České vysoké učení technické v Praze

Fakulta elektrotechnická

Diplomová práce

2004

Jiří Novák

České vysoké učení technické v Praze - Fakulta elektrotechnická

Katedra řídicí techniky ***Školní rok:*** 2001/2002

Z A D Á N Í D I P L O M O V É P R Á C E

Student: Jiří N o v á k

Obor: Technická kybernetika

Název tématu: Model lineárního servomechanismu a jeho řízení

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í:

1. Podílejte se na přípravě úloh pro projektově orientovanou výuku řídicích systémů v laboratoři Allen-Bradley na ČVUT a přípravě kurzu řízení spojitých procesů pro pracovníky z praxe. Seznamte se s automaty PLC5, SLC500 a ControlLogix a softwarovým řešením SoftLogix.
2. Vytvořte model lineárního servomechanismu se dvěma osami a realizujte jeho řízení pomocí automatu ControlLogix s vizualizací pomocí RSView 32, případně zajistěte též ovládání pomocí RT Toolboxu Matlabu.
3. Zpracujte základní výukovou dokumentaci pro systém i v angličtině včetně webové prezentace. Podílejte se na zpracování české a anglické dokumentace k dalším úlohám a jejich prezentaci pomocí webu.

Seznam odborné literatury: Dodá vedoucí práce

Vedoucí diplomové práce: Ing. Jindřich Fuka

Datum zadání diplomové práce: listopad 2001

Termín odevzdání diplomové práce: leden 2003

L.S.

Doc. Ing. Jiří Bayer, CSc.
vedoucí katedry

Prof. Ing. Vladimír Kučera, DrSc.
děkan

V Praze dne 22. 3. 2002

Prohlášení o původnosti díla

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady (literaturu, SW) uvedené v přiloženém seznamu. Některé použité názvy v této práci mohou být registrovanými značkami.

Prohlášení o autorských právech

Prohlašuji, že tato práce je duchovním majetkem FEL ČVUT, Praha. Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne ……. ……

Jiří Novák

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce ing. Jindřichu Fukovi za cenné rady a pomoc, bez kterých by tato práce nemohla vzniknout. Můj dík patří také celé mé rodině, která mě při náročném studiu podporovala a povzbuzovala.

Téma

Model lineárního servomechanizmu a jeho řízení

Abstrakt

Hlavním tématem diplomové práce je konstrukce fyzického modelu lineárního servomechanizmu a jeho řízení. Jedná se o model soustruhu realizující kopírování povrchu již hotového obrobku. Poloha suportu je snímána dvojicí inkrementálních rotačních čidel, vzdálenost od obrobku měří dotekový indukční úchylkoměr. Řízení polohy suportu provádí programovatelný automat ControlLogix osazený modulem pro řízení pohybu dvou nezávislých os. Model umožňuje ruční ovládání a je možné jej prostřednictvím zásuvné karty připojit k osobnímu počítači. Druhá část prezentuje Kurz spojitého řízení, který je určen pro pracovníky z praxe a zaměřen na návrh a realizaci regulátorů pomocí programovatelného logického automatu.

Theme

The Model of the Linear Servomechanism and its Control

Abstract

The main goal of this master thesis is to design physical model of a linear servomechanism and its control. In practice, it is a model of the lathe, which can only copy surface of the finished workpiece. The position of the slide head is read from two incremental rotary sensors, the distance from the surface is measured by tactile inductive drift meter. The slide head movements are directed by ControlLogix programmable controller equipped with motion module. It is able to control the position of two independent axes. Manual control and personal computer connectivity is also available. The Continuous control course is presented in the second part of this thesis. It describes the design of regulators for technical stuff. The results of regulators setting are demonstrated on programmable logical controller.

Obsah

Obsah ... *1*

Seznam obrázků ... *3*

Seznam tabulek ... *4*

1 Úvod ... *5*

2 Rockwell Automation ... *7*

2.1 Programovatelné automaty Allen-Bradley ... **8**
2.1.1 PLC-5 ... 8
2.1.2 SLC 500 ... 9
2.1.3 ControlLogix ... 9
2.1.4 Rodina ControlLogix ... 10
2.1.4.1 FlexLogix ... 11
2.1.4.2 CompactLogix ... 11
2.1.4.3 DriveLogix ... 11
2.1.4.4 SoftLogix 5800 ... 11
2.1.4.5 ProcessLogix ... 11
2.1.5 Hardwarové možnosti systému ControlLogix ... 12

2.2 Programovací software ... **13**
2.2.1 RSLogix 5000 ... 13
2.2.2 RSLinx ... 14
2.2.3 RSView32 ... 14

3 Motion modul 1756-M02AE ... *16*

3.1 Popis modulu ... **16**

3.2 Přehled instrukcí pro ovládání pohonu ... **17**
3.2.1 Konfigurační instrukce ... 17
3.2.2 Instrukce pro správu událostí ... 17
3.2.3 Instrukce operací se skupinou os ... 17
3.2.4 Instrukce ovládající stav osy ... 19
3.2.5 Instrukce pro pohyb osy ... 20

3.3 Návod pro instrukce s pohybovým profilem ... **21**
3.3.1 Motion Axes Move ... 21
3.3.2 Motion Axes Gearing ... 21
3.3.3 Motion Axis Position Cam ... 22
3.3.3.1 Tvorba profilu ... 22
3.3.4 Motion Axis Time Cam ... 24
3.3.5 Motion Calculate Cam Profile ... 24

4 Model dvouosého lineárního servomechanizmu ... *25*

4.1 Technický popis ... **25**

4.2 Použité snímače ... **27**
4.2.1 Inkrementální rotační čidlo ... 27
4.2.2 Induktivní úchylkoměr ... 27
4.2.3 Tachodynamo ... 28

4.3 Realizace modelu ... **28**
4.3.1 Napájení ... 28
4.3.2 Elektronické obvody ... 29
4.3.2.1 Napájecí zdroj ... 29
4.3.2.2 Přizpůsobovací obvody ... 31
4.3.2.3 Řízení motorů ... 32

4.3.3 Sestavení ... 37

4.4 Způsoby řízení ... 38

4.4.1 Ruční řízení ... 39

4.4.2 Řízení z Matlabu ... 40

4.4.2.1 Karta MF 614 ... 40

4.4.3 Řízení z programovatelného automatu ... 40

4.4.3.1 Hardwarová konfigurace automatu ControlLogix ... 41

4.5 Závěr ... 42

5 Kurz spojitého řízení ... 43

5.1 Simulace soustavy ... 43

5.2 Popis simulačního programu ... 44

5.3 Popis PID instrukce ... 45

5.3.1 Nastavované parametry ... 46

5.3.2 Vstupy ... 47

5.3.3 Výstupy ... 48

5.3.4 Stavové bity ... 48

5.3.5 Řídicí blok ... 50

5.4 Přehled praktických metod návrhu regulátorů ... 51

5.4.1 Metoda pokusů a omylů ... 51

5.4.2 Ziegler-Nicholsovy metody ... 52

5.4.2.1 Otevřená smyčka ... 52

5.4.2.2 Uzavřená smyčka ... 52

5.4.3 Tříparametrový model ... 53

5.5 Porovnání metod ... 54

6 Prezentace laboratoře Allen-Bradley ... 56

7 Závěr ... 57

Seznam použitých zkratek ... 58

Seznam použitého softwaru ... 59

Seznam použité literatury ... 60

Obsah přiloženého CD ... 61

A Příloha 1 - Fotografie modelu ... 62

B Příloha 2 - Schémata, plošné spoje, osazení součástek ... 63

A.1 Napájecí zdroj ... 63

A.2 Přizpůsobovací obvody ... 65

A.3 Řízení motorů ... 68

A.4 Přepínač řízení ... 74

B Příloha 2 - Připojení signálů ... 74

B.1 Programovatelný automat ... 74

B.2 Osazení signálů konektoru pro Matlab ... 75

Seznam obrázků

Obr. 1.1 Rozdělení produktů Logix 10
Obr. 1.2 Příklad vizualizační obrazovky – odsunová linka 15
Obr. 2.1 Blokové schéma řízení pohybu ve dvou osách 16
Obr. 2.2 Obrazovka editoru profilu 23
Obr. 2.3 Ovlivnění profilu měřítkem 23
Obr. 3.1 Schéma modelu servomechanizmu 26
Obr. 3.2 Schéma zapojení zdrojů napětí 30
Obr. 3.3 Zapojení diferenciálních zesilovačů 31
Obr. 3.4 Signály z koncových spínačů 32
Obr. 3.5 Blokové schéma obvodu L6203 33
Obr. 3.6 Zapojení generátoru pily 34
Obr. 3.7 Blokové schéma řízení motoru vřetene 35
Obr. 3.8 Zapojení blokovacího obvodu pro podélný posuv 35
Obr. 3.9 Blokové schéma řízení motorů posuvu 36
Obr. 3.10 Zapojení obvodu L6203 – podélný posuv 36
Obr. 3.11 Schéma pracoviště s polohovacími přípravky 38
Obr. 3.12 Blokové schéma řízení modelu 39
Obr. 3.13 Ovládací panel 39
Obr. 3.14 Obsazení jednotlivých pozic 42
Obr. 4.1 Přechodová charakteristika spojitého systému 44
Obr. 4.2 Grafické znázornění průběhů. 45
Obr. 4.3 Nastavovací obrazovka. 46
Obr. 4.4 Definice parametrů přechodové charakteristiky 52
Obr. 4.5 Časové průběhy jednotlivých nastavení 55
Obr. 5.1 Ukázka webových stránek laboratoře 56
Obr. A.1 Schéma zapojení - napájecí zdroj 63
Obr. A.2 Plošný spoj – napájecí zdroj - strana spojů 64
Obr. A.3 Plošný spoj – napájecí zdroj – osazení součástek 64
Obr. A.4 Schéma zapojení - přizpůsobení signálů z koncových spínačů 65
Obr. A.5 Schéma zapojení - diferenciální zesilovače a ruční řízení 65
Obr. A.6 Plošný spoj - přizpůsobovací obvody - strana součástek 67
Obr. A.7 Plošný spoj přizpůsobovací obvody - strana spojů 67
Obr. A.8 Plošný spoj - přizpůsobovací obvody - osazení součástek 68
Obr. A.9 Schéma zapojení - generátor pily, komparátory řídicích napětí 68
Obr. A.10 Schéma zapojení - blokovací obvody 69
Obr. A.11 Schéma zapojení – výstupní část 69
Obr. A.12 Plošný spoj - řízení motorů – strana součástek 71
Obr. A.13 Plošný spoj - řízení motorů – strana spojů 72

Obr. A.14 Plošný spoj - řízení motorů – osazení součástek 73
Obr. A.15 Schéma - zapojení přepínače řízení 74

Seznam tabulek

Tab. 3.1 Přehled konfiguračních instrukcí 18
Tab. 3.2 Přehled instrukcí pro správu událostí 18
Tab. 3.3 Přehled instrukcí pro operace se skupinou os 19
Tab. 3.4 Přehled instrukcí řídicích stav osy 19
Tab. 3.5 Přehled instrukcí pro pohyb osy 20
Tab. 2.1 Technické parametry IRC 27
Tab. 2.2 Technické parametry úchylkoměru 28
Tab. 2.3 Parametry napájecího zdroje 29
Tab. 2.4 Kombinace řídicích vstupů obvodu L6203 33
Tab. 2.5 Technické informace o použitých digitálních modulech 41
Tab. 2.6 Technické informace o použitých analogových modulech 41
Tab. 2.7 Výpočet napájecího zdroje automatu 42
Tab. 3.1 Vypočtené koeficienty diskretizovaného modelu 44
Tab. 3.2 Řídicí blok instrukce PID 50
Tab. 3.3 Nastavení konstant podle Ziegler-Nicholsovy metody 53
Tab. 3.4 Různé výpočty konstant regulátorů z tříparametrového modelu 54
Tab. 3.5 Nastavení PID regulátoru různými metodami 54
Tab. A.1 Použité součástky – napájecí zdroj 63
Tab. A.2 Použité součástky – přizpůsobovací obvody 66
Tab. A.3 Použité součástky – řízení motorů 70
Tab. B.1 Připojení signálů k digitálním vstupům 74
Tab. B.2 Připojení signálů k analogovým kartám 75
Tab. B.3 Zapojení konektoru pro Matlab 75

1 Úvod

Hlavním cílem této diplomové práce bylo vytvoření fyzického modelu dvouosého lineárního servomechanizmu, který by bylo možné řídit programovatelným automatem. Práce byla zpracovávána v laboratoři Allen-Bradley na Katedře řídicí techniky, a proto byl za řídicí systém vybrán firemní automat podporující úlohy řízení pohybu – ControlLogix. Pro tento účel je vybaven speciálním modulem 1756-M02AE umožňujícím obsluhovat dvě nezávislé osy. Model servomechanizmu napodobuje chování obráběcího stroje – soustruhu. Na rozdíl od něj je každá osa suportu i vřeteno poháněny samostatnými motory, jejichž výkon je řízen pulzní šířkovou modulací. Konstrukce modelu i výkon motorů nedovolují provádět skutečné obrábění. Suport svým pohybem pouze kopíruje tvar již hotového obrobku. Informace o skutečné poloze suportu jsou získávány z dvojice inkrementálních rotačních čidel. Vzdálenost suportu od povrchu obrobku zjišťuje kontaktní induktivní snímač. Model je možné řídit programovatelným automatem a ručními zásahy z ovládacího panelu. Vyvedení důležitých signálů na vnější konektor dovoluje též připojení osobního počítače se speciální měřicí kartou.

Kapitola 2 seznamuje s programovatelnými automaty firmy Allen-Bradley. Důraz je kladen na automat ControlLogix, jeho vlastnosti a hardwarové možnosti. Stručně je představen programovací, komunikační a vizualizační software pro práci se zmíněným typem programovatelného automatu.

Kapitola 3 popisuje modul pro řízení servomechanizmů 1756-M02AE a jeho typické vlastnosti. Jsou zde vysvětleny instrukce použitelné pro řízení servomechanizmů. Podrobněji jsou vysvětleny instrukce umožňující synchronizovat vzájemný pohyb obou os.

V Kapitole 4 je popsána konstrukce modelu soustruhu včetně použitých snímačů a jejich vlastností. Následuje objasnění funkce pomocných elektronických obvodů nutných pro řízení modelu a jeho připojení k řídicímu systému. Poslední část popisuje možné způsoby řízení.

Kapitola 5 podává informace o „Kurzu spojitého řízení“ pro pracovníky z praxe. Ten byl vytvořen za účelem srozumitelného popsání základních metod použitelných pro praktický návrh regulátorů bez potřeby hlubokých znalostí z teorie řízení nebo matematiky. Srovnání jednotlivých nastavení je provedeno s využitím programovatelného automatu SLC 500, který simuluje chování regulované soustavy. Regulační zásah vypočítává standardní instrukce PID. Výsledné průběhy jsou přehledně graficky zpracovány.

Kapitola 6 informuje o provedených prezentacích laboratoře Allen-Bradley na mezinárodních konferencích a o webových stránkách, kde je možné získat různé informace.

V přílohách je umístěna fotografie realizovaného modelu a dále podklady pro výrobu desek plošných spojů – úplná schémata, obrazy stran plošných spojů a rozmístění součástek. Další část dokumentuje připojení signálů ke kartám programovatelného automatu a zapojení konektoru pro připojení k osobnímu počítači.

2 Rockwell Automation

Tato kapitola prezentuje koncern Rockwell Automation, jehož součástí je výrobce programovatelných automatů Allen-Bradley. Následují informace o jednotlivých, v současnosti dostupných, typech řídicích systémů s důrazem na automat ControlLogix použitý pro řízení servomechanizmu. Dále jsou podány základní informace o programovacím, vizualizačním a komunikačním softwaru.

Rockwell Automation [24] je americká firma, která svou činnost zaměřuje do oblasti průmyslové automatizace. Svého postavení dosáhla také díky fúzím s dalšími společnostmi, např. Allen-Bradley, Dodge, Reliance Electric a založení Rockwell Software. V současnosti vlastní společnost 50% podíl v Rockwell Scientific Company. Ta zahrnuje výzkumné laboratoře zaměstnávající okolo 400 pracovníků a spolupracují s více než 200 univerzitami, národními laboratořemi a výzkumnými organizacemi. To zajišťuje rychlý a efektivní přístup k nejnovějším technologiím. Hlavní části Rockwell Automation jsou:

- **Rockwell Automation Control Systems**

  Tato část organizovaná do tří divizí poskytuje komplexní řešení problémů řízení od pohonů a řídicích prvků až po globální řešení výroby.

  Allen-Bradley

  Společnost Allen-Bradley byla založena již v roce 1903 a mimo automatizačních prostředků byly v jejím výrobním programu i rádiová nebo navigační zařízení. Součástí koncernu se stala v roce 1985. Koncem 60. let přišla firma na trh s prvním programovatelným automatem. Ten měl vyřešit problémy s realizací, diagnostikou a opravou složitých reléových zapojení. Současné automaty dovolují využít matematické výpočty, řízení regulačních smyček, nebo podporu celé řady komunikačních linek atd. Ve výrobním programu firmy jsou dnes kromě programovatelných automatů snímače, motory a frekvenční měniče, panely operátora, komunikační moduly a zařízení pro podporu číslicového řízení (CNC).

Rockwell Software

Společnost Rockwell Software vyvíjí a testuje převážnou většinu softwaru koncernu Rockwell Automation. Jedná se hlavně o programovací, vizualizační, komunikační a informační software.

Global Manufacturing Solution

Společnost odpovídá za technickou podporu produktů, konzultace a školení pracovníků.

- **Rockwell Automation Power Systems**

  Část vyrábějící komponenty pro průmyslové aplikace s pohony. Prvním zástupcem je výrobce elektrických motorů a AC i DC měničů Reliance Electric. Druhým je výrobce převodovek, spojek a ložisek Dodge.

- **Rockwell FirstPoint Contact**

  Část mající na starost kontakt se zákazníkem. Jejích více než 2500 center po celém světě vyřídí přes 30 miliónů kontaktů denně.

2.1 Programovatelné automaty Allen-Bradley

V současné době se můžeme na trhu nejčastěji setkat s třemi hlavními řadami programovatelných automatů firmy Allen-Bradley [10]:

- PLC-5
- SLC 500
- ControlLogix

2.1.1 PLC-5

Modulární automat PLC-5 je vhodný jako nadřazená jednotka v distribuovaných řídicích systémech. Jeho procesorové jednotky jsou osazeny koprocesorem, který obsluhuje komunikace. Hlavním procesor tak zpracovává pouze program. Standardními komunikačními linkami jsou DataHighway+ (DH+) a Remote I/O (RIO). Některé typy mají k dispozici další komunikační linky - ControlNet nebo EtherNet/IP. Programování se provádí formou žebříčkového diagramu, strukturovaného textu nebo SFC (Sequentinal Function Chart).

2.1.2 SLC 500

Pro centralizované i distribuované řízení slouží modulární jednoprocesorový automat SLC 500. Starší typy procesorů mají standardně pouze komunikační kanál DH485. U novějších procesorů nalezneme sériové rozhraní RS-232 spolu s některou z dalších linek – DH485, DH+ nebo EtherNet. Pro podporu ostatních sítí je nutné použít komunikační modul. Nabídka vstupně/výstupních modulů je velmi široká. Kromě digitálních a analogových vstupů/výstupů jsou k dispozici speciální moduly pro přímé připojení termočlánků, řízení krokových motorů nebo modul rychlého čítače zpracovávající pulzy do frekvence 1 MHz.

Na stejném základě je k dispozici i pevná verze – MicroLogix. Jedná se o malý automat vhodný pro méně náročné aplikace nebo jako vzdálená podřízená stanice. U některých typů existuje možnost připojení rozšiřovacích modulů.

2.1.3 ControlLogix

Nejnovějším a nejvýkonnějším programovatelným automatem od firmy Allen-Bradley je ControlLogix. Poskytuje platformu pro řízení mnoha typů aplikací (sekvence, procesy, měniče, pohyb) případně jejich kombinací. Systém je modulární a dovoluje skoro neomezeně sdružovat více procesorů, vstupně/výstupních modulů a komunikačních sítí. Pro řízení, konfiguraci zařízení a shromažďování informací ve větších aplikací je možné využít architekturu NetLinx. Ta zahrnuje sítě DeviceNet, ControlNet a EtherNet/IP, které využívají společných komunikačních služeb. Novinkou je vnitřní sběrnice ControlBus pracující na principu producent/konzument. Jednotlivé moduly zde nejsou děleny na master (procesor) a slave (periferní jednotky), ale na producenty a konzumenty informací. Tím mají zajištěn rovnocenný a předem zaručený přístup na sběrnici. Výhodou je podstatné zrychlení komunikace, protože data ze sběrnici může najednou přijímat více zařízení současně.

Hlavním prvkem řídicího systému ControlLogix je procesor Logix5550. Ten obslouží až 128 000 logických I/O nebo 4 000 analogových I/O kanálů. Podporuje výpočet 32 nezávislých úloh, představujících „virtuální“ procesory s vlastními

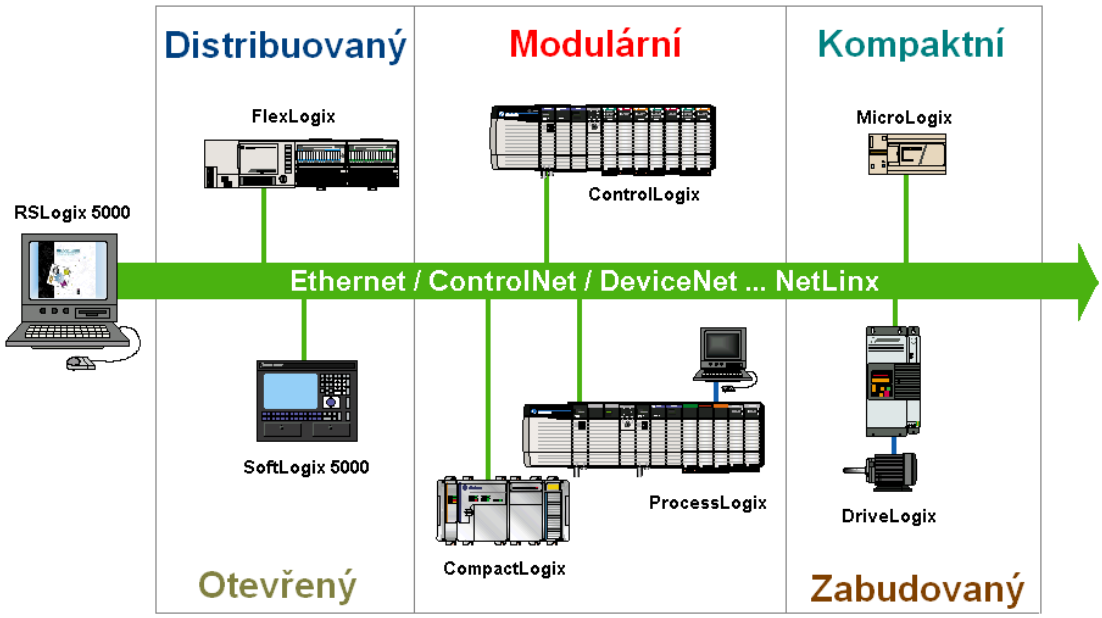
paměťovými oblastmi. Každá úloha se skládá z programů a podprogramů. Několik nadefinovaných hlavních programů může být spouštěno postupně, paralelně nebo při splnění předem definovaných podmínek. Procesory mají ještě další nezastupitelnou funkci - realizují softwarovou konfiguraci vstupně/výstupních modulů, tj. nahrávají konfigurační data.

2.1.4 Rodina ControlLogix

Vlastnosti procesoru ControlLogix jsou využity i v dalších řadách produktů:

- FlexLogix
- CompactLogix
- DriveLogix
- SoftLogix 5800
- ProcessLogix

Grafické rozdělení jednotlivých produktů do skupin a oblasti jejich využití jsou znázorněny na Obr. 2.1.



Obr. 2.1 Rozdělení produktů Logix

2.1.4.1 FlexLogix

Systém FlexLogix vznikl kombinací procesoru Logix a modulů vzdálených vstupů/výstupů Flex I/O. Tento systém je určen pro distribuované řízení menších technologických celků. Dovoluje přímé připojení až 8 modulů Flex I/O, dalších 8 modulů přes rozšiřující kabel a 16 modulů pomocí sítě ControlNet. Moduly Flex I/O nepracují na principu producent/konzument, a proto je tato funkce emulována procesorem.

2.1.4.2 CompactLogix

Systém CompactLogix je určen pro řízení lokálních aplikací nenáročných na komunikaci, například jednotlivých strojů. Procesor tohoto systému má omezen počet úloh na čtyři. Připojení k technologickému procesu je provedeno pomocí vstupů/výstupů řady Compact I/O, která je využívána programovatelnými automaty MicroLogix 1500. Pro potřeby komunikace je k dispozici pouze kanál RS-232.

2.1.4.3 DriveLogix

Systém DriveLogix je zabudovaný do frekvenčního měniče PowerFlex 700, kde může řídit rychlé aplikace s pohony. V případě potřeby rozšíření jsou k dispozici vstupy/výstupy řady Flex I/O a komunikační moduly pro připojení do nadřazené sítě.

2.1.4.4 SoftLogix 5800

SoftLogix je softwarovou realizací programovatelného automatu pracující pod operačním systémem Windows NT 4.0 nebo 2000. Díky „otevřenosti“ lze současně využívat i další softwarové produkty jiných výrobců, a tak realizovat na jednom počítači řízení, vizualizaci i analýzu dat. Vstupy/výstupy je možno připojit přes jakoukoli komunikační linku Rockwell Automation.

2.1.4.5 ProcessLogix

ProcessLogix je distribuovaný řídicí systém pro procesní aplikace. Integruje v sobě řízení a operátorská rozhraní spolu se společnou serverovou databází, která je

základem typického distribuovaného systému a je nutná pro mnoho procesních operací.

2.1.5 Hardwarové možnosti systému ControlLogix

Systém ControlLogix je modulární. Základní stavební prvek představuje rám se 4, 7, 10, 13 nebo 17 pozicemi, do kterého se vkládají jednotlivé moduly. Na zadní stěně rámu se nachází pasivní vysokorychlostní sběrnice. Rám musí být doplněn napájecím zdrojem kryjícím spotřebu vložených modulů. Jednotlivá napájecí napětí v úrovních 1.2, 3.3, 5 a 24 V DC jsou rozvedena též po zadní stěně rámu.

Procesor zpracovává informace o řízeném procesu, které získává pomocí vstupních modulů. Vypočtený akční zásah je proveden prostřednictvím výstupních modulů. Výměna informací po průmyslových sítích probíhá přes komunikační moduly. Dále existují speciální moduly pro řízení pohybu, pro čítání rychlých pulzů apod.

Digitální moduly dovolují připojit signály v úrovních 24 V, 120/240 V AC a 12, 24, 48 nebo 125 V DC. Počet připojovacích bodů může nabývat hodnoty 8, 16 nebo 32. Na výběr jsou moduly, které mají individuálně izolované vstupy/výstupy, elektronicky jištěné výstupy nebo jsou vybaveny diagnostikou.

Analogové moduly pracují s unifikovanými signály napětí ±10 V a proudu 0÷20 mA. Počet kanálů může být 2, 4, 8 nebo 16 u vstupních modulů, u výstupních není k dispozici 16kanálové provedení. Dále existují moduly pro přímé připojení 6 termočlánků nebo 6 odporových snímačů teploty.

Pro speciální aplikace je možné využít další moduly jako jsou rychlé čítače, konfigurovatelné průtokoměry nebo moduly pro řízení pohybu až 16ti os najednou. Komunikační moduly dovolují připojit automat ControlLogix do komunikačních sítí. Podporovány jsou ControlNet, EtherNet/IP, DH+/RIO a DeviceNet.

2.2 Programovací software

Pro programování automatu ControlLogix se používá software RSLogix 5000. Ten je navržen pro práci s platformou Logix a rodinou procesorů Logix5000. Též umožňuje konfigurovat osy pohybových zařízení a podporuje řízení pohonů. Pro spojení programovacího softwaru a programovatelného automatu je nutný program RSLinx. Oba programy jsou produktem firmy Rockwell Software.

2.2.1 RSLogix 5000

Základní vlastnosti programu RSLogix 5000 jsou následující [2]:

- On-line Help obsahující přehledové, procedurální, obrazovkové a referenční informace a odkazy na příbuzné referenční a uživatelské manuály v elektronické podobě.
- Jednoduchá konfigurace obsahující grafickou organizaci procesoru, I/O konfigurační dialogy, konfigurační nástroje pro pohony a konfigurace způsobem „ukaž a klikni“.
- Propracovaná manipulace s daty použitím polí a uživatelsky definovaných struktur poskytující pružnost potřebnou pro aplikace, což je výhodnější než vyplňování dílčích paměťových struktur definovaných datovými tabulkami procesoru.
- Uživatelsky pohodlné adresovací metody vstupů/výstupů.
- Žebříčkový editor volného tvaru, který dovoluje měnit více logických příček najednou, stejně jako zadávat logiku buď z rozhraní „ukaž a klikni“ nebo přes zadávací ASCII řádku.
- Pružný uživatelsky pohodlný editor funkčních bloků a SFC.
- Editace „uchop a táhni“ a navigaci pro rychlé přesuny datových položek z jednoho souboru do druhého, příček z jednoho podprogramu nebo projektu do jiného, instrukcí z příčky na příčku nebo mezi funkčními bloky v projektu.
- Instrukční sada zahrnující instrukce reléových schémat, funkčních bloků, strukturovaného textu nebo SFC.
- Schopnost diagnostiky zahrnující zobrazení stavu procesoru, ověření programu nebo robustní kontrolu dat.

2.2.2 RSLinx

Většina aplikačních programů firmy Rockwell Automation využívá pro spojení s hardwarem samostatný komunikační program RSLinx, který zajišťuje nastavení komunikačních ovladačů, monitorování jejich stavu a sledování datových položek v programovatelných automatech. Program RSLinx existuje v několika funkčně omezených verzích. Nejdůležitější jsou následující dvě: Lite a Gateway. Verze Lite je standardní součástí všech programů. Umožňuje nadefinovat všechny ovladače a pro standardní komunikaci plně vyhovuje. Rozšířená verze Gateway umožňuje přístup k zařízení a využití ovladačů na vzdáleném počítači připojeném přes EtherNet. Další výhodou je integrovaný přístupu k datům přes protokoly OPC (OLE for Process Control) a DDE (Dynamic Data Exchange).

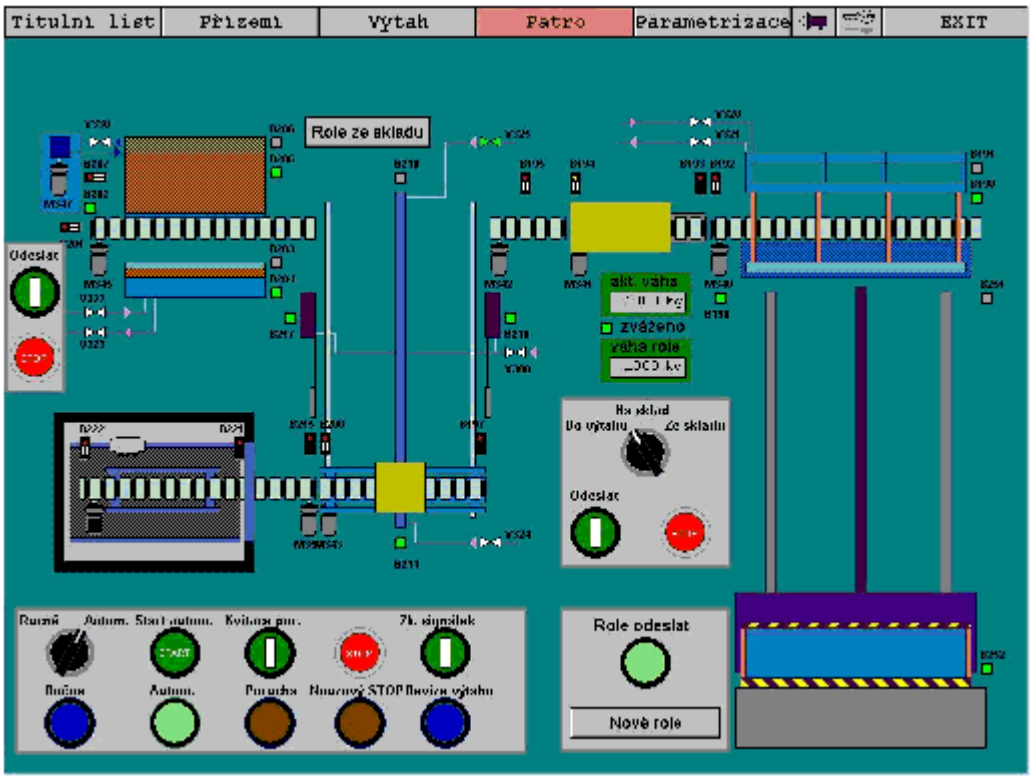
2.2.3 RSView32

RSView32 [26] je vizualizační softwarový nástroj od firmy Rockwell Software. Slouží pro vytvoření rozhraní mezi operátorem a řízeným technologickým procesem. Existuje ve dvou verzích – RSView a RunTime. RSView Works obsahuje prostředí pro vytváření aplikací a modul RunTime. Verze RunTime umožňuje provoz již vytvořené aplikace bez možnosti její změny.

Mimo standardních geometrických tvarů jsou k dispozici rozsáhlé knihovny připravených objektů. Jednotlivé objekty lze animovat nebo jim přiřadit akci. Pro zobrazení časových závislostí je možné použít objekt RSTrend. Komunikace se zařízeními Allen-Bradley probíhá přes RSLinx, pro ostatní zařízení jsou k dispozici protokoly DDE nebo OPC.

Mimo proměnných z externích systémů lze nadefinovat vnitřní paměťové proměnné a další proměnné vyjádřené matematickými závislostmi. Kvůli možnému přetížení komunikační linky se každé proměnné přiřazuje perioda obnovování. Pro informování o mezních stavech je k dispozici propracovaný systém alarmů. Nedílnou součást tvoří výkonný prostředek pro záznam dat.

Před přístupem neoprávněných osob k řízení technologie je možné jednotlivé části vizualizace ochránit přístupovým heslem, včetně rozdělení uživatelů do skupin. Zpětnou rekonstrukci kritických okamžiků dovolují záznamy zásahů operátora. Na Obr. 2.2 je ukázán příklad jedné obrazovky vizualizace odsunové linky.



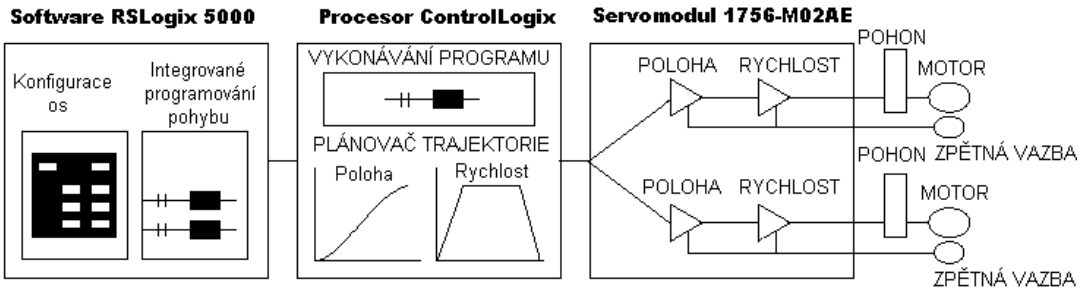
Obr. 2.2 Příklad vizualizační obrazovky – odsunová linka

3 Motion modul 1756-M02AE

V této kapitole je popsán specializovaný modul 1756-M02AE [5] programovatelného automatu ControlLogix, který slouží pro řízení pohybu ve dvou nezávislých osách. Popis doplňuje přehled instrukcí rozdělených podle jednotlivých typů. Podrobněji jsou vysvětleny instrukce využívající pohyb podle definovaného profilu a instrukce zajišťující vzájemnou vazbu mezi pohybem dvou os.

3.1 Popis modulu

Programovatelný automat ControlLogix poskytuje díky speciálním modulům a programovacímu softwaru podporu pro řízení pohybu. Procesor zpracovává speciální rychlou úlohu, která provádí pohybové příkazy a generuje informace o průběhu polohy a rychlosti. Získaná data jsou posílána do jednoho nebo více modulů, s maximálním počtem 32 řízených os. Pro řízení dvou os slouží modul 1756-M02AE. Větší počet os (8 nebo 16) dovolují řídit moduly 1756-M08SE a 1756-M16SE. Tyto jsou vybaveny rozhraním SERCOS (SErial Real-time COmunication System). Jedná se o komunikační linku mezi automatem a pohonem realizovanou optickým vláknem. To zajišťuje spolehlivý vysokorychlostní přenos odolný vůči rušení a jednoduché propojení pohonu a automatu. Blokové schéma řízení pohybu je na Obr. 3.1.



Obr. 3.1 Blokové schéma řízení pohybu ve dvou osách

Modul je charakterizován následujícími vlastnostmi:

- Možnost připojení dvou pohonů řízených analogovými výstupy ±10 V
- Vstupy pro inkrementální rotační čidla
- Vstupy koncových spínačů „home“
- Chybové vstupy z pohonu, povolovací výstupy pro pohon
- Registrační vstupy polohy v úrovních 5 V nebo 24 V
- Obnova polohové a rychlostní smyčky do 250 μs

3.2 Přehled instrukcí pro ovládání pohonu

Ovládání a nastavení parametrů pohonů je podporováno širokou instrukční sadou. Ta se dělí do pěti kategorií:

- Konfigurační instrukce
- Instrukce pro správu událostí
- Instrukce operací se skupinou os
- Instrukce ovládající stav osy
- Instrukce pro pohyb osy

3.2.1 Konfigurační instrukce

Instrukce v této skupině slouží pro ladění parametrů regulační smyčky a spouštění diagnostických testů servosystému pro kontrolu enkodéru, indexového signálu a spojení enkodéru s motorem. V Tab. 3.1 je seznam použitelných instrukcí.

3.2.2 Instrukce pro správu událostí

Instrukce této skupiny povolují nebo zakazují detekování speciálních událostí jako jsou registrační a kontrolní poloha. Tab. 3.2 ukazuje přehled instrukcí z této skupiny.

3.2.3 Instrukce operací se skupinou os

Tyto instrukce ovládají celou skupinu os. Tab. 3.3 uvádí seznam těchto instrukcí.

Instrukce	Mnemonická zkratka	Popis
Motion Apply Axis Tunning	MAAT	Vypočítává všechna zesílení a dynamická omezení zjištěná předchozím spuštěním instrukce MRAT a tyto parametry v modulu aktualizuje. Po provedení instrukce MAAT je odpovídající osa připravena k provozu.
Motion Run Axis Tunning	MRAT	Provádí ladění parametrů osy podle zadaného profilu. Ten je složen ze zrychlovacích a zpomalovacích ramp vytvořených konstantním řídicím napětím. Test se provádí v otevřené regulační smyčce. Získané parametry jsou uloženy v datové struktuře a připravené pro použití instrukcí MAAT.
Motion Apply Hookup Diagnostics	MAHD	Slouží pro nastavení parametrů získaných předchozím provedením instrukce MRHD. Ta zjišťuje vzájemnou orientaci signálů enkodéru a serva. Po provedení operace je odpovídající osa připravena pro aktivaci serva.
Motion Run Hookup Diagnostics	MRHD	Spouští jeden ze tří typů testů specifikovaných parametrem. Na výběr je test propojení enkodéru s motorem, samotného enkodéru nebo indexového signálu. Pouze test spojení enkodér/motor vyžaduje pohyb osy. Výsledky testu jsou uloženy v datové struktuře.

Tab. 3.1 Přehled konfiguračních instrukcí

Instrukce	Mnemonická zkratka	Popis
Motion Arm Watch	MAW	Povoluje sledování kontrolní polohy příslušné osy. Událost vzniká průchodem polohy požadovaným směrem. Výsledkem je nastavení stavových bitů.
Motion Disarm Watch	MDW	Zakazuje sledování kontrolní polohy. Příslušné stavové bity jsou nulovány.
Motion Arm Registration	MAR	Povoluje sledování registrační polohy příslušné osy. Po splnění nastavené podmínky registračního vstupu je z počtu pulzů enkodéru vypočtena poloha osy a výsledek uložen do datové struktury.
Motion Disarm Registration	MDR	Zakazuje sledování registrační polohy. Výsledkem je nulování příslušných stavových bitů.
Motion Arm Output Cam	MAOC	Povoluje v závislosti na aktuální poloze příslušné osy nastavit až 32 uživatelem definovaných průběhů výstupních bitů.
Motion Disarm Output Cam	MDOC	Zakazuje jeden nebo všechny uživatelské výstupní průběhy závislé na poloze osy.

Tab. 3.2 Přehled instrukcí pro správu událostí

Instrukce	Mnemonická zkratka	Popis
Motion Group Stop	MGS	Zastavuje definovaným způsobem pohyb os ve skupině. Způsob lze nastavit odlišně pro každou osu nebo pro všechny shodně. K dispozici jsou: rychlé zastavení, rychlé odpojení, tvrdé odpojení, rychlé vypnutí a tvrdé vypnutí.
Motion Group Shutdown	MGSD	Provádí odpojení všech os ve skupině. Odpojením se rozumí vypnutí serva, deaktivace výstupů a, pokud je použito, rozpojení kontaktů bezpečnostního relé. V tomto stavu osy zůstávají až do provedení instrukcí MGSR nebo MASR.
Motion Group Shutdown Reset	MGSR	Slouží pro uvedení skupiny os do provozního stavu po předchozím odpojení. Po provedení instrukce jsou mazány chybové stavy a, pokud je použito, sepnuty kontakty bezpečnostního relé.
Motion Group Strobe Position	MGSP	Dovoluje v jednom okamžiku zjistit současnou a přikázanou polohu všech os ve skupině.

Tab. 3.3 Přehled instrukcí pro operace se skupinou os

3.2.4 Instrukce ovládající stav osy

Tyto instrukce přímo řídí nebo mění provozní stavy osy. V Tab. 3.4 je přehled těchto instrukcí.

Instrukce	Mnemonická zkratka	Popis
Motion Servo On	MSO	Aktivuje zesilovač pohonu příslušné osy a řízení smyčky pohonu.
Motion Servo Off	MSF	Deaktivuje výstup zesilovače pohonu příslušné osy a řízení smyčky pohonu.
Motion Axis Shutdown	MASD	Provádí odpojení dané osy. Odpojením se rozumí vypnutí servopohonu, deaktivace smyčky a, pokud je použito, rozpojení kontaktů bezpečnostního relé. V tomto stavu osa zůstává až do provedení instrukcí MGSR nebo MASR.
Motion Axis Shutdown Reset	MASR	Provádí přepnutí os z vypnutého do provozního stavu. Všechny chyby jsou smazány a kontakty bezpečnostního relé sepnuty.
Motion Direct Drive On	MDO	Instrukce ve spojení s modulem podporujícím analogové rozhraní se servopohonem (např. 1756-M02AE) povoluje pohon a nastavuje výstupní napětí na definovanou hodnotu.
Motion Drive Off	MDF	Instrukce deaktivuje servopohon a nastavuje výstupní napětí na offsetovou hodnotu. To je hodnota, která způsobuje minimální nebo žádný pohyb pohonu.
Motion Axis Fault Reset	MAFR	Maže chybové stavy příslušné osy.

Tab. 3.4 Přehled instrukcí řídicích stav osy

3.2.5 Instrukce pro pohyb osy

Tyto instrukce řídí všechny vlastnosti polohy osy. V Tab. 3.5 je přehled těchto instrukcí.

Instrukce	**Mnemonická zkratka**	**Popis**
Motion Axis Stop	MAS	Zastavuje definovaným způsobem pohyb v příslušné ose. Zastavení je provedeno maximální nakonfigurovanou rychlostí.
Motion Axis Home	MAH	Provádí definici výchozí polohy. K dispozici jsou dva módy. V aktivním osa provádí nadefinovanou sekvenci, dokud nedosáhne absolutní polohy. V pasivním módu osa čeká na indexový pulz, kterým je výchozí poloha nadefinována.
Motion Axis Jog	MAJ	Nastavuje konstantní rychlost pohybu příslušné osy jedním nebo druhým směrem. Nájezd na danou rychlost se provádí po definované rampě. Parametry instrukce mohou být definovány hodnotou nebo procentem z maximální hodnoty. Zastavení osy se provádí provedením instrukce MAS.
Motion Axis Move	MAM	Inicializuje pohybový profil pro zadanou osu. Osa provede přesun na žádanou polohu nebo vzdálenost použitím zadané rychlosti a zrychlení.
Motion Axis Gearing	MAG	Poskytuje elektronický převodový poměr mezi dvěma osami. Podřízená osa pak provádí pohyb v příslušném poměru vzhledem k nadřízené.
Motion Change Dynamics	MCD	Dovoluje změnit rychlost, zrychlení, zpomalení, pohybový a konstantní profil.
Motion Redefine Position	MRP	Mění přikázanou nebo aktuální polohu osy. Ta může být počítána absolutně nebo relativně. Předefinování neovlivňuje průběh probíhající pohybu, dochází pouze ke změně polohy.
Motion Calculate Cam Profile	MCCP	Vypočítává parametry profilu z jednotlivých zadaných bodů. Ty se definují editorem profilu v programu RSLogix 5000. Každý bod je definován nadřízenou a podřízenou polohou resp. časem a typem interpolace. Výsledný profil je proveden instrukcemi MAPC nebo MATC.
Motion Axis Position Cam	MAPC	Poskytuje elektronickou vazbu poloh dvou os podle specifikovaného profilu. Poloha podřízené osy je pak synchronizována s nadřízenou.
Motion Time Axis Cam	MATC	Poskytuje elektronickou vazbu časové závislosti podle specifikovaném profilu. Časová vazba poskytuje komplexnější možnosti než vestavěné profily typu S-křivka nebo lichoběžník.

Tab. 3.5 Přehled instrukcí pro pohyb osy

3.3 Návod pro instrukce s pohybovým profilem

V této části jsou podrobněji popsány instrukce pro pohyb osy (MAM), instrukce pro vzájemné svázání pohybu ve dvou osách (MAG) a využití polohových a časových závislostí (MAPC a MATC). Instrukce pro vzájemné vazby dvou os je nutné použít při řízení dvouosého servomodulu. Počáteční konfigurace modulu 1756-M02AE, definice os, nastavení parametrů skupiny os a ladění regulátoru os je v [22].

3.3.1 Motion Axes Move

Instrukce MAM (Motion Axes Move) přesouvá osu na žádanou absolutní polohu nebo o relativní vzdálenost s využitím zadaných hodnot zrychlení a zpomalení. V případě rotačního servomechanizmu se dále zadává, zda cílová poloha má být dosažena v kladném či záporném smyslu otáčení nebo nejkratší cestou. Průběh rychlosti při přesunu je vypočítáván podle požadovaného typu tvaru. K dispozici je lichoběžník nebo S-křivka. Lichoběžníkový průběh se používá více, protože je výhodnější při programování navazujících pohybů. Průběh podle S-křivky je vhodný v případech, kdy je nutné minimalizovat mechanického zatížení systému. V porovnání s lichoběžníkovým průběhem jsou doby zrychlení a zpomalení delší než u S-křivky.

3.3.2 Motion Axes Gearing

Instrukce MAG dovoluje využít elektronický převodový poměr mezi dvěma osami. To dovoluje jedné ose synchronizovat aktuální nebo přikázanou polohu v přesném poměru s druhou osou. Rychlost, zrychlení nebo zpomalení podřízené osy jsou stanoveny pevným poměrem vůči nadřízené ose bez ohledu na omezení zadaná maximálními hodnotami. Tuto funkci je možné aplikovat při příkazu konstantní hodnoty i při provádění složitého profilu.

Převodový poměr lze aplikovat na aktuální polohu (pokud byla nadřízená osa nakonfigurována pro zpětnovazební sledování) resp. požadovanou nebo přikázanou polohu (nadřízená osa nakonfigurována pro plnohodnotné řízení servomechanizmu). Dále je možné nadefinovat souvislost otáčení jednotlivých os. Převodový poměr se zadává jako reálné číslo v rozsahu <0.00001; 9.9999> nebo jako dvě číslice

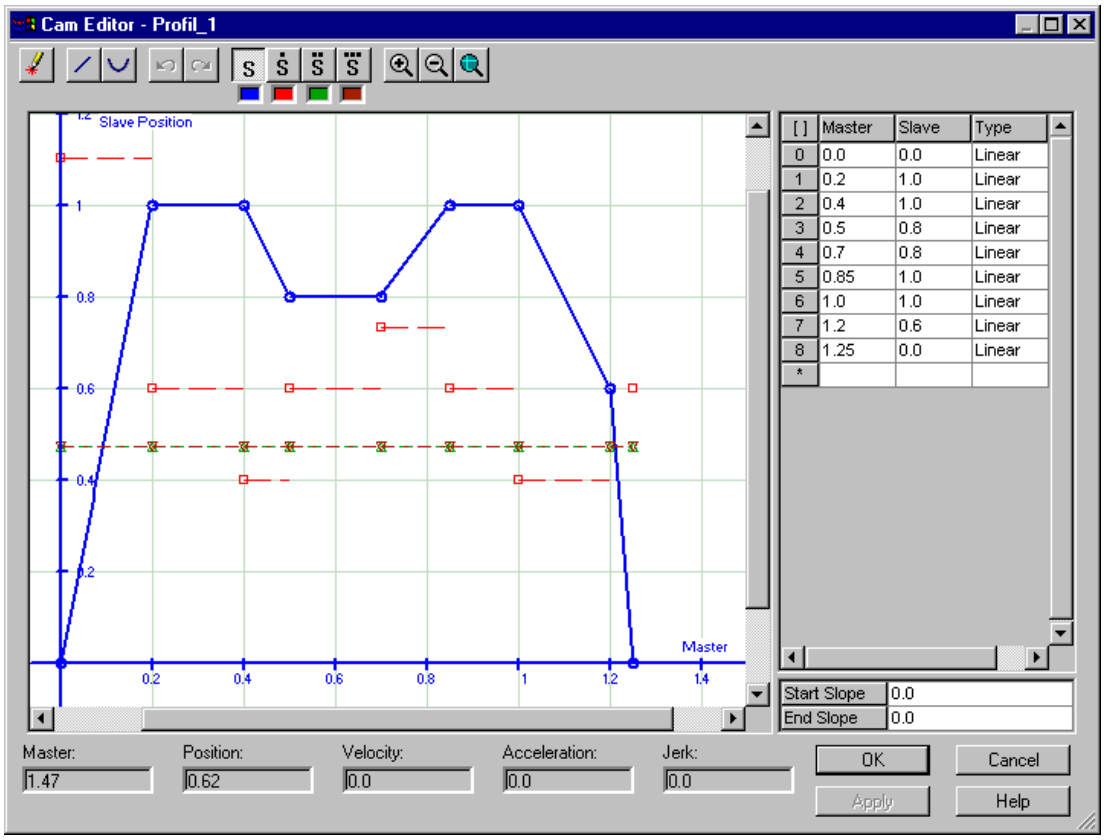
reprezentující počet pulzů zpětnovazebního inkrementální rotačního čidla (až 99 999 pro podřízenou a až 999 999 999 pulzů pro nadřízenou osu). Přesáhne-li počet pulzů podřízené osy maximální počet, je nutné převodový poměr zadat reálným číslem. Pokud dojde k aktivaci převodu při pohybující se nadřízené a stojící podřízené ose, lze využít funkci hladkého připojení. Podřízená osa pak dosáhne výsledné rychlosti po rampě.

3.3.3 Motion Axis Position Cam

Instrukce MAPC dovoluje využít elektronickou vazbu polohy mezi dvěma osami. Podřízená osa je synchronizována s nadřízenou podle profilu vytvořeného v Editoru profilu v programu RSLogix 5000 nebo vypočteného ze zadaných bodů instrukcí MCCP (Motion Calculate Cam Profile). Vazba dovoluje vytvořit, na rozdíl od MAG, nelineární vztah mezi dvěma osami. Rychlost, zrychlení nebo zpomalení podřízené osy jsou stanoveny pevným poměrem vůči nadřízené ose bez ohledu na omezení zadaná maximálními hodnotami. Vztah orientací otáčení jednotlivých os je možné též zadat.

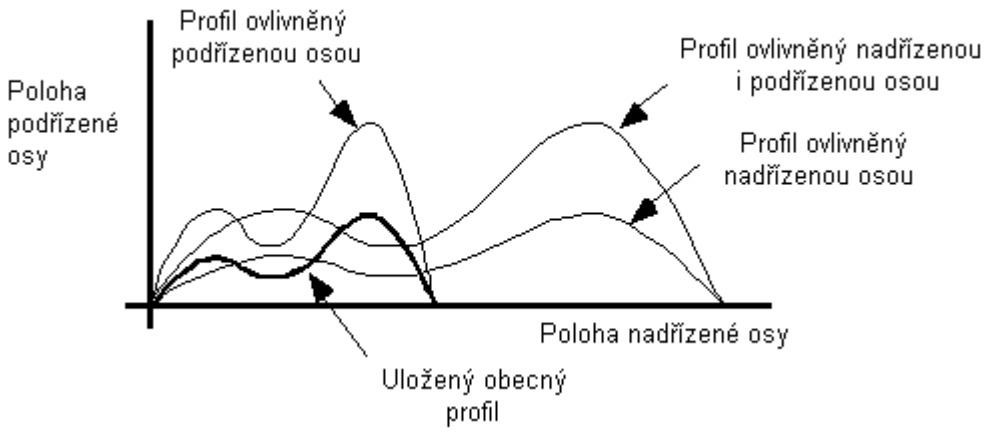
3.3.3.1 Tvorba profilu

Pro snadné vytvoření profilu obsahuje prostředí RSLogix 5000 vestavěný Editor profilu. Zde je možné snadným způsobem nadefinovat vztah mezi dvěma osami. Základ editoru tvoří rastrová síť, do které se kliknutím myši zadávají jednotlivé body odpovídající poměru vzájemných poloh obou os. Souřadnice polohy lze upřesnit úpravou hodnoty v tabulce. V případě, že nadřízená osa nedosáhne zvolené polohy přesně, je poloha podřízené osy interpolována - lineárně nebo kubicky. Příklad nadefinovaného profilu ukazuje Obr. 3.2. Kromě polohy lze ovlivnit průběh rychlosti, zrychlení nebo omezit rázy v systému.



Obr. 3.2 Obrazovka editoru profilu

Velmi výkonnou možností je změna měřítka průběhu. Nadefinovanou obecnou křivku lze ovlivnit změnou koeficientu nadřízené a/nebo podřízené osy. Standardní hodnota měřítka je 1. Zvětšení hodnoty koeficientu nadřízené osy způsobí zmenšení rychlosti a zrychlení profilu a naopak. Příklad ovlivnění průběhu je na Obr. 3.3.



Obr. 3.3 Ovlivnění profilu měřítkem

Aktivace profilu je možná dvěma způsoby:

- Jednorázově – pokud se nadřízená osa dostane mezi počáteční a koncovou polohu profilu, začne se podřízená osa pohybovat.
- Nepřetržitě – po spuštění probíhá pohyb v obou osách podle zadaného profilu.

Zastavit vykonávání pohybu podle profile je možné instrukcemi MAS (Motion Axis Stop) nebo MGS (Motion Group Stop).

3.3.4 Motion Axis Time Cam

Obdobou výše popsané instrukce MAPC je instrukce MATC. Ta dovoluje použít mezi dvěma osami časovou závislost podle zadaného profilu. Tak se dají vytvořit profily složitější než vestavěný lichoběžník nebo S-křivka. Podřízená osa je synchronizována s nadřízenou podle profilu vytvořeného v Editoru profilu nebo vypočteného instrukcí MCCP (Motion Calculate Cam Profile). Rychlost, zrychlení nebo zpomalení podřízené osy jsou stanoveny pevným poměrem vůči nadřízené ose bez ohledu na omezení zadaná maximálními hodnotami. Vztah orientací otáčení jednotlivých os je možné zadat. Stejně jako u instrukce MAPC je k dispozici změna měřítka průběhu. Shodné je i spouštění a zastavení vykonávání profilu.

3.3.5 Motion Calculate Cam Profile

Instrukce MCCP vypočítává pohybový profil na základě bodů zadaných v poli. Vygenerovaný profil je pak použit instrukcemi MAPC nebo MTPC s ohledem na polohovou nebo časovou závislost dvou os. Výpočet profilu může být proveden i v Editoru profilu programu RSLogix 5000. Výhodou této instrukce je možnost změny profilu v reálném čase.

4 Model dvouosého lineárního servomechanizmu

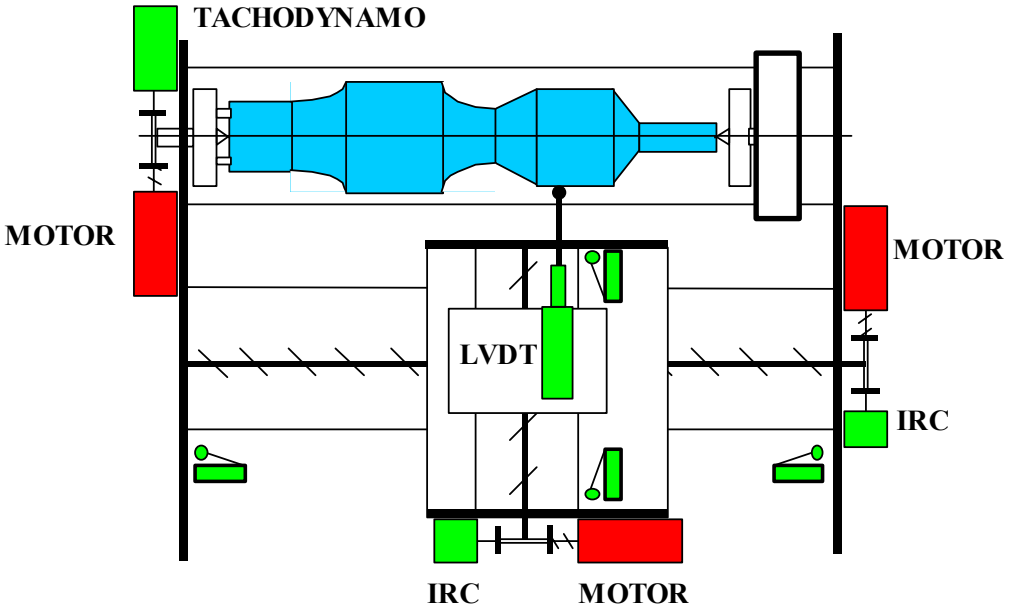
V této kapitole je popsán vyrobený model lineárního servomechanizmu po technické stránce. Následuje popis použitých snímačů s uvedením důležitých technických parametrů. Dále je popsána realizace modulu, návrh elektronických obvodů a možné způsoby řízení.

4.1 Technický popis

Myšlenka vytvoření modelu dvouosého lineárního servomechanizmu vznikla s potřebou plně využít schopnosti specializovaného modulu 1756-M02AE programovatelného automatu ControlLogix. Tento modul umožňuje samostatně řídit pohony dvou nezávislých os podle zadaných parametrů a zpětné vazby z inkrementálních rotačních čidel snímajících skutečnou polohu. Dosud byl modul používán pouze pro řízení pohybu jedné osy ve spojení s modelem rotačního servomechanizmu AMIRA DR300 [22].

Model dvouosého lineárního servomechanizmu byl inspirován jedním z nejčastěji používaných obráběcích strojů – soustruhem. Zjednodušené schéma je na Obr. 4.1. Celý model byl realizován v domácí dílně, a tak není možné jeho vlastnosti (např. dosažitelná přesnost) srovnávat s profesionálními modely.

Na základní konstrukci jsou upevněny vodicí tyče podélného posuvu, po kterých se na kladkách posouvá celé těleso suportu. Na něm jsou vodicí tyče příčného posuvu. Odlišně od klasického soustruhu je proveden pohon obou posuvů i vřetene. Kvůli složitému přenosu momentu přes zubové převody rozdělovací skříně byl navržen pohon pro každou osu samostatně. Vzhledem k výkonu použitých motorů není možné realizovat obrábění výrobku. Proto je pomocí dotekového induktivního snímače pouze kopírován povrch již hotového výrobku.



Obr. 4.1 Schéma modelu servomechanizmu

Přenos otáček motorů na tažný šroub posuvů nebo vřetene je proveden šnekovým převodem 1:50. Šroub pro podélný posuv je tvořen závitovou tyčí M14x2. Tomu odpovídá posuv 1 mm na 25 otáček motoru. Příčný posuv je osazen tyčí s nenormalizovaným čtyřchodým závitem o průměru 13 mm a stoupání 25 mm. Z toho vyplývá posun 1 mm na 2 otáčky motoru. Kvůli možné nesouososti vodicích tyčí musela být každá osa osazena křížovým kloubem, který tyto odchylky dokáže do jisté míry eliminovat. Krajní polohy obou posuvů jsou zjišťovány dvojicí mikrospínačů - provozního a havarijního. Při dojezdu do havarijní polohy je vypnut pohon příslušné osy. Vřeteno není, na rozdíl od skutečného soustruhu, osazeno upínací hlavou s ohledem na její složitou konstrukci a rozměry předpokládaného obrobku. Vřeteno je osazeno kruhovou deskou se dvěma symetricky umístěnými trny. Na obrobek je pak nutné připevnit unášeč, který zajistí spojení s deskou.

Skutečná poloha podélného i příčného posuvu je snímána inkrementálním rotačním čidlem připojeným na osu motoru. Otáčky motoru pohánějícího vřeteno snímá tachodynamo. Vzdálenost suportu od povrchu obrobku se měří dotekovým induktivním úchylkoměrem.

4.2 Použité snímače

V této části jsou popsány snímače použité pro zjišťování polohy v jednotlivých osách, měření vzdálenosti suportu od obrobku a rychlosti otáčení vřetene. Informace doplňuje přehled důležitých technických parametrů.

4.2.1 Inkrementální rotační čidlo

Pro snímání polohy obou posuvů jsou použita inkrementální rotační čidla od firmy Megatron [9]. Konkrétně se jedná o typ MOZ30 s 500 pulzy na otáčku. Výstup čidla je dvoukanálový s indexovým impulzem a výstupem typu „linedriver“. To znamená, že každý výstup je dvojitý – má přímou i negovanou hodnotu. Technické parametry jsou uvedeny v Tab. 4.1.

Elektrické vlastnosti	
Rozlišení	500 pulzů na otáčku
Napájecí napětí	+5 V DC
Proudový odběr	< 50 mA
Výstupy	Linedriver
Signálové úrovně	H = U_B – 1 V / L = 0.5 V při I_{max} = 20 mA
Hraniční frekvence	150 kHz
Životnost LED	100 000 hodin
Mechanické vlastnosti	
Materiál obalu a příruby	Hliník
Materiál osy	Nerezová ocel
Kotouček	Kovový do 500 pulzů, skleněný > 500 pulzů
Krytí	IP 54
Max. otáčky	6000 min^{-1}
Zatižitelnost osy	10 N radiálně, 5 N axiálně
Krouticí moment	< 0.2 Ncm při 20°C
Moment setrvačnosti	< 2 gcm^2
Hmotnost	100 g

Tab. 4.1 Technické parametry IRC

4.2.2 Induktivní úchylkoměr

Pro kontaktní snímání vzdálenosti suportu od povrchu obrobku je použit induktivní úchylkoměr MDCT50 od firmy Megatron [27] s měřicím rozsahem ±25 mm. Snímač má posuvné jádro pohybující se proti direktivní síle pružiny. Polohu jádra vyhodnocuje lineární diferenciální transformátor. Technické parametry jsou uvedeny v Tab. 4.2.

4.2.3 Tachodynamo

Otáčky vřetene snímá tachodynamo K 4A2 od MEZ Náchod. Převodní konstanta výstupního napětí činí 2 V/1000 ot/min. Maximální dovolené otáčky činí 5000 ot/min.

Elektrické vlastnosti		**Mechanické vlastnosti**	
Měřicí rozsah	±5 mm	Materiál obalu	Niklovaná ocel
Linearita	±0.5%	Materiál jádra	Tvrdokov
Napájecí napětí	24 V DC (±5%)	Krytí	IP65
Proudový odběr	± 50 mA	Hmotnost	285 g
Výstupní signál	0-10 V		
Zatěžovací odpor	> 100 kΩ		
Hraniční frekvence (-3 dB)	100 Hz		

Tab. 4.2 Technické parametry úchylkoměru

4.3 Realizace modelu

Servomechanizmus tvoří kompaktní celek. Model soustruhu, hlavní vypínač, napájecí zdroj a panel ručního ovládání leží na základní desce. V prostoru pod obrobkem jsou na dvou DIN lištách umístěny svorkovnice IFM pro připojení signálů z/do programovatelného automatu. Propojovací vodiče vedou instalačními lištami. Rozvod napájení a plošné spoje řídicí elektroniky jsou umístěny pod hlavní deskou. Celkový pohled na model vyobrazuje Příloha 1 - Fotografie modelu.

4.3.1 Napájení

Jmenovité napájecí napětí modelu činí ±24 V DC. To je vytvořeno ze zdroje LWN 2660-6 firmy PowerOne [23]. Jedná se o kompaktní jednofázový, lineární spínaný AC/DC zdroj s výstupem 2x24.7 V/5 A. Požadovaný rozsah výstupního napětí je vytvořen spojením obou částí zdroje. Technické parametry viz Tab. 4.3. Tento zdroj je napájen síťovým napětím 240 V AC/50 Hz. Připojení resp. odpojení síťového přívodu je ovládáno tlačítky START a STOP průmyslového vypínače ve spojení s reléovým obvodem. Zapnutí přívodu signalizuje zeleně prosvětlené tlačítko START.

Vstup	
Vstupní napětí	85÷264 V AC nebo 90÷350 V DC
Vstupní frekvence	14÷440 Hz
Účiník	Min. 0.99
Výstup	
Účinnost při $U_{i\,nom}$, $I_{o\,nom}$	89%
Min. zátěž	Lze naprázdno
Ochrana	
Vstupní pojistka	Uživateli nepřístupná 6.3 A
Výstupy	Bez zátěže, přetížení a zkratové omezení
Přehřátí	Snížení výstupního výkonu při přehřátí

Tab. 4.3 Parametry napájecího zdroje

4.3.2 Elektronické obvody

Pro řízení motorů, přizpůsobení signálů a pro vytvoření pomocných napájení bylo nutné navrhnout elektronické obvody. Ty jsou umístěny pod základní deskou modelu. Jedná se o tři desky plošných spojů:

- Napájecí zdroj
- Přizpůsobovací obvody
- Řízení motorů

Úplná schémata zapojení jednotlivých obvodů, včetně obrazů plošných spojů a rozpisu použitých součástek uvádí Příloha 2 - Schémata, plošné spoje, osazení součástek[1]. Označení typů součástek je podle [11]. Kreslení schémat a návrh plošných spojů byl proveden v programu OrCAD (viz Seznam použitého softwaru).

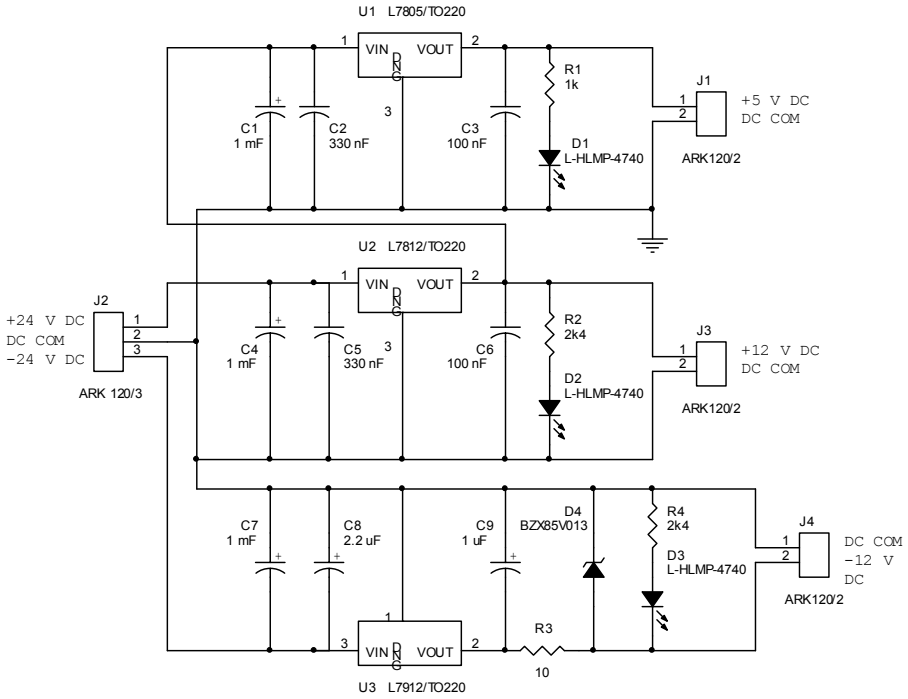
4.3.2.1 Napájecí zdroj

Hlavní napájecí zdroj dodává napětí ±24.7 V. Napájení logických, analogových obvodů a inkrementálních rotačních čidel vyžaduje rozsahy +5 V resp. ±12 V. Pro vytvoření těchto úrovní byly využity stabilizátory s pevným napětím L7805, L7812 a L7912, které byly zapojeny podle katalogových schémat [15], [16]. Kvůli výkonové ztrátě na stabilizátoru L7805 je tento napájen z rozsahu +12 V. Oproti standardnímu zapojení byly navíc přidány kondenzátory C1, C4 a C7 filtrující případné zákmity na

[1] Oproti původnímu návrhu doznaly plošné spoje několika změn. Ty jsou v obrazech plošných spojů graficky znázorněny. Schémata zapojení byly opraveny.

napájecím napětí. Provoz jednotlivých rozsahů je indikován pomocí LED diod vyvedených na ovládací panel.

Obvod L7912 má zaručené výstupní napětí při minimálním odběru –5 mA. Při napájení 24 V může napětí naprázdno dosáhnout hodnoty 20 V, což může poškodit integrované obvody napájené z tohoto rozsahu. Proto je větev -12V osazena ochranným obvodem složeným z R3 a Zenerovy diody D4 s prahovým napětím 13 V.



Obr. 4.2 Schéma zapojení zdrojů napětí

Vzhledem k velikosti odebíraného proudu ze stabilizátorů bylo nutné použít chladiče. Pro hodnoty 0.3 A z rozsahu 12 V a 0.5 A z rozsahu 5 V jsou výkonové ztráty následující:

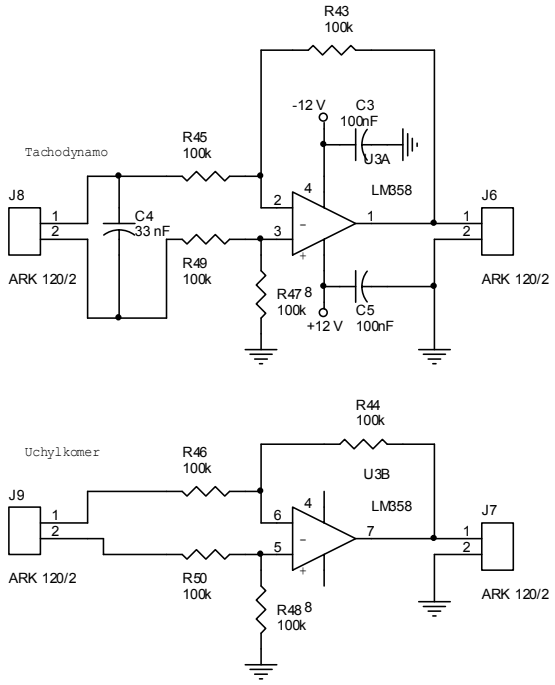
$$P_1 = (U_{IN1} - U_{OUT1})I_{OUT1} = (24.7 - 12) \cdot 0.3 = 3.81\,W$$
$$P_2 = (U_{IN2} - U_{OUT2})I_{OUT2} = (12 - 5) \cdot 0.5 = 3.5\,W.$$

Dalším výpočtem podle [11] dostáváme pro svisle postavený černěný hliníkový plech o tloušťce 2.5 mm chladicí plochu 12 cm^2. Z dostupných chladičů byl zvolen typ V4330N s tepelným odporem 12 K/W.

Výsledný jednovrstvý plošný spoj má rozměry 102 x 84 mm. Stabilizátory s chladiči jsou připevněny na plošném spoji. Při oživování plošného napájecího zdroje byly zjištěny nesrovnalosti v označování pinů skutečného stabilizátoru a virtuální součástky návrhového systému OrCAD. Virtuální stabilizátor L78xx v pouzdru TO 220 má piny 1, 2 a 3 přiřazeny svorkám IN, OUT a GND. U fyzického je však odpovídající pořadí svorek IN, GND a OUT. Obdobně je tomu u stabilizátorů L79xx. Proto bylo nutné některé vývody upravit.

4.3.2.2 Přizpůsobovací obvody

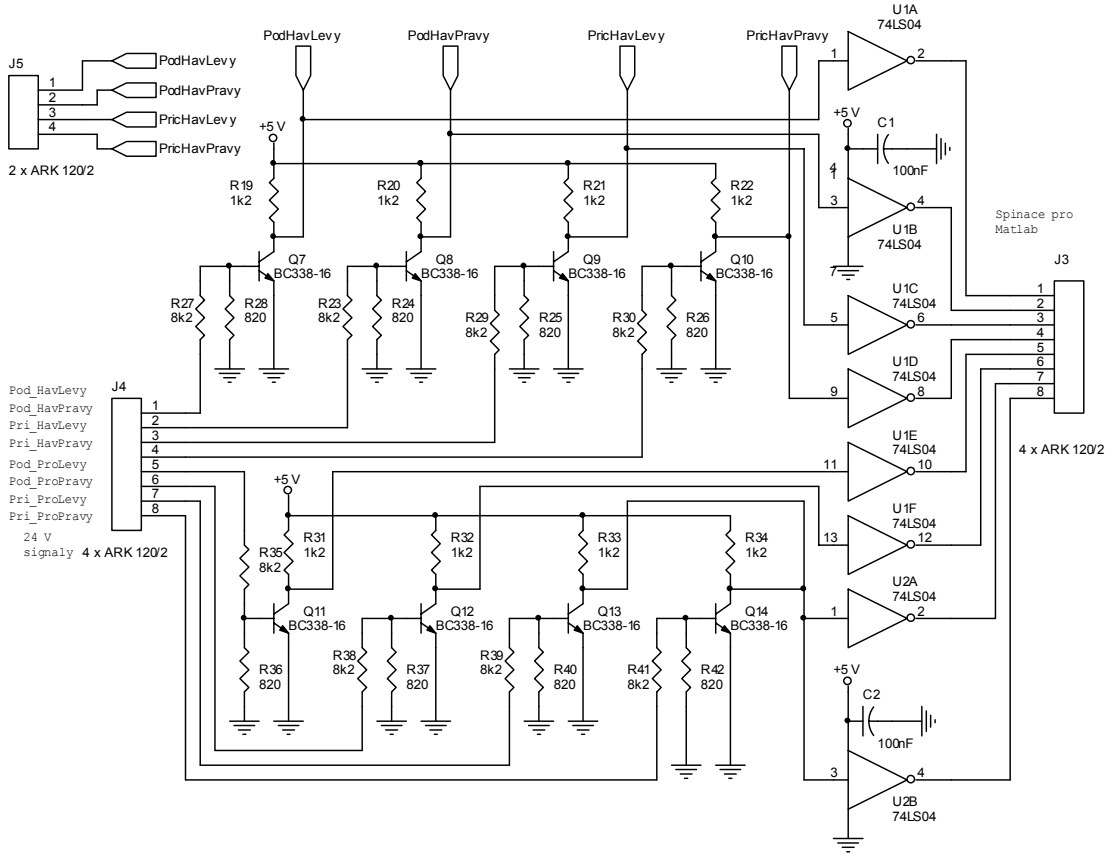
Na této desce jsou obvody diferenciálních zesilovačů pro signály z tachodynama a indukčního úchylkoměru a dále obvody napěťového přizpůsobení signálů z koncových snímačů pro multifunkční kartu MF 614 [20]. Diferenciální zesilovače jsou vytvořeny operačním zesilovačem LM358 [18]. Schéma zapojení je na Obr. 4.3. Ve vstupním obvodu tachodynama je navíc kondenzátor C4 pro filtraci zákmitů signálu.



Obr. 4.3 Zapojení diferenciálních zesilovačů

Napájení koncových spínačů posuvů činí 24.7 V. Karta MF 614 má digitální vstupy v úrovních TTL. Převod do tohoto rozsahu je proveden pomocí spínacích tranzistorů BC338 a invertorů 74LS04. Spínací tranzistor v zapojení se společným emitorem má

invertující charakter, proto pro shodu s logikou vstupních signálů je výstup z kolektoru tranzistoru ještě negován. Signály z havarijních spínačů jsou vyvedeny i z tranzistorů – slouží pro logickou část blokování motorů.

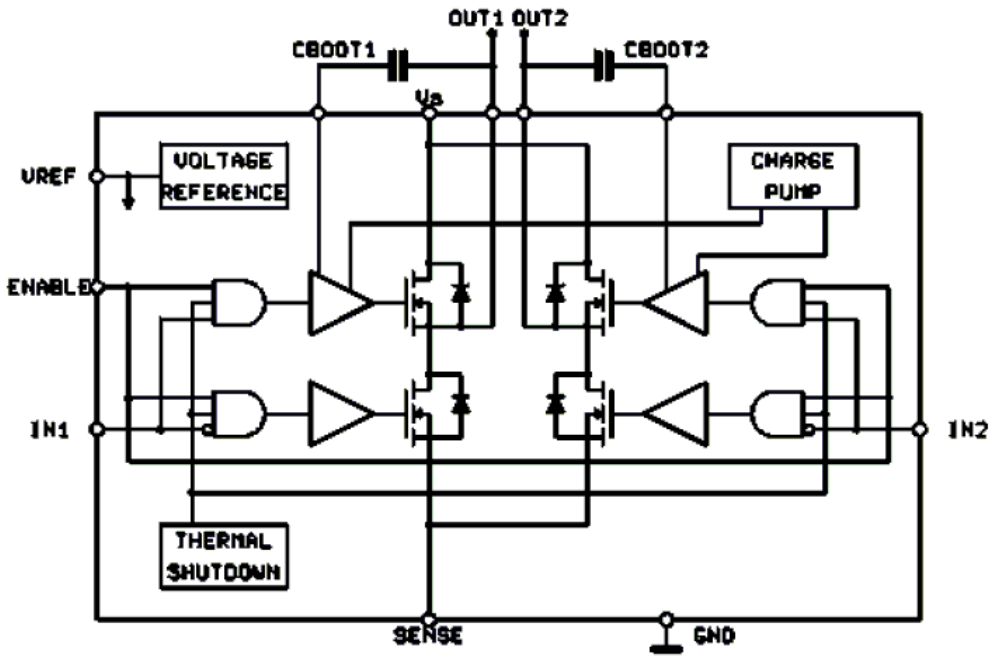


Obr. 4.4 Signály z koncových spínačů

Výsledný plošný spoj je dvouvrstvý o rozměrech 129 x 94 mm. Integrované obvody jsou z důvodů snadné výměny při případné závadě zasunuty v paticích.

4.3.2.3 Řízení motorů

Motory pro pohon jednotlivých os jsou ovládány čtyřkvadrantovou bipolární pulzní šířkovou modulací (PWM – Pulse Width Modulation). Tento způsob obecně dovoluje řídit oba směry otáčení, brždění a rekuperaci energie. Jako výkonový člen řídící průchod proudu motorem byl zvolen obvod L6203 [14]. Ten je tvořen čtveřicí můstkově zapojených DMOSových výkonových tranzistorů včetně ochranných diod a logických řídicích obvodů. Blokové schéma je na Obr. 4.5.



Obr. 4.5 Blokové schéma obvodu L6203

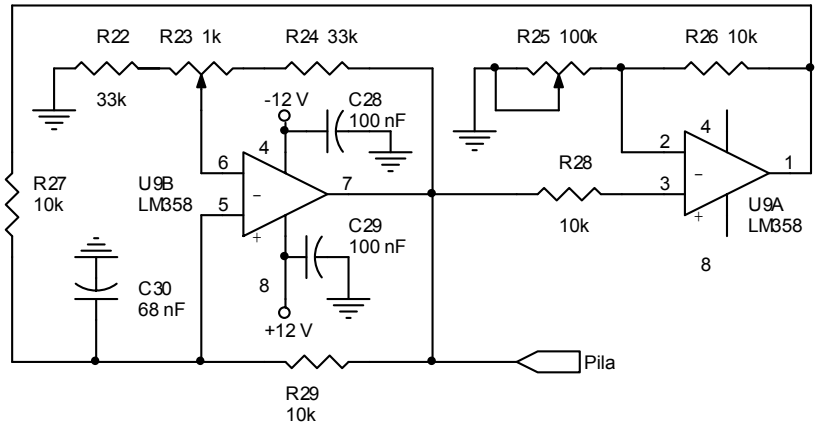
Podle kombinace úrovní na řídicích vstupech (viz Tab. 4.4) a povolovacího vstupu se jednotlivé výkonové tranzistory obvodu otevírají a tím řídí průchod proudu připojeným motorem. Nastavením vstupu ENABLE do logické nuly se všechny tranzistory uzavřou a motor uvede do bezpečného stavu, kdy na něj není přivedeno žádné napětí. Pro řízení směru otáčení motorů na jednu a druhou vyhoví kombinace L, H případně H, L na obou řídicích vstupech.

Vstupy			**Stav výstupních tranzistorů**
	IN 1	**IN 2**	
V_{EN} = H	L	L	Sink 1, Sink 2
	L	H	Sink 1, Source 2
	H	L	Source 1, Sink 2
	H	H	Source 1, Source 2
V_{EN} = L	X	X	Všechny tranzistory vypnuté

Tab. 4.4 Kombinace řídicích vstupů obvodu L6203

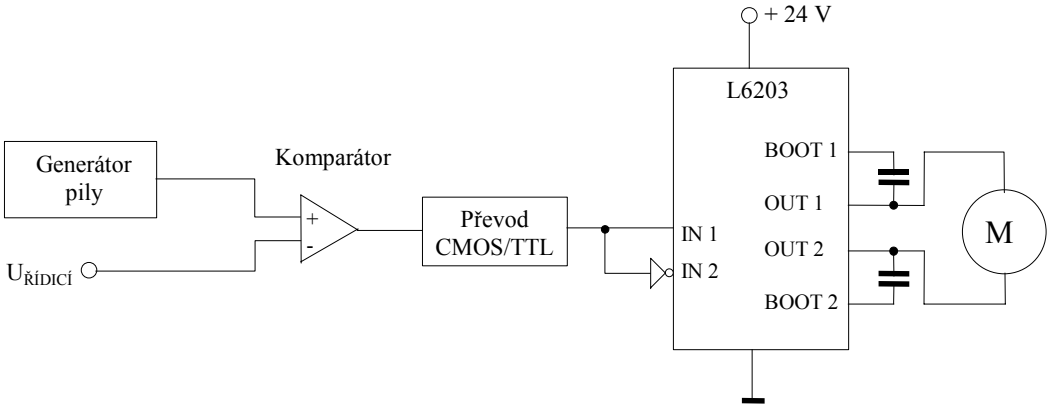
Obvody pro řízení motorů posuvu, na rozdíl od motoru vřetene, obsahují blokovací část. Základním prvkem obou zapojení je generátor pily s rozkmitem ±10 V a frekvencí 400 Hz. Generátor je vytvořen z nízkopříkonového operačního zesilovače LM358 podle schématu na Obr. 4.6. Funkce obvodu je popsána v [8]. Výstup zesilovače U9B zapojeného jako neinvertující integrátor typu Howland je propojen

se vstupem zesilovače U9A v zapojení invertujícího komparátoru s hysterezí. Výstup komparátoru je propojen se vstupem integrátoru. Změnu vlastní frekvence generátoru je možno dosáhnout změnou kapacity integračního kondenzátoru C30. Hystereze komparátoru se plynule nastavuje rezistorem R25 (nastavení má zásadní vliv i na frekvenci generátoru). Pro případné odstranění nesymetrie slouží rezistor R23.



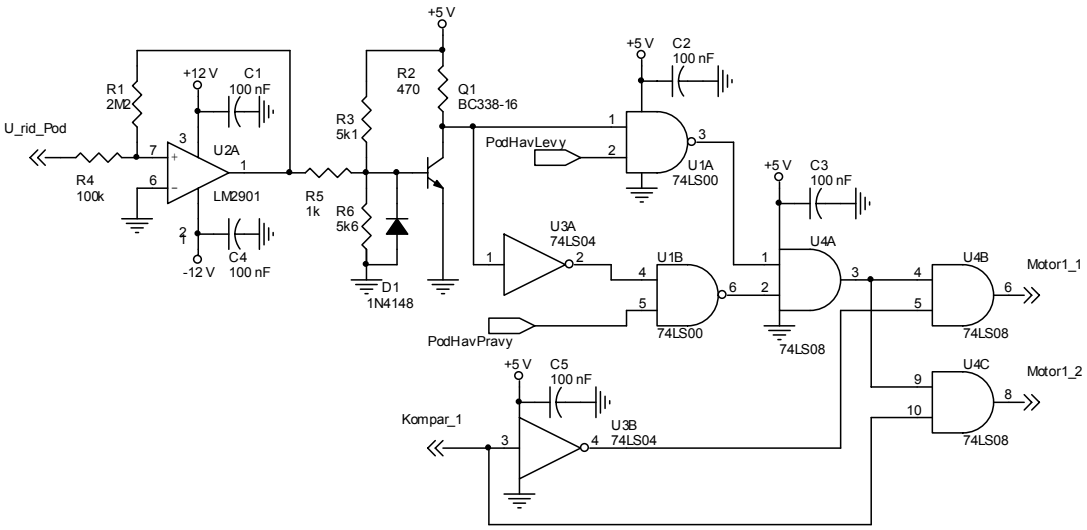
Obr. 4.6 Zapojení generátoru pily

Frekvence generátoru byla po provedení praktických zkoušek upravena na výše zmíněnou hodnotu. Díky technické konstrukci motorů není možné použít frekvenci vyšší. Během kratší periody nevznikne průchodem proudu dostatečně velký moment, který by kotvou motoru otočil. Důsledkem nízké frekvence jsou pak nepříjemné zvukové efekty – „pískání“. Vstupním řídicím signálem pro všechny motory je řídicí napětí ±10 V. Jeho velikost se komparátorem porovnává s pilovým průběhem z generátoru, čímž vzniknou obdélníkové pulzy s rozkmitem ±10 V. Poté následuje převod na úroveň TTL signálu. Další zpracování se pro jednotlivé motory liší. U motoru vřetene je invertorem vytvořena negace signálu a oba poté přivedeny na řídicí vstupy obvodu L6203. Blokové schéma je na Obr. 4.7.



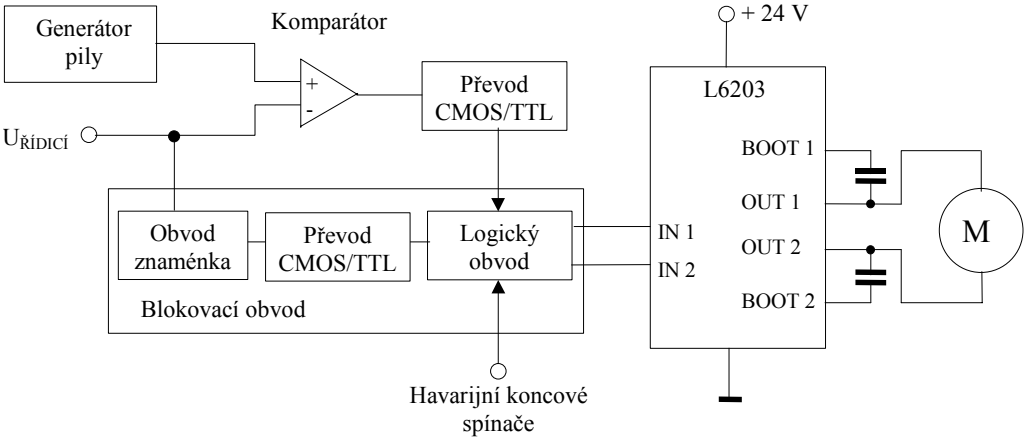
Obr. 4.7 Blokové schéma řízení motoru vřetene

Ovládání posuvů je doplněno o bezpečnostní část, která blokuje otáčení motoru špatným směrem při dojezdu na havarijní spínač. Pro podélný posuv je schéma obvodu na Obr. 4.8, u příčného posuvu je zapojení obdobné. Komparátor U2A vytváří informaci o znaménku řídicího napětí. Následuje převod na úroveň TTL pomocí tranzistoru Q1. Zápornému řídicímu napětí odpovídá logická 1 na kolektoru tranzistoru a naopak. Při záporném řídicím napětí a aktivaci levého havarijního snímače (logická 1) je na výstupu hradla U1A logická 0. Ta způsobí logickou 0 na výstupu U4A a uvede výstupy U4B a U4C řídící tranzistorový můstek do logických 0. Tím dojde k rozepnutí všech tranzistorů můstku a motorem neprochází žádný proud. Obdobná je funkce při kladném řídicím napětí a sepnutí pravého havarijního spínače.

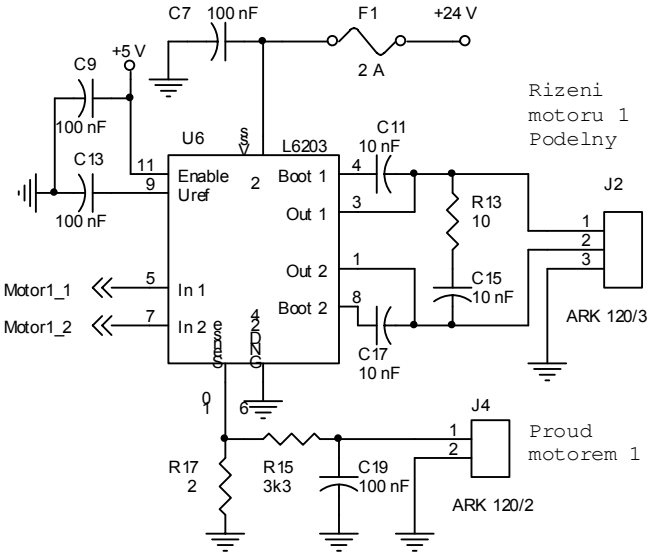


Obr. 4.8 Zapojení blokovacího obvodu pro podélný posuv

Celkové blokové schéma obvodů řídících motory posuvu je na Obr. 4.9. Zapojení koncového výkonového můstku je na Obr. 4.10.



Obr. 4.9 Blokové schéma řízení motorů posuvu



Obr. 4.10 Zapojení obvodu L6203 – podélný posuv

Výsledný dvouvrstvý plošný spoj má rozměry 160 x 101 mm.

Při oživování tohoto plošného spoje bylo nutné vyřešit několik problémů. Jedním z nich byla velmi pozvolná náběžná hrana výstupního signálu z tranzistorového můstku mezi svorkami 1 a 3. To znamená, že při rozpínání spodních a spínání horních tranzistorů můstku není k horních přivedeno dostatečně rychle potřebné množství energie. Tento problém byl odstraněn nahrazením keramických

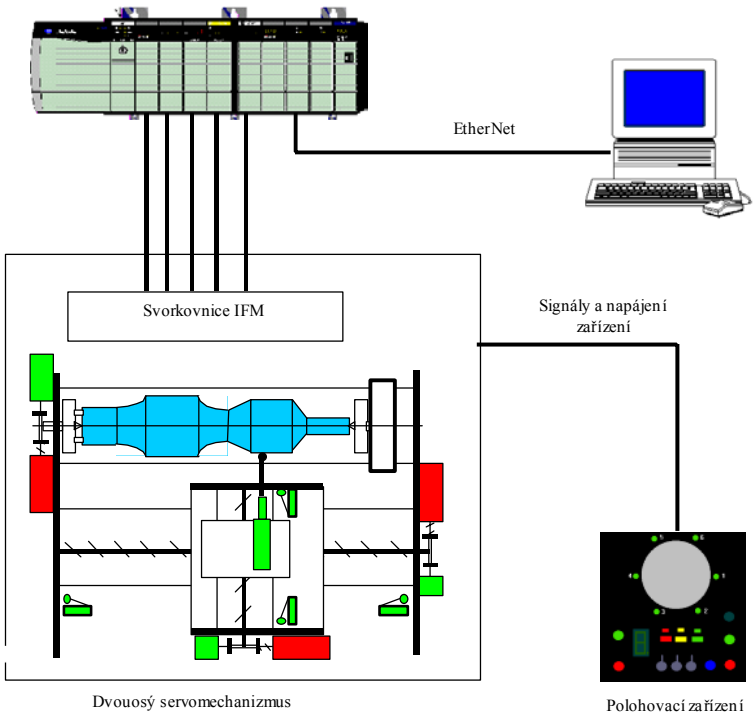
bootovacích kondenzátorů (C11, C17 na Obr. 4.10 v případě podélného posuvu) kvalitnějšími fóliovými. Dále musela být oproti katalogovému zapojení upravena hodnota kondenzátoru C15 (Obr. 4.10 v případě podélného posuvu) filtračního Bucherotova článku. Původní hodnota též negativně ovlivňovala strmost hrany výstupního signálu.

4.3.3 Sestavení

Model soustruhu je upevněn na základní desce spolu s vypínačem, napájecím zdrojem, panelem ručního řízení a svorkovnice pro připojení signálů k programovatelnému automatu. Na výztuhách pod hlavní deskou je upevněna deska, která slouží pro připevněný plošných spojů a svorkovnice pro rozvod napájecích napětí. Pod napájecím zdrojem je umístěna patice s ovládacím relé.

Po propojení všech signálů a desek plošných spojů bylo zjištěno, že řídicí obvody motorů se navzájem velmi ruší. To se projeví nežádoucí vzájemnou interakcí motorů. Řízení pohybu jedné osy způsobí roztočení osy druhé, která nemá být podle požadavků řízení aktivní. Tím však dochází i ke změně rychlosti otáčení v první ose. Všechna realizovaná opatření (např. nasazení filtračních kondenzátorů, výměna vedení řídicích signálů) ani odborné konzultace tento problém neodstranily. Z tohoto důvodu pak byl návrh řídicí části řešen pouze teoreticky.

V laboratoři Allen-Bradley na Katedře řídicí techniky bylo vytvořeno pracoviště pro řešení úloh polohování. Pracoviště se skládá z programovatelného automatu ControlLogix a dvojice modelů: popisovaného dvouosého servomechanizmu a polohovacího zařízení [21]. Polohovací zařízení je ze servomechanizmus napájeno a připojeno na svorkovnice IFM. Signálům z polohovacího zařízení jsou na modulech automatu přiděleny spodní adresy, servomechanizmus je obsazuje shora. Schéma pracoviště je na Obr. 4.11.

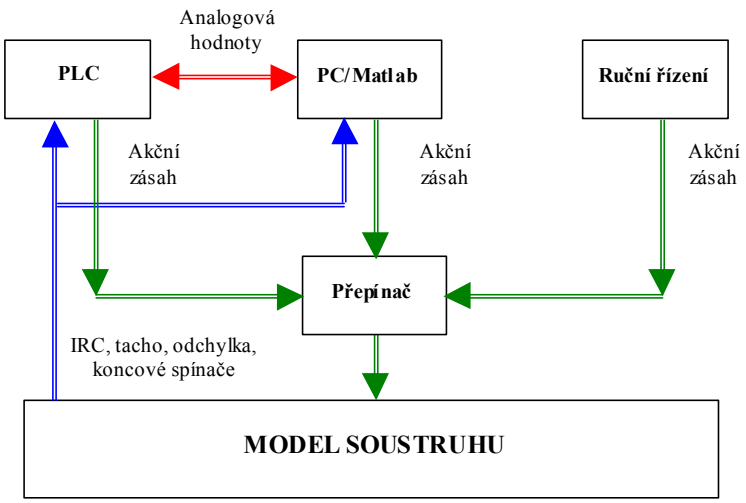


Obr. 4.11 Schéma pracoviště s polohovacími přípravky

4.4 Způsoby řízení

Model je možné řídit několika způsoby. Prvotní řízení provádí programovatelný automat, dále je přes multifunkční vstupně/výstupní kartu MF 614 možné připojení k osobnímu počítači a využití Matlabu. Posledním způsobem zůstává možnost zásahu z ovládacího panelu.

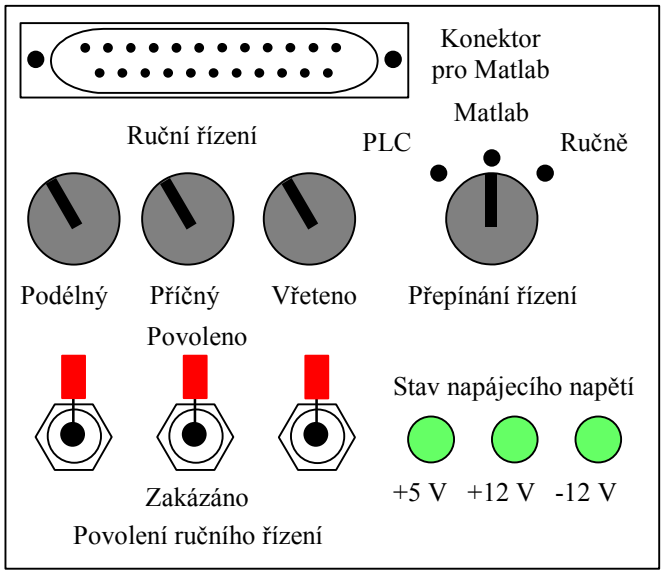
Na Obr. 4.12 je blokové schéma propojení modelu s řídicími zařízeními. Signály z modelu jsou přivedeny do programovatelného automatu a na měřicí kartu osobního počítače. Vypočtené akční zásahy přes přepínač ovládají model. Navíc je umožněna obousměrná výměna dvou analogových hodnot mezi automatem a počítačem. Toho lze využít pro řízení simulovaného systému v automatu z počítače nebo naopak.



Obr. 4.12 Blokové schéma řízení modelu

4.4.1 Ruční řízení

Ruční zásah do modelu se provádí prostřednictvím ovládacího panelu (viz Obr. 4.13.). Přepínačem řízení se vybírá, odkud bude model řízen. Z levé krajní polohy je to PLC, PC a Ruční. Po přepnutí do ručního řízení se musí přepínačem příslušná osa nejdříve povolit a až poté nastavit požadovaný akční zásah. Dále se na panelu nacházejí LED diody indikující stav pomocných napájecích napětí a 35pinový konektor pro připojení signálů k osobnímu počítači.



Obr. 4.13 Ovládací panel

4.4.2 Řízení z Matlabu

Model má vyvedeny důležité signály na konektor umístěný na panelu ručního řízení. Pomocí těchto informací a multifunkční karty lze model připojit k PC a využít možnosti real-time řízení v Matlabu. Příloha 2 - Připojení signálů uvádí připojení signálů na konektor. Tento způsob řízení nebyl z časových důvodů implementován.

4.4.2.1 Karta MF 614

Multifunkční karta MF 614 od firmy Humusoft je navržena pro připojení osobního počítače do okolního světa. Karta vyžaduje jeden volný PCI slot. Při použití analogových a digitálních I/O v kombinaci s IRC vstupy nebo časovači/čítači je nutný další volný slot.

Karta dovoluje využít následující signály:

- 8 x 12bitový A/D převodník, převod 10 μs, rozsah softwarově nastavitelný
- 4 x 12bitový D/A převodník, ustálení max. 10 μs, výstup ±10 V
- 4 x kvadraturní vstup enkodéru, 24bitový, max. 2 MHz
- 5 x čítač/časovač s rozlišením 20 ns
- 8 x TTL vstup, 8 x TTL výstup
- Přerušení

4.4.3 Řízení z programovatelného automatu

Hlavním způsobem řízení je využití programovatelného automatu. Informační a řídicí signály jsou do programovatelného automatu přivedeny přes připojovací systém 1492. Jedná se o svorkovnice IFM na DIN lištu a připravené kabely ve čtyřech standardních délkách. Kabel má na jedné straně konektor do svorkovnice, na druhé vyjímatelnou svorkovnici přímo připojitelnou do modulu programovatelného automatu. Svorkovnici a kabel je nutné vybrat podle použitého modulu. Některé svorkovnice jsou vybaveny indikačními LED nebo pojistkami. Další informace je možné zjistit v [2].

4.4.3.1 Hardwarová konfigurace automatu ControlLogix

Pro řízení modelu je použit programovatelný automat ControlLogix s procesorovou jednotkou Logix 5550 (verze firmwaru 11.11), katalogové číslo 1756-L1. Pohyb suportu ovládá speciální modul pro řízení servomechanizmu 1756-M02AE. Digitální vstupy nabývají úrovní 24 V DC a jsou připojeny přes modul 1756-IB32. Jedná se o 32bitový vstupní tranzistorový modul v zapojení „sink“ (společná zem). Každých 16 vstupů má společnou svorku. Výstupní digitální signály též v úrovních 24 V DC vycházejí z modulu 1756-OB16E, 16bitové výstupní karty vybavené vnitřní elektronickou pojistkou. Analogové vstupy přivedeny na modul 1756-IF8, 8kanálovou kartu dovolující podle konfigurace připojit až 8 jednoduchých napěťových vstupů. Analogové akční zásahy do modelu jsou provedeny přes napěťový výstupní modul 1756-OF6VI. Přehledné informace o použitých digitálních modulech jsou v Tab. 4.5, o analogových modulech v Tab. 4.6.

Katalogové číslo	**Počet vstupů/výstupů**	**Pracovní napětí [V DC]**	**Spotřeba [mA při V DC]**
1756-IB32	32 vstupů (2 x 16)	10÷31.2	150 při 5 2 při 24 0.81 W
1756-OB16E	16 elektronicky jištěných výstupů (2 x 8)	10÷31.2	250 při 5 2 při 24 1.32 W

Tab. 4.5 Technické informace o použitých digitálních modulech

Katalogové číslo	**Počet vstupů/výstupů**	**Napěťový rozsah [V]**	**Proudový rozsah [mA]**	**Spotřeba [mA při V DC]**
1756-IF8	Vstupy: volitelně 8 jednoduchých 4 diferenciální 2 rychlé diferenc.	Konfigurovatelný: ±10.25 0÷5.125 0÷10.25	0÷20.5	150 při 5 40 při 24 2.33 W
1756-OF6VI	6 vzájemně izolovaných výstupů	±10.5	nelze	250 při 5 175 při 24 5.5 W

Tab. 4.6 Technické informace o použitých analogových modulech

Pro připojení programovatelného automatu k počítači a pro sdílení dat s dalšími zařízeními je využit modul pro připojení na EtherNet, 1756-ENET/B. Všechny moduly jsou zasunuty v rámu o 13 pozicích. Jejich obsazení ukazuje Obr. 4.14. Spotřebu modulů kryje napájecí zdroj 1756-PA72. Ten byl navržen s ohledem na

dosažitelné napájecí napětí a dostupný výkon. Výpočet spotřeby modulů ukazuje Tab. 4.7. Z ní vyplývá, že zvolený napájecí zdroj vyhovuje s dostatečnou rezervou.

Pozice	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1756-PA72	1756-L1	1756-IB32	1756-OB16E	1756-IF8	1756-OF6VI	1756-ENET/B							

Obr. 4.14 Obsazení jednotlivých pozic

Modul	**Odběr z 5 V DC [mA]**	**Odběr z 24 V DC [mA]**	**Průměrná spotřeba [W]**
1756-L1	1200	2	4.75
1756-IB32	150	2	0.81
1756-OB16E	250	2	1.32
1756-IF8	150	40	2.33
1756-OF6VI	250	175	5.5
1756-M02AE	700	2.5	3.56
1756-ENET	900	350	12.99
Součet	3600	573.5	31.26
1756-PA72	10000	2800	
Zbývá	6400	2226.5	

Tab. 4.7 Výpočet napájecího zdroje automatu

4.5 Závěr

V této kapitole byla popsána konstrukce modelu dvouosého lineárního servomechanizmu včetně uvedení použitých snímačů a jejich vlastností. Další část byla věnována návrhu elektronických obvodů nutných pro řízení modelu a jeho připojení k programovatelnému automatu. Byly též vysvětleny problémy vzniklé při realizaci a z nich vyplývající důsledky. Poslední část popisuje možné způsoby řízení modelu a jeho připojení k jednotlivým řídicím systémům.

5 Kurz spojitého řízení

Kurz spojitého řízení vznikl jako reakce na obecně známý problém – nastavování regulátorů v praxi. Většina pracovníků obsluhy nemá potřebné znalosti z oblasti teorie řízení. Pokud jsou postaveni před problém, jak nastavit vhodným způsobem parametry regulátorů, postupují často zkusmo, což se negativně projeví na kvalitě regulace. Projekt Kurzu spojitého řízení má sloužit jako přehledná informativní pomůcka, která se snaží tento stav vylepšit. Důležitým bodem je názorná ukázka průběhu regulace s konkrétně nastavenými parametry a změna chování v závislosti na změně parametrů.

5.1 Simulace soustavy

Pro účastníky školení programovatelných automatů Allen-Bradley, kde jsem též působil jako lektor, je vložena část, která nenásilnou formou s regulátory seznamuje. Praktické nastavení pak probíhá s využitím u nás nejčastěji používaných programovatelných automatů této firmy - SLC 500. K ověření kvality nastavených parametrů regulace bylo nutné v automatu vytvořit model regulované soustavy. Jedním z možných příkladů je soustava s přenosem:

$$P(s) = \frac{1}{0.5s^3 + 1.7071s^2 + 1.9142s + 1}.$$

Jedná se o statickou soustavu třetího řádu s jedním reálným záporným pólem a dvojicí stabilních kmitavých pólů. Její přechodová charakteristika je na Obr. 5.1. Protože automat z principu činnosti pracuje nespojitě, bylo nutné přenos soustavy zdiskretizovat se zvolenou periodou vzorkování (100 ms). Tak dostáváme popis soustavy ve formě regresního modelu:

$$y(k) = -a_2 y(k-1) - a_1 y(k-2) - a_0 y(k-3) + b_2 u(k-1) + b_1 u(k-2) + b_0 u(k-3),$$

kde *y(k)* je výstup ze soustavy v kroku *k*,

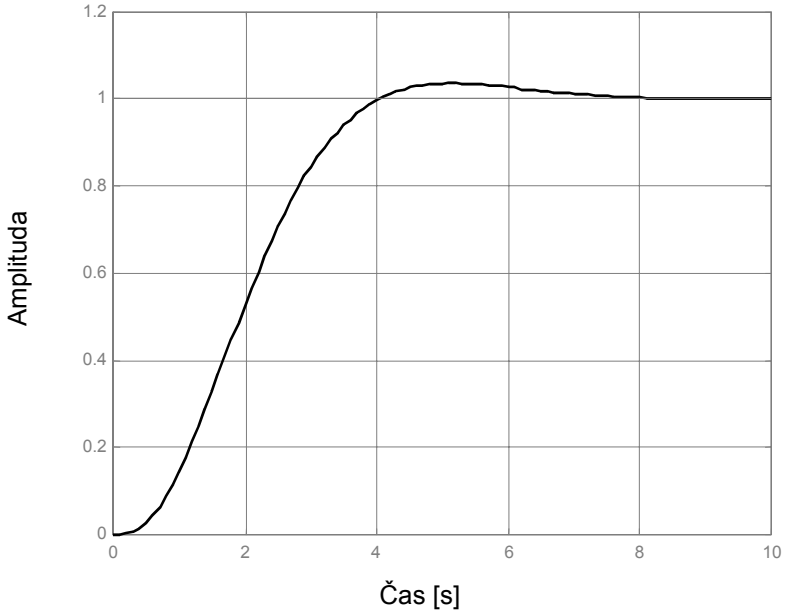
u(k) vstup do soustavy v kroku *k* a

a_i, b_i koeficienty modelu.

Po dosazení vypočtených koeficientů získáváme výraz pro současný výstup ze soustavy v závislosti na minulých hodnotách vstupů a výstupů. Vypočtené koeficienty jsou v Tab. 5.1. Tento výpočet je v automatu realizován prostřednictvím instrukce CPT.

Koeficient	**Hodnota**	**Koeficient**	**Hodnota**
a_2	2.67754	b_2	0.000306144
a_1	-2.38999	b_1	0.0011247
a_0	0.710759	b_0	0.000258101

Tab. 5.1 Vypočtené koeficienty diskretizovaného modelu

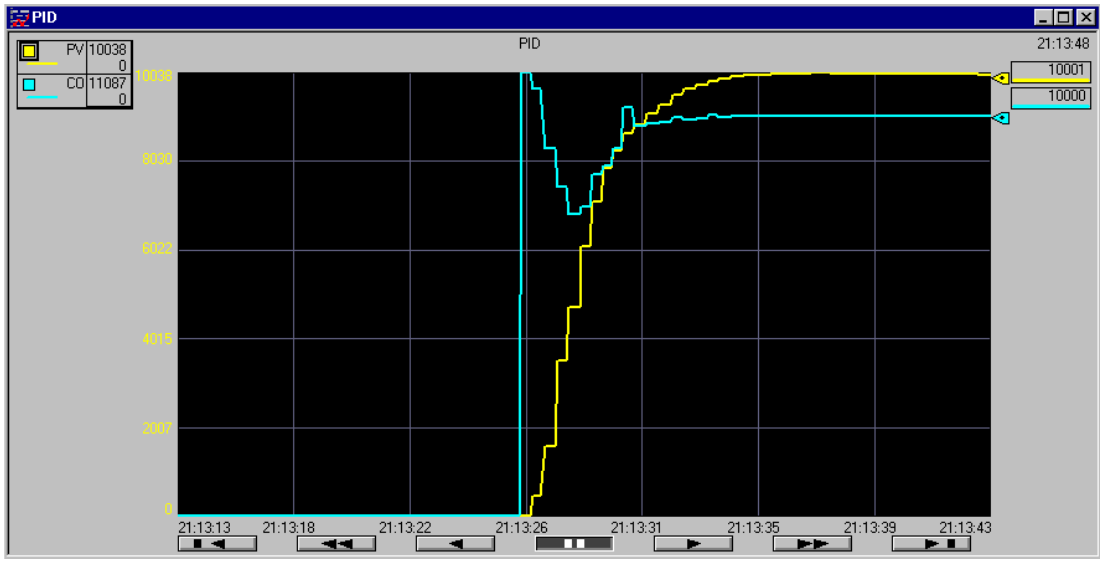


Obr. 5.1 Přechodová charakteristika spojitého systému

5.2 Popis simulačního programu

Program se skládá ze dvou částí. První je simulace chování soustavy, druhá část je tvořena samotným regulátorem. Na začátku programu se nachází samoresetující se časovač, který vytváří časovou základnu pro spouštění výpočtu aktuálního výstupu modelu soustavy. Každých 100 ms se provede přesun minulých hodnot vstupů a výstupů o jednu pozici v poli zpět. Tím je realizováno zpoždění o jeden krok. Z těchto hodnot se vypočítá aktuální výstup ze soustavy. Tyto operace se provádí z důvodů zachování dostatečné přesnosti v proměnných typu float. Nakonec je nutné

hodnotu převést a zaokrouhlit do formátu, který akceptuje instrukce PID (0÷16383). Pro kontrolu kvality regulace je možné využít zobrazení časových průběhů veličin – trendů (viz Obr. 5.2). Žlutě je zobrazena hodnota regulované veličiny (PV – Process Variable) a modře akční zásah regulátoru (CO – Control Output)



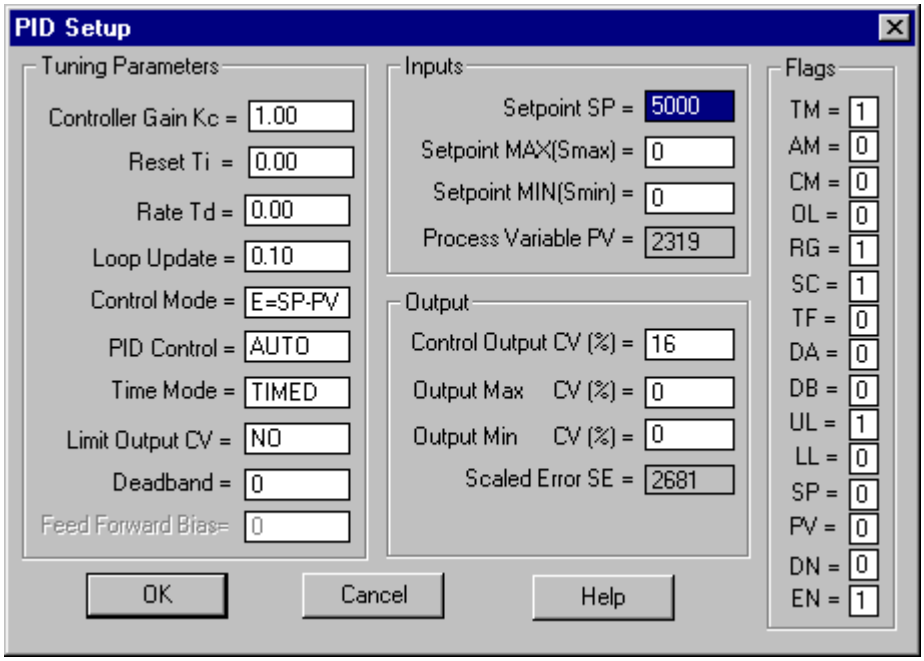
Obr. 5.2 Grafické znázornění průběhů.

5.3 Popis PID instrukce

PID je výstupní instrukce sloužící pro regulaci fyzikálních veličin jako teplota, tlak, hladina nebo průtok. Vstupem instrukce je informace o regulované veličině (Process Variable) z analogových vstupních modulů a výstupem akční zásah (Control Variable) do technologie přes výstupní analogový modul. Akční zásah pak udržuje regulovanou veličinu na žádané hodnotě (Set Point). Čím je větší regulační odchylka, tím je větší akční zásah a naopak. K hodnotě akčního zásahu je též možné přidat volitelný posun (Bias). Výpočet PID instrukce může probíhat buď v časově spouštěném režimu (pro pomalé soustavy) nebo v časovém přerušení STI (rychlé soustavy). Akční zásah je v závislosti na hodnotách proporcionálního zesílení, integrační a derivační konstanty vypočítán podle rovnice

$$u(t) = K_P \left[e(t) + \frac{1}{T_I} \int_0^{\vartheta} e(\vartheta) d\vartheta + T_D \frac{de(t)}{dt} \right],$$

Instrukce pro svou funkci potřebuje 23 slov pomocných proměnných v řídicím bloku (Control Block), kde jsou uloženy nastavené konstanty, informace o činnosti instrukce atd. Vstupem instrukce je regulovaná veličina (Process Variable), výstupem akční zásah (Control Variable), oba v rozsahu 0 až 16383. Další údaje se zadávají v nastavovací obrazovce (Setup Screen) (viz Obr. 5.3). Ta je rozdělena na několik oblastí podle typu zadávaných parmetrů: nastavované parametry (Tunning Parametres), vstupy (Inputs), výstupy (Outputs) a příznakové bity (Flags).



Obr. 5.3 Nastavovací obrazovka.

5.3.1 *Nastavované parametry*

- **Controller Gain Kc (Celkové zesílení).** Zadejte hodnotu v rozsahu 0.01 až 25.5 pro procesory 5/02 nebo 0 až 32.767 pro 5/03 a vyšší (bit RG musí být nastaven).
- **Reset Ti (Integrační časová konstanta)**. Zadejte hodnotu v rozsahu 0.1 až 25.5 min pro procesory 5/02 nebo 0 až 327.67 min pro 5/03 a vyšší (bit RG musí být nastaven).
- **Rate Td (Derivační časová konstanta).** Zadejte hodnotu v rozsahu 0.1 až 25.5 min pro procesory 5/02 nebo 0 až 327.67 min pro 5/03 a vyšší (bit RG musí být nastaven).

- **Loop Update (Aktualizace smyčky).** Zadejte hodnotu v rozsahu 0.1 až 25.5 s pro procesory 5/02, 0.01 až 10.24 s pro 5/03 a vyšší. Je to interval mezi dvěma výpočty PID rovnice. Obecně nastavte tuto hodnotu 5 až 10-krát rychlejší než je vlastní frekvence oscilací soustavy. V režimu STI musí být hodnota rovna předvolbě S:30.
- **Control Mode (Mód řízení).** Vyberte způsob výpočtu regulační odchylky: E=SP-PV (akční zásah se zvětšuje, pokud je regulované veličina menší než žádaná hodnota - např. pro vytápění) nebo E=PV-SP (akční zásah se zvětšuje, pokud je regulované veličina větší než žádaná hodnota - např. pro chlazení)
- **PID Control (Řízení PID).** Vyberte Auto nebo Manual. Auto indikuje, že instrukce PID řídí výstup (slovo 0, bit 1 (AM) je nulový). Manual indikuje ruční ovládání výstupu obsluhou (slovo 0, bit 1 (AM) je jedničkový).
- **Time Mode (Časový mód).** Vyberte Timed nebo STI. Pokud je vybrán mód Timed, instrukce PID aktualizuje výstup s periodou danou parametrem Loop Update. V módu STI je výstup aktualizován s periodou časového přerušení.
- **Limit Output CV (Omezení akčního zásahu).** Vybrání YES omezí velikost akčního zásahu do zadaného intervalu.
- **Deadband DB (Mrtvé pásmo).** Zadejte hodnotu v rozsahu 0 až 16383, pokud není provedeno škálování. Tato hodnota specifikuje interval okolo žádané hodnoty. Po průchodu středem pásma přestane regulátor měnit akční zásah. Tento stav trvá až do opuštění pásma, kdy regulátor začne opět měnit akční zásah.

5.3.2 Vstupy

- **Setpoint SP (Žádaná hodnota).** Zadejte hodnotu v rozsahu 0 až 16383 nebo hodnotu ve škálovaném rozsahu. Toto je požadovaná hodnota regulované veličiny. Hodnotu zadejte pomocí programu do třetího slova řídicího bloku (slovo 2).
- **Setpoint MAX Smax (Maximum žádané hodnoty).** Zadejte hodnotu v rozsahu -16383 až 16383 pro procesory 5/02, -32768 až 32767 pro 5/03 a vyšší. Pokud je žádaná hodnota zadávána v inženýrských jednotkách, odpovídá toto číslo maximu analogového vstupu (16383).

- **Setpoint MIN Smin (Minimum žádané hodnoty).** Zadejte hodnotu v rozsahu -16383 až 16383 pro procesory 5/02, -32768 až 32767 pro 5/03 a vyšší. Pokud je žádaná hodnota zadávána v inženýrských jednotkách, odpovídá toto číslo minimu analogového vstupu (0).
- **Process Variable PV (Regulovaná veličina).** Pouze pro čtení. Škálovaná hodnota regulované veličiny.

5.3.3 Výstupy

- **Control Output CV (Akční zásah %).** V ručním ovládání je možné změnit velikost akčního zásahu v % z maximálního hodnoty (fyzický výstup vždy v rozsahu 0÷16383).
- **Output Min CV (Minimální výstup %).** Pokud je omezení akčního zásahu (Limit Output CV) nastaveno na YES, zadejte minimální velikost akčního zásahu. Pokud poklesne vypočtený zásah pod tuto mez, zůstává skutečný zásah na minimální zadané hodnotě a je nastaven alarmový bit LL (dolní limit). V případě Limit Output CV = NO určuje zadaná hodnota hranici pro nastavení alarmového bitu LL, skutečný výstup odpovídá vypočtenému.
- **Output Max CV (Maximální výstup %).** Pokud je omezení akčního zásahu (Limit Output CV) nastaveno na YES, zadejte maximální velikost akčního zásahu. Pokud překročí vypočtený zásah tuto mez, zůstává skutečný zásah na maximální zadané hodnotě a je nastaven alarmový bit UL (horní limit). V případě Limit Output CV = NO určuje zadaná hodnota hranici pro nastavení alarmového bitu UL, skutečný výstup odpovídá vypočtenému.
- **Scaled Error SE (Škálovaná regulační odchylka).** Pouze pro čtení. Hodnota škálované regulační odchylky vypočtené podle zvoleného módu řízení.

5.3.4 Stavové bity

Umístění stavových bitů v řídicím bloku ukazuje Tab. 5.2.

- **Time Mode TM (Časový mód).** Specifikuje mód činnosti PID. Je nastaven při volbě TIMED, nulován při volbě STI. Tento bit může být nastaven nebo nulován instrukcemi v uživatelském programu.

- **Auto/Manual AM (Auto/Manual).** Nulovost bitu specifikuje automatický režim, jednička ruční režim. Tento bit může být nastaven nebo nulován instrukcemi v uživatelském programu.
- **Control Mode CM (Mód řízení).** Bit je nulový, pokud se regulační odchylka počítá SP – PV, je nastaven při E = PV – SP. Tento bit může být nastaven nebo nulován instrukcemi v uživatelském programu.
- **Output Limiting Enable OL (Povolení omezení výstupu).** Bit je nastaven, pokud je vybráno omezení výstupu. Tento bit může být nastaven nebo nulován instrukcemi v uživatelském programu.
- **Reset and Gain Rate Enhancement RG (Zvětšení rozsahu konstant)** – pouze procesory 5/03 a vyšší. Nastavený bit mění násobitel pro konstanty PID algoritmu na 0.01. Při nulovém bitu se používá standardní násobitel jako u procesoru 5/02 (násobitel 0.1). POZOR: Zadaná hodnota v řídicím bloku se nezmění, ale je jinak interpretována (10x větší)!
- **Scale Setpoint SC (Škálování požadované hodnoty).** Nulován, pokud je použito škálování požadované hodnoty.
- **Loop Update Time Too Fast TF (Příliš rychlá aktualizace smyčky).** Tento bit je nastaven PID algoritmem, pokud nemůže být dosažena požadovaná rychlost aktualizace smyčky (kvůli omezení programovým skenem). Pokud je tento bit nastaven, pokuste se problém opravit nastavením nižší rychlosti aktualizace nebo přesunem do přerušovacího podprogramu STI. Požadovaná velikost integrační a derivační časové konstanty nebude správně aplikována na akční zásah v případě, kdy instrukce pracuje s nastaveným bitem TF.
- **Derivative (Rate) Action DA (Způsob výpočtu derivace)** - pouze procesory 5/03 a vyšší. Nastavený bit způsobí, že výpočet derivační složky bude prováděn z regulační odchylky, ne z regulované veličiny. Pokud je nulován, derivační složka bude počítána stejně jako u procesorů 5/02 (z regulované veličiny).
- **Deadband Error DB (Odchylka v mrtvém pásmu).** Nastaven, pokud je regulovaná veličina po průchodu nulou v daném rozsahu.
- **Upper Limit UL (Výstupní alarm, horní limit).** Nastaven, pokud je vypočtený akční zásah CV větší než hodnota horního limitu.
- **Lower Limit LL (Výstupní alarm, dolní limit).** Nastaven, pokud je vypočtený akční zásah CV menší než hodnota dolního limitu.

- **Setpoint Out of Range SP (Požadovaná hodnota mimo rozsah).** Nastaven, pokud požadovaná hodnota přesahuje maximální škálovanou hodnotu nebo je menší než minimální škálovaná hodnota.
- **Process Variable Out of Range PV (Regulovaná veličina mimo rozsah).** Nastaven, pokud neškálovaná (nebo neupravená) regulovaná veličina přesahuje 16383 nebo je menší než 0.
- **PID Done DN (Výpočet PID ukončen).** Bit je nastaven při dokončení výpočtu. Výpočet byl proveden v požadované periodě.
- **PID Enabled EN (PID povolena).** Bit je nastaven, pokud je povolena příčka s PID instrukcí.

5.3.5 Řídicí blok

V Tab. 5.2 Řídicí blok instrukce PID je popis řídicího bloku instrukce PID v programovatelném automatu SLC 500.

	15	**14**	**13**	**12**	**11**	**10**	**9**	**8**	**7**	**6**	**5**	**4**	**3**	**2**	**1**	**0**
Slovo 0	EN		DN	PV	SP	LL	UL	DB	DA	TF	SC	RG	OL	CM	AM	TM
Slovo 1	Chybový kód PID (spodní slovo)															
Slovo 2	Požadovaná hodnota SP															
Slovo 3	Celkové zesílení Kc															
Slovo 4	Integrační časová konstanta Ti															
Slovo 5	Derivační časová konstanta Td															
Slovo 6	Volitelný posun (Bias)															
Slovo 7	Maximum požadované hodnoty (Smax)															
Slovo 8	Minimum požadované hodnoty (Smin)															
Slovo 9	Mrtvé pásmo															
Slovo 10	PRO VNITŘNÍ POUŽITÍ – NEMĚŇTE!!															
Slovo 11	Maximální výstup %															
Slovo 12	Minimální výstup %															
Slovo 13	Aktualizace smyčky															
Slovo 14	Škálovaná regulovaná veličina															
Slovo 15	Škálovaná regulační odchylka SE															
Slovo 16	Akční zásah v % (0 – 100 %)															
Slovo 17	Integrační suma MSW															
Slovo 18	Integrační suma LSW															
Slovo 19	Přepočtený derivační člen (spodní slovo)															
Slovo 20	Přepočtený derivační člen (horní slovo)															
Slovo 21	Čas poslední aktualizace															
Slovo 22	Předcházející hodnota požadované veličiny															

Tab. 5.2 Řídicí blok instrukce PID

5.4 Přehled praktických metod návrhu regulátorů

Pro nastavení konstant regulátorů existuje celá řada metod. Problém je v tom, že většina z nich vyžaduje hlubší teoretické a matematické znalosti. Se zohledněním tohoto kritéria jsou prakticky použitelné některé z následujících metod:

- Metoda pokusů a omylů
- Ziegler-Nicholsovy metody
- Tříparametrový model

Všechny tyto metody jsou použitelné pro soustavy s přechodovými charakteristikami ve tvaru „S“, tj. procesy s autoregulací, kdy se po skokové změně vstupního signálu výstup ustálí. Regulátory jsou předpokládány ve tvaru:

$$u(t) = K_P\left[e(t) + \frac{1}{T_I}\int_0^{\vartheta} e(\vartheta)d\vartheta\right] \quad \text{resp. } u(t) = K_P\left[e(t) + \frac{1}{T_I}\int_0^{\vartheta} e(\vartheta)d\vartheta + T_D\frac{de(t)}{dt}\right],$$

kde K_P je proporcionální zesílení, T_I integrační časová konstanta, T_D derivační časová konstanta, $e(t)$ regulační odchylka od žádané veličiny a $u(t)$ akční zásah.

5.4.1 Metoda pokusů a omylů

Jedním ze způsobů hledání konstant regulátorů je metoda pokusů a omylů [13]. Postup je následující:

- Vyřadit integrační (nastavit maximum T_I, u SLC 500 na nulu) a derivační složku (nastavit minimum T_D).
- V ručním režimu nastavit proporcionální zesílení na malou hodnotu (např. 0.5) a přepnout regulátor do automatického režimu.
- Zvyšovat postupně proporcionální zesílení K_P až do dosažení optimálního poměru mezi rychlostí a kmitavostí regulace.
- Snižovat integrační časovou konstantu T_I a odstranit tak trvalou regulační odchylku.
- Zvyšovat derivační časovou konstantu T_D, jejíž účinek zvýší rychlost a stabilitu regulačního pochodu (do určité míry).

5.4.2 Ziegler-Nicholsovy metody

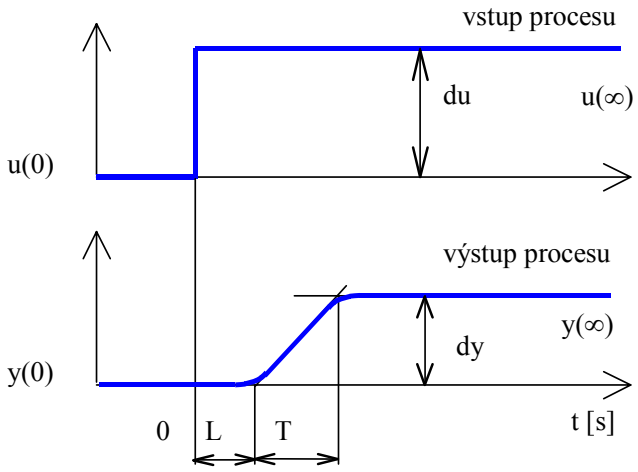
Obecným a nejčastěji používaným způsobem jsou Ziegler-Nicholsovy [12] metody. První provádí výpočet parametrů podle chování soustavy v otevřeném regulačním obvodu, druhá podle odezvy uzavřené regulační smyčky.

5.4.2.1 Otevřená smyčka

Postup pro hledání konstant regulátoru je následující:

- Zaznamenat přechodovou odezvu na vstupní skok.
- Z odezvy odečíst dopravní zpoždění L (doba průtahu) a časovou konstantu T (doba náběhu) podle Obr. 5.4.
- Vypočítat parametry regulátoru podle Tab. 5.3 s použitím výrazů:

$$K_P = \frac{dy}{du}; \quad K = \frac{T}{K_P L}.$$



Obr. 5.4 Definice parametrů přechodové charakteristiky

5.4.2.2 Uzavřená smyčka

V tomto případě je nutné provést tento postup:

- Vyrušit derivační a integrační časovou konstantu regulátoru (čistý proporcionální regulátor).
- Změnou nastavené žádané hodnoty vyvolat přechodový jev a pozorovat jeho odezvu.

- Tento test opakovat a měnit celkové zesílení K_P (směrem nahoru i dolů), dokud nebude dosaženo stabilních oscilací na výstupu. Toto zesílení se nazývá kritické zesílení K_{Krit}.
- Odečíst periodu kritických oscilací T_{Krit}.
- Vypočíst parametry regulátoru podle Tab. 5.3:

Otevřená smyčka	**Prop. zesílení**	**Integrační čas. konstanta**	**Derivační čas. konstanta**
Regulátor PI	0.9K	3.3L	
Regulátor PID	1.2K	2·L	0.5L
Uzavřená smyčka			
Regulátor PI	$0.45K_{Krit}$	$T_{Krit}/1.2$	
Regulátor PID	$0.6K_{Krit}$	$T_{Krit}/2$	$T_{Krit}/8$

Tab. 5.3 Nastavení konstant podle Ziegler-Nicholsovy metody

Tímto způsobem je dosaženo poměrně dobrého počátečního nastavení, které se dále podle požadavků procesu doladí.

5.4.3 Tříparametrový model

Tříparametrový model [13] je aproximací skokové odezvy procesu v Laplaceově transformaci:

$$G_{(s)} = \frac{K_P}{Ts + L} e^{-sL},$$

kde K_P je zesílení, L dopravní zpoždění a T časová konstanta (viz Obr. 5.4). Po odečtení parametrů odezvy otevřeného regulačního obvodu na skokovou změnu můžeme vypočítat parametry regulátoru podle Tab. 5.4. Pro výpočet některých hodnot bude ještě nutné zjistit hodnotu normalizovaného dopravního zpoždění:

$$\tau = \frac{L}{L+T}.$$

Vyvážené nastavení zabezpečuje rovnováhu proporcionální a integrační složky a šetří akční členy.

	Proporcionální zesílení	Integrační čas. konstanta	Derivační čas. konstanta
Fruehauf a spol. pro $\frac{L}{T} < 0.33$			
PI	$\frac{5T}{9K_P L}$	$5L$	
Fruehauf a spol. pro $\frac{L}{T} \geq 0.33$			
PI	$\frac{T}{2K_P L}$	T	
PID	Jako u PI	Jako u PI	$\leq 0.5L$
Aström a Hägglund			
PI	$0.29\frac{T}{K_P L}\exp(-2.7\tau + 3.7\tau^2)$	$8.9L\exp(-6.6\tau + 0.3\tau^2)$	
PID	$3.8\frac{T}{K_P L}\exp(-8.4\tau + 7.3\tau^2)$	$5.2L\exp(-2.5\tau - 1.4\tau^2)$	$0.89L\exp(-0.37\tau - 4.1\tau^2)$
Vyvážené nastavení			
PI	$\frac{1}{K_P}\left[1 - \frac{2\tau}{1+\sqrt{1+2\tau^2}}\right]$	$\left[\frac{1+\sqrt{1+2\tau^2}}{2} - \tau\right](L+T)$	
PID	Jako PI	Jako PI	$\leq \frac{T_I}{4}$

Tab. 5.4 Různé výpočty konstant regulátorů z tříparametrového modelu

5.5 Porovnání metod

Z přechodového děje a z rozkmitání výše zvolené soustavy byly zjištěny následující hodnoty:

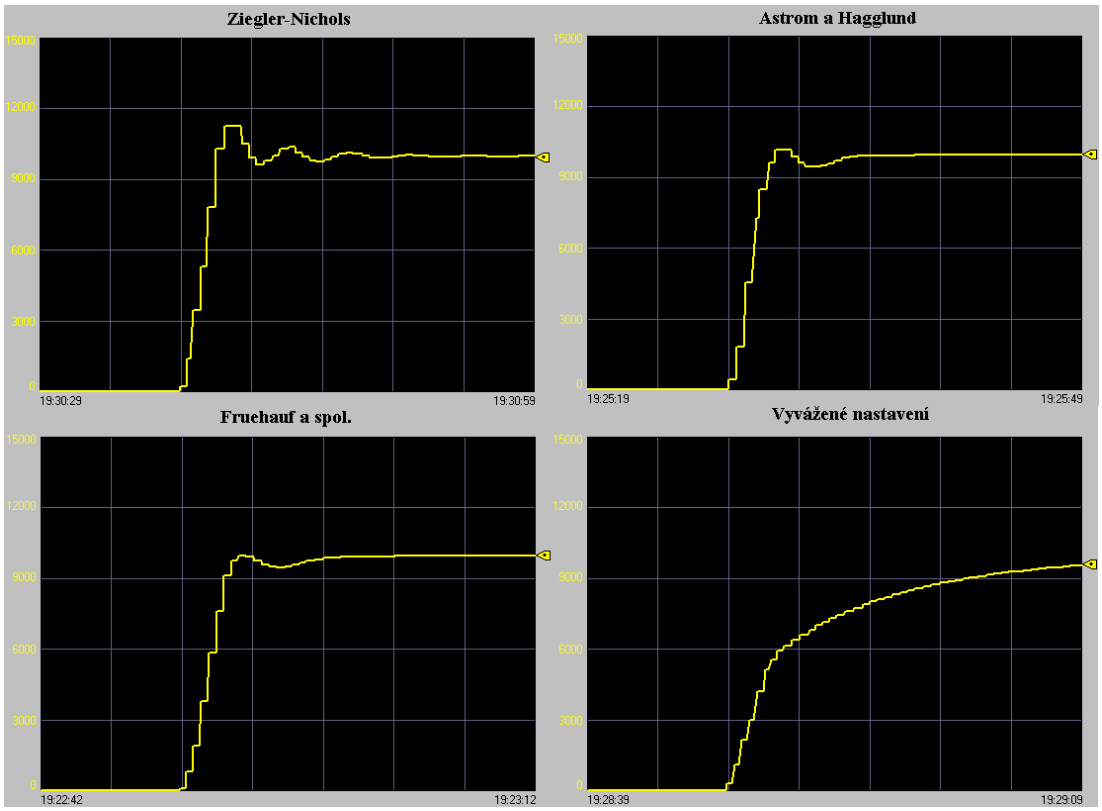
$$K_{Krit} = 5.5;\ T_{Krit} = 5.5;\ L = 1.8;\ T = 4.4,\ K_P = 1.$$

V Tab. 5.5 jsou uvedeny výsledky nastavení parametrů PID regulátoru jednotlivými metodami.

Metoda	Proporcionální zesílení	Integrační časová konstanta	Derivační časová konstanta
Ziegler-Nichols v uzavřené smyčce	3.3	2	0.5
Fruehauf a spol.	1.22	4.4	0.9
Aström a Hägglund	1.5	4.03	1.02
Vyvážené nastavení	0.72	6.67	1.67

Tab. 5.5 Nastavení PID regulátoru různými metodami

Tyto hodnoty byly pro použity pro nastavení regulátoru a jednotlivé metody graficky porovnány (viz Obr. 5.5). Vzhledem k použitému programovatelného automatu SLC 500 je možné integrační a derivační časové konstanty zadat pouze jako celá čísla. To poněkud zkresluje výsledné průběhy. Z grafů je ale zřejmé kmitavější nastavení podle Ziegler-Nicholse a velmi pomalý náběh vyváženého nastavení, které má typickou charakteristiku překompenzovaného regulátoru.



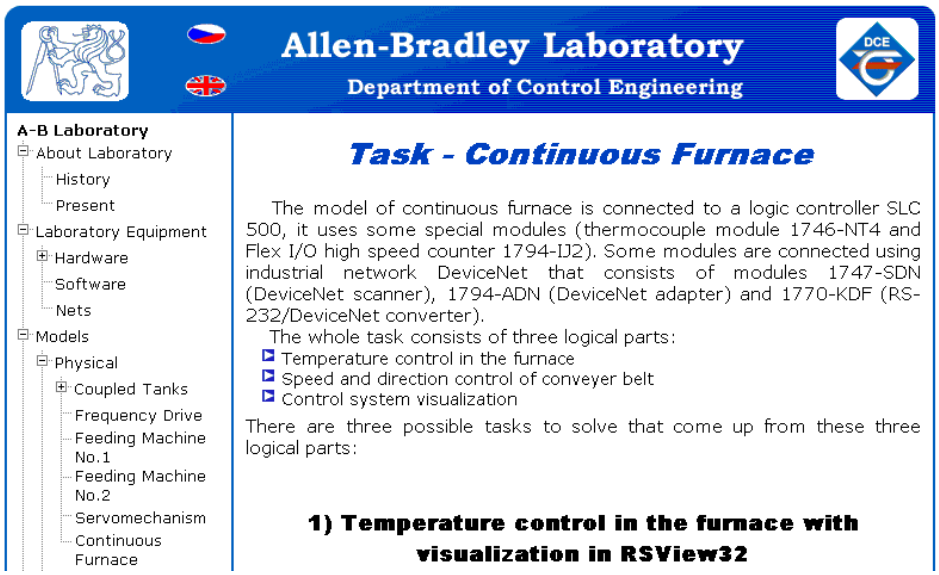
Obr. 5.5 Časové průběhy jednotlivých nastavení

6 Prezentace laboratoře Allen-Bradley

Tato kapitole podává informace o způsobech, jakými je laboratoř A-B, její vybavení a výsledky v ní dosažené, prezentována studentům a široké odborné i laické veřejnosti.

Hlavním úkolem laboratoře je seznamovat studenty s výrobky Allen-Bradley (programovatelnými automaty, panely operátora, frekvenčními měniči, komunikačními sítě a softwarem) a umožnit jim osobní zkušenost s těmito produkty. Základní možnost získání informací o laboratoři je přes webové stránky: http://dce.felk.cvut.cz/ab [22]. Na nich se nacházejí informace o vybavení laboratoře, jednotlivých výukových modelech a kostry programů pro jednotlivé úlohy s nastavením komunikací a speciálních modulů. Vše je dostupné i v anglické verzi, na jejímž vzniku jsem se aktivně podílel. Ukázka části jedné z úloh je na Obr. 6.1.

Laboratoř je prezentována i v rámci mezinárodních konferencí. Spolu s kolegou Nekvindou jsme se pod vedením Ing. Fuky zúčastnili mezinárodní studentské konference Poster 2002 [7] pořádané v Praze Elektrotechnickou fakultou ČVUT a ve spolupráci s Ing. Fukou mezinárodní konference Process Control 2002 [6] pořádané v Koutech nad Desnou Univerzitou Pardubice.



Obr. 6.1 Ukázka webových stránek laboratoře

7 Závěr

V rámci diplomové práce jsem navrhl a vyrobil model dvouosého lineárního servomechanizmu. Ten je možné připojit k programovatelnému automatu ControlLogix a řídit jej s využitím pohybového modulu 1756-M02AE. Konstrukce modelu je motivována chováním soustruhu, u kterého je nutné řídit pohyb suportu nezávisle ve dvou osách. Model není schopen realizovat obrábění, což ani nebylo požadováno, ale kopíruje povrch již hotového obrobku. Poloha obou os je snímána inkrementálními rotačními čidly, vzdálenost od povrchu obrobku kontaktním induktivním úchylkoměrem. Dále jsem navrhl a vytvořil obvody řídicí elektroniky nezbytné pro připojení modelu k automatu. Kromě řízení z programovatelného automatu je možné využít i osobní počítač připojený přes měřicí kartu nebo provést ruční zásah.

V další části jsem popsal instrukční soubor pohybového modulu 1756-M02AE. Největší důraz byl kladen na instrukce umožňující vzájemně svázat pohyb ve dvou osách. Pro řízení modelu jsem vytvořil základní kostru programu pro automat.

Pro pracovníky z praxe jsem vytvořil materiály pro vznikající Kurz spojitého řízení. Ten je seznamuje s prakticky použitelnými metodami nastavení regulátorů bez nutnosti hlubokých teoretických znalostí. Pro porovnání výsledků nastavení je využíván programovatelný automat SLC 500 realizující simulaci řízené soustavy i samotné řízení prostřednictvím instrukce PID. Podrobně jsem popsal její jednotlivé parametry a vytvořil tak návod pro praktické použití.

Poslední část je věnována prezentaci laboratoře Allen-Bradley laické i odborné veřejnosti. Spolupracoval jsem na vytvoření anglické verze webových stránek a účastnil se prezentace laboratoře na dvou mezinárodních konferencí.

V budoucnosti by bylo vhodné pokračovat rozšířením řídicího programu a dalšími praktickými pokusy s modelem. Informace z Kurzu spojitého řízení by bylo vhodné publikovat na webových stránkách laboratoře a zpřístupnit je tak většímu počtu zájemců o tuto problematiku.

Seznam použitých zkratek

A-B

Allen-Bradley

AC

Alternating Current – Střídavý proud

ASCII

American Standard Code for Information Interchange – Americký standardní kód pro výměnu informací – způsob kódování znaků

CNC

Computer Numerical Control – Číslicové řízení pomocí počítače

DC

Direct Current – Stejnosměrný proud

DDE

Dynamic Data Exchange – Dynamická výměna dat

DH+

Data Highway + – Komunikační linka A–B

DH485

Data Highway 485 – Komunikační linka A–B

DIN

Deutsche Industrie Norm – Německá průmyslová norma; DIN lišta – typ montážní lišty

DMOS

Diffused Metal–Oxid Semiconductor – Technologie výroby integrovaných obvodů

EtherNet/IP

EtherNet/Industrial Protocol – Rozšíření protokolu EtherNet pro průmysl

I/O

Input/Output – Vstupy/výstupy

IRC

Inkrementální rotační čidlo

LED

Light Emitting Diode – Svítivá dioda

N.C.

Not Connected – Nezapojeno

OPC

Object Linking and Embedding for Process Control – Vkládání a propojování objektů pro procesní řízení

PC

Personal Computer – Osobní počítač

PCI

Peripheral Component Interconect – Standard vysokorychlostní sběrnice

PLC

Programmable Logical Controler – Programovatelný logický automat; ve spojení PLC-5 konkrétní typ

PWM

Pulse Width Modulation – Pulzní šířková modulace

RS-232

Recommended Standard 232 - Definice rozhraní sériového portu

SFC

Sequential Function Chart – Sekvenční funkční diagram, způsob zápisu programu

SLC

Small Logical Controler – Malý logický automat; ve spojení SLC 500 konkrétní typ

TTL

Transistor Transistor Logic – Tranzistorově vázaná logika, technologie výroby logických obvodů

Seznam použitého softwaru

Adobe Acrobat [počítačový program]. Ver. 5.0 CE. Adobe systems, Inc., 2001.

IRFAN, Skiljan. *IrfanView* [počítačový program]. Ver. 2.83. Viena 1997.

MATLAB [počítačový program].Ver. 5.3.0.10183 (R11). The MathWorks, Inc., 1999.

Microsoft Office [počítačový program]. Ver. 97 Microsoft Corporation, 1997.

OrCAD Family [počítačový program].Ver.9.2 Cadence Design Systems, Inc., 2000.

RSLinx [počítačový program].Ver. 2.41.00. Rockwell Software Inc., 2003.

RSLogix 5000 [počítačový program].Ver. 11.11.00. Rockwell Software Inc., 2002.

RSView 32 [počítačový program].Ver. 6.30.16. Rockwell Software Inc., 1999.

Seznam použité literatury

[1] BOLDIŠ, Petr. *Boldis.cz – informační management, citace, invisible web, databáze a rešerže* [online]. 2001, poslední aktualizace: 2003-12-1. <http://www.boldis.cz/citace/citace.html>.

[2] *ControlLogix – Průvodce řídicím systémem ControlLogix*. ControlTech, s.r.o. 2002. PCLX-0101-BŘEZEN 2002.

[3] *ControlLogix Analog I/O Modules: User Manual*. USA: Rockwell Automation Inc., 2003. 1756-UM009B-EN-P.

[4] *ControlLogix Digital I/O Modules: User Manual*. USA: Rockwell Automation Inc., 2001. 1756-UM058C-EN-P.

[5] *ControlLogix Motion Module: Setup and Configuration Manual*. USA: Rockwell Automation Inc., 2003. 1756-UM0006E-EN-P.

[6] FUKA, J. - NEKVINDA, J. - NOVÁK, J. *Project Oriented Education in the Allen-Bradley Laboratory at the Faculty of Electrical Engineering*. In: Proceedings of the 5th International Scientific - Technical Conference on Process Control [CD-ROM]. Pardubice: University of Pardubice, 2002, p. R155-1-R155-11. ISBN 80-7149-452-1.

[7] FUKA, J. - NOVÁK, J. - NEKVINDA, J. *Project Oriented Education in the Allen-Bradley Laboratory at the Faculty of Electrical Engineering*. In: POSTER 2002 - Book of Extended Abstracts. Prague: CTU, Faculty of Electrical Engineering, 2002, p. E120.

[8] HONCŮ, J. – HLINOVSKÝ. M. – VYSOKÝ, O. *Elektronické systémy II – Návody ke cvičením*. 1. vyd. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1999. 124 s.

[9] *Impulsgeber, inkremental, absolut* . München: MEGATRON Elektronik, 2002, 67 s.

[10] KARÁSEK, Milan. *Příprava projektově orientované výuky řídicích systémů*. Praha, 2002. Diplomová práce na FEL ČVUT, Katedra řídicí techniky. Vedoucí diplomové práce Ing. Jindřich Fuka.

[11] *Katalog elektronických součástek, konstrukčních dílů, bloků a přístrojů*. 1. vyd. Praha: Tesla Eltos, 1987. s 5/31.

[12] KLÁN, Petr. Ziegler-Nicholsovo nastavení PID regulátoru – retrospektiva. *Automa*, roč. 2000, č. 4, s. 54.

[13] KLÁN, Petr. Moderní nastavení PID regulátorů. Část I: Procesy s přechodovou charakteristikou typu „S“. *Automa*, 2000, roč.6, č. 9, s. 54-57

[14] *L6203 – DMOS Full Bridge Driver*. ST Microelectronics. 2003. <http://www.st.com>.

[15] *L7800 Series – Negative Voltage Regulators*. STMicroelectronics. 2003. <http://www.st.com>.

[16] *L7900 Series – Negative Voltage Regulators*. STMicroelectronics. 2002. <http://www.st.com>.

[17] *LM2901 – Quad Comparator*. Fairchild Semiconductors. 2002. <http://www.fairchildsemi.com>.

[18] *LM358 – Low Power Dual Operational Amplifiers*. Fairchild Semiconductors. 1994. <http://www.fairchildsemi.com>.

[19] *Logix5000 Controller Motion Instruction Set: Reference Manual*. USA: Rockwell Automation Inc., 2003. 1756-RM007E-EN-P.

[20] *MF 614 Multifunction I/O Card: User's Manual*. HUMUSOFT, s.r.o. 2002.

[21] MRÁZ, Přemysl. *Řízení modelu polohovacího zařízení* . Praha, 2004. Bakalářská práce na FEL ČVUT, Katedra řídicí techniky. Vedoucí diplomové práce Ing. Jindřich Fuka.

[22] NEKVINDA, Josef. *Příprava projektově orientované výuky řídicích systémů*. Praha, 2004. Diplomová práce na FEL ČVUT, Katedra řídicí techniky. Vedoucí diplomové práce Ing. Jindřich Fuka.

[23] *PowerOne – AC/DC zdroje 125 a 250 W, série W*. 2003. AXIMA, s.r.o. <http://www.axima.cz>.

[24] *Rockwell Automation* [online]. c2003. [cit. 2003-12-12]. <http://www.rockwellautomation.com/about_us/overview.html>.

[25] *Součástky pro elektrotechniku*. Praha: GM electronic, 2002. 524 s.

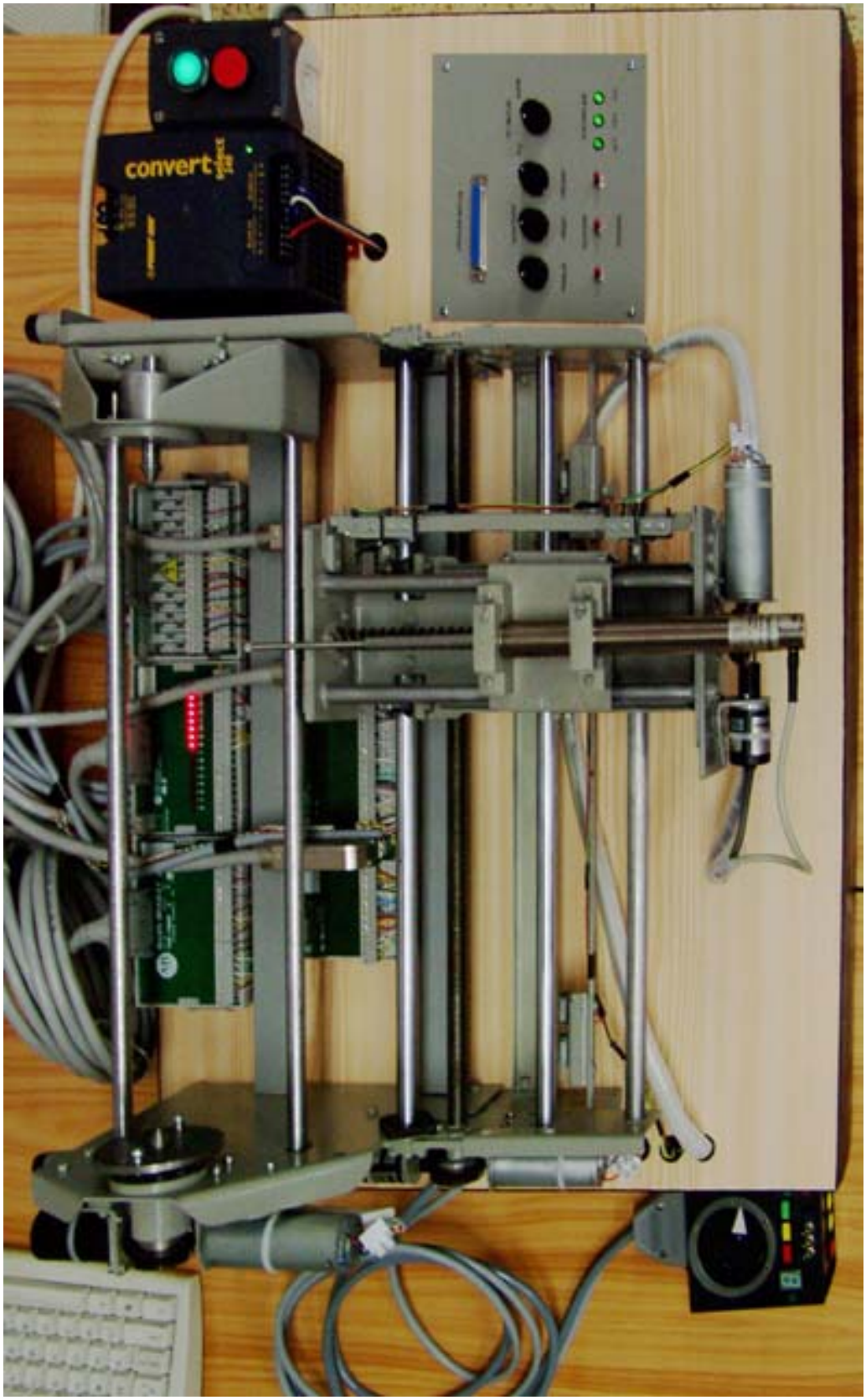
[26] *Vizualizační software RSView32*. [online]. Poslední aktualizace 2002-8-3. [cit. 2003-12-12]. <http://www.controltech.cz/clanky/1999/rsview32.htm>.

[27] *Weg- und- Lägen-Sensoren*. München: MEGATRON Elektronik, 2002, 95 s.

Obsah přiloženého CD

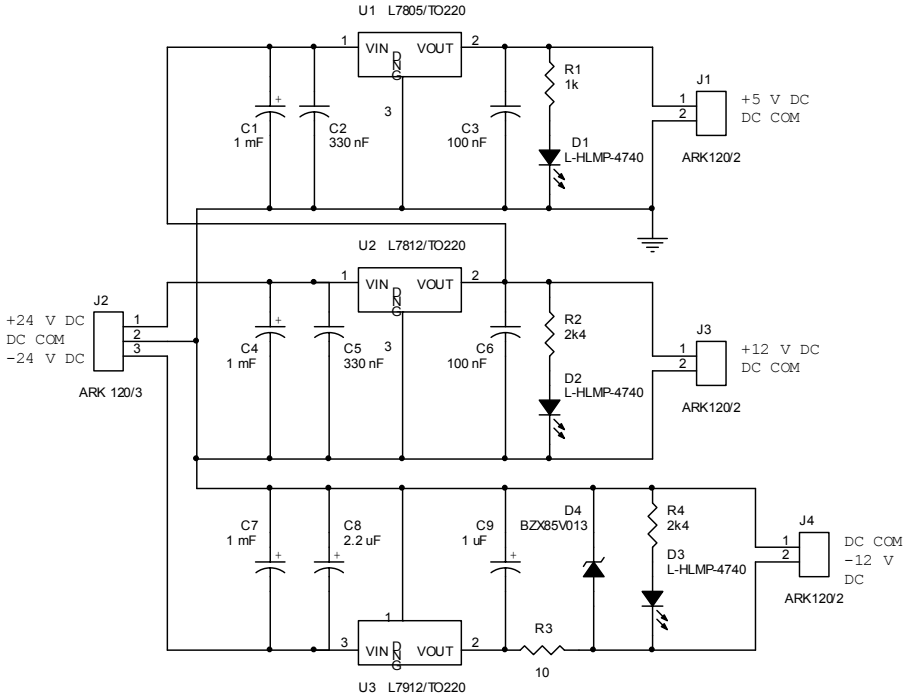
- Text
- OrCAD
- RSLogix 5000
- Kurz spojitého řízení
- Literatura

A Příloha 1 - Fotografie modelu



B Příloha 2 - Schémata, plošné spoje, osazení součástek

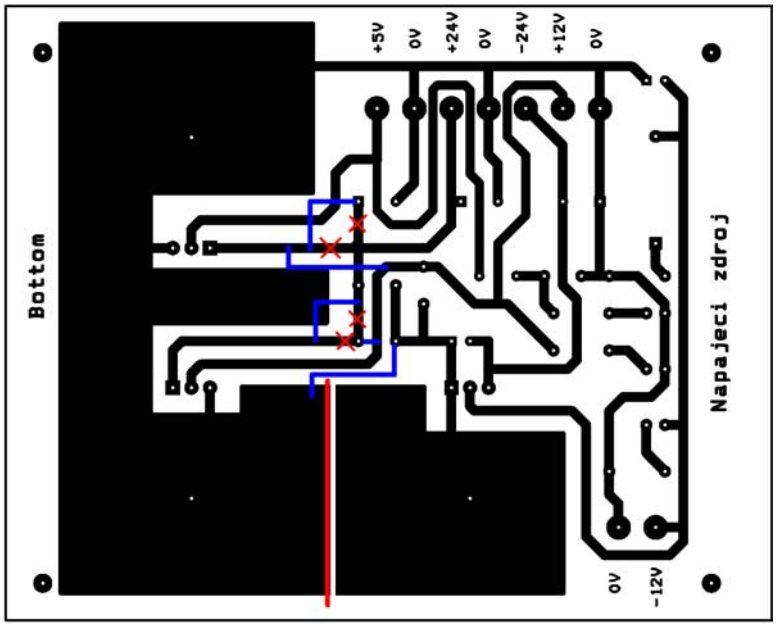
A.1 Napájecí zdroj



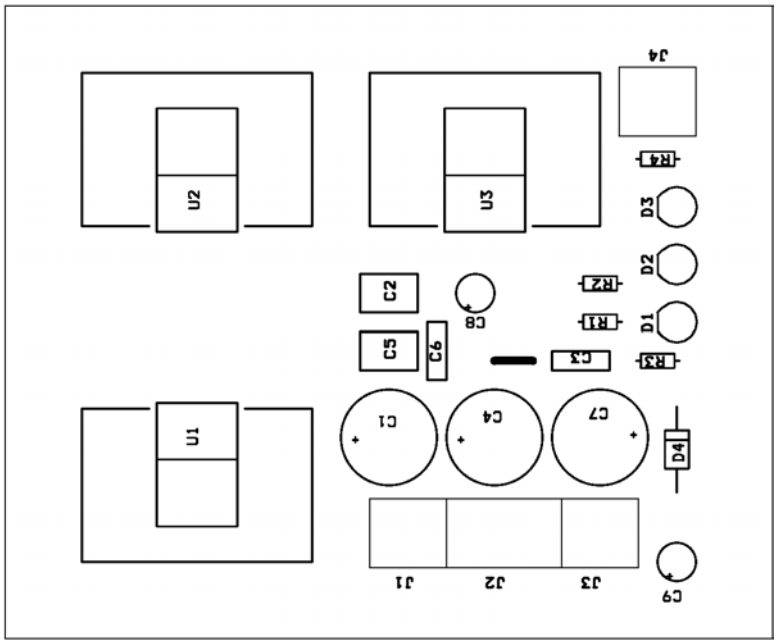
Obr. A.1 Schéma zapojení - napájecí zdroj

Položka	Počet	Reference	Hodnota
1	3	C1, C4, C7	E1000M/35VT
2	2	C2, C5	CF1-330N/K
3	2	C3, C6	CF1-100N/K
4	1	C8	E2M2/50V
5	1	C9	E1M/50V
6	3	D1, D2, D3	L-HLMP-4740
7	1	D4	BZX85V013
8	3	J1, J3, J4	ARK120/2
9	1	J2	ARK 120/3
10	1	R1	RR 2K5
11	2	R4, R2	RR 5K6
12	1	R3	RR 10
13	1	U1	7805
14	1	U2	7812
15	1	U3	7912
16	3	Chladič	V4330N

Tab. A.1 Použité součástky – napájecí zdroj

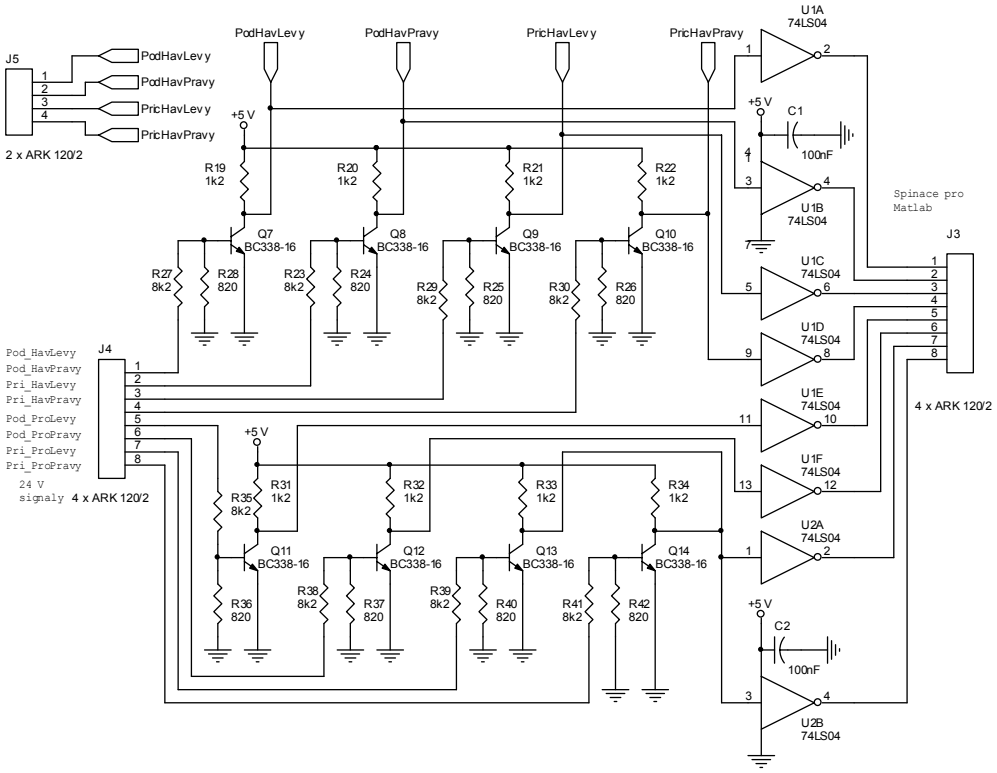


Obr. A.2 Plošný spoj – napájecí zdroj - strana spojů

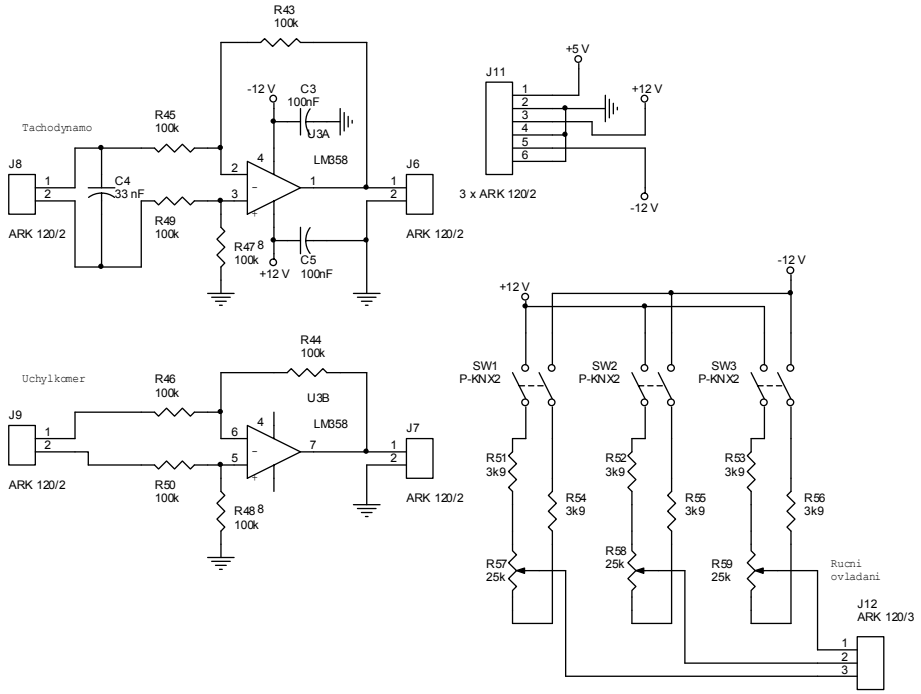


Obr. A.3 Plošný spoj – napájecí zdroj – osazení součástek

A.2 Přizpůsobovací obvody



Obr. A.4 Schéma zapojení - přizpůsobení signálů z koncových spínačů

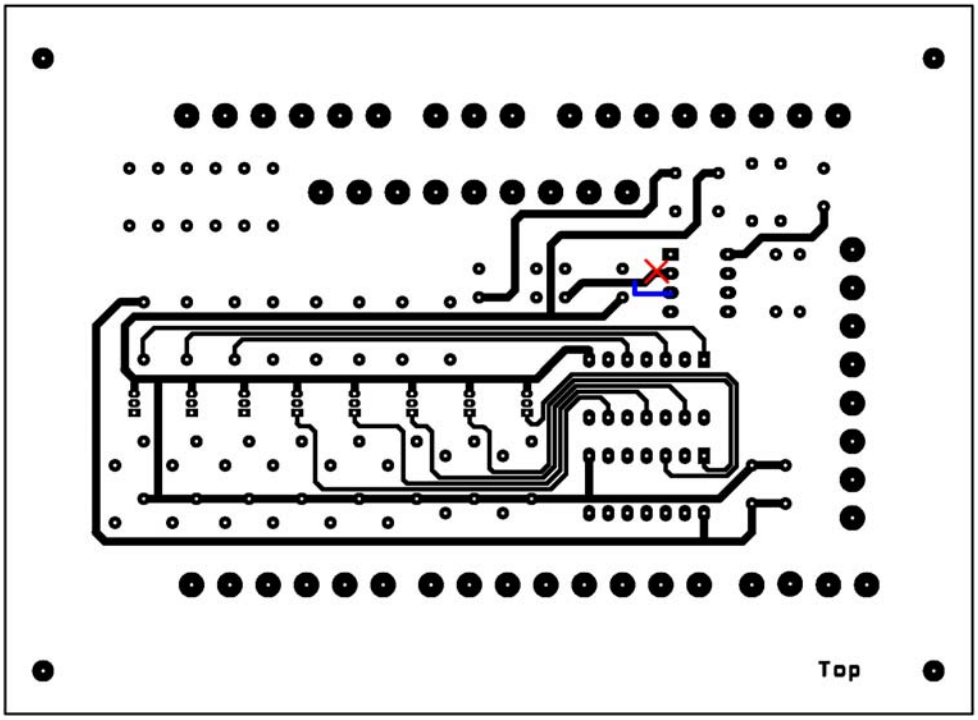


Obr. A.5 Schéma zapojení - diferenciální zesilovače a ruční řízení[2]

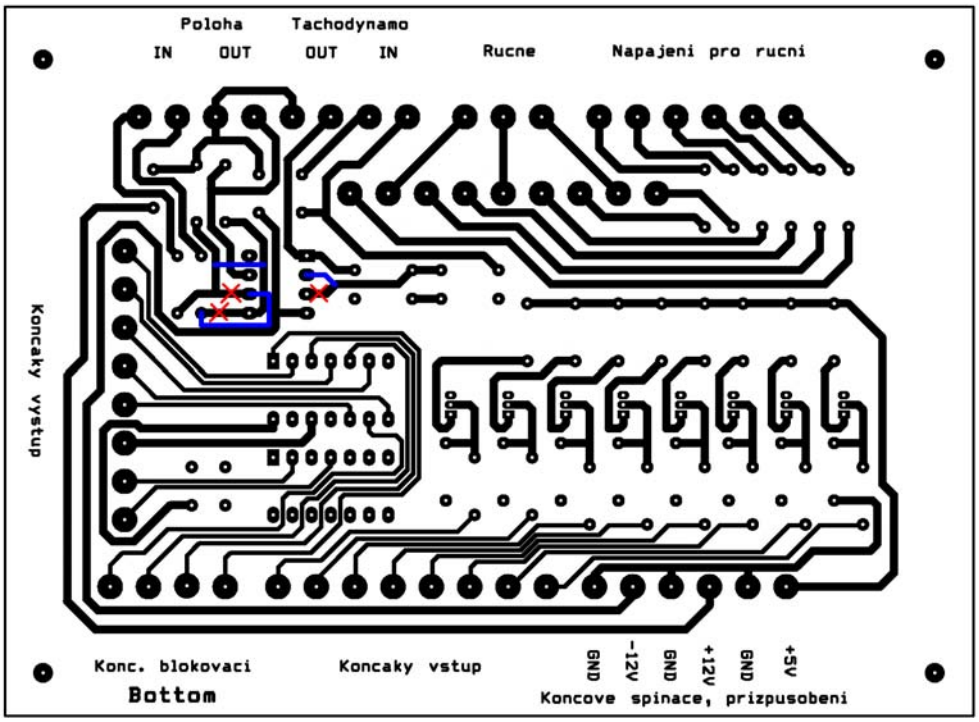
[2] Oproti schématu je ruční řízení realizováno mimo desku plošného spoje na ovládacím panelu modelu.

Položka	Počet	Reference	Hodnota
1	4	C1, C2, C3, C5	CK 100N/62V
2	1	C4	CK 33N/50V
3	2	D2, D1	SLD6505A
4	3	J1, J2, J12	ARK 120/3
5	2	J3, J4	4 x ARK 120/2
6	1	J5	2 x ARK 120/2
7	5	J6, J7, J8, J9, J13	ARK 120/2
8	2	J10, J11	3 x ARK 120/2
9	4	Q1, Q2, Q4, Q5	BC337-25
10	10	Q3, Q6, Q7, Q8, Q9, Q10, Q11, Q12, Q13, Q14	BC338-16
11	6	R1, R2, R9, R10, R11, R18	RR 10K
12	2	R13, R3	RR 33
13	4	R4, R8, R14, R16	RR 100
14	2	R12, R5	RR 4K8
15	2	R6, R15	RR 1K
16	2	R7, R17	RR 7K1
17	8	R19, R20, R21, R22, R31, R32, R33, R34	RR 1K2
18	8	R23, R27, R29, R30, R35, R38, R39, R41	RR 8K2
19	8	R24, R25, R26, R28, R36, R37, R40, R42	RR 820
20	8	R43, R44, R45, R46, R47, R48, R49, R50	RR 100K
21	6	R51, R52, R53, R54, R55, R56	RR 3K9
22	3	R57, R58, R59	RR 25K
23	2	U1, U2	74LS04
24	1	U3	LM358
25	1	Patice	DIL08PZ
26	2	Patice	DIL14PZ

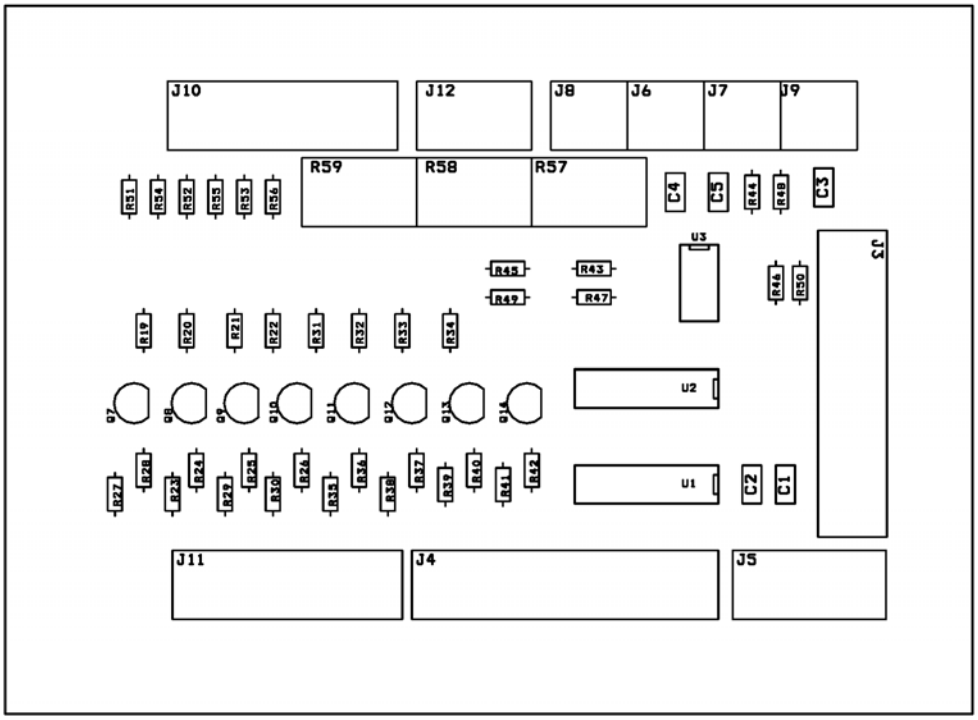
Tab. A.2 Použité součástky – přizpůsobovací obvody



Obr. A.6 Plošný spoj - přizpůsobovací obvody - strana součástek

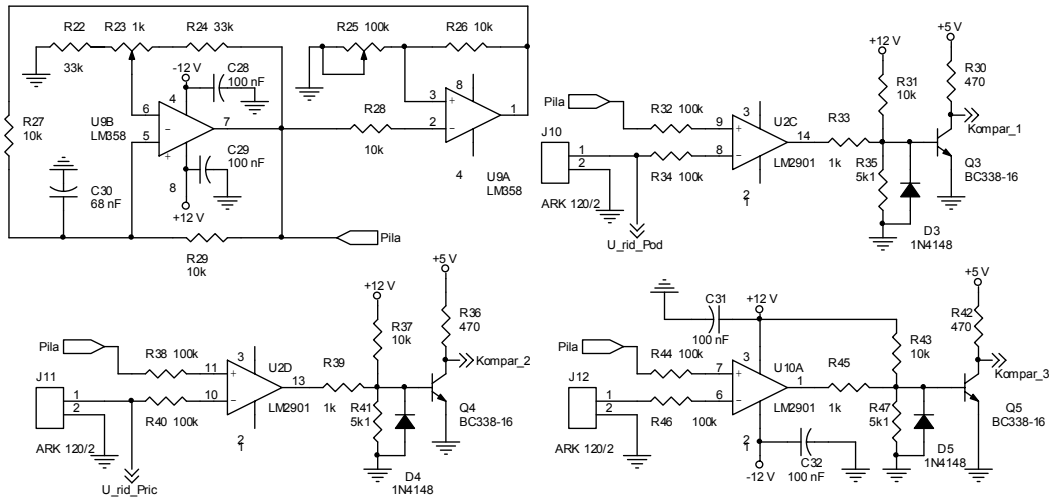


Obr. A.7 Plošný spoj přizpůsobovací obvody - strana spojů

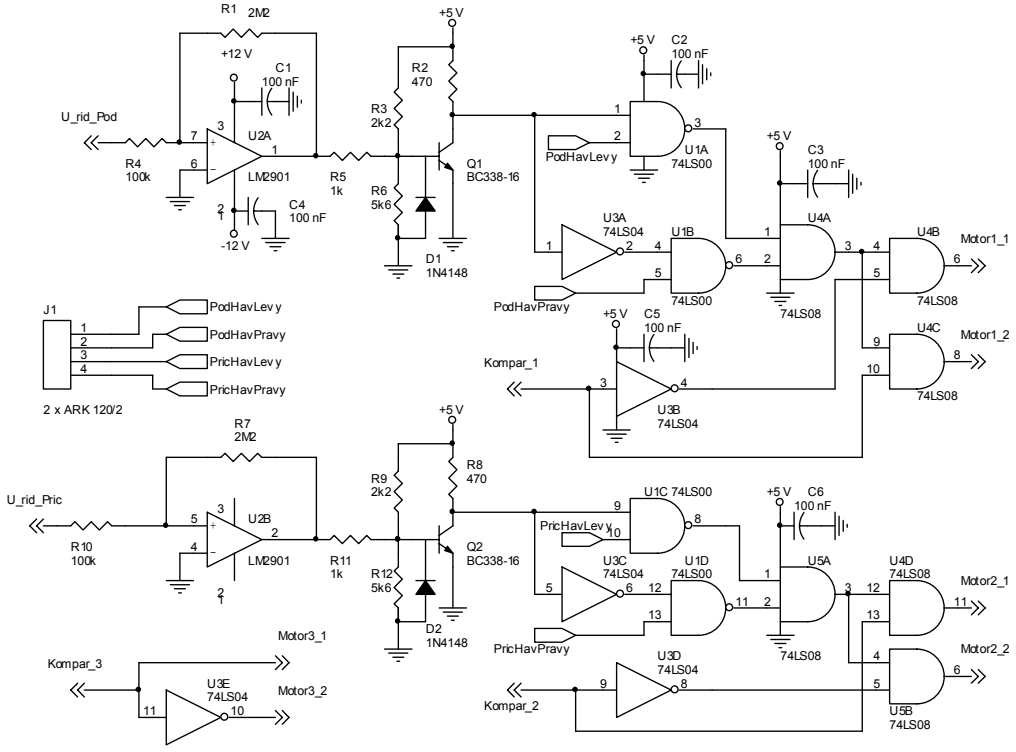


Obr. A.8 Plošný spoj - přizpůsobovací obvody - osazení součástek

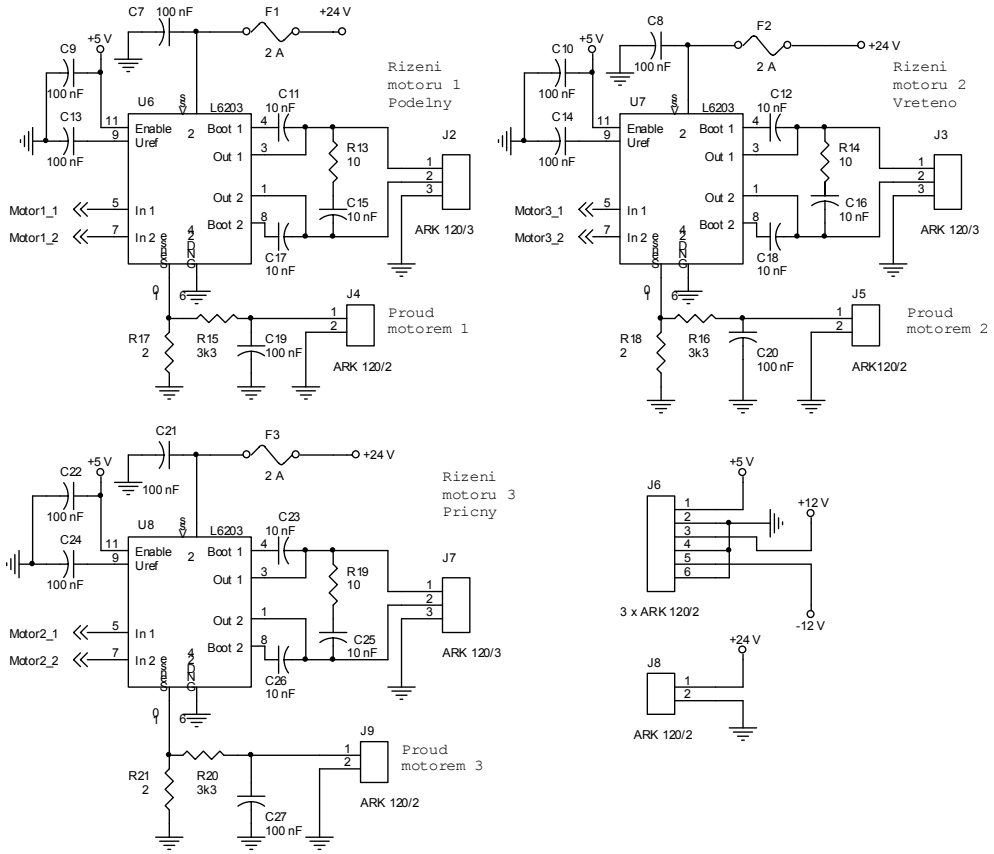
A.3 Řízení motorů



Obr. A.9 Schéma zapojení - generátor pily, komparátory řídicích napětí



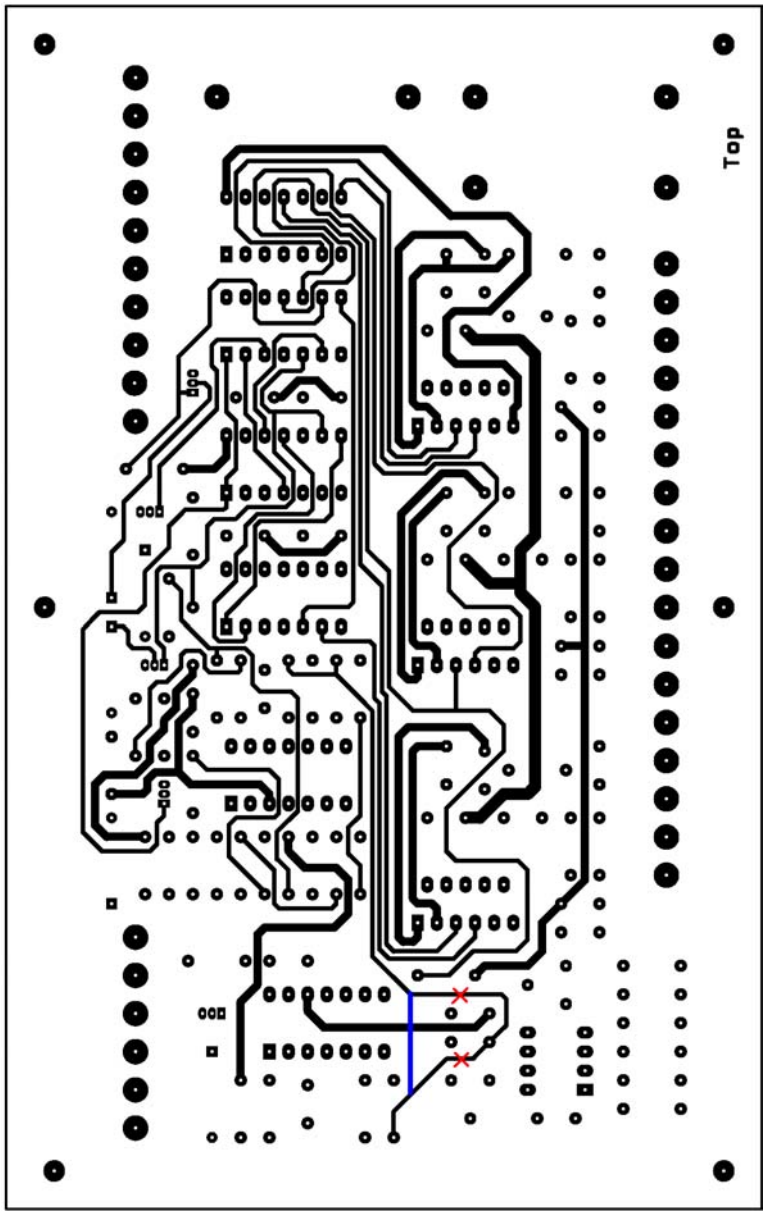
Obr. A.10 Schéma zapojení - blokovací obvody



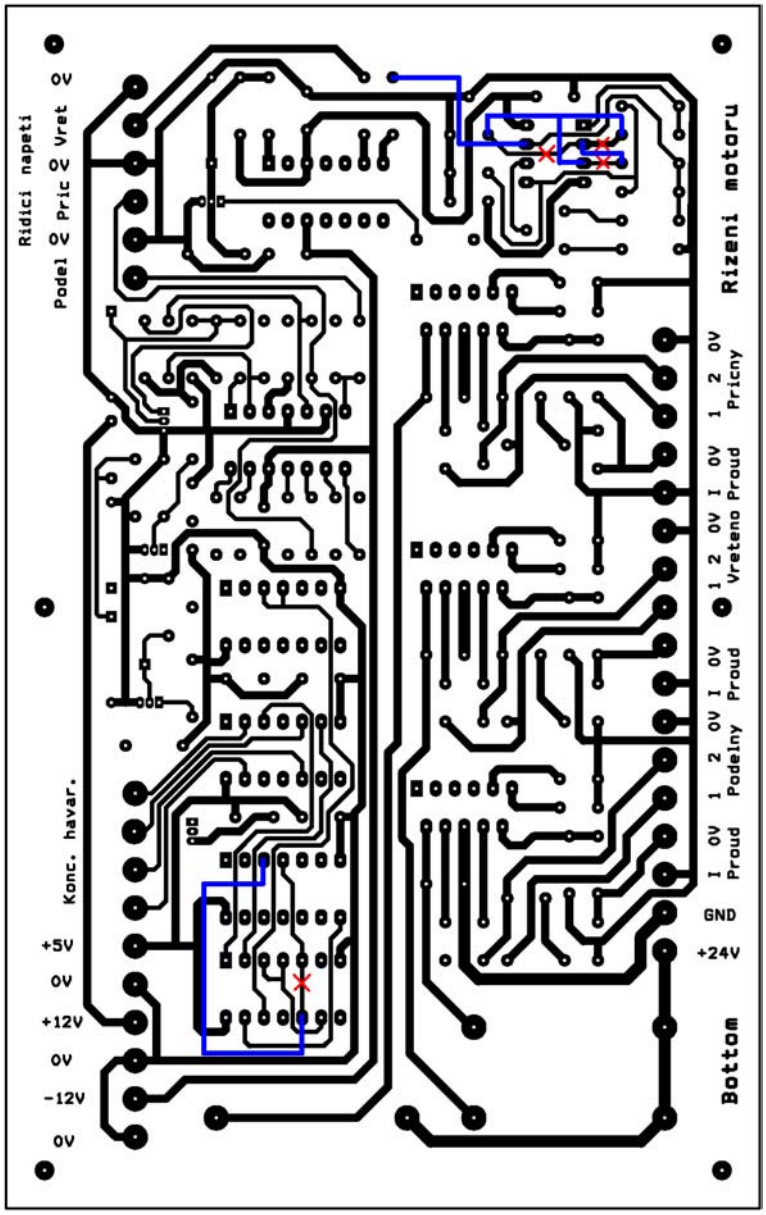
Obr. A.11 Schéma zapojení – výstupní část

Položka	Počet	Reference	Hodnota
1	22	C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7, C8, C9, C10, C13, C14, C19, C20, C21, C22, C24, C27, C28, C29, C31, C32	CK 100N/63V
2	6	C11, C12, C17, C18, C23, C26	CF2-10N/K
3	3	C15, C16, C25	CK10N/63V
4	1	C30	CK 68N/63V
5	5	D1, D2, D3, D4, D5	1N4148
6	3	F1, F2, F3	KS20SW + FSF02
7	1	J1	2 x ARK 120/2
8	3	J2, J3, J7	ARK 120/3
9	6	J4, J8, J9, J10, J11, J12	ARK 120/2
10	1	J5	ARK120/2
11	1	J6	3 x ARK 120/2
12	5	Q1, Q2, Q3, Q4, Q5	BC338-16
13	2	R7, R1	RR 2M2
14	5	R2, R8, R30, R36, R42	RR 470
15	5	R9, R3, R35, R41, R47	RR 5K1
16	2	R4, R10	RR 100K
17	3	R31, R37, R43	RR 10K
18	2	R12, R6	RR 5K6
19	3	R13, R14, R19	RR 10
20	3	R15, R16, R20	RR 3K3
21	3	R17, R18, R21	RR 2R
22	2	R22, R24	RR 33K
23	3	R5, R11, R23, R33, R39, R45	RR 1K
24	1	R25	PT15VK100
25	6	R32, R34, R38, R40, R44, R46	RR 100K
26	4	R26, R27, R28, R29	RR 10K
27	1	U1	74LS00
28	2	U10, U2	LM2901
29	1	U3	74LS04
30	2	U5, U4	74LS08
31	3	U6, U7, U8	L6203
32	1	U9	LM358
33	1	Patice	DIL08PZ
34	6	Patice	DIL14PZ

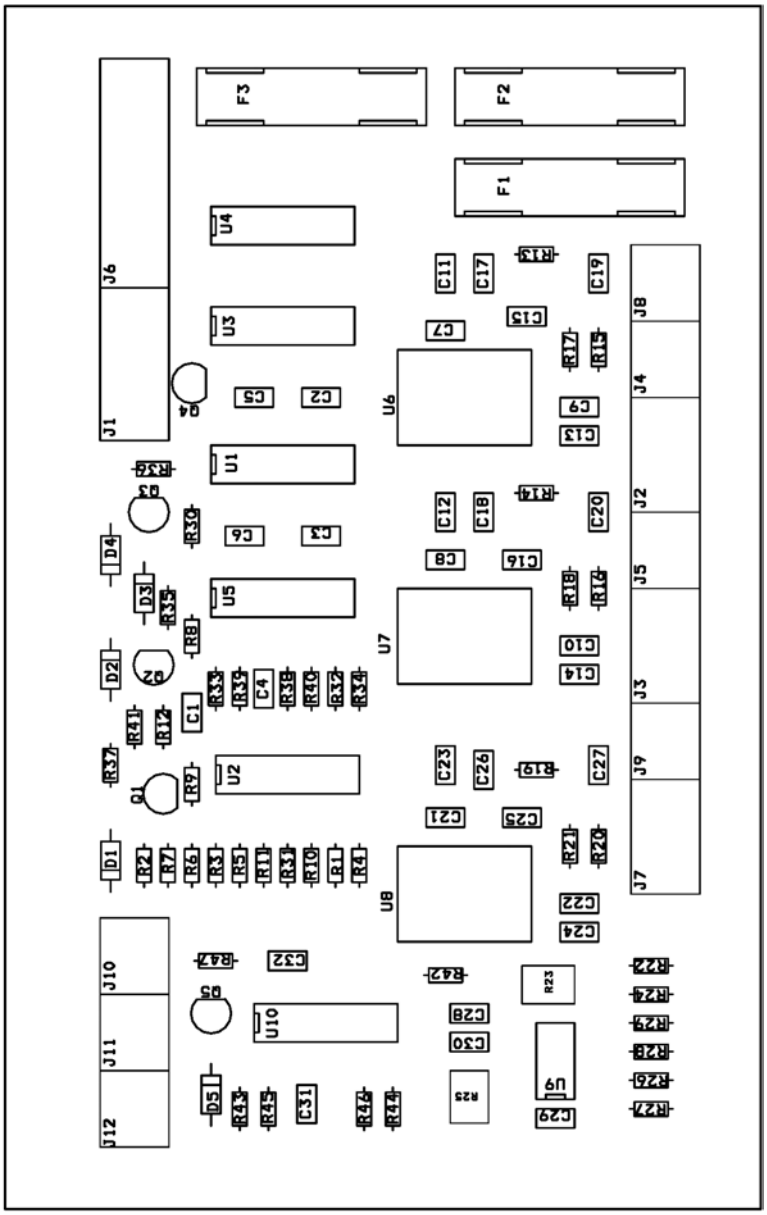
Tab. A.3 Použité součástky – řízení motorů



Obr. A.12 Plošný spoj - řízení motorů – strana součástek

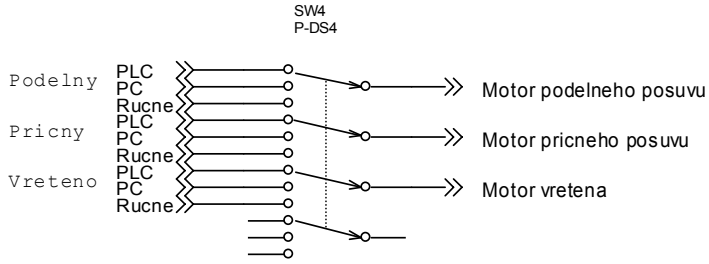


Obr. A.13 Plošný spoj - řízení motorů – strana spojů



Obr. A.14 Plošný spoj - řízení motorů – osazení součástek

A.4 Přepínač řízení



Obr. A.15 Schéma - zapojení přepínače řízení

B Příloha 2 - Připojení signálů

B.1 Programovatelný automat

Vstup	Připojení	Výstup	Připojení
0 - 14	Polohovací přípravek	0 - 15	Polohovací přípravek
0	Chod motoru	0	Červené tlačítko Stop
1	Směr otáčení motoru	1	Zelené tlačítko Start
2	Zelené LED Program	2	Zelené tlačítko Program
3	Žlutá LED Manual	3	Žluté tlačítko Manual
4	Červená LED Servis	4	Červené tlačítko Servis
5	Displej segment a	5	Bitový přepínač
6	Displej segment b	6	Bitový přepínač
7	Displej segment c	7	Bitový přepínač
8	Displej segment d	8	Modré tlačítko
9	Displej segment e	9	Výstup ze senzoru, pozice 1
10	Displej segment f	10	Výstup ze senzoru, pozice 2
11	Displej segment g	11	Výstup ze senzoru, pozice 3
12	Displej segment h	12	Výstup ze senzoru, pozice 4
13	Zelená LED	13	Výstup ze senzoru, pozice 5
14	červená LED	14	Výstup ze senzoru, pozice 6
15 - 23	N.C.	15	Volné tlačítko
	Koncové spínače		
24	Podélný havarijní levý		
25	Podélný havarijní pravý		
26	Příčný havarijní levý		
27	Příčný havarijní pravý		
28	Podélný provozní levý		
29	Podélný provozní pravý		
30	Příčný provozní levý		
31	Příčný provozní pravý		

Tab. B.1 Připojení signálů k digitálním vstupům

Vstup	Připojení	Výstup	Připojení
0	Polohovací přípravek: Analogová poloha	0	Polohovací přípravek: Řízení otáček
1	Tachodynamo	1	Vřeteno
2	Odchylka	2	Výstup do Matlabu
3	Ruční zásah – podélný	3	N.C.
4	Ruční zásah – příčný	4	N.C.
5	Ruční zásah – vřeteno	5	N.C.
6	Vstup z Matlabu		
7	N.C.		

Tab. B.2 Připojení signálů k analogovým kartám

B.2 Osazení signálů konektoru pro Matlab

Pin	Typ signálu	Signál	Pin	Typ signálu	Signál
1	IRC	Podélný IRC A+	17	DIN	Příčný pravý havarijní
2	IRC	Podélný IRC A–	18	DIN	Podélný levý provozní
3	IRC	Podélný IRC B+	19	DIN	Podélný pravý provozní
4	IRC	Podélný IRC B–	20	DIN	Příčný levý provozní
5	IRC	Podélný IRC C+	21	DIN	Příčný pravý provozní
6	IRC	Podélný IRC C–	22		GND
7	IRC	Příčný IRC A+	23	AIN	Tachodynamo
8	IRC	Příčný IRC A–	24	AIN	Odchylka
9	IRC	Příčný IRC B+	25	AIN	Matlab vstup 1
10	IRC	Příčný IRC B–	26	AIN	Matlab vstup 2
11	IRC	Příčný IRC C+	27		AGND
12	IRC	Příčný IRC C–	28	AOUT	Podélný
13		GND	29	AOUT	Příčný
14-21	DIN	Spínače	30	AOUT	Vřeteno
14	DIN	Podélný levý havarijní	31	AOUT	Matlab výstup 1
15	DIN	Podélný pravý havarijní	32		AGND
16	DIN	Příčný levý havarijní	33-35		N.C.

Tab. B.3 Zapojení konektoru pro Matlab