB) 001 = Port 1 010 = Port 2 011 = Port 3 100 = Port 4 101 = Port 5 110 = Reserved 111 = No Local
X	X	X	X													Reference Source	0000 = Ref A Auto 0001 = Ref B Auto 0010 = Preset 2 Auto 0011 = Preset 3 Auto 0100 = Preset 4 Auto 0101 = Preset 5 Auto 0110 = Preset 6 Auto 0111 = Preset 7 Auto 1000 = Term Blk Manual 1001 = DPI 1 Manual 1010 = DPI 2 Manual 1011 = DPI 3 Manual 1100 = DPI 4 Manual 1101 = DPI 5 Manual 1110 = Reserved 1111 = Jog Ref

Obrázek č. 4.6 Struktura hlášení stavů [10]

4.2.3 Připojení indukčního inkrementálního snímače

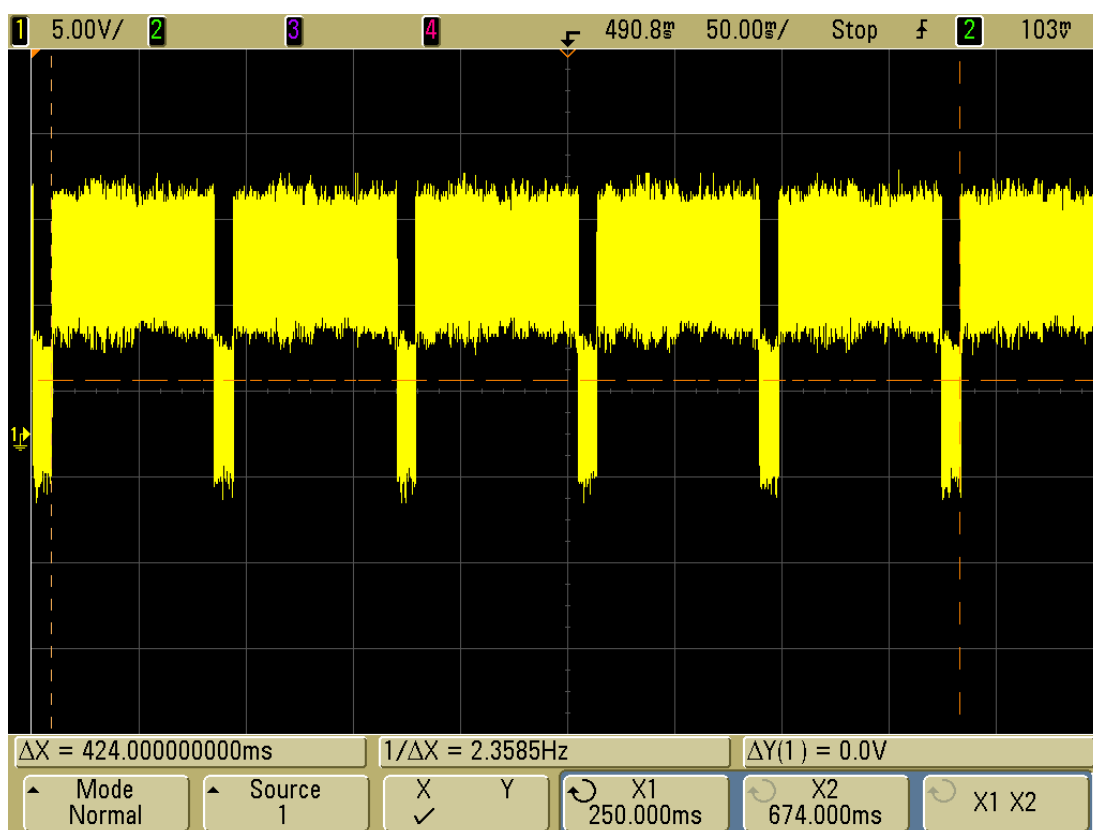
Pro zjištění skutečné hodnoty otáček a zpětnou vazbu od motoru se v naší aplikaci využívá vyvrtaných otvorů v setrvačnicku (obrázek č. 4.1) a indukčního inkrementálního snímače upevněného tak aby tyto otvory zaznamenával. Snímač se

napájí ze svorkovnice pro připojení enkodéru na frekvenčním měnič (tabulka č. 3.1). Napřed jsem snímač zapojil jako zpětnou vazbu pro frekvenční měnič, nastavil parametr č. 413 Encoder PRR (počet inkrementů na otáčku) na hodnotu 3, parametr č. 80 Feedback Select na Encoder a parametr č. 412 Motor Fdbk Type (typ zpětné vazby) na Single Chan. Nyní po zavedení a nastavení zpětné vazby do měniče jsem nechal proběhnout identifikační běhy, aby si měnič mohl upřesnit matematický model motoru pro jeho další činnost. Při pokusech o řízení rychlosti se zpětnou vazbou se v nižších otáčkách motor neotáčel plynule ale trhaně. Ke škrubání v motoru docházelo vlivem nedostatečného počtu inkrementů na otáčku rotoru.



Obrázek č. 4.6 Zapojení inkrementálního snímače otáček do HSC [13]

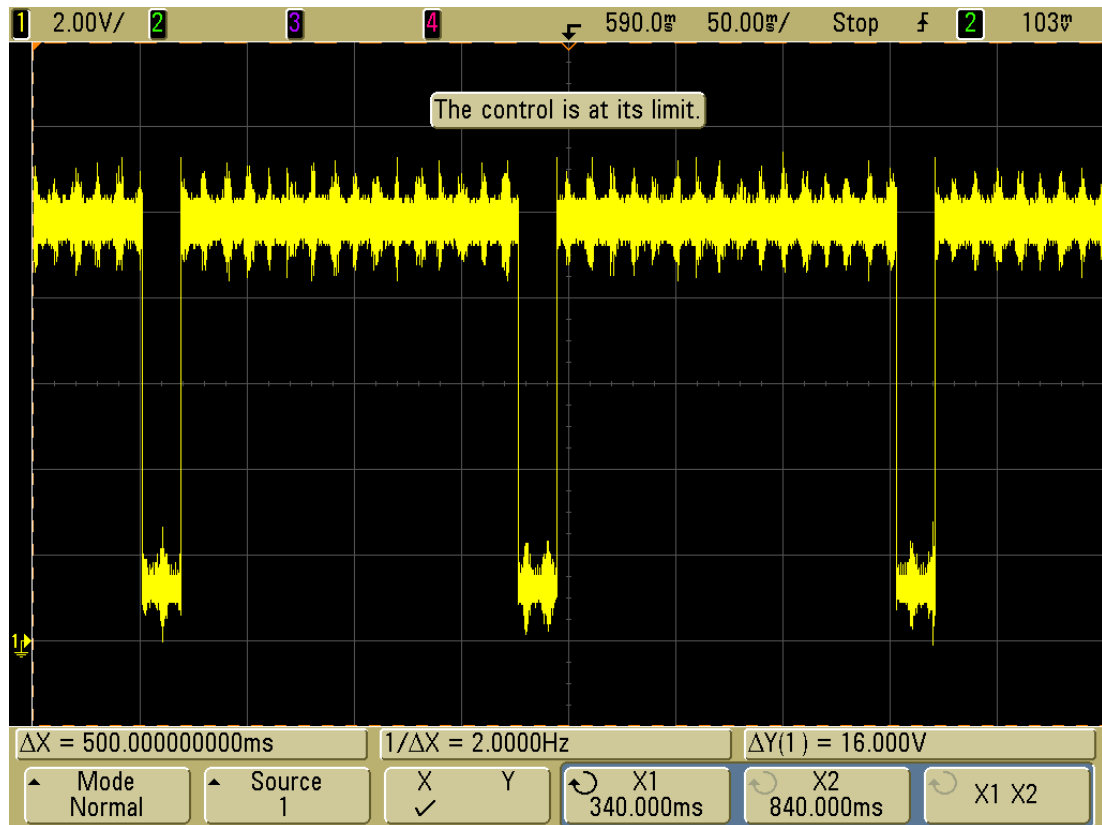
Pro účely polohování se zpětná vazba zavedla do PLC, přesněji do modulu rychlého čítače (obrázek č. 4.6 a příloha č. 2) a čítač byl nastaven na čítání impulzů. Protože signál ze snímače byl vlivem rušení od motoru a zvlněním napájecího napětí z měniče značně zarušen, (jak vidíme na obrázku č. 4.7) čítač nedokázal rozpoznat impulzy od rušení, a proto bylo nutné tento problém vyřešit. Jedna z možností, která částečně omezila rušení signálu ze snímače, spočívala v použití laboratorního zdroje pro napájení tohoto snímače. Druhá možnost byla přidání feritových jader na začátek a konec vedení signálu. Další využitá možnost, kterou nabízela přímo čítačová karta, byla zapnutí číslicového filtru na vstupu čítače.



Obrázek č. 4.7 Zarušení signálu při běhu motoru

Protože největší rušení pocházelo z šumu, který se nacházel na kostře přípravku s motorem snímač jsem odizoloval od kostry přípravku. Obrázek č. 4.7 a 4.8 znázorňuje rozdíl v zarušení signálu při běhu a volném doběhu motoru. Opatření s laboratorním zdrojem nepřinášelo žádné velké zlepšení a navíc bylo nevhodné pro použití v průmyslu, rozhodl jsem se toto opatření nepoužívat. S využitím ostatních

dvou již zmiňovaných opatření se čítači dařilo rozpoznávat impulzy v rozmezí otáček 0 až 10Hz. Pro naše účely tento rozsah výstupní frekvence postačuje.



Obrázek č. 4.8 Zarušení signálu při volném doběhu motoru

(Přesný tvar a parametry impulzů najdeme na obrázcích na přiloženém CD.)

Pro zjištění koeficientu převodu mezi hodnotou výstupní frekvence a hodnoty reference v PLC využijeme osciloskop připojený k výstupu ze snímače (obrázek č. 4.7). Vycházíme z hodnoty výstupní frekvence zobrazené ve struktuře pro zpětné hlášení měniče při nastavení reference na přednastavenou hodnotu 50Hz. Zjištěné číslo 21845 považujeme za hodnotu reference odpovídající hodnotě výstupní frekvence 50Hz a z této hodnoty si vypočítáme hodnoty pro 10, 20, 30, a 40Hz. Postupně nastavujeme jednotlivé hodnoty reference a odečítáme na osciloskopu dobu pěti period výstupního signálu. Po vydělení této hodnoty pěti dostáváme jednu periodu výstupního signálu, ze které vypočítáme převrácenou hodnotu a dostaneme výstupní frekvenci signálu ze snímače. Díky vhodně zvolenému počtu tří inkrementů

na otáčku se za předpokladu kompenzace skluzu výstupní frekvence signálu snímače rovná požadované referenční frekvenci. Tento fakt vychází z rovnice č. 2.3. Nyní tedy známe poměr požadované frekvence na vstupu motoru a hodnoty reference v PLC jde o 437Hz^{-1} . Vzhledem k tomu, že měnič pracuje v režimu regulátoru rychlosti, provedl jsem měření přesnosti této regulace. Hodnoty byly naměřeny pomocí osciloskopu, na jehož vstup byl připojen výstup z inkrementálního snímače otáček, pro větší přesnost byly vždy odečteny hodnoty pěti period a hodnota podělena pěti. Ze získané hodnoty jedné periody byly vypočítány hodnoty frekvence a chyby. V tabulce č. 4.1 vidíme výsledky měření přesnosti regulace otáček bez zpětné vazby při nastavení měniče, které bylo uvedeno v kapitole 4.2.1.

Reference rychlosti		5T [ms]	T [s]	f [Hz]	Δ[%]
ot/min	hodnota v automatu				
200	4369	511	0,1022	9,784736	2,152642
400	8738	251	0,0502	19,92032	0,398406
600	13107	166,7	0,03334	29,994	0,019996
800	17476	125,3	0,02506	39,90423	0,239425
1000	21845	100	0,02	50	0

Tabulka č. 4.1 Měření regulace rychlosti

4.3 POPIS VYTVOŘENÉHO ŘÍDICÍHO PROGRAMU

Vytvořený program pro ovládání vrtací linky slouží jako jedno z možných řešení laboratorní úlohy, svým rozsahem a možnostmi není vodný pro opravdové řízení procesu v průmyslu. Proces vyvrtávání otvorů do nosníků lze jednoduše sekvenčně popsat, a proto se program chová podobně jako stavový automat, jehož momentální stav je vyjádřen hodnotou vždy jen jednoho ze stavových bitu. Vzhledem k jednoduchosti programu a časté práci s bitovými proměnnými se programovací jazyk LD (Ladder Diagram) zdá být vhodnou volbou z důvodů své přehlednosti, jednoduchosti a intuitivnímu programování.

Ihned po zapnutí napájení provede program inicializaci. Inicializace zajistí skok programu do prvního kroku, vynulování čítače pro načítání impulzů z inkrementálního snímače otáček motoru, nastavení všech pohyblivých částí linky

do výchozích pozic, správné nastavení všech akčních členů a v neposlední řadě i inicializace měniče a případné zastavení motoru. Pro výchozí stav linky musí být ventil hydraulických držáků V1 zavřen a ventil V2 otevřen, musí být zastavena rotace vrtáku (kontakt K1 v log 0), uzavřen ventil V3 pro vstřikování emulze a vertikální posuv vrtací hlavy zastaven.

Pokud snímač S7 nehlásí nedostatek chladící emulze, může být linka spuštěna příchodem nosníku na začátek dopravního pásu (snímač S1). V případě příchodu nosníku a aktivaci linky se rozběhne motor dopravního pásu a unáší nosník směrem k vrtací hlavě. Tento stav trvá do doby, kdy snímač S2 ohlásí polohu nosníku, která se nachází 45 inkrementů snímače S6 (inkrementální snímač otáček motoru) od požadované polohy nosníku pro vyvrtání první díry. V tomto okamžiku se vyresetuje rychlý čítač čítající impulzy ze snímače S6 a zároveň se nastaví proměnné regulátoru dojezdu motoru ($SET = 45$, $AKT = 0$).

Regulace dojezdu na polohu se provádí pouze P složkou. Jde tedy pouze o proporcionální regulátor se zavedenou saturací. Horní hranici akčního zásahu omezuje maximální rychlost otáčení motoru, při které je schopen čítač ještě rozpoznat načítané impulzy od šumu. Dolní hranice rychlosti se určí podle minimální rychlosti, při které je měnič schopen motorem ještě točit. Zesílení regulátoru se volí tak, aby se motor mezi předposledním a posledním inkrementem točil již tak pomalu, že je možno ho zastavit s námi požadovanou přesností. Regulátor se do řízení implementuje následovně. Zavedeme si proměnné AKT (aktuální počet inkrementů), SET (požadovaný počet inkrementů) a REG_E (regulační odchylka). V každém průběhu programu aktualizujeme proměnnou AKT a následně si vypočítáme regulační odchylku (REG_E), tuto odchylku vynásobíme vhodným zesílením regulátoru a výslednou hodnotu prohlásíme za požadovanou rychlost v tomto kroku. V okamžiku kdy se proměnné AKT a SET rovnají, motor se nachází na požadované poloze a protože se rychlost jeho otáčení rovná minimální hodnotě, se kterou se motor ještě točí, není problém jej ihned zastavit a pokračovat v dalším kroku.

V tomto kroku následuje část, kdy se musí nosník upnout, aby se při vrtání nehýbal. Fixace nosníku se provádí otevřením ventilu V1 a uzavřením ventilu V2.

Fixování nosníku trvá 5s. Po uplynutí této doby je již nosník fixován a připraven k vrtání.

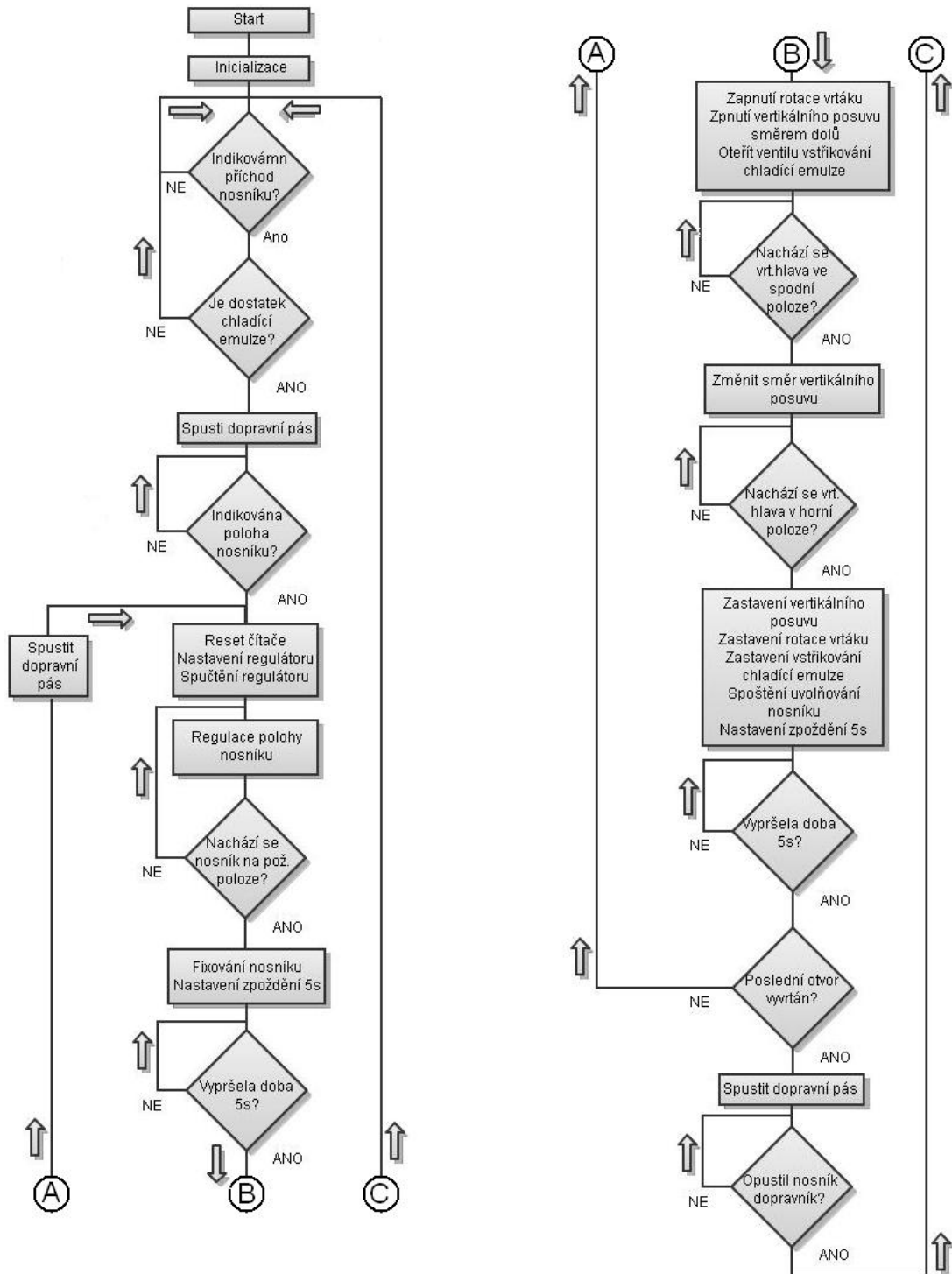
Vrtání vyžaduje následující postup: roztočení vrtací hlavy sepnutím kontaktu K1, nastavením kontaktů T1 (pro zapnutí vertikální posun) a T2 (pro směrem dolů) do logické jedničky, otevření ventilu V3 pro spuštění vstřikování chladící emulze. Nyní probíhá vrtání až do doby, kdy snímač S4 ohlásí dosažení spodní nastavené hodnoty. Jakmile se vrtací hlava nachází ve spodní poloze, obrátí se směr vertikálního posuvu a vrtací hlava začne stoupat vzhůru. Ve stoupání pokračuje, dokud nedosáhne horní výchozí polohy. Ve výchozí poloze se zastaví vertikální posuv vrtací hlavy ($T1=0$), rotace vrtáku ($K1=0$) a vstřikování chladící emulze ($V3=0$).

První otvor byl vyvrtán a následuje uvolňování nosníku, které se provádí otevřením ventilu V2 a uzavřením ventilu V1. Tato operace trvá opět 5s. Po vypršení této doby se inkrementuje čítač čítající počet vyvrtaných otvorů a následně se program na základě hodnoty čítače rozhodne, zda bude pokračovat ve vrtání dalších otvorů nebo dopraví nosník na následující výrobní linku. V případě vyvrtávání dalšího otvoru se program vrátí do kroku číslo 3, posune nosník o dalších 45 inkrementů snímače S6 a začne opět se sekvencí pro vrtání. Pokud již byl vyvrtán poslední otvor, program přechází do dalšího stavu, kdy je spuštěn motor a dopravník posouvá nosník k následující výrobní lince a zastaví se na hlášení od snímače S8, který ohlásí převzetí nosníku následující linkou.

V případě stisknutí tlačítka stop se linka vrátí do startovního stavu, tzn. zastaví dopravník, rotaci vrtáku ($K1=0$), vstřikování chladící emulze ($V3=0$), vysune vrtací hlavu do horní polohy ($T1=1$, $T2=0$) a zastaví vertikální posuv ($T1=0$) a rozsvítí se kontrolka porucha. Pokud se program nachází v tomto stavu, nelze provádět žádné operace ani jej spustit. Opětovné spuštění je možné, pouze pokud obsluha odstraní poruchu a smaže ji stiskem tlačítka start.

V případě ohlášení nízké hladiny chladící emulze program signalizuje tuto skutečnost (kontrolka chladící emulze) a dovolí dokončení vyvrtávání stávajícího nosníku. Ale zakáže spuštění linky pro následující nosníky až do doby kdy bude emulze doplněna. Vývojový diagram popsaného programu znázorňuje obrázek č. 4.9.

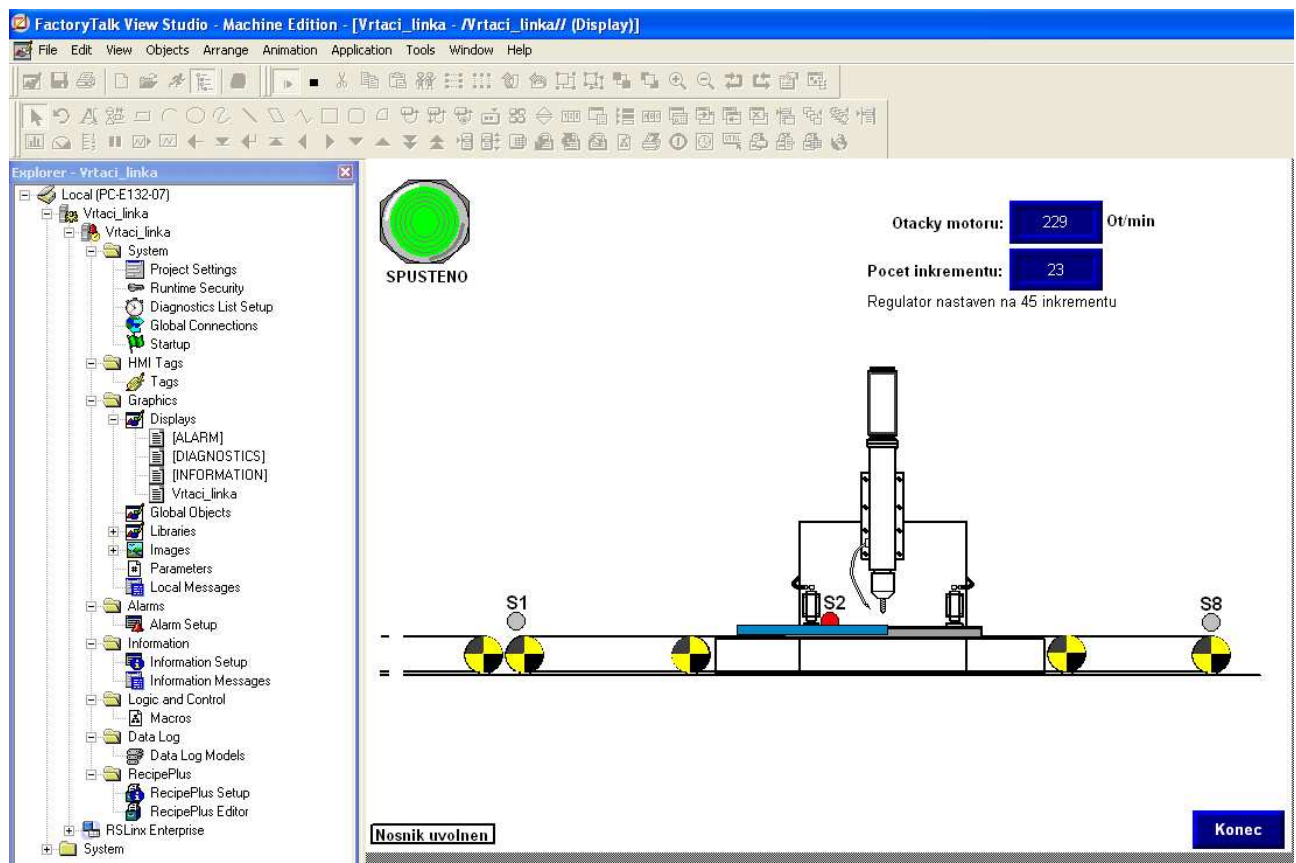
Výpis používaných proměnných a vytvořeného programu přikládám jako přílohu č. 5. Samotný program určený pro nahrání do PLC můžete nalézt na příloženém CD.



Obrázek č. 4.9 Vývojový diagram vytvořeného programu

4.4 POPIS VYTVOŘENÉ VIZUALIZACE PROCESU

Poslední praktický úkol mé bakalářské práce se týkal vizualizace procesu. Mým úkolem bylo vytvořit animovanou vizualizaci řízené úlohy. Vizualizace se v průmyslu používá pro shromáždění důležitých informací o procesu a jejich přehledné prezentaci na jednom místě. Operátor tak má k dispozici všechny potřebné údaje pohromadě. Vizualizace se v dnešní době používá nejen pro informativní účely, ale také pro interakci operátora s procesem například zadávání parametrů pomocí klávesnice nebo dotykového displeje.



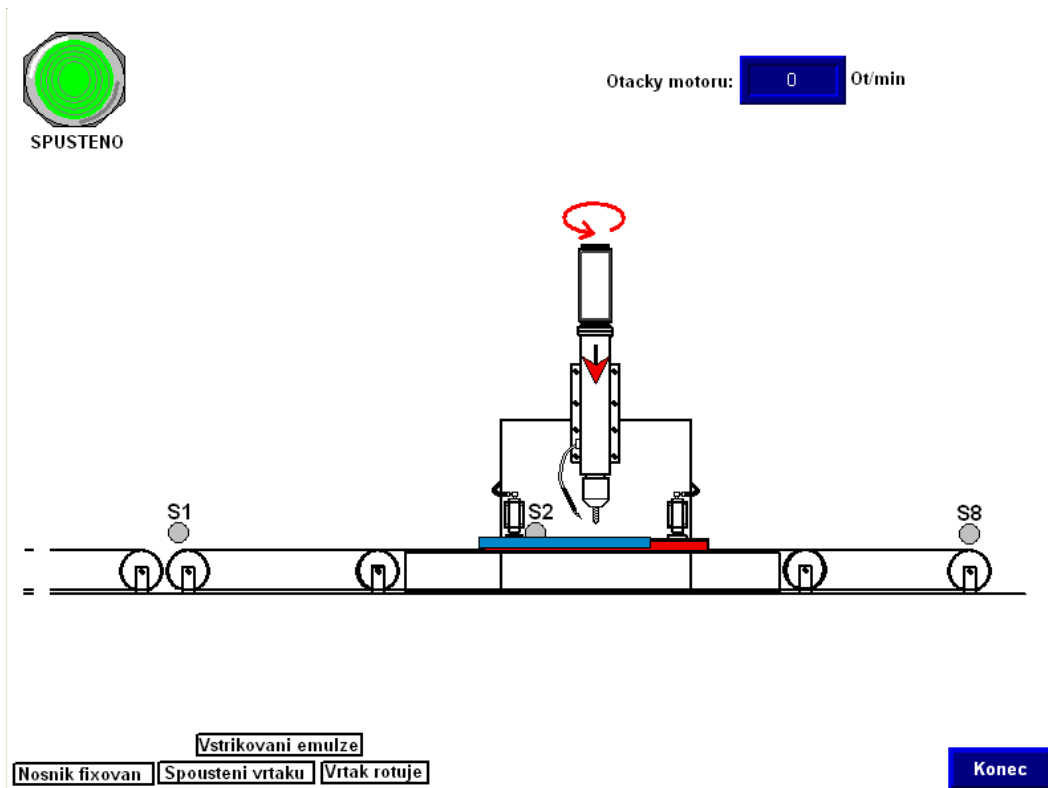
Obrázek č. 4.10 FactoryTalk View Studio

Pro vytvoření animované vizualizace nabízí firma Allen Bradley nástroj jménem FactoryTalk View Studio (obrázek č. 4.10). Pomocí tohoto nástroje můžeme vytvářet rozsáhlé vizualizace s mnoha možnostmi od jednoduché indikace stavů procesu přes vkládání vlastních obrázků až po složité animované objekty měnící svou polohu, barvu a další vlastnosti. Program používá podobné rozmístění oken jako již

zmiňovaný RSLinx 5000. V levé části najdeme okno se stromem jednotlivých komponent, tyto komponenty se umísťují na pracovní plochy zvané Displays.

Vytvořená vizualizace slouží pouze k informování operátora o stavu, ve kterém se proces nachází, není zde možnost žádného zadávání parametrů do procesu. Základem této vizualizace je vložený obrázek výrobní linky, na jehož dopravním pásu se pohybuje převážený nosník podle toho, kde se nachází a jestli stojí nebo je v pohybu. Pokud se dopravní pás pohybuje, lze jeho pohyb vidět také na rotujících kolech dopravního pásu. Dále se zde nachází tři nejdůležitější snímače S1, S2 a S8 pokud je některý snímač v procesu aktivní, ve vizualizaci se zbarví do červena, jinak zůstává šedý. Pro znázornění vertikálního posuvu se na pevné části vrtacího ústrojí zobrazují blikající šipky se směrem, ve kterém se posuv provádí. Rotace vrtací hlavy se znázorňuje jejím blikáním a blikající šipkou nad vrchní částí vrtacího ústrojí. Fixování nebo uvolňování nosníků se znázorňuje blikajícími hydraulickými válci. Po dobu fixace nosníku se hydraulické zařízení zbarví do červena, jinak zůstává šedé. Vstřikování chladicí emulze doprovází blikání vstřikovacího zařízení modrou barvou. Při běhu procesu svítí v levém horním rohu zelené kontrolní světlo s nápisem SPUSTENO, v případě poruchy zde svítí červené kontrolní světlo s nápisem PORUCHA. Pokud není zařízení spuštěno, nesvítí zde žádné světlo a nenachází se zde ani žádný nápis. V levém dolním rohu se podle stavu procesu objevují různá hlášení týkající se stavu fixování nosníku, vertikálního posuvu, rotace vrtáku a vstřikování chladicí emulze (obrázek č. 4.11). V pravé horní části můžeme vidět ukazatel aktuální rychlosti, kterou se motor otáčí a v případě regulace polohy (obrázek č. 4.9) i počet načtených inkrementů. Aby mohla být vizualizace nahrána do zobrazovací jednotky PanelView, musí obsahovat také tlačítko pro ukončení vizualizace, aby bylo možné v zobrazovací jednotce měnit programy.

Zobrazovací jednotky PanelView disponují kromě klávesnice s tlačítky také dotykovým displejem, a proto by se do budoucna mohla vizualizace rozšířit o zadávání parametrů do procesu. Získala by se tím větší flexibilita výrobní linky například možnost volby počtu otvorů v nosníku nebo vzdálenost jednotlivých otvorů od sebe.



Obrázek č. 4.11 Vizualizace vrtací linky

5. ZÁVĚR

V bakalářské práci jsem popsal základní princip činnosti asynchronního motoru, jeho chování při různých režimech chodu a okrajově se tato práce zabývá i brzděním pomocí asynchronního motoru.

V další části této práce jsem se zabýval problematikou řízení otáček asynchronního motoru. O ztrátových metodách řízení se zde jen zmiňuji a pokračuji na řízení pomocí frekvenčních měničů. Popisuji druhy vyráběných frekvenčních měničů s jejich vlastnostmi a použitím. Dále se má práce věnuje způsobům, jakými měnič daný motor řídí konkrétně řízení skalárním, vektorovému a přímému řízení momentu.

Třetí část tohoto dokumentu se zabývá popisem zařízení, které využívám k řízení simulované výrobní linky pro vyvrtávání otvorů do kovových nosníků. Začátek této kapitoly je věnován Programovatelnému automatu z řady ControlLogix, popisuji zde pouze část tohoto automatu, kterou využívám pro účely řízení výrobní linky. Druhá část této kapitoly popisuje průmyslovou síť EtherNet/IP. Popisuje, proč a jak vznikl standard Ethernetu, následně se věnuje popisu jeho protokolu, kompatibility s dalšími sítěmi a řešení reálné odezvy. Třetí část kapitoly se věnuje popisu frekvenčního měniče Powerflex 700. Uvádím zde, v jakých variantách se měnič vyrábí, popisuji jeho možnosti řízení, možnosti připojené řídicí kazety a připojení enkodéru. Poslední část kapitoly shrnuje parametry používaného asynchronního motoru.

Čtvrtá kapitola této práce se zabývá simulovanou laboratorní úlohou, jejím popisem, popisem řídicího programu a postupem, jakým byla simulace úlohy vytvořena. Součástí simulace laboratorní úlohy je i animovaná vizualizace celého procesu, která poskytuje souhrn nejdůležitějších informací o probíhajícímu procesu. Úloha vrtací linky byla navrhována s ohledem na její využití pro potřeby výuky a také řídicí program slouží jako jedna z možných variant vypracování laboratorní úlohy. Řídicí program se hodí pro výuku v laboratoři ovšem pro využití v průmyslu by byl nedostačující. Uvedu zde jen dva hlavní důvody, a to absenci ručního řízení a také řešení režimu stop.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] KOČMAN, S. 2000. Synchronní stroje. Ostrava: VŠB-TUP, Katedra obecné elektrotechniky, 2000, 10s. [online] [cit. 2009-05-12] Dostupný z www: URL: <http://fei.vsb.cz/kat452/Vsb.cz/elektrotechnika/sylaby/synchronni%20stroje.pdf>
- [2] SPŠSE a VOŠ, Liberec [online]. [cit. 2009-05-12]. Dostupné z: http://www.pslib.cz/pe/skola/studijni_materialy/motory/indukcni_motor/asynchr_motor_teorie.pdf
- [3] Skalický, J. Elektrické regulované pohony. Elektronické skriptum. Brno: FEKT VUT v Brně.
- [4] Rockwell Automation, Inc. [online]. [cit. 2010-25-05]. Dostupné z: <http://www.ab.com/en/epub/catalogs/12762/2181376/2416247/360807/>
- [5] ROH, M. Praha: České vysoké učení technické v Praze, Fakulta elektrotechnická, 2007. 110s. Vedoucí diplomové práce Ing. Jindich Fuka. [online]. [cit. 2010-25-05]. Dostupné z: http://dce.felk.cvut.cz/dolezilkovaldiplomky/2007/dp_2007_roh_michal/dp_2007_Roh_michal.pdf
- [6] Ing. Bořek Vích, ControlLogix – řídicí systém budoucnosti. *Automa*, r. 2000, č. 06 [online]. [cit. 2010-25-05]. Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=27740
- [7] prof. Ing. František Zezulka, CSc. Průmyslový ethernet. Elektronické skriptum. Brno: FEKT VUT v Brně.
- [8] Ferret. [online]. [cit. 2010-25-05]. Dostupné z: <http://www.ferret.com.au/c/Rockwell-Automation/Ac-drive-in-a-two-for-one-form-n706147>

[9] Rockwell Automation, Inc. [online]. [cit. 2010-25-05]. Dostupné z:

http://www.ab.com/drives/powerflex/him/images/20_HIM_A3.jpg

[10] ControlTech s. r. o. [online]. [cit. 2009-05-12]. Dostupné z:

<http://www.controltech.cz/data/pflex700.pdf>

[11] Rockwell Automation, Inc. [online]. [cit. 2010-25-05]. Dostupné z:

<http://www.ab.com/drives/powerflex/700/>

[12] VOŠ a SPŠE Plzeň [online]. [cit. 2010-25-05]. Dostupné z:

http://jonatan.spse.pilsedu.cz/~mazanec/opticke_ekodery.htm

[13] Rockwell Automation, Inc. [online]. [cit. 2010-25-05]. Dostupné z:

http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/1756-um007_en-p.pdf

[14] PLC Hardware. [online]. [cit. 2010-25-05]. Dostupné z:

<HTTP://WWW.PLCHARDWARE.COM/PRODUCTS/SPECIALOFFER/RA-1756-L61-B-UPP.ASPX>

SEZNAM ZKRATEK A SYMBOLŮ

TCP	Transmission Control Protocol	Spojově orientovaný protokol
IP	Internet Protocol	Internetový protokol
UDP	User Datagram Protocol	Datově orientovaný protokol
CIP	Common Industrial Protocol	Společný průmyslový protokol
PLC	Programmable Logic Controller	Programovatelný logický automat
I/O	Input/Output	Vstupy/Výstupy
PWM	Pulse Width Modulation	Pulzně šířková modulace

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha č. 1**.....Zadání laboratorní úlohy
Příloha č. 2.....Schéma zapojení frekvenčního měniče a motoru
Příloha č. 3.....Výpis parametrů síťové karty měniče
Příloha č. 4.....Výpis parametrů měniče
Příloha č. 5.....Výpis proměnných a řídicí program

SEZNAM PŘILOŽENÉHO CD

1. Bakalářská práce
2. Přílohy
3. Řídicí program
4. Vizualizace
5. Zdroje
6. Měření na osciloskopu