České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická
Katedra řídicí techniky

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Model víceosého servosystému

Praha, 2004 **Petr Matouch**

Prohlášení o původnosti díla

Prohlašuji, že jsem zadanou diplomovou práci zpracoval samostatně s přispěním vedoucího diplomové práce a používal jsem pouze literaturu a software v práci uvedenou. 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 ....

Petr Matouch

Poděkování

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

Téma

Model viceosého servosystému

Abstrakt

Cílem této diplomové práce bylo dokončit model dvouosého lineárního servomechanizmu, který představuje model soustruhu realizující kopírování povrchu již hotového obrobku. Poloha v ose je snímána dvojicí inkrementálních rotačních čidel, vzdálenost od obrobku měří dotekový indukční úchylkoměr a rychlost vřetene tachodynamo. Pohyb v ose je prováděn 24 V DC motory. Navrhli jsme nové servozesilovače a nahradili stávající nefunkční. Řízení polohy je prováděno ručně, prostřednictvím zásuvné karty připojené k osobnímu počítači, nebo pomocí programovatelného automatu ControlLogix s modulem pro řízení pohybu dvou nezávislých os. Navrhli jsme elektronický přepínač řídicích signálů s možností vzdáleného přepnutí.

Theme

Multiple axis servo model

Abstract

The main goal of this diploma thesis was to finish physical model of a linear servomechanism. 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 and rotating speed of spindle by tachodynamo. Motion in axis is driven by 24 V DC motor. We replaced functionless driving amplifier with designed new one. The slide head movements are directed manually, or by ControlLogix programmable controller equipped with motion module, or by personal computer. We project new control signal electronic switch with remote changeover and switch off.

Obsah

1 Úvod **1**

2 Návrh silového obvodu serva **3**

2.1 Úvod . . . 3

2.2 Výběr vhodného obvodu . . . 3

2.2.1 Rozbor původního zapojení . . . 3

2.2.2 Pulsní šířková modulace . . . 4

2.2.3 Pulsní šířková modulace s kontrolérem . . . 5

2.2.4 Poloviční H-můstek . . . 6

2.2.5 Plný H-můstek . . . 6

2.3 Pojistka proti nešetrnému zacházení . . . 7

2.4 Výsledný návrh obvodu . . . 8

2.5 Návrh chladičů . . . 9

2.5.1 Parametry motorů . . . 9

2.5.2 Výpočet maximální výkonové ztráty na tranzistoru . . . 10

2.5.3 Výpočet chladící plochy . . . 11

2.5.4 Výsledný chladič . . . 11

2.6 Návrh, výroba a osazení plošných spojů . . . 11

2.7 Testování . . . 12

2.8 Závěr . . . 13

3 Přepínač řídicích vstupů a ruční řízení **14**

3.1 Úvod . . . 14

3.2 Návrh zapojení . . . 15

3.3 Výsledný návrh obvodu přepínače . . . 16

3.4 Návrh, výroba a osazení plošných spojů . . . 17

3.5 Testování . . . 17

3.6 Zapojení ručního ovládání . . . 17

3.7 Závěr . . . 18

4 Připojení modelu k počítači **19**
4.1 Úvod . . . 19
4.2 Karta MF614 . . . 19
4.3 Fyzické připojení modelu . . . 19
4.4 Nastavení Matlabu . . . 20
4.5 Vytvoření modelu v Matlabu . . . 22
4.6 Identifikace modelu . . . 23
4.6.1 System Identification Toolbox . . . 23
4.7 Závěr . . . 25

5 Připojení modelu ke ControlLogix **26**
5.1 Úvod . . . 26
5.2 Popis automatu ControlLogix . . . 26
5.3 Zásuvné moduly a jejich připojení k modelu . . . 27
5.3.1 Digitální signály . . . 28
5.3.2 Analogové vstupní signály . . . 28
5.3.3 Reléové spínače . . . 29
5.3.4 Signály pro řízení os . . . 29
5.4 Program v RSLogix 5000 . . . 30
5.4.1 Nastavení os modulu 1756-M02AE v RSLogix . . . 30
5.5 Demonstrační program . . . 37
5.5.1 Podprogram Inicializace . . . 37
5.5.2 Podprogram Inicializace čidla . . . 37
5.5.3 CAM Profile Editor . . . 38
5.5.4 Podprogram Měření obrobku . . . 39
5.5.5 Podprogram Vázaný pohyb os . . . 39
5.6 Vizualizace v RSView . . . 40
5.7 Závěr . . . 41

6 Závěr **42**

Literatura **44**

7 Příloha **48**
7.1 Servozesilovač . . . 48
7.2 Přepínač . . . 50
7.3 Fotografie modelu . . . 52

Seznam obrázků

1.1 Fotografie původního modelu 1

2.1 Blokové schéma původního řízení motoru 3
2.2 Blokové schema pulsní šířkové modulace 4
2.3 Blokové schema pulsní šířkové modulace s kontrolérem 5
2.4 Zjednodušené schema polovičního můstku 6
2.5 Zjednodušené schema plného můstku 6
2.6 Zapojení koncových rozpínačů 7
2.7 Výsledný návrh obvodu servozesilovače 8
2.8 Graf maximálního proudu motorem v závislosti na napětí na motoru 9
2.9 Graf maximálního ztrátového výkonu na tranzistoru 10
2.10 Převodní charakteristika servozesilovače 12

3.1 Blokové schéma připojení modelu k PLC, Matlabu a ručnímu řízení . 14
3.2 Návrh obvodu přepínače 16
3.3 Schéma zapojení ručního řízení 18
3.4 Fotografie řídicího panelu 18

4.1 Připojení modelu ke konektorům MF614 20
4.2 Vnitřní schéma bloku 22
4.3 Vnější maska bloku 22
4.4 Výběr struktury ARX modelu 24
4.5 Graf měřeného a odhadnutých modelů 24

5.1 Fotografie automatu ControlLogix 26
5.2 Připojení signálů k servo modulu 30
5.3 Nastavení osy - záložka General 31
5.4 Nastavení osy - záložka Units 31
5.5 Nastavení osy - záložka Conversion 32
5.6 Nastavení osy - záložka Servo 33
5.7 Nastavení osy - záložka Limits 33
5.8 Nastavení osy - záložka Homing 34

5.9 Nastavení osy - záložka Hookup 35
5.10 Nastavení osy - záložka Offset 35
5.11 Nastavení osy - záložka Tune 36
5.12 Okno CamEditor 38
5.13 Vizualizace modelu v RSView 40

7.1 Schema servozesilovače 48
7.2 Deska plošných spojů servozesilovače 49
7.3 Rozmístění součástek na desce servozesilovače 49
7.4 Schema přepínače 50
7.5 Deska plošných spojů přepínače 51
7.6 Rozmístění součástek na desce přepínače 51
7.7 Fotografie modelu 52
7.8 Fotografie zapojení modelu 52

Seznam tabulek

2.1 Naměřené hodnoty zatíženého motoru 9
2.2 Vypočítané hodnoty ztrátového výkonu na tranzistoru 10
2.3 Naměřené hodnoty převodní charakteristiky servozesilovače 12

4.1 Přehled kanálů MF614 21
4.2 Zapojení signálů modelu na kanály karty 21

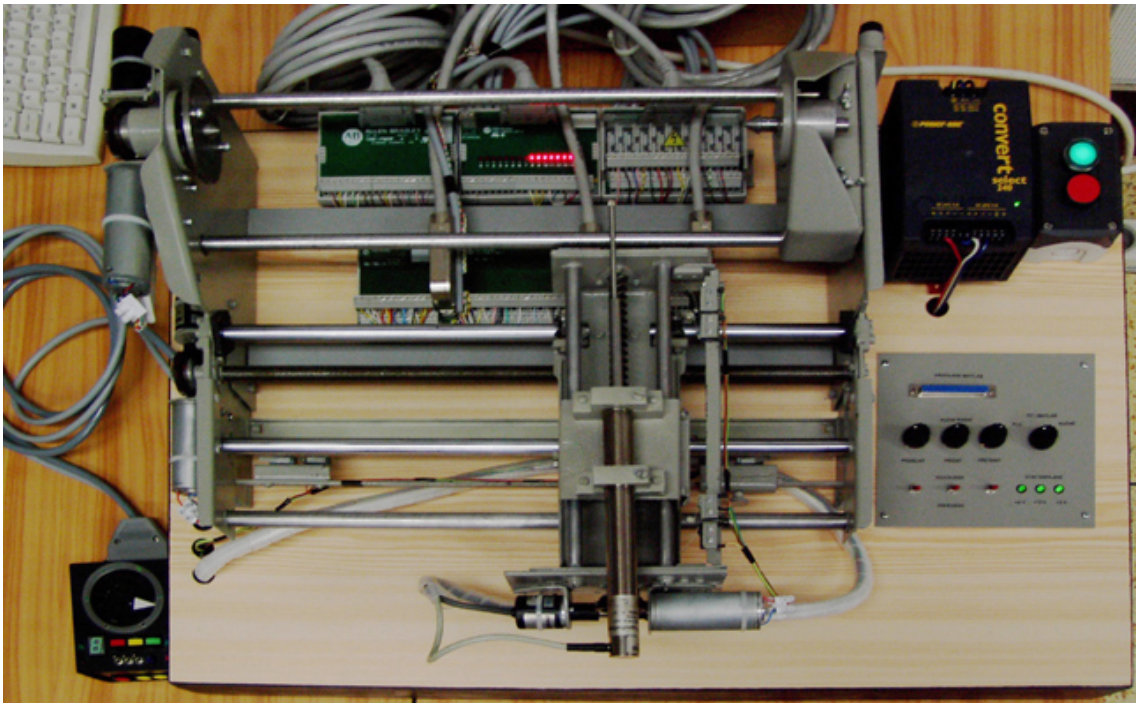
5.1 Přehled modulů automatu 27
5.2 Připojení digitálních signálů 28
5.3 Připojení analogových signálů 29
5.4 Zapojení reléových spínačů 29

7.1 Seznam použitých součástek servozesilovače 48
7.2 Seznam použitých součástek servozesilovače 50

Kapitola 1

Úvod

Cílem této diplomové práce je navázat na práci Jiřího Nováka [1] a dokončit model dvouosého lineárního servomechanizmu, který by bylo možné řídit programovatelným automatem nebo počítačem.



Obrázek 1.1: Fotografie původního modelu

Na obrázku 1.1 je fotografie původního modelu. Model napodobuje chování obráběcího stroje – soustruhu, ale na rozdíl od něj jeho konstrukce nedovoluje provádět skutečné obrábění. Hlavní částí modelu jsou vřeteno pro uchycení obrobku a dvě nezávislé osy v podélném a příčném směru. Každá osa i vřeteno jsou poháněny samostatným 24V DC motorem. Místo nože skutečného soustruhu je zde umístěn kontaktní induktivní snímač, který pouze kopíruje tvar již hotového obrobku a měří

vzdálenost od povrchu. Informace o skutečné poloze v obou osách jsou získávány z dvojice inkrementálních rotačních čidel a rychlost vřetena je měřena tachodynamem.

Model je umístěn v laboratoři **Allen-Bradley** na Katedře řídicí techniky, proto byl vybrán za řídící systém firemní automat **ControlLogix** [23] se speciálním zásuvným modulem pro řízení dvou os servomechanizmu `1756-M02AE` [19]. Pro řízení z počítače je požita multifunkční vstupně-výstupní karta `MF614` [16], která bude zajišťovat měření a řízení signálů z prostředí programu *Simulink* [17].

Protože původní návrh výkonových obvodů serva nebyl funkční, musíme navrhnout jiné lepší řešení. V kapitole 2 vybereme nejvhodnější zapojení servozesilovače pro tuto aplikaci a nahradíme jím stávající.

Pro připojení modelu přes programovatelný automat s řízením z internetu [26] vznikla potřeba přepínat řídicí vstupy do motorů vzdáleně. Musíme proto původní mechanický přepínač nahradit elektronickým a umožnit tak vzdálené přepnutí z automatu nebo počítače. V kapitole 3 navrhneme takový obvod přepínače a zapojíme ho do modelu.

Model soustruhu je možno považovat za reálný systém, který můžeme zpětnovazebně řídit. Pro výukové účely je vhodné jeho připojení k počítači a s pomocí software *Matlab*[17] s nadstavbou *Simulink*[17] provádět real-time řízení, měření a zpracování signálů a simulace. V kapitole 4 popíšeme připojení modelu k počítači přes multifunkční vstupně-výstupní kartu *MF614*[16] Vytvoříme vstupně-výstupní blok pro *Matlab*, který bude sloužit uživateli jako základní rozhraní mezi reálným modelem a simulací. Popíšeme také jednu z metod identifikace systémů.

V kapitole popíšeme fyzické připojení modelu k programovatelnému logickému automatu ControlLogix a popíšeme nastavení modulu 1756-M02AE [19]. Naprogramujeme demonstrační program s využitím pohybových instrukcí s vázaným pohybem os a vytvoříme vizualizaci modelu.

Technickou dokumentaci k navrženým obvodům vložíme do přílohy.

Kapitola 2

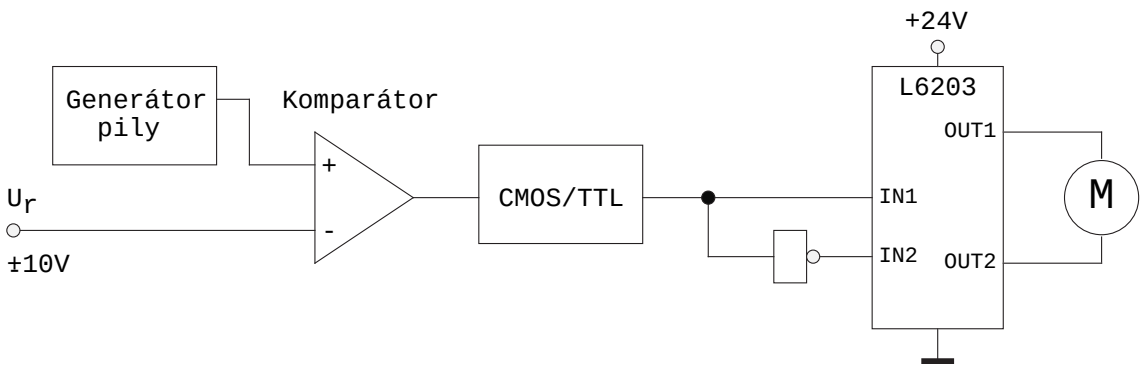
Návrh silového obvodu serva

2.1 Úvod

Posuv odměřovacího členu ve dvou osách a ovládání rychlosti otáček vřetena je prováděn 24 V stejnosměrnými motory, jejichž směr a rychlost je řízena analogovým signálem ±10 V. V této kapitole navrhneme silový obvod serva, který lineárně zesiluje řídicí signál a poskytuje dostatečný výkon pro chod motorů. Porovnáme možná řešení a vybereme nejvhodnější zapojení pro tuto aplikaci. Původní návrh nebyl funkční, a proto bylo nutné navrhnout lepší řešení. Kriterii návrhu jsou cena, snadnost oprav a odolnost k nešetrnému zacházení.

2.2 Výběr vhodného obvodu

2.2.1 Rozbor původního zapojení



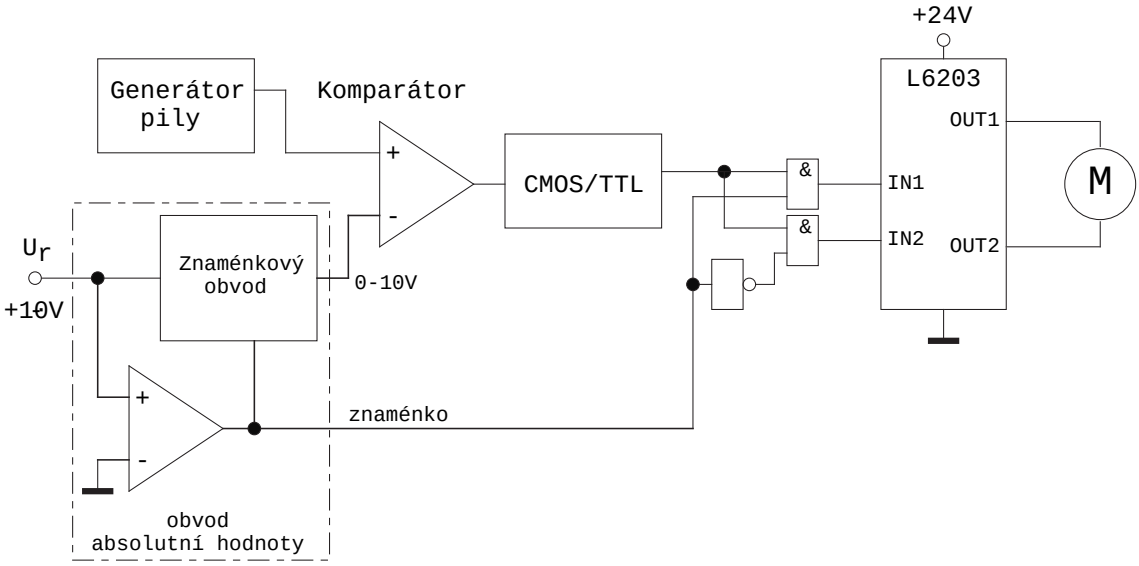
Obrázek 2.1: Blokové schéma původního řízení motoru

Původní zapojení [1] na obrázku 2.1 nebylo vhodné pro použité motory z vyřazené tiskárny, hodilo by se pro profesionální servomotory například Maxon [2], ale

ty jsou velmi drahé v cenách několika tisíců korun za kus.

Byl použit obvod s **pulsní šířkovou modulací** (PWM - Pulse Width Modulation) s protiběžným řízením, tj. s alternací kladného a záporného napětí v pulzu oproti běžně používanému PWM s určením směru a nulovou neaktivní částí pulzu. V každém pulzu jsou motory roztáčeny na obě strany protiběžně a poměr času v jednotlivých úrovních napětí udává směr otáčení. Takový způsob řízení je vhodný pro rychlé brždění a vyloučení pásma necitlivosti na řídicí signál kolem nuly. Nevýhodou je stálé plné výkonové zatížení motoru i při nulovém pohybu. Z tohoto důvodu motory nevydržely dlouhodobější zatížení. V původní aplikaci byly používané k jednosměrnému pohybu, a tak mají na jednu stranu opotřebovanější uhlíky na komutátoru, netočí se v obou směrech stejnou rychlostí, a proto kolem nulového řídicího vstupu nedocházelo k úplnému zastavení. Dalším problémem byla nutnost snížit frekvenci pulzů do slyšitelného pásma, což se projevovalo nepříjemnými zvuky. Docházelo také k elektromagnetickému rušení, které způsobovalo chyby inkrementálních snímačů polohy.

2.2.2 Pulsní šířková modulace



Obrázek 2.2: Blokové schema pulsní šířkové modulace

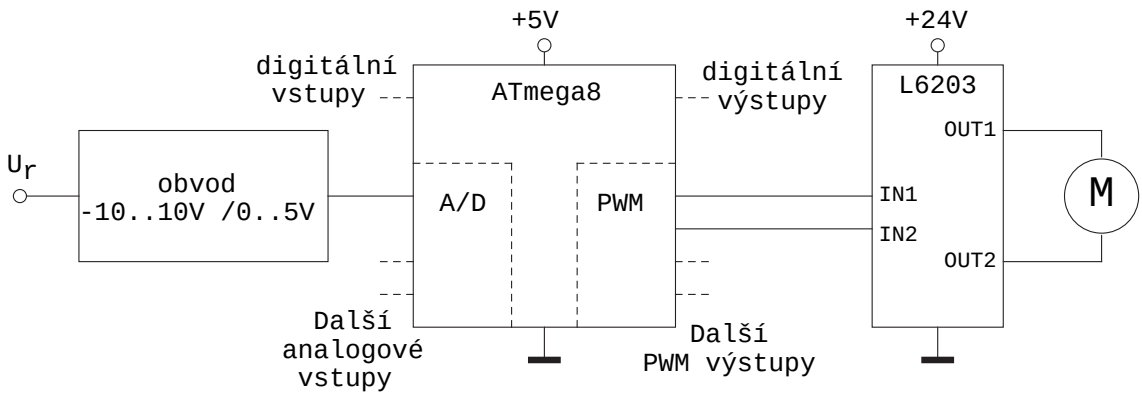
Jako prvotní nový návrh obvodu silového řízení byla použita klasická pulsní šířková modulace. V praxi je to nejpoužívanější způsob. Zjednodušené schéma je na obrázku 2.2. Vstupní signál v rozsahu $\pm 10\,\mathrm{V}$ rozdělíme na signál znaménka a signál řízení. Signál znaménka určuje směr otáčení motoru. Získáme jej z řídicího signálu komparátorem. Signál řízení, který získáme obvodem absolutní hodnoty [3]

z řídicího signálu, určuje rychlost otáčení motoru.

Výhodou při použití FET tranzistorů je velká proudová zatížitelnost, nedochází k výkonovým ztrátám, a tím je nutnost chlazení minimální. Nevýhodou tohoto zapojení je vysoká cena, protože výkonový obvod stojí kolem 300 Kč. Další nevýhodou je poměrně velká složitost zapojení, ne jednoduché nastavení a elektromagnetické rušení.

Tento návrh je vhodnější pro větší výkonové motory, kde by ztrátový výkon na tranzistorech nebylo možné uchladit, nebo při požadavku na omezení ztrát a úsporu energie.

2.2.3 Pulsní šířková modulace s kontrolérem



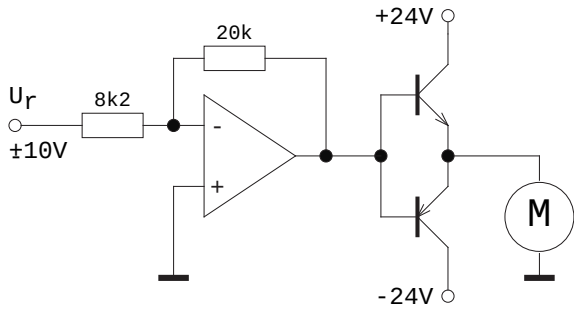
Obrázek 2.3: Blokové schema pulsní šířkové modulace s kontrolérem

Složitost zapojeni minulého návrhu (sekce 2.2.2) a jeho nesnadné nastaveni můžeme eliminovat použitím mikrokontroléru, který programově provede převod vstupního analogového signálu na PWM. Blokové schéma je na obrázku 2.3.

Pro takovou aplikaci je vhodný mikrokontrolér od firmy *Atmel* z rodiny *AVR*[4]. Programovatelný kontrolér *ATmega8* má integrované A/D převodníky a čítače s podporou PWM režimu. Vstupní signály jsou po úpravě přivedeny do vstupů A/D převodníků. Jejich zpracování je provedeno programově. Výstupní signály by bylo možné přímo zapojit do řídicích vstupů koncového zesilovače. Další nepoužité vstupy a výstupy kontroléru by bylo možné použít k jinému ovládání modelu.

Tento návrh velice zjednodušuje zapojení. Pro řízení všech tří os by postačil pouze jeden takový kontrolér. Nevýhodou je potřeba programovacích prostředků, které přinášejí další náklady.

2.2.4 Poloviční H-můstek

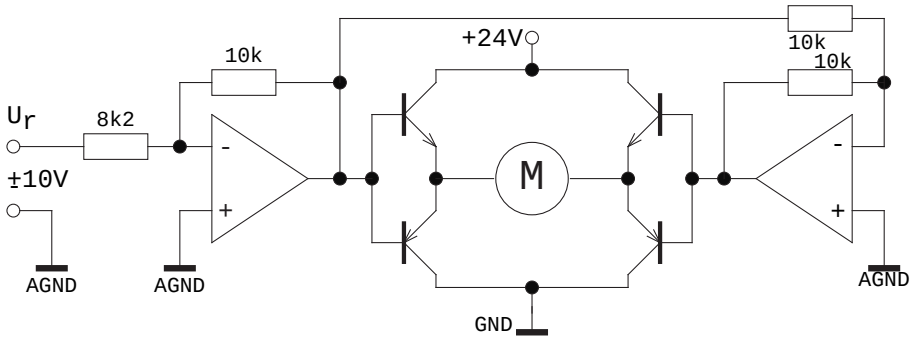


Obrázek 2.4: Zjednodušené schema polovičního můstku

Na obrázku 2.4 je další návrh s použitím polovičního H-můstku. Můžeme tak využít toho, že máme k dispozici napájecí zdroj $2 \times 24\,\mathrm{V}$. Takové zapojení by bylo konstrukčně velice jednoduché, protože obsahuje jen jeden operační zesilovač a dva tranzistory v můstkovém zapojení [3], ale muselo by mít pasivní chladič.

Problém je, že neexistuje operační zesilovač pro obecné použití, který by mohl být napájen 48 V. Nejvyšší maximální napětí vyráběných operačních zesilovačů je 44 V. Dlouhodobější překročení maximálního napájecího napětí by takové operační zesilovače nevydržely. Proto musíme tento návrh zamítnout. Existují také typy audio zesilovačů s požadovaným napájecím napětím, ale ty jsou konstruovány na jiné aplikace.

2.2.5 Plný H-můstek



Obrázek 2.5: Zjednodušené schema plného můstku

Posledním návrhem na obrázku 2.5 je zapojení s celým H-můstkem. Tento obvod je složen ze čtyř tranzistorů a dvou operačních zesilovačů v jednom pouzdře.

Jedná se o dvakrát použité zapojení z obrázku 2.4, kde na výstupech operačních zesilovačů je maximální napětí $\pm 12\,\mathrm{V}$. Pravý operační zesilovač invertuje výstup

levého operačního zesilovače. Tímto způsobem získáme mezi výstupy požadované napětí k řízení motoru v rozsahu ±24 V. Tranzistory v můstkovém zapojení kopírují bázové napětí a pracují jako koncový stupeň výkonového zesilovače. Protože ztráta na tranzistoru může být až 7 W, musí mít pasivní chlazení. V každé větvi můstku je vždy aktivní pouze jeden z tranzistorů NPN nebo PNP, proto můžeme použít jen jeden chladič pro každou dvojici tranzistorů.

Kolem nulového vstupu je malé pásmo necitlivosti na řídicí signál způsobené U_{BE} tranzistoru. Pásmo necitlivosti se ve výsledném zapojení neprojeví, protože je menší než minimální napětí potřebné k roztočení motoru $U_{Mmin} = 1\,\mathrm{V}$. Maximální napětí na motoru bude menší než napájecí, což je způsobené saturačním napětím U_{CEsat} operačních zesilovačů a tranzistorů.

Nevýhodou je nutnost posunutí analogové země `AGND` na střed napájecího napětí, v našem případě na 12 V. Protože má PLC galvanicky oddělené výstupy, můžeme posunout analogovou zem od digitální libovolně. V praxi je toto často používaný způsob, kterým docílíme snížení potřeby velikosti napájecího napětí a také počtu napájecích zdrojů.

Jedná se o levné, konstrukčně jednoduché zapojení pro tuto aplikaci nejvhodnější.

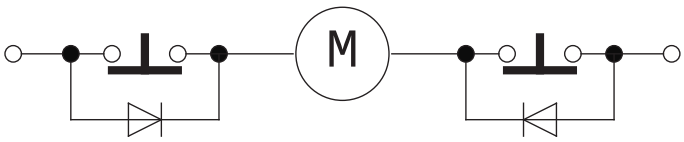
2.3 Pojistka proti nešetrnému zacházení

Při pohybu os je nutné zabránit vyjetí z pracovního rozsahu, které by mohlo poškodit mechanickou část modelu nebo motory. Z tohoto důvodu jsou k osám v koncových polohách přidány informační koncové rozpínače, které dávají programu informaci o krajní poloze v ose. Pokud by program nebyl funkční jsou za informačními koncovými spínači umístěné havarijní rozpínače, které zastaví přívod napětí do motorů, a tím zabrání dalšímu pohybu v kritickém směru.

Při zapojení s PWM je zapojení ochrany jednoduché. Signály z havarijních koncových rozpínačů můžeme přímo zapojit do hradel spínajících jednotlivé směry otáčení.

Ve variantě PWM s mikrokontrolérem by bylo možné přivést signály z koncových spínačů do volných digitálních vstupů a pojistku řešit programově.

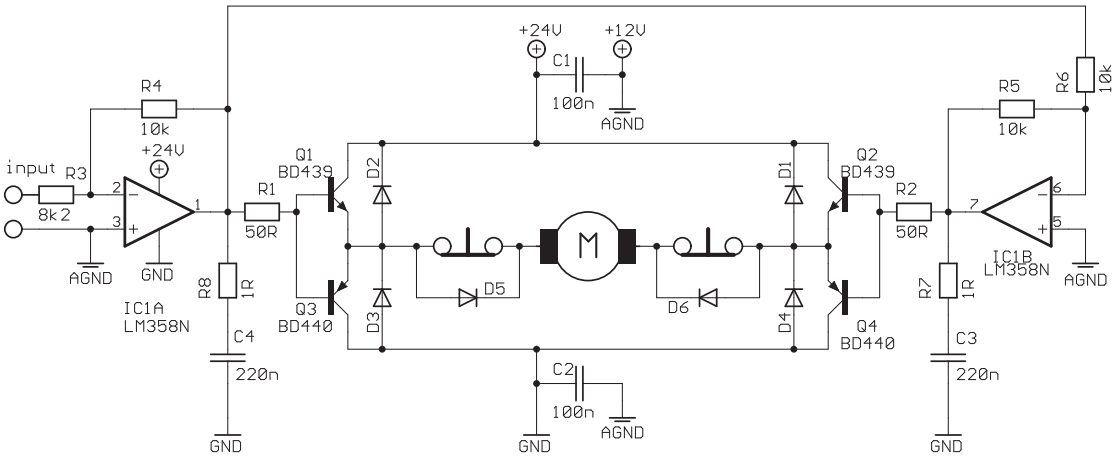
V můstkovém zapojení je nejjednodušší použití havarijních koncových rozpínačů s diodou (viz. obrázek 2.6), které v kritických polohách zastaví pohyb, ale povolí posun v opačném směru zpět, aby bylo možné opustit koncovou zónu.



Obrázek 2.6: Zapojení koncových rozpínačů

2.4 Výsledný návrh obvodu

Jako nejvhodnější zapojení jsme vybrali plný H-můstek popsaný v sekci 2.2.5 a zapojení koncových spínačů popsané v části 2.3. Výsledný obvod je na obrázku 2.7.



Obrázek 2.7: Výsledný návrh obvodu servozesilovače

Pro oba operační zesilovače jsme zvolili obvod `LM358` [6], který obsahuje dva operační zesilovače v jednom pouzdře. Tento integrovaný obvod vyhovuje parametry naší aplikaci a je nejčastěji používán v naší laboratoři. Tím ušetříme místo na desce, počet součástek a při případné opravě v laboratoři bude náhradní obvod ihned k dispozici. Rezistory jsou zvoleny podle vzorce pro invertující zapojení zesilovačů [3] tak, aby byl vstupní signál zesílen na rozsah $\pm 12\,\mathrm{V}$ a druhý operační zesilovač tak, aby kopíroval a invertoval hodnotu prvního zesilovače. Motor zapojený mezi výstupy operačních zesilovačů přes koncový stupeň je poté možné ovládat v rozsahu $\pm 24\,\mathrm{V}$.

Tranzistory do koncového stupně jsme zvolili v závislosti na parametrech motorů. Kolektorový proud I_{Cmax} tranzistoru musí být větší než maximální proud procházející motorem I_{Mmax}, maximální povolené napětí U_{CEmax} musí být větší než napájecí napětí U_{CC} a oba tranzistory PNP a NPN by měly mít podobné parametry.

$$I_{Cmax} > I_{Mmax} = 2,7\,\mathrm{A},\ U_{CEmax} > U_{CC} = 24\,\mathrm{V}. \tag{2.1}$$

Tyto parametry (2.1) splňuje nejlépe komplementární dvojice tranzistorů `BD439`[7] a `BD440`[8] s parametry $I_{Cmax} = 4\,\mathrm{A}$ a $U_{CEmax} = 60\,\mathrm{V}$.

K operačním zesilovačům jsme zapojili RC-filtry a k napájecímu napětí kondenzátory, které zabrání rozkmitání výstupů operačních zesilovačů a tím zabrání současnému sepnutí obou tranzistorů do zkratu.

Přidali jsme ochranné diody proti impedančním špičkám při přechodových dějích na motoru.

Rezistor mezi výstupem operačního zesilovače a bázemi tranzistorů nemá vliv na funkci obvodu. Slouží k omezení proudu tranzistory při případném proražení přechodu jednoho z nich.

Toto zapojení je použito třikrát pro každou osu modelu v modulární koncepci s jednoduše rozepínatelnými kabelovými konektory, pomocí níž získáme možnost jednoduché výměny a zaměnitelnosti desek.

2.5 Návrh chladičů

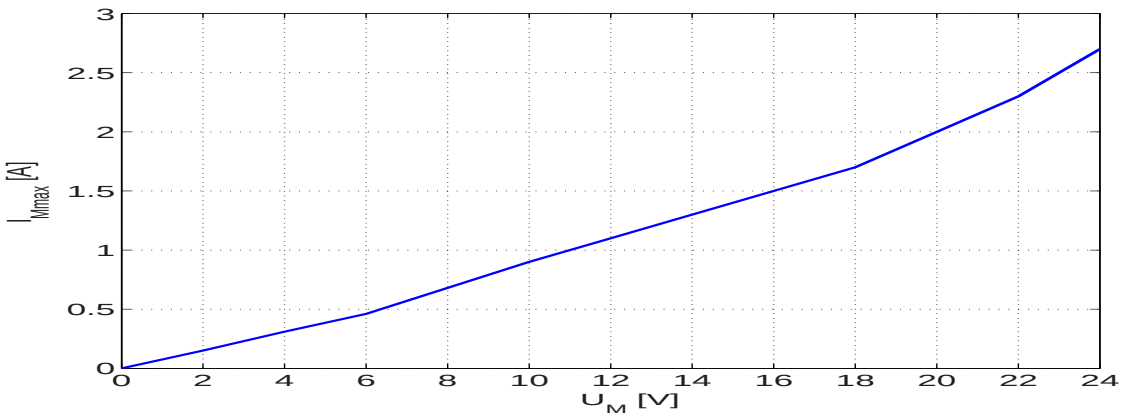
Energie výkonové ztráty na tranzistoru se mění v teplo. Při větší výkonové ztrátě musí mít tranzistor chlazení. V našem případě postačí pasivní profilový hliníkový chladič. Vždy jsou sepnuty jen dva tranzistory najednou, proto použijeme vždy jeden chladič pro každou dvojici tranzistorů.

2.5.1 Parametry motorů

Znalost **maximálního proudu procházejícího motory** I_{Mmax}, který získáme měřením při úplném zatížení, nám umožní vypočítat **maximální ztrátový výkon na tranzistoru** P_{Tmax}. V tabulce 2.1 jsou naměřené hodnoty I_{Mmax} v závislosti na **napětí na motoru** U_M a graf na obrázku 2.8.

U_M[V]	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
I_{Mmax}[A]	0	0,15	0,31	0,46	0,68	0,9	1,1	1,3	1,5	1,7	2,0	2,3	2,7

Tabulka 2.1: Naměřené hodnoty zatíženého motoru



Obrázek 2.8: Graf maximálního proudu motorem v závislosti na napětí na motoru

2.5.2 Výpočet maximální výkonové ztráty na tranzistoru

Statická výkonová ztráta na tranzistoru P_T se vypočítá podle vzorce (2.2), kde U_{CE} je **napětí na přechodu kolektor-emitor** a I_C je **kolektorový proud**. **Proud báze** I_B zanedbáme, protože na výpočet má minimální vliv.

$$P_T = U_{CE} \cdot I_C, \ [\mathrm{W}, \mathrm{V}, \mathrm{A}]. \tag{2.2}$$

Napětí na tranzistoru vypočítáme z napětí motoru pomocí rovnice (2.3), která je dána můstkovým zapojením obvodu. Kolektorový proud je roven proudu procházejícím motorem $I_C = I_M$. Po úpravě rovnice (2.2) v rovnici (2.4) získáme výpočet P_{Tmax} z parametrů motoru změřených v sekci 2.5.1.

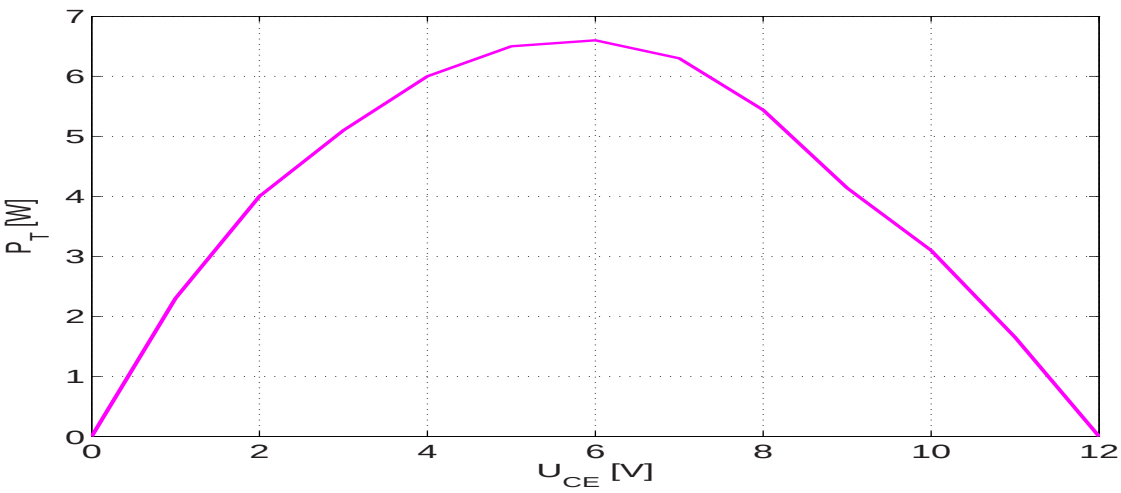
$$U_{CE} = \frac{U_{CC}}{2} - \frac{U_M}{2}. \tag{2.3}$$

$$P_T = \left(12 - \frac{U_M}{2}\right) \cdot I_M, \ [\mathrm{W}; \mathrm{V}; \mathrm{A}]. \tag{2.4}$$

Přepočtené hodnoty podle rovnice (2.4) s dosazením změřených parametrů motoru jsou v tabulce 2.2 a znázorněna v grafu na obrázku 2.9.

U_{CE}[V]	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
P_T[W]	0	2,3	4,0	5,1	6,0	6,5	6,6	6,3	5,4	4,2	3,1	1,7	0

Tabulka 2.2: Vypočítané hodnoty ztrátového výkonu na tranzistoru



Obrázek 2.9: Graf maximálního ztrátového výkonu na tranzistoru

Z grafu na obrázku 2.9 je patrné, že největší ztrátový výkon na tranzistoru $P_{Tmax} = 6,6\,\mathrm{W}$ je při $U_{CE} = 6\,\mathrm{V}$.

2.5.3 Výpočet chladící plochy

Rovnice (2.5) převzatá z literatury [15] a upravená pro naší potřebu počítá přibližnou velikost plochy chladiče potřebné k uchlazení tepelného ztrátového výkonu. A_{min} je potřebná plocha chladiče, $P_{Tmax} = 6,6\,\mathrm{W}$ maximální ztrátový výkon na tranzistoru, $\vartheta_p = 150\,^{\circ}\mathrm{C}$ je katalogový údaj [7] [8] maximální teplota přechodu, $\vartheta_o = 35\,^{\circ}\mathrm{C}$ je teplota okolí, $d = 5\,\mathrm{mm}$ je šířka chladící desky, $\lambda = 2,1\,\mathrm{W/K\,cm}$ je tepelná vodivost hliníku a C je korekční konstanta závislá na použitém materiálu chladiče. Volíme $C = 1$, což je nejhorší možný případ nečerněného vodorovného chladiče.

$$A_{min} = \frac{650 \cdot C}{\dfrac{\vartheta_p - \vartheta_o}{P_{Tmax}} - \dfrac{3.3}{\sqrt{\lambda \cdot d}} C^{0.25}}, \ [\mathrm{cm}^2;\ -;\ ^{\circ}\mathrm{C};\ ^{\circ}\mathrm{C};\ \mathrm{W};\ \mathrm{W/K\,cm};\ \mathrm{mm}]. \tag{2.5}$$

Vypočítali jsme potřebnou minimální plochu deskového nečerněného hliníkového chladiče $A_{min} = 39,6\,cm^2$. Tato hodnota je určena s uvážením nejhorších možných podmínek, které v reálném systému pravděpodobně nenastanou současně.

2.5.4 Výsledný chladič

Jako chladič jsme použili starý chladící hliníkový profil, který jsme rozřezali na části po 50 mm na šest dílů, pro každou dvojici tranzistorů jeden. Náš chladič je tvořen pěti prvky s odhadnutou celkovou plochou $A = 75\,\mathrm{cm}^2$, a tak splňuje s rezervou požadavky na velikost chladící desky vypočtené v sekci 2.5.3. Ve spojení mezi pouzdrem tranzistoru a chladičem jsme použili silikonovou pastu pro lepší tepelnou vodivost.

Tranzistory od firmy *Fairchild* nemají spojený kolektor s pouzdrem, a proto nebylo nutné použití galvanického oddělení chladiče a pouzdra tranzistoru. Oproti tomu stejné tranzistory se stejným označením vyráběné firmou *STMicroelectronics* mají spojený kolektor s pouzdrem a museli bychom použít slídové podložky, nebo rozdělit chladič na dva, pro každý tranzistor zvlášť.

2.6 Návrh, výroba a osazení plošných spojů

Plošný spoj jsme navrhli pomocí návrhového systému *EAGLE Layout Editor* [13], který je velice jednoduchý na ovládání. Ve verzi pro nekomerční a studijní použití zdarma dovoluje navrhnout ze schématu desku plošných spojů do velikosti $80 \times 100\,\mathrm{mm}$.

Návrh jsme provedli ve druhé konstrukční třídě a v koncové části z důvodů většího proudového zatížení na vodivé cesty v první třídě s dostatečnou šířkou spojů.

Podklady s navrženou deskou plošných spojů jsme odeslali k výrobě elektronickou poštou do firmy *Spoj* [14], a po obdržení hotových desek osadili součástkami a přimontovali chladiče.

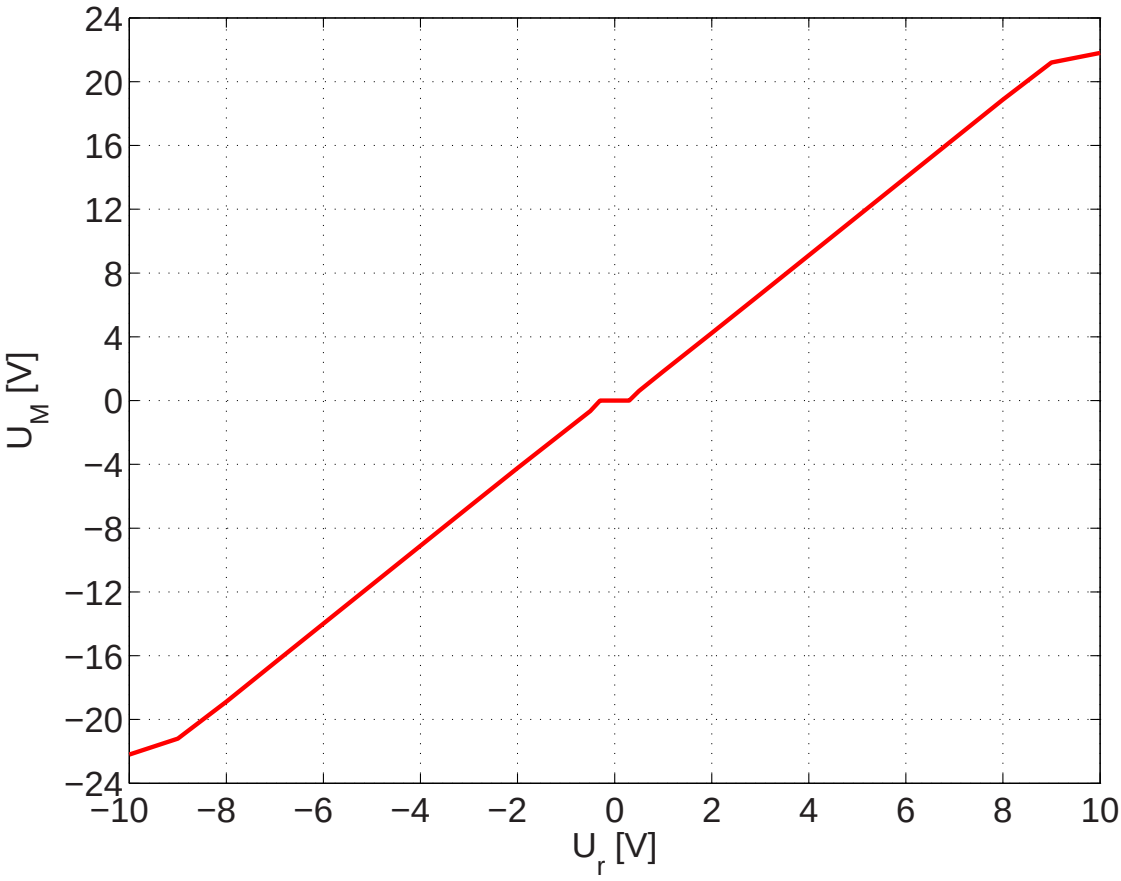
2.7 Testování

Před zapojením servozesilovačů do modelu jsme provedli ověření jejich funkčnosti. V tabulce 2.3 jsou naměřené hodnoty řídicího napětí U_r a napětí na motoru U_M a na obrázku 2.10 graf převodní charakteristiky.

U_r[V]	0	0,3	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
U_m[V]	0	0	1,83	4,24	6,67	9,11	11,5	14,0	16,4	18,9	21,2	21,8

U_r[V]	-0,3	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9	-10
U_m[V]	0	-1,83	-4,24	-6,67	-9,11	-11,5	-14,0	-16,4	-18,9	-21,2	-22,2

Tabulka 2.3: Naměřené hodnoty převodní charakteristiky servozesilovače



Obrázek 2.10: Převodní charakteristika servozesilovače

Z grafu převodní charakteristiky na obrázku 2.10 je patrné pásmo necitliovosti kolem nuly způsobené napětím na přechodu báze-emitor U_{BE} tranzistoru a omezení napětí na motoru způsobené saturačním napětím U_{CEsat} operačních zesilovačů a tranzistorů.

2.8 Závěr

Původní desku servozesilovačů [1] jsme vymontovali a pro každou osu modelu zapojili jeden nový silový obvod. Zapojení jsme vyzkoušeli a konstatovali jsme, že funguje správně dle požadavků. Parametry obvodu jsou v normách pro jednotlivé součástky a je ho možné i více výkonově zatížit. Obvod jsme navrhli nejlépe k zadaným kriteriím a jeho výsledná cena je nižší než původně odhadovaná.

Na ovládací panel jsme přidali ručkový ampérmetr, který zobrazuje proudu protékající všemi motory, a tím informuje o špatné funkci silového obvodu nebo přetížení motorů. Vyrobili jsme jeden náhradní modul servozesilovače, který bude možno použít k rychlé výměně při případné poruše.

Dalším úkolem je návrh připojení k PC ke vstupně-výstupní kartě MF614 a také připojení k PLC ControlLogix s modulem ovládání dvouosého serva 1756-M02AE.

Technická dokumentace k silovému obvodu serva je v příloze.

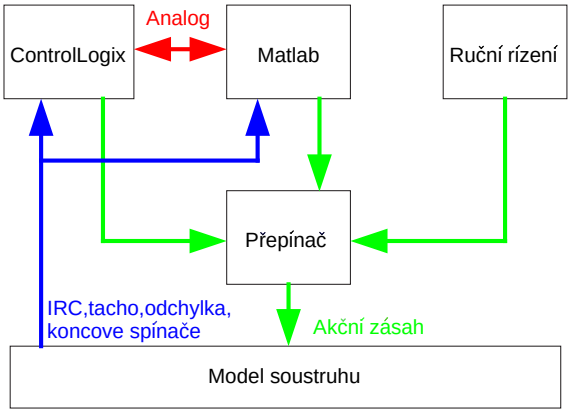
Kapitola 3

Přepínač řídicích vstupů a ruční řízení

3.1 Úvod

Model soustruhu můžeme ovládat ze tří zdrojů a to ručně, z Matlabu nebo PLC. Ruční řízení je prováděno pomocí potenciometrů na ovládacím panelu, řízení z PC z Matlabu je přes měřící kartu MF614, a řízení z PLC ControlLogix přes dvouosý modul ovládání serva 1756-M02AE. Protože vznikla potřeba automatického přepínání pří řízení, nestačí původní ruční přepínač vstupů, ale musíme vytvořit elektronický, který bude možno přepnout i vzdáleně z PLC nebo Matlabu.

Na obrázku 3.1 je blokové schema připojení modelu vysvětlující úlohu přepínače v modelu.



Obrázek 3.1: Blokové schéma připojení modelu k PLC, Matlabu a ručnímu řízení

V této kapitole navrhneme elektronický přepínač, který umožní přepnutí řídicích vstupů z ovládacího panelu nebo i vzdáleně. Popíšeme také obvod ručního řízení.

3.2 Návrh zapojení

Potřebujeme přepínat tří řídicí vstupy pro jednotlivé osy modelu ze tří různých vstupů. Proti `GND` modelu se jedná o tři analogové signály v rozpětí $2 - 22\,\mathrm{V}$. Na ovládací panel dáme tři tlačítka a LED-diody, zobrazující stav přepnutí. Vstupy z Matlabu budeme spínat přes optočlen, protože na PC máme posunutu zem na `AGND` o $12\,\mathrm{V}$.

Prvotní návrh s použitím CMOS analogového přepínače `4053` [12] musíme zavrhnout, protože jeho maximální rozsah spínaného napětí je $10\,V$. Přidáním přizpůsobovacích obvodů, které by zeslabily signál do požadovaného rozsahu hodnot, by se zapojení stalo neúměrné složité, protože bychom takto museli upravit devět vstupních signálů. Úprava výstupních signálů by se změnila jednoduchým způsobem změnou zesílení servozesilovačů.

Nejvhodnější návrh pro toto zapojení je použití devíti minirelé. Je to sice dražší řešení, ale výsledný obvod zjednodušuje. Relé budeme spínat výkonovými NPN tranzistory řízenými TTL signály. Můžeme libovolně zvolit napájecí napětí relé, proto použijeme napětí $24\,\mathrm{V}$ zdroje a nebudeme muset při sepnutí chladit na stabilizátorech výkonovou ztrátu.

Musíme zabránit současnému sepnutí více vstupů najednou, protože by mohlo dojít ke konfliktu výstupních karet a případně jejich zničení. Tomu zabráníme použitím demultiplexeru `74HC238` [11]. Tento obvod je dekodér 1z8 a my z něj použijeme pouze první tři výstupy pro sepnutí příslušných relé.

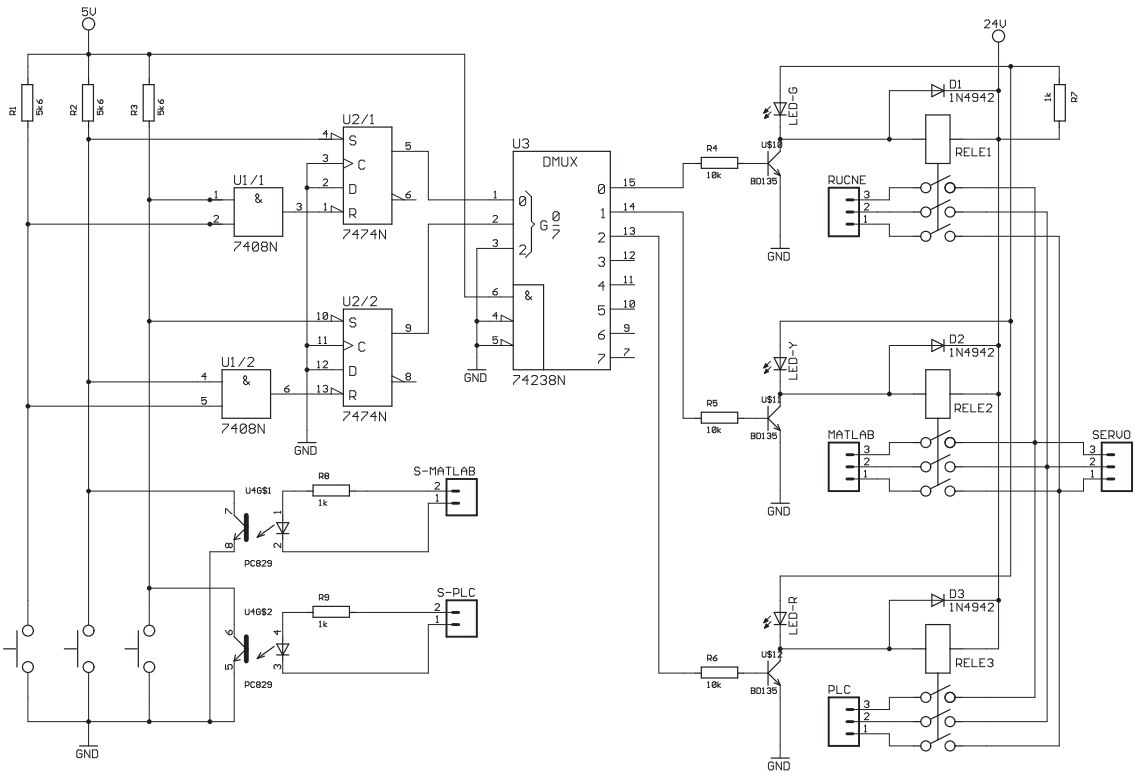
Jako paměť posledního stavu tlačítek použijeme obvod `74HC74` [10]. Jedná se o dvojici D klopných obvodů [3], kde z každého použijeme invertované vstupy $\bar{\mathrm{S}}$ a $\bar{\mathrm{R}}$, které nastavují resp. nulují výstupní hodnotu Q. Poslední stav tlačítek je zapamatován pomocí dvojice těchto klopných obvodů ve dvojkovém kódu.

Celý logický obvod by bylo možné naprogramovat do obvodu `GAL` nebo mikrokontroléru, a tím ušetřit počet součástek. Této možnosti nevyužijeme pro malý počet hradel.

Jelikož vstupy $\bar{\mathrm{S}}$ a $\bar{\mathrm{R}}$ jsou aktivní v logické nule, zapojíme tlačítka tak, že při sepnutí budou vstupy do hradel ve stavu logická nula.

3.3 Výsledný návrh obvodu přepínače

Na obrázku 3.2 je výsledný návrh obvodu přepínače.



Obrázek 3.2: Návrh obvodu přepínače

Levnější řešení je použití tří minirelé s jedním spínacím kontaktem místo jednoho relé se třemi kontakty. Celkem použijeme devět 24 V minirelé `Kuan HSI SIA24-2K`[5]. Připojíme k nim paralelně ochrannou diodu proti impedančním špičkám.

Jako spínací NPN tranzistory použijeme `BD440` [8], které vyhovují parametry této aplikaci a máme jich několik navíc z výroby servozesilovačů.

Logické integrované obvody mohou být libovolné technologie, protože v aplikaci nemáme nároky na jejich rychlost ani spotřebu. Použijeme patice pro jejich snadnou výměnu.

Jako optické oddělovače použijeme typ PC829 [9], protože zbyly v laboratoři po úpravě zapínacího modulu [26]. Pro toto zapojení jsou vhodné pro jejich malý spínací proud.

Tlačítka a LED diody zapojíme na ovládací panel. Pro indikační LED postačí jeden rezistor, neboť se nemůže stát, že by byly rozsvícené dvě diody najednou.

Veškeré přívodní kabely zapojíme přes jednoduše rozepínatelné konektory pro snadnou demontáž pří případné náhradě desky, nebo opravě.

3.4 Návrh, výroba a osazení plošných spojů

Plošný spoj jsme navrhli pomocí návrhového systému *EAGLE Layout Editor* [13], stejně jako při návrhu servozesilovačů. Výsledný plošný spoj by měl být dvouvrstvý, ale my vyrobíme jednovrstvý a zbylých šest spojů druhé vrstvy nahradíme drátky.

Deska plošných spojů byla z důvodu nedostatku času vyrobena v domácí laboratoři pomocí pozitivní fotografické cesty. Návrh desky plošných spojů vytiskneme na laserové tiskárně na průhlednou fólii. Na desku se sprejem nanesenou vrstvou POSITIV20 [5] položíme vytištěný obrazec spojů a osvítíme UV-světlem. Vyvoláme v 1% roztoku hydroxidu sodného (NaOH) a vyleptáme pomocí 20% roztoku kyseliny chlorovodíkové (HCl) s přídavkem peroxidu vodíku (H_2O_2). Doba výroby záleží na vybavení a koncentraci použitých chemikálií, pohybuje se běžně kolem jedné hodiny.

Hotovou desku jsme potřeli pájivým lakem proti oxidaci a pro snadnější pájení. Desku jsme osadili součástkami a konektory.

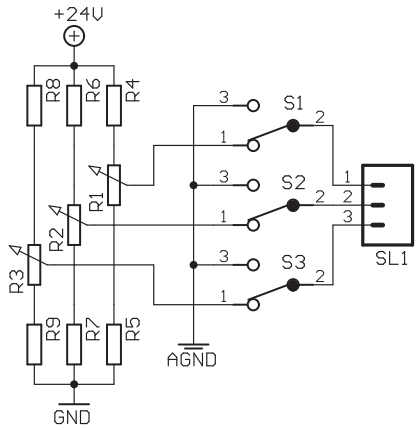
3.5 Testování

Před zapojením přepínače do modelu jsme provedli ověření jeho funkčnosti. Otestovali jsme funkci logických obvodů, funkci tranzistorů spínajících relé a funkci vzdáleného přepínání. Provedli jsme také měření sepnutí všech kanálů a odstranili drobné závady.

3.6 Zapojení ručního ovládání

Ruční ovládání je umístěno na ovládacím panelu modelu. Jedná se o tři potenciometry, které vytvářejí analogové signály $\pm 10\,\mathrm{V}$ pro řízení rychlosti pohybu v jednotlivých osách. Zapojili jsme vypínače, které odepnou osu od ručního řízení spojením vstupů do servozesilovačů s analogovou zemí `AGND`. Schéma zapojení na obrázku 3.3.

K tomuto obvodu nebudeme vytvářet desku plošných spojů, postačí zapojení přímo na desce ovládacího panelu. Odpor potenciometrů je volen jen s přihlédnutím k proudové zatížitelnosti. Zvolili jsme $33\,\mathrm{k\Omega}$. K nim jsou dopočítané rezistory s přihlédnutím ke vstupnímu odporu servozesilovačů tak, aby vstupní napětí bylo v rozsahu $\pm 10\,\mathrm{V}$.



Obrázek 3.3: Schéma zapojení ručního řízení

3.7 Závěr

Navržený obvod elektronického přepínače splňuje zadané požadavky na ruční i vzdálené přepnutí vstupních signálů pro řízení jednotlivých os.

Obrázek 3.4: Fotografie řídicího panelu

Na obrázku 3.4 je fotografie zapojeného ovládacího panelu. V horní časti jsou tlačítka pro přepnutí režimu s indikačními LED diodami. Ve střední části se nacházejí odpínače jednotlivých os. V dolní části jsou umístěny potenciometry, řídící při ručním řízení rychlost otáčení motorů.

Výstupní signály jsou přivedeny do PC i PLC současně a není nutné je přepínat, protože nemění stav modelu. Taková konfigurace umožňuje monitorování stavů modelu i při řízení z jiného zdroje. Můžeme tak například monitorovat stav os, čidel a koncových spínačů ve vizualizačním software čí z internetu pří ručním řízení, nebo při řízení z Matlabu.

Technická dokumentace k obvodu přepínače je v příloze.

Kapitola 4

Připojení modelu k počítači

4.1 Úvod

Model soustruhu je možno považovat za reálný systém, který můžeme zpětnovazebně řídit. Pro výukové účely je vhodné jeho připojení k počítači a s pomocí software *Matlab*[17] s nadstavbou *Simulink*[17] provádět real-time řízení, měření a zpracování signálů a simulace.

V této kapitole popíšeme připojení modelu k počítači přes multifunkční vstupně-výstupní kartu *MF614*[16] od firmy *Humusoft*. Vytvoříme vstupně-výstupní blok pro *Matlab*, který bude sloužit jako základní rozhraní mezi reálným modelem a simulací.

4.2 Karta MF614

Multifunkční vstupně-výstupní karta *MF614* je navržena pro připojení počítače k signálům z reálného světa. Obsahuje 8 analogových vstupů s 12-bit A/D převodníkem, 4 nezávislé 12-bit D/A převodníky, 8 digitálních vstupů, 8 digitálních výstupů , 4 vstupy pro kvadraturní inkrementální snímače a 4 programovatelné čítače. Karta je navržena pro získávání dat a řídicí aplikace a optimalizována pro `Real Time Toolbox` pro *Matlab*.

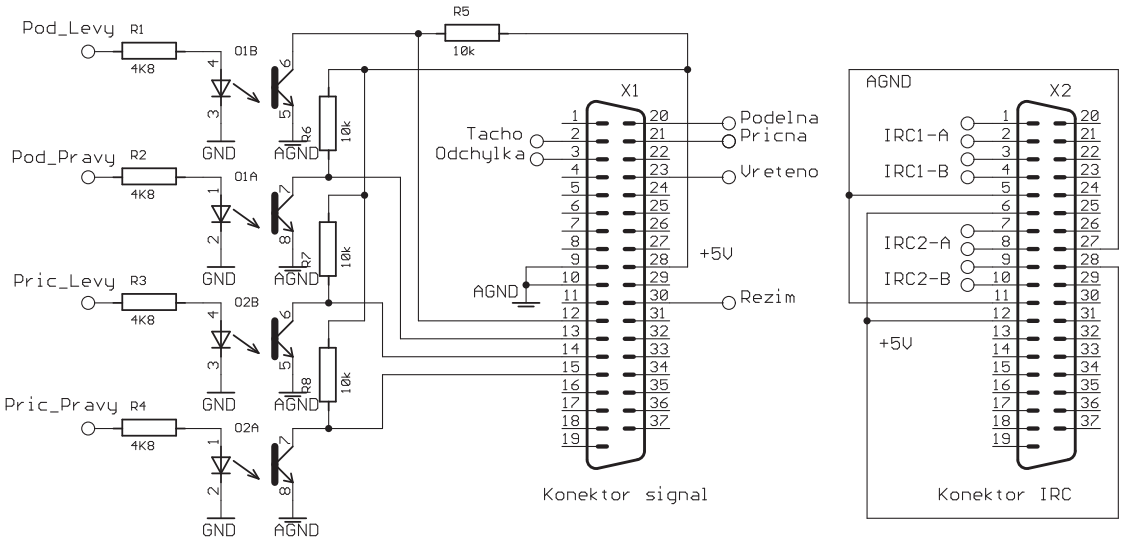
4.3 Fyzické připojení modelu

Osy modelu jsou řízeny třemi signály z D/A převodníku. Signál rychlosti z tachodynama a odchylka induktivního úchylkoměru jsou zapojeny do analogových vstupů karty. Koncové spínače jsou zapojeny do digitálních vstupů. Jeden digitální signál je použit k přepnutí přepínače k řízení z Matlabu. Signály z dvou inkrementálních rotačních čidel jsou zapojeny do vstupů pro kvadraturní snímače.

U inkrementálních snímačů zapojíme pro každý kanál pouze signály `A` a `B`, protože signál `Index` nuluje při každé celé otáčce snímače informaci o poloze, což není žádoucí.

Karta *MF614* má spojenou analogovou zem s digitální. Tím vznikl problém, jak tyto signály oddělit. Jedno z řešení je využít oddělovací schopnosti optočlenů, a tak posunout zem u jednoho druhu signálů. Použití analogových optických oddělovačů by bylo velice nákladné. Rozhodli jsme se pro oddělení digitálních signálů pomocí dvou obvodů `PC829` [9]. Vznikl ale problém s možným spojením zemí skrze zemnící kolík zástrčky mezi modelem, automatem a počítačem. Automat i napájecí zdroj modelu jsou galvanicky oddělené, proto nevadí spojení analogové země skrze počítač se zemnícím kolíkem zástrčky.

Signál do přepínače ke změně vstupů na režim Matlab je již oddělen optočlenem. Připojení signálů k 37-pin konektorům karty *MF614* s úpravou digitálních signálů optočleny je na obrázku 4.1.



Obrázek 4.1: Připojení modelu ke konektorům MF614

Použitím optočlenů jsme vyřešili problém posunutých zemí. Zároveň jsme také upravili napěťové úrovně signálů z 24 V na 5 V, a tím jsou přizpůsobovací obvody pro digitální signály z minulého návrhu [1] zbytečné.

4.4 Nastavení Matlabu

Pro správnou funkci měřící karty je vhodné nainstalovat její ovladač do Windows, ale není to nutné. V *Matlabu* je poté nutné nainstalovat `Real Time Toolbox`, který zajišťuje veškerou komunikaci s kartou z prostředí *Matlab*.

Pro simulace použijeme *Simulink*. Je to nadstavba pro simulaci a modelování dynamických systémů, který využívá algoritmy *Matlabu* pro numerické řešení nelineárních diferenciálních rovnic. Poskytuje uživateli možnost rychle a snadno vytvářet modely dynamických soustav ve formě blokových schémat a rovnic [17].

Jako první připojíme blok pro ovládání vstupně-výstupních karet, který najdeme v `Real Time toolboxu`, a nakonfigurujeme ho pro typ *MF614*.

Poté přidáme vstupní a výstupní bloky a zvolíme použití s naší kartou. Musíme zvolit vstupní a výstupní kanály karty. V manuálu ke kartě tyto kanály nejsou popsány, proto je popíšeme v následující tabulce 4.1.

Vstupy		Výstupy	
kanál	popis	kanál	popis
1-8	analogové vstupy	1-4	analogové výstupy
9-12	inkrementální čítače	5-6	časovače
17-24	digitální vstupy	13-20	digitální výstupy

Tabulka 4.1: Přehled kanálů MF614

Připojení signálů modelu na kanály karty jsou v tabulce 4.2.

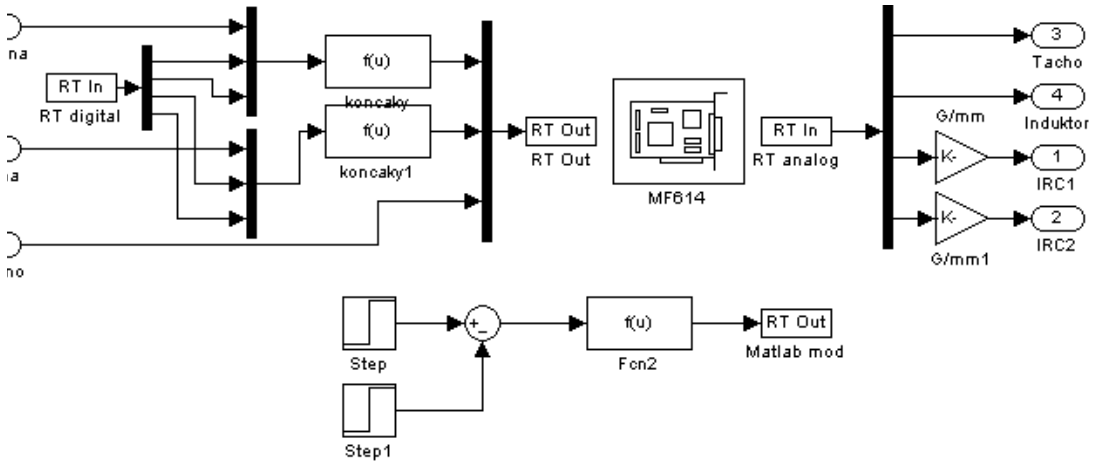
Vstupy		Výstupy	
kanál	signál	kanál	signál
1	poloha měniče	1	řízení podélné osy
2	tachodynamo	2	řízení příčné osy
3	inkrementální čidlo	3	řízení vřetena
4	potenciometr podéná	4	analogový výstup zapojený do PLC
5	potenciometr příčná	13	přepnutí režimu Matlab
6	potenciometr vřeteno		
7	analogový vstup zapojený do PLC		
9	inkrementální čítač podélné osy		
10	inkrementální čítač příčné osy		
17	levý koncový spínač podélné osy		
18	pravý koncový spínač podélné osy		
19	levý koncový spínač příčné osy		
20	pravý koncový spínač příčné osy		

Tabulka 4.2: Zapojení signálů modelu na kanály karty

Tímto je karta nainstalována a můžeme signály modelu řídit a měřit v reálném čase.

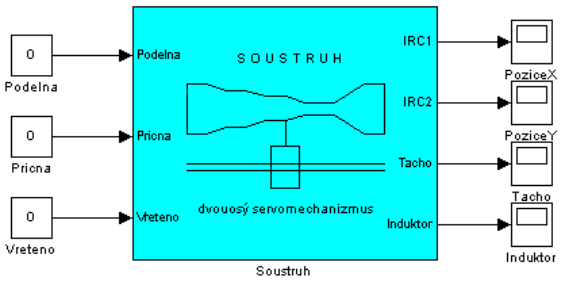
4.5 Vytvoření modelu v Matlabu

Pro snadnější použití vytvoříme blok v *Simulinku*, který bude sdružovat konfigurační a vstupně výstupní bloky karty. Na obrázku 4.2 je vnitřní schema zapojení námi vytvořeného bloku.



Obrázek 4.2: Vnitřní schéma bloku

Signály pro řízení os jsou v rozmezí $\langle -1; 1\rangle$. Jsou omezené vstupními signály z koncových spínačů tak, aby při najetí zamezily dalšímu pohybu v ose, ale bylo možné opustit koncovou zónu v opačném směru. Signály z úchylkoměru jsou v rozmezí $\langle -1; 0\rangle$ a tachodinama v rozmezí $\langle -1; 1\rangle$. Výstupní signály z inkrementálních rotačních snímačů jsou zeslabeny na úroveň, která signalizuje polohu v ose v milimetrech. Po startu simulace je poslední pozice vynulována a za počátek se považuje pozice před spuštěním simulace. Signál přepnutí přepínače modelu do režimu Matlab je vyslán ihned po startu v sekundovém pulzu.



Obrázek 4.3: Vnější maska bloku

Na obrázku 4.3 je zobrazen blok z vnějšího pohledu. V menu `Mask parameters...` je možné nastavit periodu vzorkování vstupních a výstupních signálů a také vypnout přepínání režimu a použít tak simulaci jen k pozorování stavů systému.

4.6 Identifikace modelu

Model můžeme rozdělit na tři nezávislé podsystémy s jedním vstupem a jedním výstupem. Prvním podsystémem je podélná osa se vstupním signálem pro řízení rychlosti motoru se stavovou informací o poloze z inkrementálního snímače. Druhým podsystémem je příčná osa se stejnou konfigurací. Dalším je vřeteno s řídicím signálem rychlosti motoru a výstupní informací o rychlosti z tachodynama. Jiný možný podsystém by mohl být tvořen vstupem do motoru příčné osy a výstupem z úchylkoměru. Takový podsystém by mohl sloužit s použitím regulátoru ke sledování profilu.

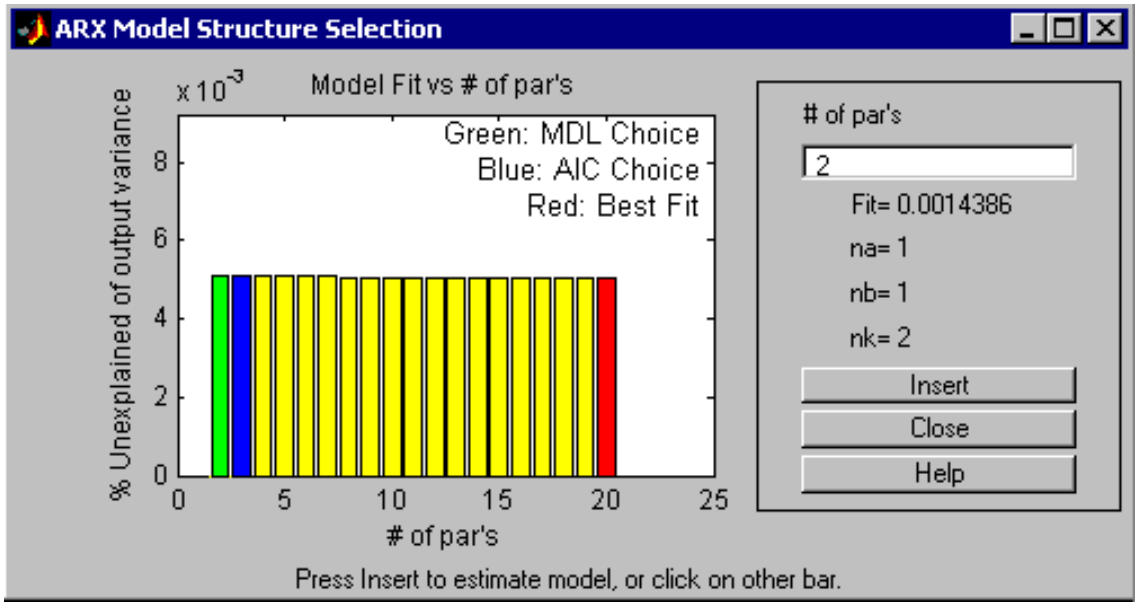
Podélná a příčná osa má integrační charakter, tzn. jeho hlavní častí je integrátor. Podsystém vřetene převádí rychlost na rychlost s konstantou zesílení. Při ručním vytváření matematického modelu musíme vzít v úvahu dopravní zpoždění, dynamické vlastností motorů a moment setrvačnosti mechanických části.

4.6.1 System Identification Toolbox

Nejsnažší cestou k získání popisu dynamických vlastností je *ARX identifikace* (ARX - autoregresní model s externim vstupem)[18], pomocí níž získáme diskrétní přenos systému. Identifikaci provedeme pouze pro subsystém podélné osy a pro ostatní subsystémy je postup totožný. Periodu vzorkování volíme $T_s = 0.05\,\mathrm{s}$ a dobu měření $T_m = 90\,\mathrm{s}$.

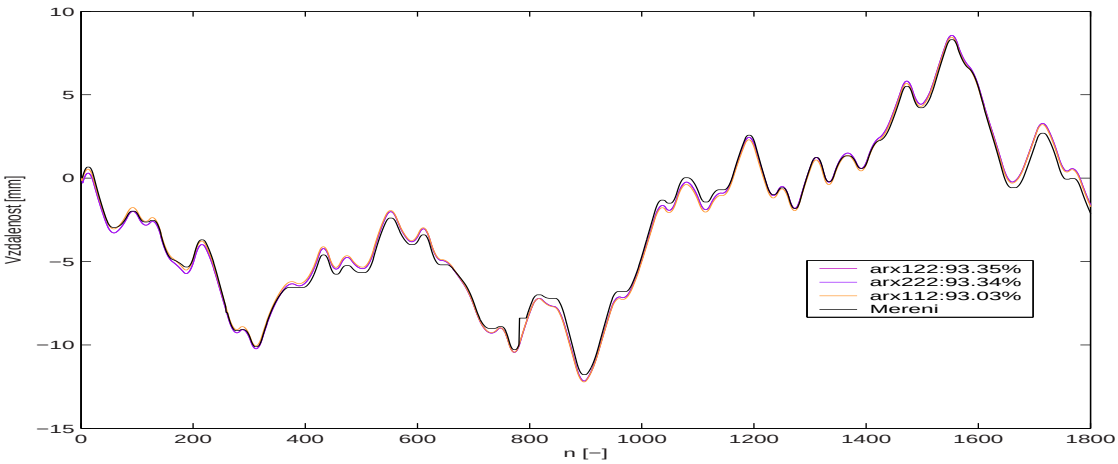
Do systému pustíme do vstupu náhodný signál a změříme vstupní a výstupní průběhy. Náhodný signál volíme v rozsahu $\langle -1; 1\rangle$ s vyloučením pásma necitlivosti motorů, saturačních pásem servozesilovačů, které by nám do měření vnesly chyby. Náhodný signál také nesmí provést posun mimo rozsah osy, protože zastavením pohybu na koncovém spínači bychom naměřená data znehodnotili. Naměřené signály musíme ukládat s časovým záznamem a poté upravit na zvolenou vzorkovací frekvenci, protože *Simulink* používá proměnný čas a my potřebujeme průběhy s konstantní periodou vzorkování.

Změřená data vložíme do nadstavby pro identifikaci systémů *System Identification Toolbox*, krerý se v Matlabu spouští příkazem `Ident`. Vložíme upravená naměřená data a provedeme odstranění středních hodnot příkazem `Preproces-> Remove means`. Poté spustíme nástroj pro identifikaci modelu z naměřených dat pomocí `Estimete->Parametric models`. V okně `Parametric models` zmáčkneme tlačítka `Order Selection` a poté tlačítko `Estimate`. Otevře se další okno výběru vnitřní struktury modelu (viz. obrázek 4.4).



Obrázek 4.4: Výběr struktury ARX modelu

Zde je několik nejlepších odhadnutých modelů. Volíme takový model, který má nejmenší počet vnitřních stavů a nejlépe kopíruje změřený výstupní signál. Model převedeme do hlavního okna výběrem barevného pruhu a zmáčknutím tlačítka `Insert`. Tam zaškrtnutím pole `Model output` zobrazíme okno s průběhy výstupů měřeného systému a simulovaných modelů.



Obrázek 4.5: Graf měřeného a odhadnutých modelů

Na obrázku 4.5 jsou průběhy výstupů jednotlivých vypočtených modelů. Je zde vidět jak se na systému projeví pásmo necitlivosti na řídicí signál kolem nuly. Nejlepší odhadnutý model je `arx122`. Další s nejmenším počtem vnitřních stavů a stále dobrým kopírováním měřeného výstupu je model `arx112`. Zvolený model převedeme

do Matlabu přesunem myší na pole `To Workspace`. Tam můžeme model zobrazit, nebo použít k dalším výpočtům a simulacím.

Pro podélnou osu jsme vybrali model `arx112`, a výsledný diskrétní přenos subsystému je v rovnici (4.1).

$$G(z) = \frac{0.1293}{z^2 - z} \tag{4.1}$$

4.7 Závěr

V této kapitole jsme připojili model soustruhu k počítači pomocí měřící karty MF614 a vytvořili základní rozhraní pro simulace v prostředí *Simulink*. Protože měřící karta má spojenou analogovou zem s digitální, bylo nutné provést optické oddělení. Pro jednoduchost jsme zvolili oddělení digitálních signálů optočleny a obvod optických oddělovačů jsme zapojili přímo do konektoru.

Vytvořili jsme také blok pro přímé ovládání modelu ze Simulinku v reálném čase a pospali jsme metodu identifikace modelu.

Tento model s připojením k Matlabu bude sloužit v laboratoři pro výukové účely.

Kapitola 5

Připojení modelu ke ControlLogix

5.1 Úvod

Model dvouosého servomechanizmu může být ovládán ručně, z PLC, nebo z Matlabu. V této kapitole popíšeme fyzické připojení modelu k **programovatelnému logickému automatu** (PLC - Programmable Logical Controler), vysvětlíme nastavení *2 axis motion* modulu 1756-M02AE [19], naprogramujeme demonstrační program v RSLogix 5000 [20] s využitím *motion instrukcí* [21] s vázaným pohybem os a vytvoříme vizualizaci modelu v programu RSView [22].

5.2 Popis automatu ControlLogix

Na obrázku 5.1 je fotografie rámu s jednotlivými zásuvnými moduly.

Obrázek 5.1: Fotografie automatu ControlLogix

Programovatelný logický automat ControlLogix [23] od firmy Allen-Bradley je zástupce nejnovější generace PLC. Umožňuje řízení velkého počtu typů technologických procesů, případně jejich kombinaci. Systém je modulární a dovoluje téměř 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.

Vnitřní sběrnice ControlBus pracuje 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 sběrnice 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. Realizují také softwarovou konfiguraci vstupně-výstupních modulů.

Proměnné programu jsou nejen fyzické odkazy do paměti, ale mohou mít vlastní název(tag), zastupovat jinou proměnnou (alias), nebo se sdružovat do polí a struktur. Každá úloha se skládá z programů a podprogramů, které můžou být spouštěny postupně, paralelně nebo při splnění předem definovaných podmínek.

5.3 Zásuvné moduly a jejich připojení k modelu

Přehled modulů zasunutých ve 13-ti pozičním rámu je v tabulce 5.1. Napěťové rozsahy jednotlivých karet je konfigurovatelné, ale my popíšeme pouze aktuální nastavení. Popis parametrů, funkce a nastavení modulů je v literatuře [23].

Slot	Typ	Popis
0	1756-L1	Procesor Logix 5550, firmware 11.11
1	1756-IB32	32 digitálních 24V DC vstupů
2	1756-OB16E	16 digitálních 24V DC výstupů s elektronickou pojistkou
3	1756-IF8	8 analogových vstupů ±10 V se společnou zemí
4	1756-OF6VI	6 analogových výstupů ±10 V
5	1756-M02AE	ovládání dvou os serva se zpětnou vazbou z IRC čidel
6	1756-OW16I	16 nezávislých releových spínačů
12	1756-ENET/B	Ethernet

Tabulka 5.1: Přehled modulů automatu

Procesor na pozici 0 je hlavním řídicím prvkem automatu. Modul *Ethernet* na pozici 12 zajišťuje veškerou komunikaci s programovacím prostředí a serverem provádějícím vzdálenou výměnu dat.

Stavové a řídicí signály jsou do programovatelného automatu přivedeny přes *připojovací systém 1492* [24]. Jedná se o svorkovnice IFM (interface modules) připevnitelné na standardizovanou elektrorozvodnou lištu a připravené kabely pro připojení k automatu. Kabel má na jedné straně konektor do IFM a na druhé vyjímatelnou svorkovnici přímo připojitelnou do modulu. Svorkovnice IFM mohou být také vybaveny indikačními LED nebo pojistkami.

Některé signály jsou zapojeny do *polohovacího přípravku*[25]. Jedná se o jiný model připojený ke stejnému automatu.

5.3.1 Digitální signály

Digitální vstupní signály jsou zapojené do modulu 1756-IB32 a digitální výstupy do modulu 1756-OB16E. Signály jsou v napěťových úrovních 0 a 24 V. V tabulce 5.2 je přehled signálů zapojených k digitálním modulům.

1756-IB32 Digitální vstupy		1756-OB16E Digitální výstupy	
Kanál	Signál	Kanál	Signál
0-14	- Polohovací přípravek	0-15	- Polohovací přípravek
15-24	N.C.		
25	přepínač - mód Ručně		
26	přepínač - mód Matlab		
27	přepínač - mód PLC		
28	koncový spínač - Podélná - levý		
29	koncový spínač - Podélná - pravý		
30	koncový spínač - Příčná - levý		
31	koncový spínač - Příčná - pravý		

Tabulka 5.2: Připojení digitálních signálů

5.3.2 Analogové vstupní signály

Analogové vstupní signály jsou připojeny do modulu 1756-IF8 a výstupní analogové signály do modulu 1756-OF6VI. Signály jsou v napěťovém rozsahu ±10 V. Přehled připojení signálů je v tabulce.

1756-IF8 Analogové vstupy		1756-OF6VI Analogové výstupy	
Kanál	Signál	Kanál	Signál
0	- Polohovací přípravek	0	- Polohovací přípravek
1	Tachodynamo	1	Řídicí signál vřetena
2	Induktivní úchylkoměr	2	Signál do karty MF614
3	potenciometr Podélná	3-5	N.C.
4	Potenciometr Příčná		
5	Potenciometr Vřeteno		
6	Signál z karty MF614		
7	Ampérmetr		

Tabulka 5.3: Připojení analogových signálů

5.3.3 Reléové spínače

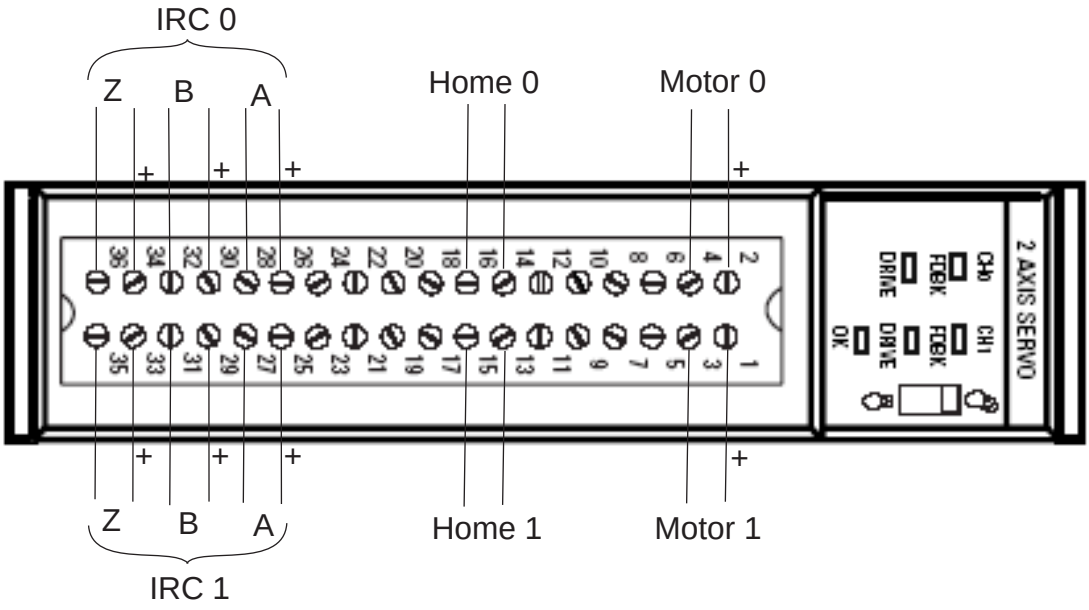
Pomocí karty reléových spínačů 1765-OW16I je prováděno zapínání a vypínání celého modelu a nastavení přepínače pro řízení z PLC. Zapínání a vypínání celého modelu provádí zapínací obvod sepnutím resp. odepnutím napětí k napájecímu zdroji.

1756-OW16I Reléové spínače	
Kanál	Signál
0-12	N.C.
13	Přepnutí přepínače pro řízení z automatu
14	Zapnutí celého modelu
15	Vypnutí celého modelu

Tabulka 5.4: Zapojení reléových spínačů

5.3.4 Signály pro řízení os

Signály z podélné a příčné osy jsou zapojeny do modulu 1756-M02AE. Na obrázku 5.2 je schéma připojení. Vstupními signály jsou pulsy kvadraturních inkrementálních čítačů **A** a **B** s indexem polohy **Z** a signál z koncového spínače pro inicializaci. Výstupní řídicí signál osy je připojen do přepínače vstupů a dále do servozesilovače motoru.



Obrázek 5.2: Připojení signálů k servo modulu

5.4 Program v RSLogix 5000

Pro vyzkoušení vázaného pohybu os naprogramujeme demonstrační program v prostředí RSLogix 5000 [20].

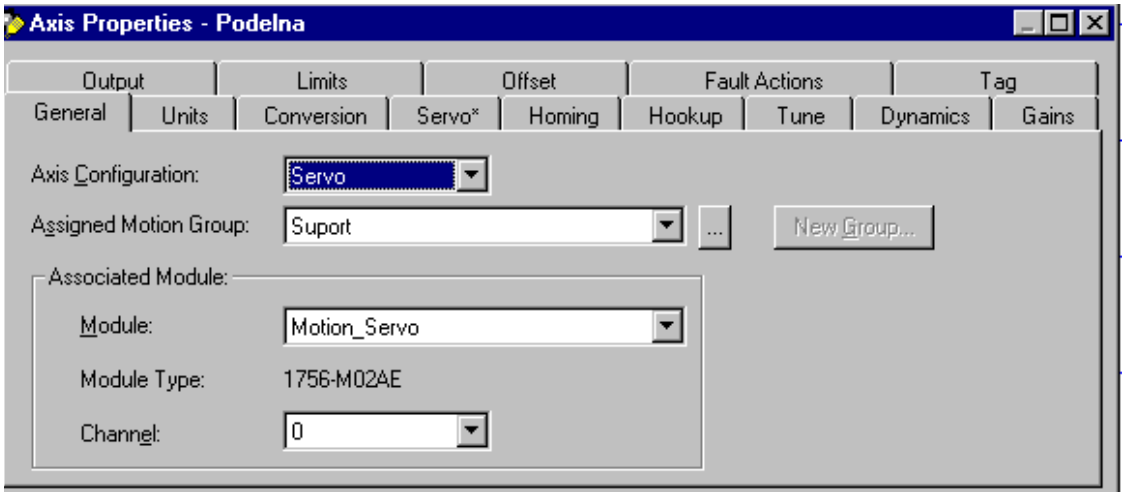
Založíme projekt a vybereme pomocí RSLinx náš procesor. Přidáme a nakonfigurujeme použité vstupní a výstupní moduly a modul pro řízení serva 1756-M02AE. Dále vytvoříme novou skupinu os (`Motion Group`) a přidáme dvě nové osy(`New Axis...`). Postup je popsaný v literatuře [19].

Dalším krokem je nastavení parametrů osy.

5.4.1 Nastavení os modulu 1756-M02AE v RSLogix

Po přidání podélné a příčné osy do projektu v programovacím prostředí *RSLogix5000* [20] musíme provést konfiguraci os v *Axis Properies...* pro každou osu zvlášť. Zde nastavíme veškeré statické parametry osy a změříme dynamické vlastnosti pro automatické zpětnovazební řízení polohy. Popíšeme nastavení pouze podélné osy, protože konfigurace příčné osy je s ní identická. Na případné rozdíly upozorníme.

5.4.1.1 General



Obrázek 5.3: Nastavení osy - záložka General

V záložce *General* na obrázku 5.3 nastavíme fyzické připojeni k servo modulu. Přiřadíme datovou strukturu osy k modulu a zvolíme kanál, na kterém je připojena. Příčná osa je na kanálu `0` a podélná na kanálu `1`. Přidáme osu do skupiny `Suport`, která je datovou strukturou pro vázaný pohyb os.

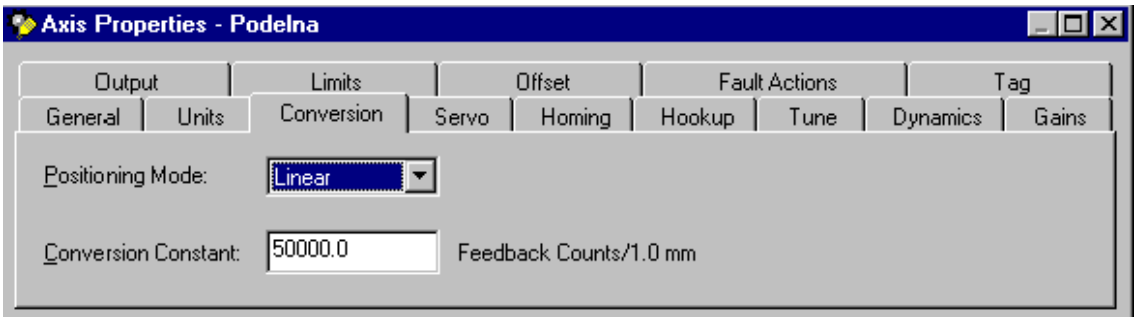
5.4.1.2 Units

Obrázek 5.4: Nastavení osy - záložka Units

V záložce *Units* na obrázku 5.4 zvolíme jednotku, ve které budeme určovat polohu. V našem případě zvolíme milimetry (`mm`).

Volíme zde také základní frekvenci vzorkování pro výpočet rychlosti.

5.4.1.3 Conversion



Obrázek 5.5: Nastavení osy - záložka Conversion

Záložka *Conversion* na obrázku 5.5 slouží k nastavení přepočtu pulzů inkrementálního snímače na zvolené jednotky. Volíme lineární přepočet.

Konstanta je odvozena od parametrů inkrementálních snímačů a mechanického převodu. Použité inkrementální čidlo má 500 čárek na otáčku, což při čtyřnásobné rozlišovací schopnosti kvadraturního snímání znamená, že má $N_{IRC} = 2000\,\mathrm{n/ot}$ pulzů na otáčku. Mechanický převod je dán poměrem šnekové převodovky a stoupáním pohybového šroubu. Převodovka snižuje otáčky 50-krát u obou os ($K_{prev} = 50$). Stoupání pohybového šroubu příčné osy je $S_{pric} = 2\,\mathrm{mm/ot}$ a podélné s použitím čtyřchodého šroubu $S_{pod} = 25\,\mathrm{mm/ot}$.

$$N = \frac{K_{prev} \cdot N_{IRC}}{S}, \quad [\mathrm{n/mm}\,; -\,; \mathrm{n/ot}\,; \mathrm{mm/ot}]. \tag{5.1}$$

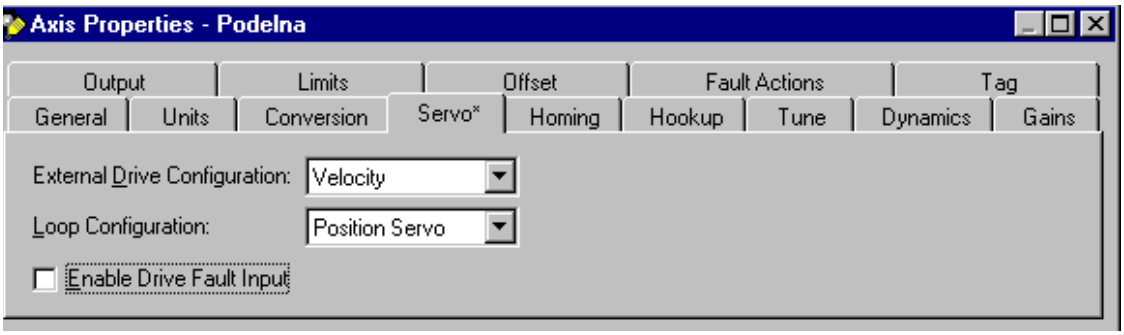
Výpočtem pomocí rovnice 5.1 získáme přepočtenou konstantu pro příčnou osu $N_{pric} = 50000\,\mathrm{n/mm}$ a pro podélnou osu $N_{pod} = 4000\,\mathrm{n/mm}$.

Vzhledem k velice pomalé přestavné době, kdy podélná osa přejíždí přes celý rozsah osy, jsme se rozhodli ke změně stoupání vodícího šroubu na 10mm/ot. Příčná osa je naopak zpřevodována do rychla a není možné nastavit polohu s dostatečnou přesností pro odměřovací čidlo, a proto změníme stoupání šroubu na 2mm/ot. Tato změna nebyla před odevzdáním této práce provedena a budeme muset tyto konstanty později upravit.

5.4.1.4 Servo

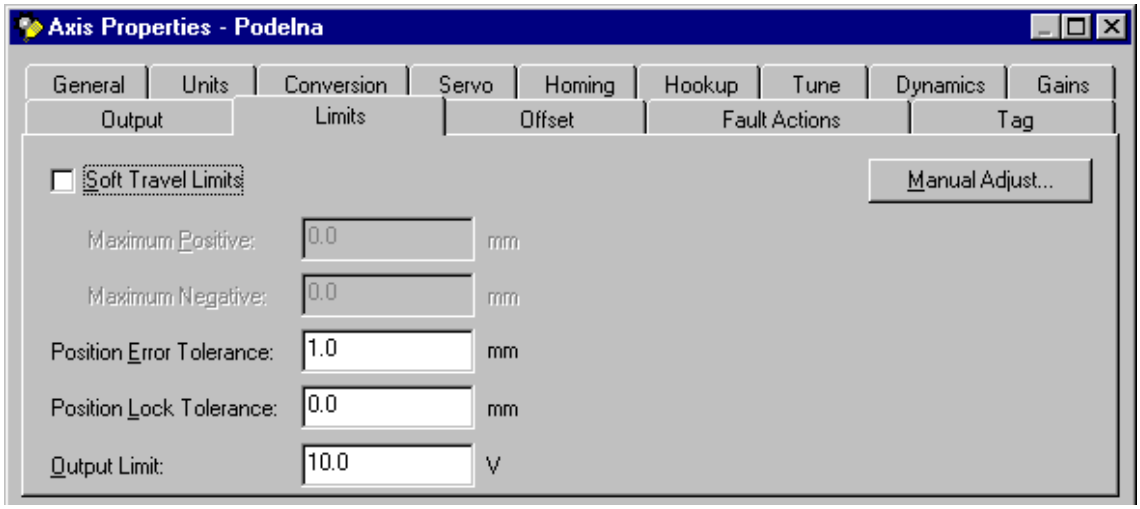
Na obrázku 5.6 je záložka Servo. Zde nastavíme typ servozesilovače. Náš servozesilovač navržený v kapitole 2 reaguje na řídicí signál změnou rychlosti motoru, proto zvolíme `Velocity`.

Druhá položka nastavuje typ zpětnovazebné informace z inkrementálních čidel. V našem modelu dávají informaci o poloze, proto volíme `Position Servo`.



Obrázek 5.6: Nastavení osy - záložka Servo

5.4.1.5 Limits



Obrázek 5.7: Nastavení osy - záložka Limits

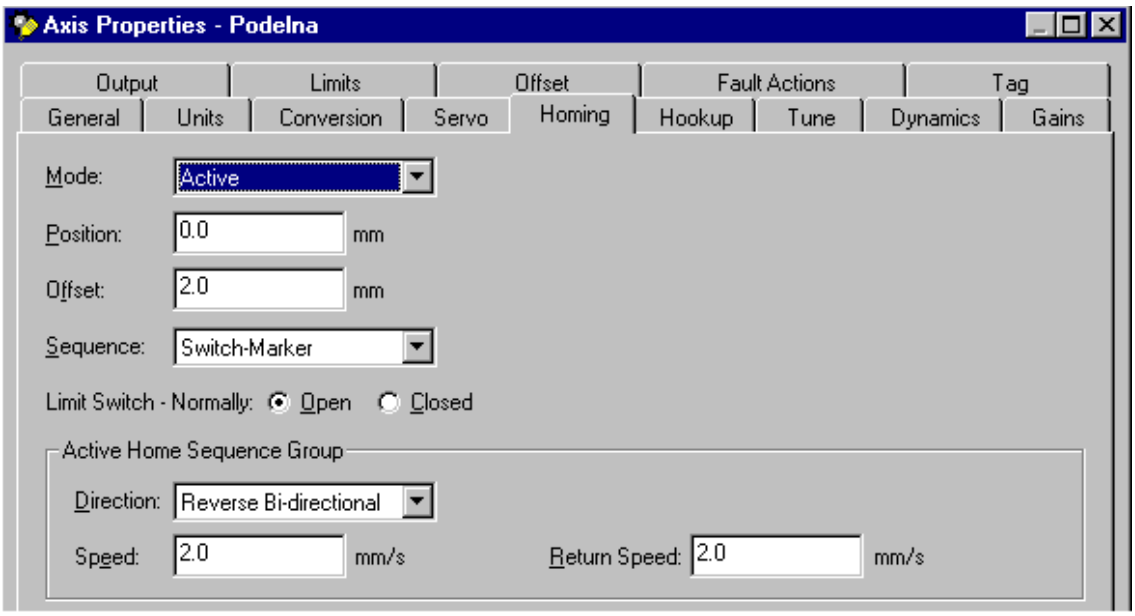
Záložka limits je na obrázku 5.7. Zde nastavíme maximální použité rozsahy. Maximální řídicí napětí pro motory nastavujeme na 10 V.

`Position Error Tolerance` nastavuje maximální odchylku vypočtené pozice na základě dynamických vlastností od skutečné z inkrementálních čidel. Při překročení odchylky dojde k chybovému stavu osy.

`Position Lock Tolerance` určuje povolenou chybu pozice při zastaveném pohybu.

Můžeme zde také nastavit povolený rozsah pohybu, a suplovat tím havarijní koncové spínače.

5.4.1.6 Homing



Obrázek 5.8: Nastavení osy - záložka Homing

Inicializace je prováděna pomocí instrukce *MAH*. Jedná se o posun v ose do výchozí pozice a vynulování čítače polohy. Výchozí pozice je detekována na havarijním koncovém spínači v záporném směru pohybu a signál je přiveden do motion modulu.

V záložce *Homming* na obrázku 5.8 je nastavení chování při inicializaci. Volba `Active` znamená požadavek posunu osy do výchozí pozice.

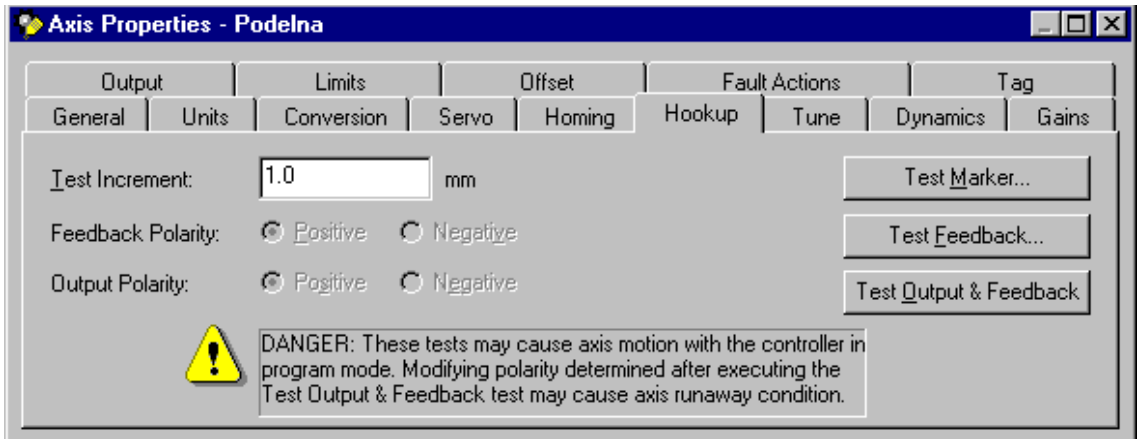
Položku *Sequence* nastavíme dle obrázku, tzn. za výchozí pozici považujeme sepnutí koncového spínače a index inkrementálního snímače.

V okně `Active Home Sequence Group` nastavíme inicializační posun v záporném směru a povolíme obousměrnou inicializaci. Nastavíme zde i rychlost v kladném a záporném směru. Pro rychlý homing je vhodné nastavit rychlost posunu na maximum a rychlost při zpětné korekci polohy případně snížit pro větší přesnost. Pro podélnou osu s původním stoupáním šroubu volíme rychlost maximálně $2,5\,\mathrm{mm/s}$ a pro příčnou $25\,\mathrm{mm/s}$.

Položka `Offset` je vzdálenost od koncového spínače do místa, kde bude nový počátek osy. Toho můžeme využít k vyjetí z koncového spínače.

Položka `Position` znamená hodnotu proměnné polohy po provedení inicializace.

5.4.1.7 Hookup

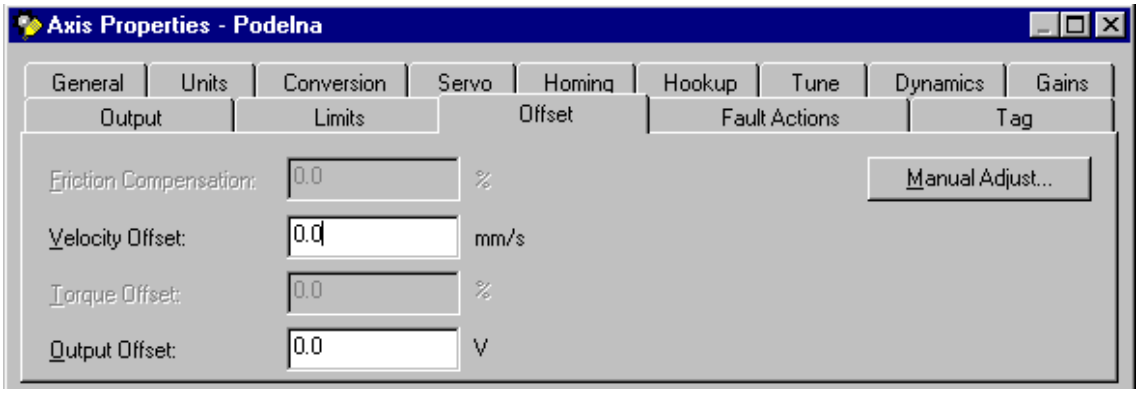


Obrázek 5.9: Nastavení osy - záložka Hookup

V záložce *Hookup* na obrázku 5.9 testujeme inkrementální snímače a nastavujeme směr otáčení. `Test Incremet` omezuje testovaný rozsah, což umožňuje omezit pohyb osy při nastavování.

Tlačítko `Test Marker` spouští provedení testu indexu čidla. Po spuštění točíme ručně čidlem v kladném směru dokud nepřijde signal. Tlačítko `Test Feedback` provádí test zpětné vazby. Ručně točíme inkremetálním čidlem v kladném směru po zvoleném rozsahu dráhy. Poté se automaticky nastaví směr otáčení motorů. Tlačítko `Test Output & Feedback` provede test zpětné vazby osy tím, že provede motorem pohyb s kladným napětím a kontroluje signály z inkrementálního čidla. Po provedení testu nastaví směr řízení motorů.

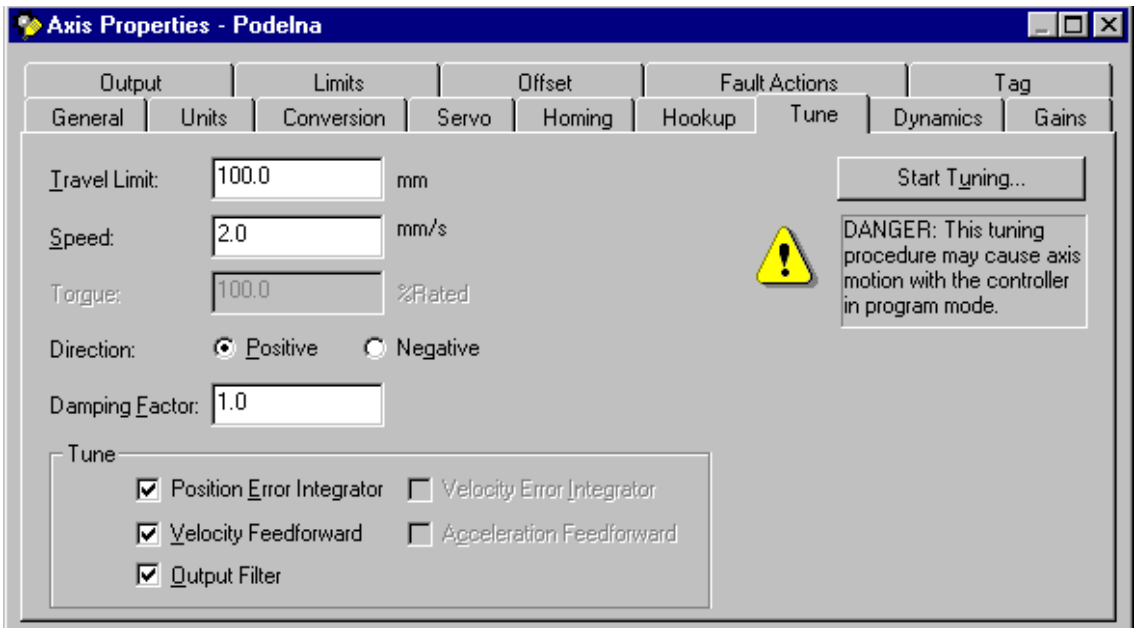
5.4.1.8 Offset



Obrázek 5.10: Nastavení osy - záložka Offset

Před provedením testu dynamických vlastností osy je nutné nastavit napěťový offset (viz. obrázek 5.10) na 1 V, neboť řídicí signál při testu je velice malý. Tím dočasně odstraníme pásmo necitlivosti kolem nuly jen pro potřebu ladění dynamických vlastností.

5.4.1.9 Tune



Obrázek 5.11: Nastavení osy - záložka Tune

Automatické nastavení dynamických vlastností osy je v záložce *Tune*. Nejdřív nastavíme offset dle sekce 5.4.1.8. Před provedením testu nastavíme prvotní parametry dle obrázku 5.11 pro příčnou osu a pro podélnou volíme `Travel limit`= 50 mm a `Speed`= 20 mm/s.

Tlačítkem `Start Tunning` spustíme nastavovací sekvenci. Při nedosažení zvolené rychlosti, nebo nenastavení offsetu, test neproběhne správně. Po úspěšném provedení testu se automaticky nastaví konstanty vnitřního PI regulátoru, konstanty maximální rychlosti, akcelerace a brždění. Vše se zapíše do záložek *Gains* a *Output*. Nastavíme také zpět offset na 0 V.

Všechny konstanty se dají nastavit ručně volbou `Manual Adjust...`.

5.5 Demonstrační program

Po nastavení os vytvoříme program v prostředí RSLogix 5000 [20], který s využitím instrukcí pro ovládání os provede měření obrobku a poté s pomocí instrukcí pro vázaný pohyb os bude kopírovat změřený profil.

Program rozdělíme na několik podprogramů, které budou provádět různé ucelené sekvence instrukcí pro ovládání os, kde po ukončení instrukce (nastavení bitu PC-Proces Complete) budeme spouštět další. Podprogramy budou nastavovat stavové bity, které budou informovat o spuštění, průběhu, ukončení a případné chybě. Použité instrukce pro pohyb os jsou popsané v literatuře [1] a [21]. Každá instrukce by měla mít vlastní řídicí strukturu, aby nedocházelo k přepisu vnitřních stavových bitů a z toho plynoucích problémů.

Každá osa má ve své struktuře mnoho užitečných informaci. Například proměnná `AxisHomedStatus` dává informaci o provedené inicializaci, `ActualPosition` je současná poloha v ose a `ActualVelocity` je aktuální rychlost.

V hlavním programu jsou jen výpočetní bloky a instrukce spouštějící podprogramy.

5.5.1 Podprogram Inicializace

Inicializace slouží k posunu os do výchozí pozice. Chování osy při inicializaci se nastavuje v `Axis Properties` jak je popsáno v sekci **Homing** 5.4.1.6.

Sekvence podprogramu:

1. Deaktivace os instrukcí MSF pro každou osu
2. Smazání chybových stavů os instrukcí MAFR pro každou osu
3. Aktivace os instrukcí MSO pro každou osu
4. Posun do výchozí pozice instrukcí MAH pro každou osu

5.5.2 Podprogram Inicializace čidla

Inicializací čidla rozumíme nastavení výpočetních konstant tak, aby jsme získali hodnotu zasunutí úchylkoměru v milimetrech. Změříme několik hodnot signálu odchylky bez dotyku O_0 a při dotyku obrobku v bodech O_{20} a O_{60} posunutím příčné osy. Po dosazení hodnot do přepočtového vzorce 5.2 získáme z měřeného napětí na úchylkoměru O vzdálenost zasunutí O_{mm} v milimetrech.

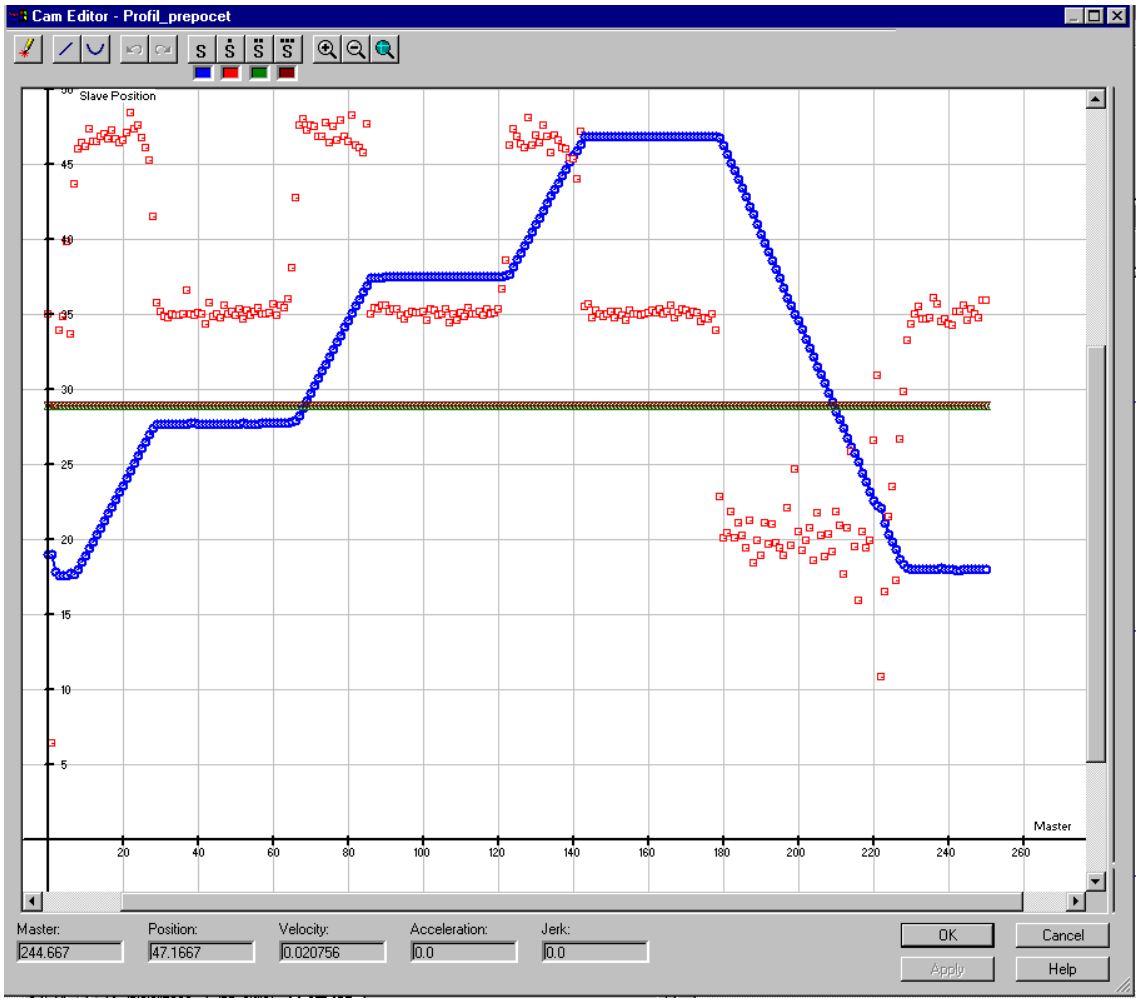
$$O_{mm} = (O - O_0) \cdot \frac{O_{60} - O_{20}}{40}, \quad [\mathrm{mm}, \mathrm{V}, \mathrm{V}, \mathrm{V}, \mathrm{V}]. \tag{5.2}$$

Po změření konstant je tento výpočet prováděn stále v hlavním programu pomocí instrukce CPT.

Sekvence podprogramu:

1. Posun os do nulové pozice instrukcí MAM pro každou osu
2. Uložení hodnoty úchylkoměru bez dotyku obrobku
3. Posun příčné osy do polohy 20mm instrukcí MAM
4. Uložení hodnoty úchylkoměru v pozici 20mm
5. Posun příčné osy do polohy 60mm instrukcí MAM
6. Uložení hodnoty úchylkoměru v pozici 60mm
7. Výpočet převodní konstanty z naměřených dat

5.5.3 CAM Profile Editor



Obrázek 5.12: Okno CamEditor

Na obrázku 5.12 je dialogové okno *CamEditor*. V tomto okně můžeme prohlížet změřený profil, a tento upravit posunutím bodů, nebo vytvořit jiný, podle kterého se bude provádět vázaný pohyb os.

5.5.4 Podprogram Měření obrobku

Tento podprogram změří profil obrobku a uloží hodnoty do pole pro pozdější zpracování. Nejprve nastavíme úchylkoměr v příčné ose do pozice tak, aby se měřený rozsah kryl s hloubkou vybrání obrobku. Dále budeme nastavovat polohu podélné osy po jednom milimetru a ukládat hodnotu vzdálenosti obrobku od nulové pozice příčné osy s využitím informace úchylkoměru.

Naměřený profil bude sloužit k výpočtu profilu pro vázaný pohyb os.

Sekvence podprogramu:
1. Posun podélné osy do nulové pozice a příčné do pozice 60 mm instrukcí MAM
2. Start posunu podélné osy v kladném směru pomocí instrukce MAJ
3. Uložení změřeného bodu do struktury `CAM_PROFILE`
4. Nastavení poziční události instrukcí MAW pro příčnou osu o jednotku dále
5. Při události se vrať k bodu 3, nebo na konci obrobku jdi k bodu 6
6. Zastav pohyb podélné osy instrukcí MAS

5.5.5 Podprogram Vázaný pohyb os

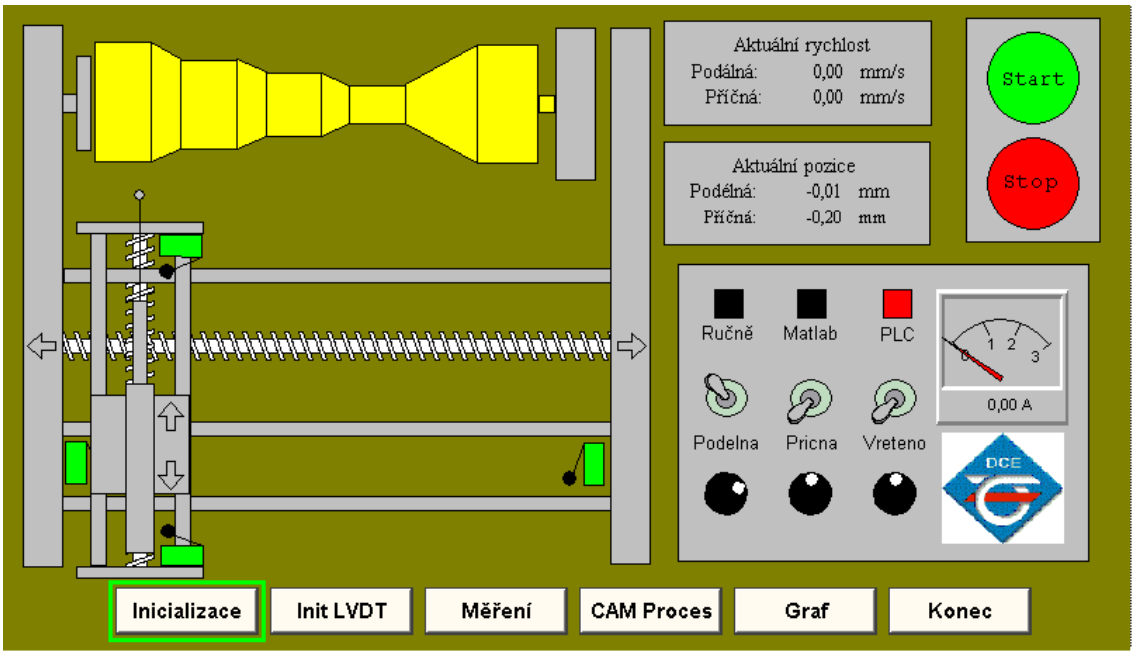
Tento podprogram provede pohyb kopírující profil obrobku pomocí dat ze struktury `CAM_PROFILE`. Tato data můžeme zadat v dialogu *CamEditor*, nebo změřit pomocí podprogramu *Měření*.

Po posunu os do výchozí pozice provedeme výpočet, který nám proloží změřené body přímkami a S-křivkami. Poté provedeme svázání os. Při pohybu příčné osy bude podélná osa nastavovat pozici podle zvoleného profilu, tzn. budeme provádět poziční vázaný pohyb os. Na konci musíme zrušit vazbu.

Sekvence:
1. Posun os do nulové pozice instrukcí MAM pro každou osu
2. Přepočti změřený profil instrukcí MCCP
3. Proveď vazbu os podle vypočteného profilu instrukcí MAPC kde vedoucí je příčná a podřízenou podélná osa
4. Posuň příčnou osu na konec obrobku a vázaná osa bude kopírovat profil
5. Zruš vazbu os instrukcí MGS.

5.6 Vizualizace v RSView

Pro snadné ovládání a informaci o stavu systému jsme vytvořili vizualizaci v prostředí *RSView32* [22]. Na obrázku 5.13 je hlavní okno vizualizace.



Obrázek 5.13: Vizualizace modelu v RSView

Zde jsou zobrazeny všechny signály jdoucí do automatu. V levé části je zobrazení modelu s polohou odměřovacího členu korespondující s reálným modelem. Jsou zde také vizualizované signály z koncových spínačů a z šipky zobrazující probíhající pohyb v ose.

V pravé části je informační panel, který je podobný panelu na reálném modelu. Zobrazují se zde informace o proudu motory, stavu přepínače vstupů a potenciometrů ručního zásahu.

V pravém horním rohu je spouštěcí a vypínací tlačítko, které dokáže vzdáleně zapnout nebo vypnout celý model. Je zde také informace o zapnutí zobrazena rozsvícením zeleného tlačítka jako na skutečném modelu.

Ve spodní části jsou tlačítka spouštějící jednotlivé podprogramy popsané v minulé sekci 5.5. Jsou zde přidána dvě tlačítka pro zobrazení grafu a konec aplikace.

5.7 Závěr

V této kapitole jsme připojili model soustruhu k programovatelnému automatu ControlLogix. Provedli jsme fyzické připojení signálů k jednotlivým modulům.

Popsali jsme nastavení modulu `1756-M02AE` v prostředí *RSLogix 5000* a vytvořili jsme program pro demonstraci pozičního vázaného pohybu os. Námi vytvořená vizualizace v programu RSView slouží k jednoduchému přehledu o stavu systému a ke spouštění řídicích operací.

Tento model s připojením k programovatelnému automatu ControlLogix bude sloužit v laboratoři pro výukové účely.

Kapitola 6

Závěr

V této diplomové práci jsme navázali na práci Jiřího Nováka [1] a dokončili model dvouosého lineárního servomechanizmu.

Původní nefunkční návrh obvodu servozesilovače jsme nahradili novým zapojením, které jsme vybrali jako nejvhodnější z možných variant. Zvolili jsme zapojení s plným můstkem, které je vhodné pro tuto aplikaci pro jeho jednoduchost. Protože výkonová ztráta na tranzistorech může být až 7W, musí mít pasivní chlazení. Vypočítali jsme tedy velikost chladičů potřebných k uchlazení takového výkonu. Chladiče jsme vyrobili ze starého chladícího profilu a přimontovali ke tranzistorům. Charakteristikou zapojení s plným můstkem je posunutí analogové a digitální země o poloviční napájecí napětí, což se při galvanickém oddělení výstupů automatu neprojeví. U připojení k vstupně-výstupní kartě počítače jsme problém se společnými zeměmi vyřešili použitím optických oddělovačů pro digitální signály. Zároveň se tím stala deska přizpůsobovacích obvodů z minulého návrhu zbytečnou.

Protože při řízení z internetu [26] vznikl požadavek pro vzdálené přepínání řídicích vstupů. Bylo nutné nahradit stávající mechanický přepínač novým elektronickým, který takové přepínání umožňuje. Navrhli jsme přepínač s použitím několika logických obvodů a přepínáním signálů pomocí mikrorelé.

Model jsme připojili přes multifunkční vstupně-výstupní kartu MF614 k počítači. V prostředí *Simulink* jsme vytvořili funkční blok, který provádí veškerou komunikací s kartou MF614. Tento funkční blok je rozhraním mezi modelem a simulací a umožňuje provádět měření a řízení v reálném čase. Popsali jsme také postup identifikace modelu.

Upravili jsme také připojení k programovatelnému automatu ControLogix. Popsali jsme nastavení modulu `1756-M02AE` v prostředí *RSLogix 5000* a vytvořili jsme

program pro demonstraci pozičního vázaného pohybu os. Námi vytvořená vizualizace v programu RSView slouží k jednoduchému přehledu o stavu systému a ke spouštění řídicích operací.

V budoucnu by bylo vhodné změnit stoupání posuvných šroubů os. V podélné ose je velmi malé stoupání na otáčku a přestavná doba z počátku do druhého konce je velice dlouhá. V příčné ose je naopak stoupání šroubu velké a není možné přesněji nastavit polohu odměřovacího čidla.

Model je umístěný v laboratoři Allen-Bradley na Katedře řídicí techniky a bude sloužit k výuce zpětnovazebního řízení a také programování automatu ControlLogix se specializací na instrukce vázaného pohybu os ve spojení s modulem `1756-M02AE`. Model je také možné vzdáleně řídit z internetu [26] a monitorovat webovou kamerou. Podklady pro práci s modelem jsou na webových stránkách laboratoře.

Seznam použitých zkratek

DC	Direct Current – Stejnosměrný proud
I/O	Input/Output – Vstupy/výstupy
IRC	Inkrementální rotační čidlo
LED	Light Emitting Diode – Svítivá dioda
N.C.	Not Connected – Nezapojeno
PLC	Programmable Logical Controler – Programovatelný logický automat
PWM	Pulse Width Modulation – Pulzní šířková modulace
FET	Field Effect Transistor - Tranzistor řízený polem, technologie výroby polovodičů
TTL	Transistor Transistor Logic – Tranzistorově vázaná logika, technologie výroby logických obvodů
CMOS	Complementary Metal Oxid Semiconductor – technologie výroby integrovaných obvodů
NPN	Negative Positive Negative - typ tranzistoru
PNP	Positive Negative Positive - typ tranzistoru
GND	GrouND - napěťová zem, nulové napětí
AGND	Analog GrouND - analogová napěťová zem
GAL	Generic Array Logic - programovatelný logický obvod
A/D	Analog to Digital - převod analogového signálu na digitální

Seznam použitého software

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

AFPL Ghostscript [soubor programů]. Ver. 8.11. artofcode LLC, 2003.

TeXnicCenter [počítačový program]. Ver. 1 Beta 6.2. Toolscenter.org, 2004.

MikTeX [soubor programů]. Ver. 2.4. Donald E. Knuth, 2004.

TeXaide [počítačový program].Ver 4.0 alpha 4. Design Science, Inc., 1999.

MDraw [počítačový program] Ver 4.2. Mayura Software, 2003.

EAGLE [počítačový program] Ver 4.11. CadSoft Computer,GmbH., 2004.

MATLAB [počítačový program].Ver. 6.5 (R13). The MathWorks, Inc., 2002.

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

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

RSView32 [počítačový program].Ver. 6.30.16. Rockwell Software Inc., 1999.

Literatura

[1] Novák J. : *Model lineárního servomechanizmu a jeho řízení.* Diplomová práce ČVUT, Praha 2004

[2] UZIMEX PRAHA s.r.o. : *Servopohony firmy Maxon motor AG* [online]. Poslední revize 2003-07-01 [cit.2004-04-14], http://www.uzimex.cz

[3] Honců J.,Hlinovský M.,Vysoký O. : *Elektronické systémy II* Vydavatelství ČVUT, Praha 1999

[4] Atmel Corporation : *Atmel AVR microcontrolers* [online]. Poslední revize 2004-05-01 [cit.2004-05-01], http://www.atmel.com/products/AVR/

[5] GM Electronic s.r.o. : *Součástky pro elektrotechniku 2004* GM Electronic s.r.o., Praha 2004

[6] National Semiconductor : *LM358 Product folder* [online]. Poslední revize 2004-05-01 [cit.2004-05-01], http://www.national.com/pf/LM/LM358.html

[7] Fairchild Semiconductor : *BD439 Datasheet* [online]. Poslední revize 2001-07-01 [cit.2004-05-01], http://www.fairchildsemi.com/ds/BD/BD441.pdf

[8] Fairchild Semiconductor : *BD440 Datasheet* [online]. Poslední revize 2001-07-01 [cit.2004-05-01], http://www.fairchildsemi.com/ds/BD/BD440.pdf

[9] SHARP Microelectronics : *PC829 Datasheet* [online]. Poslední revize 2001-07-01 [cit.2004-05-01], http:/www.sharpsma.com

[10] Philips Semiconductors : *74F74 Datasheet* [online]. Poslední revize 2001-07-01 [cit.2004-05-01], http://www.philipslogic.com/products/fast/pdf/74f74.pdf

[11] Philips Semiconductors : *74HC238 Datasheet* [online].
Poslední revize 2001-07-01 [cit.2004-05-01],
http://www.philipslogic.com/products/hc/pdf/74hc238.pdf

[12] Philips Semiconductors : *74HC4053 Datasheet* [online].
Poslední revize 2001-07-01 [cit.2004-05-01],
http://www.philipslogic.com/products/hc/pdf/74hc4053.pdf

[13] CadSoft Computer GmbH : *EAGLE Layout Editor* [online].
Poslední revize 2001-02-05 [cit.2004-05-01], http://www.cadsoft.de

[14] Kohout,J. : *Výroba plošných spojů* [online].
Poslední revize 2001-02-05 [cit.2004-05-01], http://www.volny.cz/plspoj/

[15] Tesla Eltos : *Katalog elektronických součástek 2.*
TESLA ELTOS, Rožnov 1987, str.31-36

[16] Humusoft s.r.o. : *MF614 multifunkční vstupně-výstupní karta* [online].
Poslední revize 2004-01-01 [cit.2004-05-01],
http://www.humusoft.cz/datacq/mf614cz.htm

[17] Humusoft s.r.o. : *MATLAB & Simulink* [online].
Poslední revize 2004-01-01 [cit.2004-05-01],
http://www.humusoft.cz/matlab/indexcz.htm

[18] Havlena V.,Štecha J. : *Moderní teorie řízení.*
Vydavatelství ČVUT, Praha 2000, str.265-294

[19] Allen-Bradley : *1756-M02AE Motion Module* [online].
Poslední revize 2004-01-01 [cit.2004-05-01],
http://www.ab.com/manuals/gmc/1756-UM006F-EN-P-MAR04.pdf

[20] Rockwell Software : *RSLogix Overview* [online].
Poslední revize 2004-01-01 [cit.2004-05-01],
http://www.software.rockwell.com/rslogix/

[21] Allen-Bradley : *1756-M02AE Motion Instruction Set* [online].
Poslední revize 2004-01-01 [cit.2004-05-01],
http://www.ab.com/manuals/gmc/1756-RM007D-EN-P-SEP02.pdf

[22] Rockwell Software : *RSView32 Overview* [online].
Poslední revize 2004-01-01 [cit.2004-05-01],
http://www.software.rockwell.com/rsview32/

[23] Allen-Bradley : *ControlLogix System Library* [online].
Poslední revize 2004-01-01 [cit.2004-05-01],
http://www.ab.com/manuals/cl/

[24] Allen-Bradley : *I/O Connection Hardware - 1492 Series* [online].
Poslední revize 2004-01-01 [cit.2004-05-01],
http://www.ab.com/catalogs/b113/controllogix/wiring.html

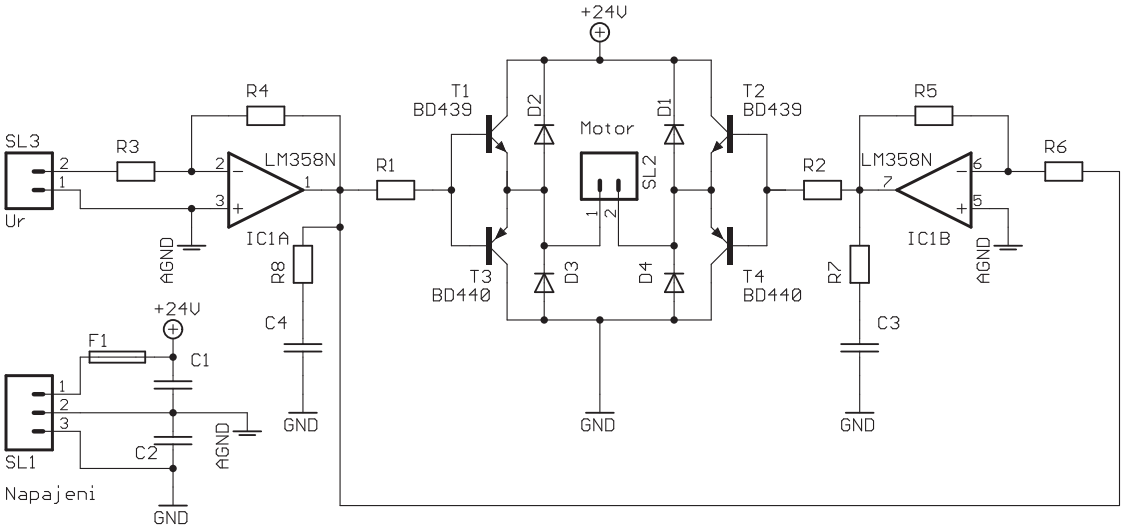
[25] Mráz P. : *Řízení modelu polohovacího zařízení.*
Bakalářská práce ČVUT, Praha 2004

[26] Tomášek R. : *Monitorování a řízení s využitím Internetu.*
Diplomová práce ČVUT, Praha 2004

Kapitola 7

Příloha

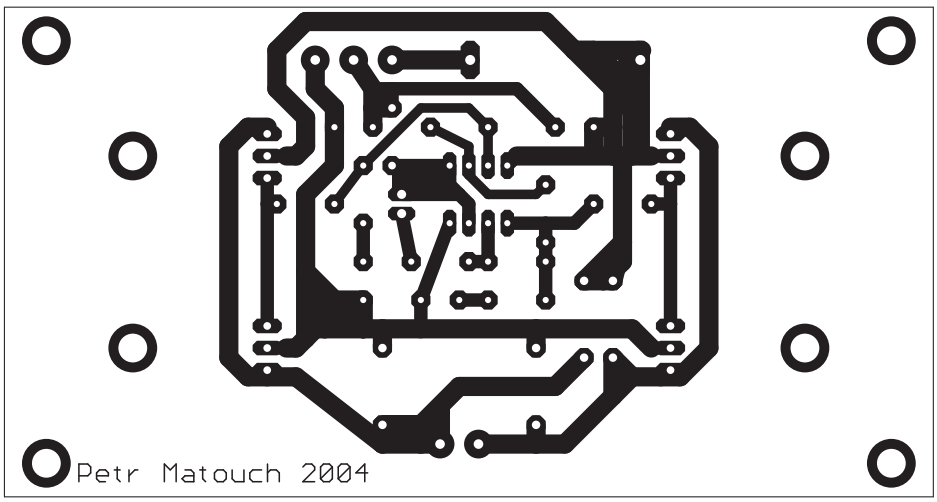
7.1 Servozesilovač



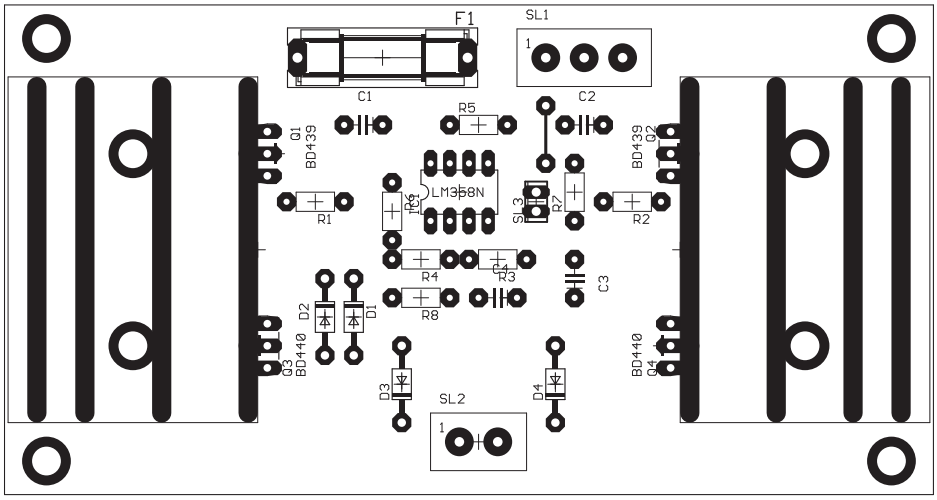
Obrázek 7.1: Schema servozesilovače

R1,R2	RR $50\,\Omega$	IC1	LM358
R3	RR $8,3\,k\Omega$	T1,T2	Fairchild BD439
R4,R5,R6	RR $10\,k\Omega$	T3,T4	Fairchild BD440
R7,R8	RR $1\,\Omega$	D1,D2,D3,D4	Dioda 2A
C1,C2,C3	keramický $220\,nF$	F1	Pojistka 2A

Tabulka 7.1: Seznam použitých součástek servozesilovače

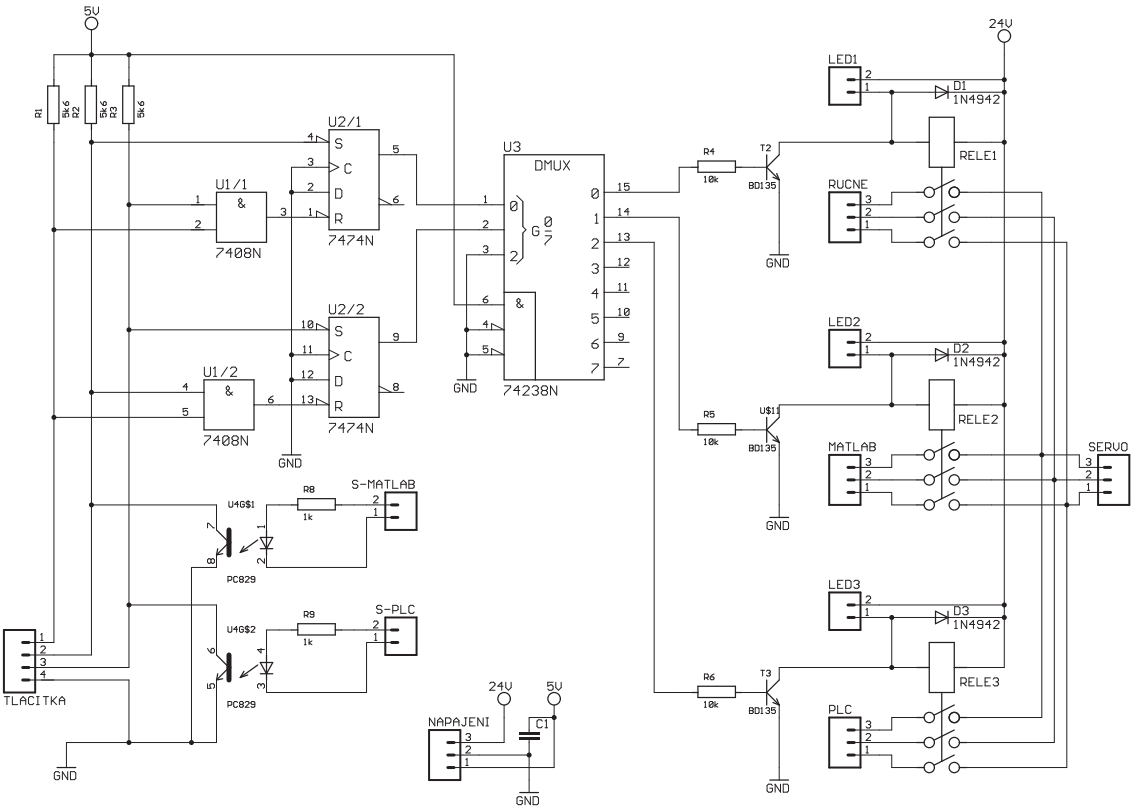


Obrázek 7.2: Deska plošných spojů servozesilovače



Obrázek 7.3: Rozmístění součástek na desce servozesilovače

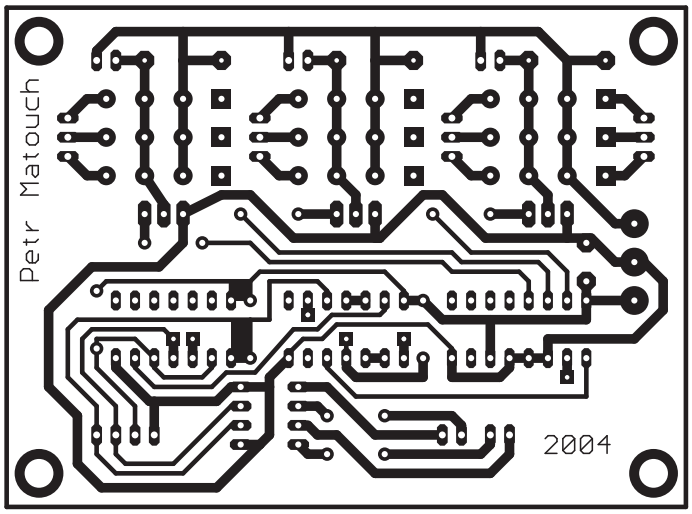
7.2 Přepínač



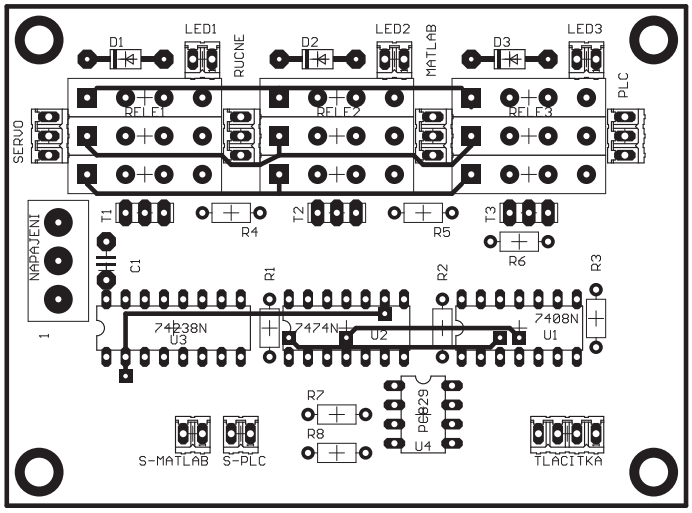
Obrázek 7.4: Schema přepínače

R1,R2,R3	RR $5,6\,k\Omega$	U1	74HC08
R4,R5,R6	RR $10\,k\Omega$	U2	74HC74
R7,R8	RR $1\,k\Omega$	U3	74HC238
C1	keramický $220\,nF$	U4	PC829
Rele	9× Kuan HSI SIA24-2K	T1,T2,T3	BD135
R3	RR $8,3\,k\Omega$	T1,T2	Fairchild BD439
R4,R5,R6	RR $10\,k\Omega$	T3,T4	Fairchild BD440
R7,R8	RR $1\,\Omega$	D1,D2,D3,D4	Dioda 2A
C1,C2,C3	keramický $220\,nF$	F1	Pojistka 2A

Tabulka 7.2: Seznam použitých součástek servozesilovače

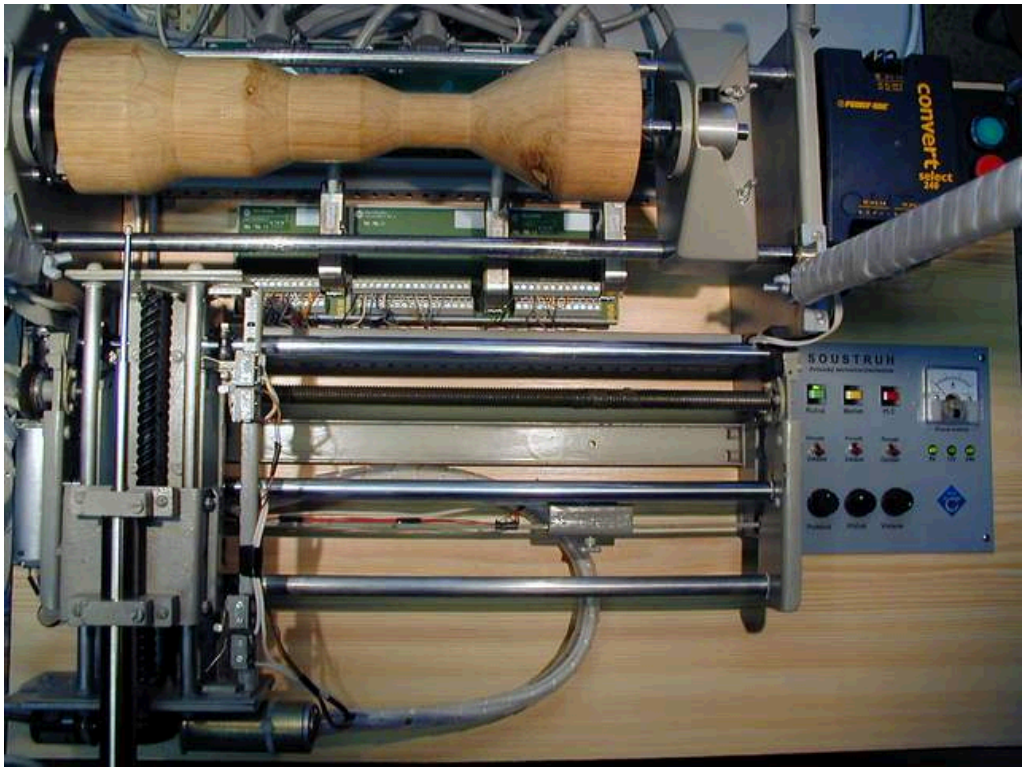


Obrázek 7.5: Deska plošných spojů přepínače

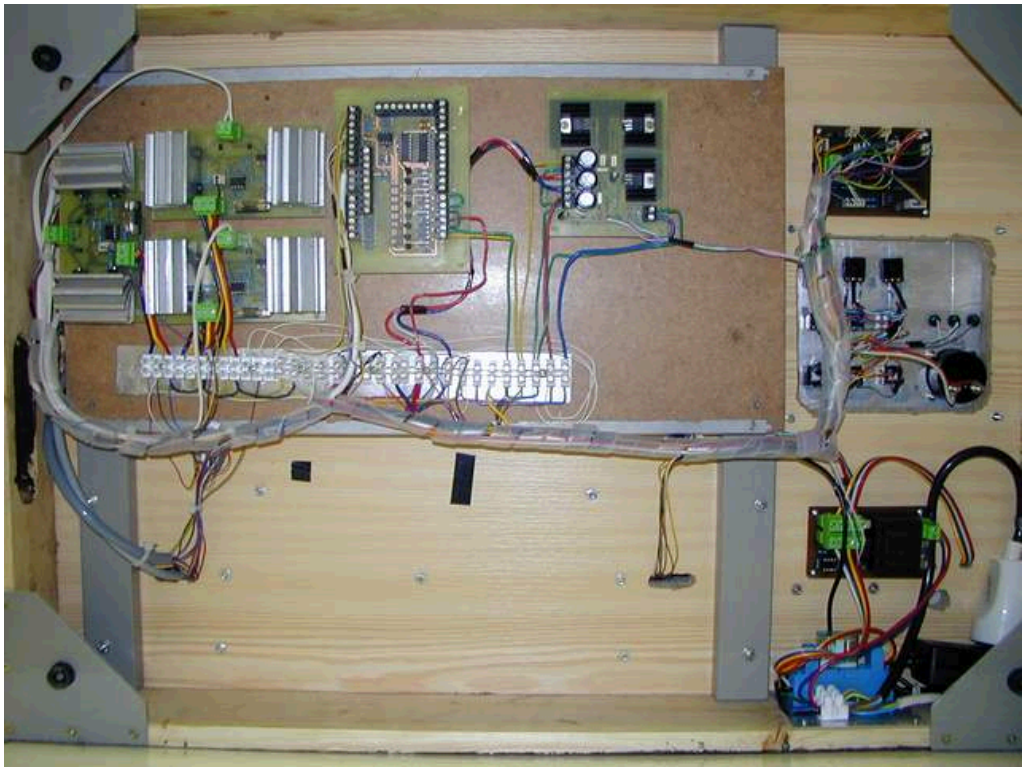


Obrázek 7.6: Rozmístění součástek na desce přepínače

7.3 Fotografie modelu



Obrázek 7.7: Fotografie modelu



Obrázek 7.8: Fotografie zapojení modelu