ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Model obráběcího stroje

2006 IVO KUBITA

Abstrakt

Práce se zabývá propojením tříosého obráběcího stroje s řídícím systémem . Čtenář se zde seznámí s kompletním nastavením hardwaru i softwaru stroje a jednoduchou ukázkou NC programování.

Abstract

The work deals with the connection of a three-axis lathe machine and the control system. The reader will get acquainted with the whole hardware and software settings and a simple NC programming demonstration.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady (literaturu, software, projekty, atd.) uvedené v přiloženém seznamu.

V Praze dne ....

podpis

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu své bakalářské práce panu Doc. Ing. Jiřímu Bayerovi, CSc. za důležité připomínky, panu Ing. Tomáši Repákovi za cennou spolupráci a Tomáši Kučerovi za pomoc a zaškolení do NC programování.

1 Úvod 7

2 Popis CNC obráběcího stroje 8

2.1 Koncepce **8**

2.2 ISO kód **10**

2.3 Interface soustruhu **12**

2.4 Pohybové osy **13**

2.4.1 Osa X 13

2.4.2 Osa Z 14

2.4.3 Snímače 15

2.4.4 Servozesilovače 16

2.4.5 Zdroj pro servopohony 16

2.4.6 Motory 17

2.5 Vřeteno **17**

2.5.1 Frekvenční měnič 19

2.5.2 Motor vřetene 20

2.5.3 Snímač 20

2.6 Revolverová hlava **20**

3 Řídící systém 23

3.1 Delta tau **23**

4 Nastavení systému 25

4.1 Nastavení parametrů pohybových os **25**

4.2 Nastavení regulátorů **28**

4.3 PLC **30**

4.3.1 PLC 0 30

4.3.2 PLC pro výměnu nástroje 31

4.3.3 PLC 25 32

5 Příklad obrábění 33

6 ISA karty PMAC Delta Tau *36*

6.1 Řízení motorků **36**

6.2 Snímače **37**

6.3 Připojení ke kartě **38**

7 Závěr *39*

8 Seznamy *40*

8.1 Seznam obrázků **40**

8.2 Seznam tabulek **40**

8.3 Použitá literatura **41**

8.4 Seznam příloh **42**

8.5 Obsah CD **42**

1 Úvod

Cílem práce je vytvořit plnohodnotný CNC řízený obráběcí stroj pomocí moderních prostředků používaných běžně v průmyslu. K dispozici byl soustruh a řídící systém schopný ovládat současně až čtyři osy. Soustruh byl již řízen pomocí počítače, ale systém byl zastaralý, proto byl nahrazen novým. Starý systém byl založen na počítači typu PC vybaveného řídící kartou firmy Delta Tau. Karta byla ale pro sběrnici ISA, a proto byla pro moderní počítače nepoužitelná.

Soustruh je stroj, na němž se obrábí obrobek na požadovaný tvar. Základem tohoto druhu obrábění je rotační pohyb obrobku – součást je upnuta kleštinami na vřetenu. Pohyb nástroje je v jednotlivých osách přímočarý, a to buď ve směru osy obrobku - podélný posuv, anebo ve směru kolmém na osu obrobku - pohyb příčný. Oba pohyby se mohou konat současně, což umožňuje realizovat různé druhy interpolací pohybu nástroje (lineární, kruhovou, spline). Všechny číslicově řízené obráběcí stroje potřebují pro řízení pohybu řídící příkazy, které určují, kam se má přesunout nástroj. Pro tento účel byl vyvinut NC kód.

Druhá kapitola se zabývá kompletním popisem obráběcího stroje, jeho elektrickými součástmi a způsobem připojení jednotlivých os, vřetene a revolverové hlavy k řídícímu systému. Věnuje se také programování v NC kódu a obecnému popisu instrukcí.

Třetí kapitola se věnuje popisu řídícího systému, jeho vlastnostmi a srovnáním s konkurenčními produkty.

Ve čtvrté kapitole nalezneme veškerá nastavení týkající se řídícího systému Advantage. Jedná se o nastavení parametrů jednotlivých os, motorů, snímačů, o automatické nastavení regulátorů a jednotlivých PLC, které obsluhují výměnu nástroje a směr rotace vřetena.

Pátá kapitola je věnována názornému příkladu obrábění s vysvětlením jednotlivých operací .

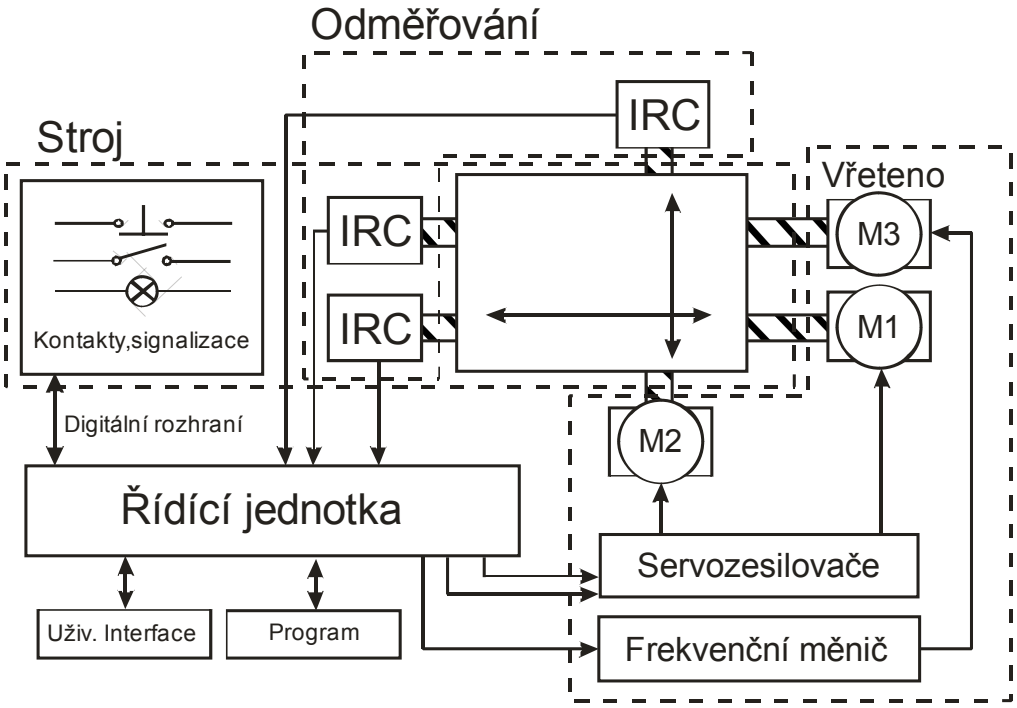
Šestá kapitola se zaměřuje na využití starých řídících karet a propojení s jiným modelem soustruhu.

2 Popis CNC obráběcího stroje

Jedná se o tříosý soustruh s připojenou elektronikou pro automatické řízení. Pohyb os zajišťují dva servomotory MT30R4-37 (Ferrite Brushed DC Servomotor 140V/5,7A) firmy SEM ovládané dvěma servozesilovači ELMO NBA F 10/200R, které jsou napájené zdrojem ELMO PSSF 20/200R od firmy Elmo Motion Control. Vřeteno pohání asynchronní motor MEZ Mohelnice (2,2 kW), napájený přes frekvenční měnič CIMR-PC22P2 od firmy Yaskawa, který umožňuje plynule řídit otáčky. Na obou osách a na vřetenu jsou inkrementální rotační snímače pro určení polohy a zpětnou vazbu.

Soustruh byl řízen ISA kartou PMAC firmy Delta Tau, která byla plně schopná obsluhovat stroj, ale nevyhovovala požadavkům moderních počítačů kvůli zastaralé sběrnici. Byla nahrazena řídícím systémem Advantage 400 (dále řídící systém) od stejné firmy. Tento systém již obsahuje nadřazený počítač s operačním systémem Windows CE a obslužným softwarem.

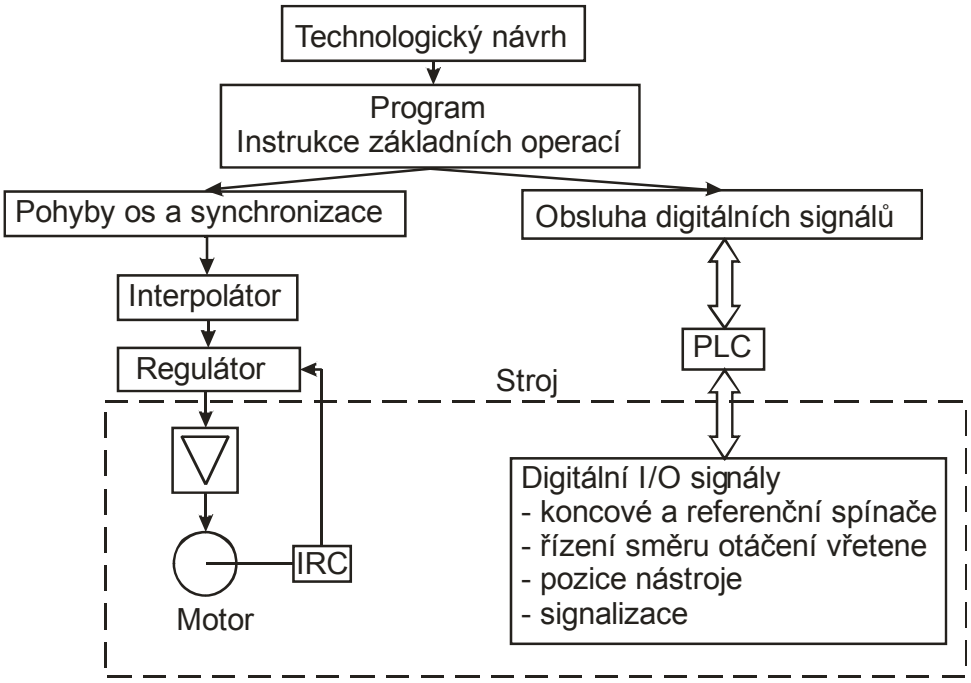
2.1 Koncepce



obr. 1 Schéma zapojení jednotlivých částí systému

Všechny části stroje jsou napojeny na řídící systém, který se stará o požadovaný proces obrábění. K dispozici je také linka RS232, pomocí které je možné se připojit přímo na signálový procesor a nastavit parametry regulátorů.

Řídícímu systému předáme hotový NC program. Systém ho rozloží na jednotlivé pohyby, které interpoluje. Program je možné kdykoli přerušit a manuálně doladit přímo na řídícím systému. Uživatelský interface informuje o pozici v programu a dovoluje buď jemné korekce nebo úplnou změnu programu.

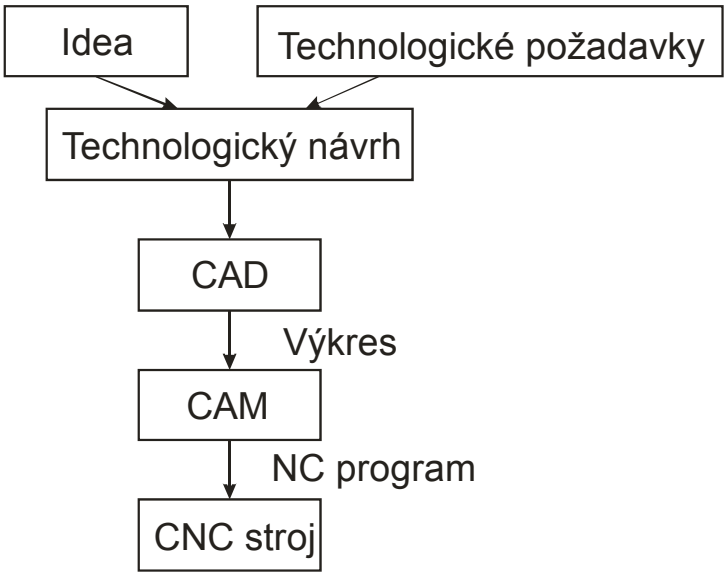


obr. 2 Schéma průběhu řízení

Postup výroby se skládá z několika samostatných částí. Technologický návrh je potřeba převést na program jednotlivých bloků obrábění. Programování se uskutečňuje pomocí NC kódu, který obsahuje řadu volitelných funkcí a umožňuje různé interpolace pohybu a rozličné metody obrábění. Interpolátor počítá požadovanou polohu i rychlost. Regulátory jsou nastavovány v závislosti na dynamických parametrech jednotlivých pohybových os pomocí kalibračního softwaru PMAC Tuning Pro.

2.2 ISO kód

Posloupnosti řídících příkazů popisujících průběh obrábění se říká NC program. Jako standart pro zápis NC programu se vyvinul ISO kód. Většinou ho podporují všechny CNC systémy. Software řídícího systému si pak tento zápis rozloží na jednotlivé kroky a zpracuje je. ISO kód se také většinou používá jako výstup z CAM aplikací. Výrobci si podle svých potřeb kód mírně upravují nebo přidávají další funkce, takže pro každý stroj se může program mírně lišit. CAM aplikace s tímto již počítají a proto mají v sobě uložené profily řídících systémů renomovaných výrobců a umí generovat program pro velikou škálu strojů.



obr. 3 Postup při návrhu a výrobě součástky

Konstruktér dostane za úkol navrhnout součástku, nakreslí ji pomocí CAD systému – AutoCad, SolidWorks, Catia. Výkres je poté předám dále a zpracován pomocí CAM. V této části výrobního procesu se berou v úvahu výrobní postupy, nástroje a technologie, kterými lze obrobek vyrobit. Výsledkem je NC program nebo několik programů pro různé stroje, které jsou poté provedeny.

CAD - Computer Aided Design – je pojem, který zahrnuje řadu nástrojů a software sloužících inženýrům, projektantům, architektům a dalším průmyslovým výtvarníkům k utváření jejich představ.

CAM – Computer Aided Manufacturing – je software používaný pro generování CNC instrukcí. Může být součástí některých CAD systémů např. So-

lidWorks. Výstupem tohoto softwaru je jednoduchý text obsahující sekvenci G příkazů.

NC program je složen z jednotlivých návazných programových bloků. Každý blok by měl být označen číslem následujícím za písmenem N. Poté je kód instrukce (G, M, T) následovaný svými parametry. Struktura standardního bloku je následující: [N3 G2 X6 Y6 Z6 F3 S5 T4 M3]

N - pořadové číslo bloku

G - typ interpolace, přesun nástroje

X,Y,Z - souřadnice koncového bodu nástroje

F - požadovaná tečná rychlost nástroje

S - požadované otáčky vřetene

T - číslo nástroje a jeho korekce

M - pomocné funkce

Číslo za typem funkce určuje standardní počet dekadických číslic parametru funkce. Sada G příkazů slouží pro přesun nástroje, lineární interpolaci pohybu, kruhovou interpolaci, transformaci souřadnic do jiného souřadného systému, nastavení otáček vřetena a obsahuje i další příkazy. Všechny pohybové nebo interpolační funkce musí mít alespoň některý z parametrů X, Y, Z, které určují cílovou pozici. T příkaz slouží pro výměnu nástroje a kompenzaci rozměrů nástroje, zadává se ve formátu Txxyy, kde xx je číslo nástroje a yy je číslo kompenzace. M příkazy slouží pro zastavení programu, zapnutí/vypnutí chlazení, nastavení směru otáčení vřetene atd. Parametr S za funkcí G96 udává řeznou rychlost v metrech za minutu. Podle vzdálenosti hrotu nástroje od osy rotace vřetene se dynamicky mění otáčky, aby byla zachována řezná rychlost. Další důležitý parametr je F, kterým se nastavuje rychlost posuvu nástroje. V případě, že se nástroj pohybuje ve dvou nebo třech souřadnicích, rozloží se rychlost do všech směrů, aby součet těchto rychlostí odpovídal rychlosti požadované. Za příkazy kruhové interpolace musí být parametr R zadávající poloměr obrábění. Existuje řada dalších parametrů jednotlivých funkcí, ale vyjmenování všech není cílem této kapitoly. Krátká ukázka by měla demonstrovat použití některých funkcí.

N10 G00 X36 Z100	*rychlý posuv do pozice X=36, Z=100*
N20 T0404	*výměna nástroje za nástroj č. 4 s offsetem 4*
N30 G00 X31 Z0	*rychlý posuv do pozice X,Z*

N40 G96 S30 M3 *konstantní řezná rychlost 30 m.min^{-1},otáčky vřetene ve směru hodin*
N50 G1 X0 F0.3 *pohyb lineární interpolací do X=0, Z=0*

Přehled nejpoužívanějších G a M-kódů je v následujících tabulkách:

funkce	Význam
G00	rychlý posun
G01	lineární interpolace, parametr F určuje řeznou rychlost
G02	kruhová interpolace ve směru hodinových ručiček
G03	kruhová interpolace proti směru hodinových ručiček
G04	Čekání
G17	souřadný systém X-Y
G18	souřadný systém X-Z
G19	souřadný systém Y-Z
G40	kompenzace nástroje vypnuta
G41	kompenzace nástroje zleva
G42	kompenzace nástroje zprava
G90	poloha je udávána absolutně
G91	poloha je udávána od aktuální polohy
G96/G97	konstantní řezná rychlost on/off
G98/G99	posun za minutu/otáčku

tab 1. Tabulka nejpoužívanějších G funkcí

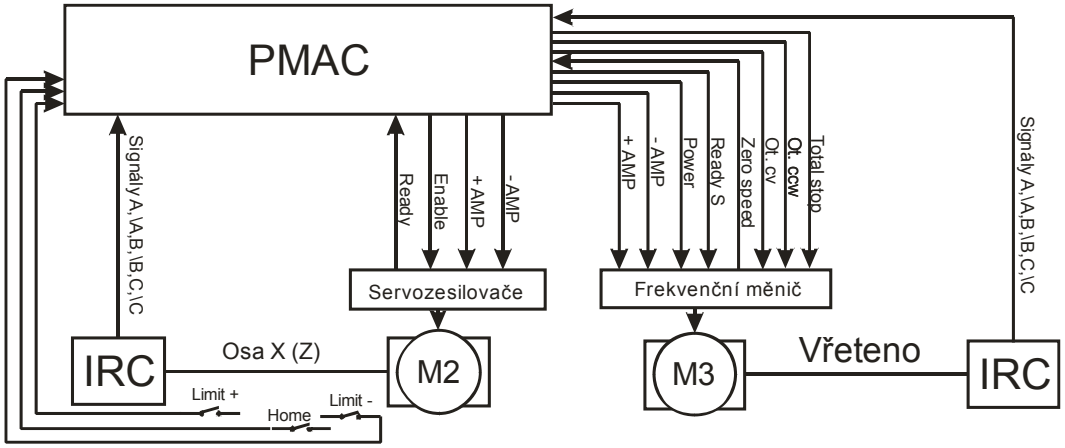
funkce	Význam
M00	program stop
M01	volitelné zastavení programu
M03	otáčení vřetene ve směru hodinových ručiček, parametr S určuje otáčky
M04	stejné jako M02, ale proti směru hodinových ručiček
M05	zastavení vřetene
M08	zapnutí chlazení
M09	vypnutí chlazení
M30	konec programu

tab 2. Tabulka nejpoužívanějších M funkcí

2.3 Interface soustruhu

Stávající interface soustruhu nebylo potřeba zásadně upravovat. Pro řízení obousměrného pohybu os je použit analogový signál ± 10V. Vřeteno je řízeno analogovým signálem 0 – 10 V, směr je řízen nastavením logických hodnot na frekvenčním měniči. Výstupní signál ze všech tří snímačů je diferenční signál podle standardu RS 422 a je zcela kompatibilní se vstupem řídícího systému. Na ose x a z jsou umístěny koncové spínače pro určení koncových poloh a home spínače pro určení referenční polohy. Řídící systém obsahuje digitální vstupy pro

všechny tyto signály. Přizpůsobit se muselo jen řízení směru vřetene pomocí PLC.



obr. 4 Schéma interface soustruhu

2.4 Pohybové osy

2.4.1 Osa X

Jde o vertikální osu. Posun v ní udává vzdálenost od osy vřetene, tím můžeme zadávat průměr obrábění součástky. Řízení je na konektoru XC1. Zde jsou umístěny signály pro ovládání motoru i signály z IRC snímače.

Konektor na soustruhu		Konektory na ADV 400		
XC1				
15	24 V	AMP 1	Ext. 24 V	24
14	0 V	AMP 1	GND	25
13	Ready X	AMP 1	AMP1-FLT	15
12				
11	Enable X	AMP 1	AMP1-ENA	10
10	- AMP	AMP 1	DAC1A-	2
9	+ AMP	AMP 1	DAC1A+	1
8	Z neg.	ENC 1	CHC-	12
7	Z	ENC 1	CHC+	4
6	B neg.	ENC 1	CHB-	3
5	B	ENC 1	CHB+	10
4	A neg.	ENC 1	CHA-	9
3	A	ENC 1	CHA+	1
2	0 V	ENC 1	GND	11
1	5 V	ENC 1	A+5V	5

tab 3. Zapojení konektoru XC1

Piny 9 - 15 XC1 jsou připojené na konektor AMP1. Napětí 24 V a zem (piny 14 a 15) jsou propojené uvnitř soustruhu, takže na dalších konektorech již

nejsou zapojené. Na pinech 9 a 10 je umístěno analogové řízení pohybu. Na soustruhu bylo použito diferenční zapojení, které bylo zachováno i v tomto případě. Advantage podporuje i zapojení single ended – vstup motoru se připojí na DAC+ a reference na AGND (pin 9 na AMP 1).

Vstup Enable X povoluje pohyb motoru. Výstup Ready X poskytuje informaci, zda je motor připraven a zda na něm nevznikla chyba.

Piny 3 – 8 jsou výstupy z IRC snímače na ose X. Zapojeny musí být kanály A a B, kanál C (na XC1 Z) je volitelný. Mezi kanály A a B musí být fázový rozdíl 90° ± 30°, aby bylo možné rozlišit směr otáčení.

Na konci obou os jsou koncové spínače, které zabraňují vyjetí hlavy mimo pracovní oblast. Na obou osách se také nacházejí spínače, které určují referenční pozici – Home position. Levý, pravý koncový spínač a spínač referenční polohy jsou vyvedeny na konektor XC5 a odtud do řídícího systému na konektor FLG na digitální vstupy příslušné osy.

Konektor na soustruhu		Konektory na ADV 400		
XC5				
9				
8				
7				
6				
5				
4				
3	Reference	FLG	HOME1	4
2	Levá	FLG	MLIM1	3
1	Pravá	FLG	PLIM1	2

tab 4. Zapojení konektoru XC5

2.4.2 Osa Z

Jedná se o horizontální osu, která zajišťuje posun v ose vřetene, Řízení na konektoru XC2. Signály jsou stejné jak u osy X, pouze nejsou zapojeny piny 14 a 15. Řízení je napojené na konektor ENC 3, aby byla zajištěna správná posloupnost os.

Konektor na soustruhu		Konektory na ADV 400		
XC2				
15				
14				
13	Ready Z	AMP 1	AMP3-FLT	17
12				
11	Enable Z	AMP 1	AMP3-ENA	12
10	- AMP	AMP 1	DAC3A-	5
9	+ AMP	AMP 1	DAC3A+	6
8	Z neg.	ENC 3	CHC-	12
7	Z	ENC 3	CHC+	4
6	B neg.	ENC 3	CHB-	3
5	B	ENC 3	CHB+	10
4	A neg.	ENC 3	CHA-	9
3	A	ENC 3	CHA+	1
2	0 V	ENC 3	GND	11
1	5 V	ENC 3	A+5V	5

tab 5. Zapojení konektoru XC2

Zapojení referenční polohy a koncových poloh je shodné s osou x. Signály jsou vyvedeny na konektor XC6.

Konektor na soustruhu		Konektory na ADV 400		
XC6				
9				
8				
7				
6				
5				
4				
3	Reference	FLG	HOME3	14
2	Levá	FLG	MLIM3	13
1	Pravá	FLG	PLIM3	12

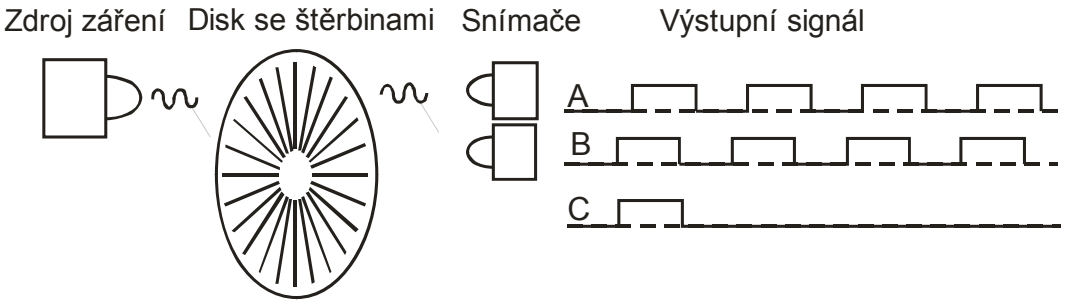
tab 6. Zapojení konektoru XC6

2.4.3 Snímače

Snímače na obou osách jsou totožné. Optoelektrické inkrementální rotační snímače převádějí informace o vzájemné poloze dvou snímacích prvků na elektrické impulsy.

Výstupem snímačů je signál odpovídající normě RS422. První dva signály jsou posunuté o $\pi/2$. Podle pořadí přijetí signálu ze snímače můžeme určit směr otáčení. Doplňkový signál C určuje otočení o jednu otáčku. Signály je možné při-

pojit přímo na řídící systém, třetí signál nemusí být zapojen. Citlivost snímačů je 8000 pulsů na otáčku, což odpovídá 1600 pulsů na milimetr posunu. Jedna otáčka hřídele odpovídá 5 mm posunu.



obr. 5 Schéma zapojení IRC snímače

2.4.4 Servozesilovače

NBA F 10/200R je třífázový servozesilovač pro stejnosměrné motory. Výstupní napětí je modulované PWM s frekvencí 20 kHz a odpovídá až devadesáti procentům napájecího napětí. Rychlost je řízena vstupním napětím 0 – 10 V.

Parametr	Hodnota
rozsah vstupního DC napětí	40 - 195 V
zátěžový proud	10 A
špičkový proud	20 A

tab 7. Parametry servozesilovčů Elmo NBA F 10/200R

Servozesilovač obsahuje vlastní proudovou smyčku, aby bylo možné co nejrychleji dosáhnout požadovaných otáček. Zpětná vazba je realizována IRC senzorem na motoru - v zapojeni BR3 – viz. příloha.

2.4.5 Zdroj pro servopohony

Zdroj pro servopohony Elmo PSSF 20/200R je navržen jako doplněk k servozesilovačům Elmo, které neobsahují integrovaný zdroj. Do zdroje je přivedeno z transformátoru střídavé napětí a na výstupu je usměrněné stejnosměrné napětí 140V. Zdroj má zabudovanou teplotní ochranu nastavenou na 90° C a ochranu proti přetížení.

Parametr	Hodnota
rozsah vstupního AC napětí	42 - 135 V
rozsah výstupního DC napětí	60 - 191 V
zátěžový proud	20 A
špičkový proud	40 A

tab 8. Parametry zdroje Elmo PSSF 20/200R

2.4.6 Motory

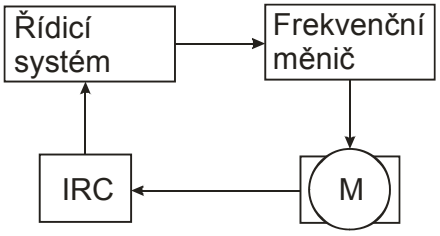
Jak již bylo řečeno, jedná se o stejnosměrné servomotory MT30R4-37firmy SEM.

Parametr	***Hodnota***
max. svorkové napětí	140 V
max. otáčky	3800 rpm
kroutící moment	3.5 Nm
jmenovitý proud	9.5 A
max. špičkový proud	57 A
Setrvačný moment	0.002 $kg.m^2$
konstanta motoru	0.37 $Nm.A^{-1}$
odpor rotoru	0.72 ohm
indukčnost motoru	5 mH
váha motoru	8.3 kg

tab 9. Parametry motoru

2.5 Vřeteno

Na vřeteno se uchycuje obrobek pomocí tří hrotů. Rychlost obrábění záleží na použitém materiálu. Motor vřetena je napájen frekvenčním měničem. Zpětná vazba je realizována inkrementálním čidlem.



obr. 6 Schéma ovládání vřetena

Řízení vřetena je na konektoru XC4, snímač je vyveden na konektor XC3. Zapojení snímače je shodné se zapojením snímačů os. IRC snímač je připojen na ENC 4.

Konektor na soustruhu		Konektory na ADV 400		
XC3				
15				
14				
13		XC3		1
12		XC3		2
11				
10				
9				
8	Z neg.	ENC 4	CHC-	12
7	Z	ENC 4	CHC+	4
6	B neg.	ENC 4	CHB-	3
5	B	ENC 4	CHB+	10
4	A neg.	ENC 4	CHA-	9
3	A	ENC 4	CHA+	1
2	0 V	ENC 4	GND	11
1	5 V	ENC 4	A+5V	5

tab 10. Zapojení konektoru XC3

Otáčky vřetene jsou řízeny pomocí frekvenčního měniče. Frekvenční měnič obsahuje analogový vstup 0 – 10 V pro řízení otáček, přičemž 10 V znamená maximální frekvenci. Na pinech 1 a 3 konektoru XC3 je ovládání směru. Zero speed indikuje chybový signál z frekvenčního měniče.

Konektor na soustruhu		Konektory na ADV 400		
XC4				
15	24 V	OUT	OUTPUT9	9
14	0 V	OUT	OUTPUT10	10
13	Ready S	AMP 1	AMP4-ENA	13
12	Total stop	OUT	OUTPUT5	5
11				
10	- AMP	AMP 1	AGND	9
9	+ AMP	AMP 1	DAC3A+	7
8	Power	OUT	OUTPUT4	4
7	Zero speed	AMP 1	AMP4-FLT	18
6				
5	Typovani	OUT	OUTPUT3	3
4				
3	Ot.cw	OUT	OUTPUT2	2
2				
1	Ot.ccw	OUT	OUTPUT1	1

tab 11. Zapojení konektoru XC4

Ot.ccv	1	0	1
Ot.cv	0	1	1
směr	vpřed	vzad	stop

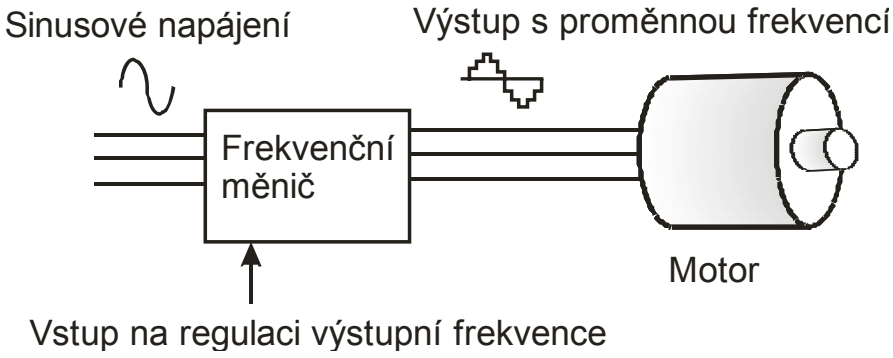
tab 12. Ovládání směru – na konektoru OUT je použita obrácená logika

2.5.1 Frekvenční měnič

Hlavní funkcí frekvenčního měniče VS606 je řízení rychlosti otáčení vřetene. Měnič je zapojen mezi napájení a motor a řídícím vstupem se reguluje výstupní frekvence. Protože měnič dokáže plynule regulovat otáčky motoru, není potřeba žádné převodovky. Využití je velmi široké díky snížení hlučnosti motoru, přenosu velkého výkonu a vysokého kroutícího momentu v nízkých otáčkách. Použitý typ měniče umožňuje ochranu proti přehřátí.

Parametr	Hodnota
Max. výkon zátěže	2,2 kW
výstupní proud	11 A
krok výstupní frekvence	0.1 Hz
výstupní frekvence	0.1 - 400 Hz
výstupní napětí	200 - 230 V
vstupní napětí	200 - 230 V
signál pro nastavení frekvence	0 - 10 V

tab 13. Parametry použitého frekvenčního měniče VS 606PC3 - CIMR PC22P2



obr. 7 Schéma zapojení frekvenčního měniče

Frekvenční měniče pracují na principu PWM modulace. Vstupní střídavé napětí převedou na stejnosměrné a dále na kvazisinusové napětí. Princip převodu stejnosměrného na střídavé PWM napětí spočívá ve spínání krátkých pulsů, přičemž modulujeme šířku pulsu.

2.5.2 Motor vřetene

Motor je asynchronní o výkonu 2,2 kW. Úhlová rychlost asynchronního motoru neodpovídá úhlové rychlosti střídavého napájecího napětí. Proto je definován skluz, který určuje o kolik jsou otáčky motoru nižší. Skluz se mění v závislosti na zatížení.

2.5.3 Snímač

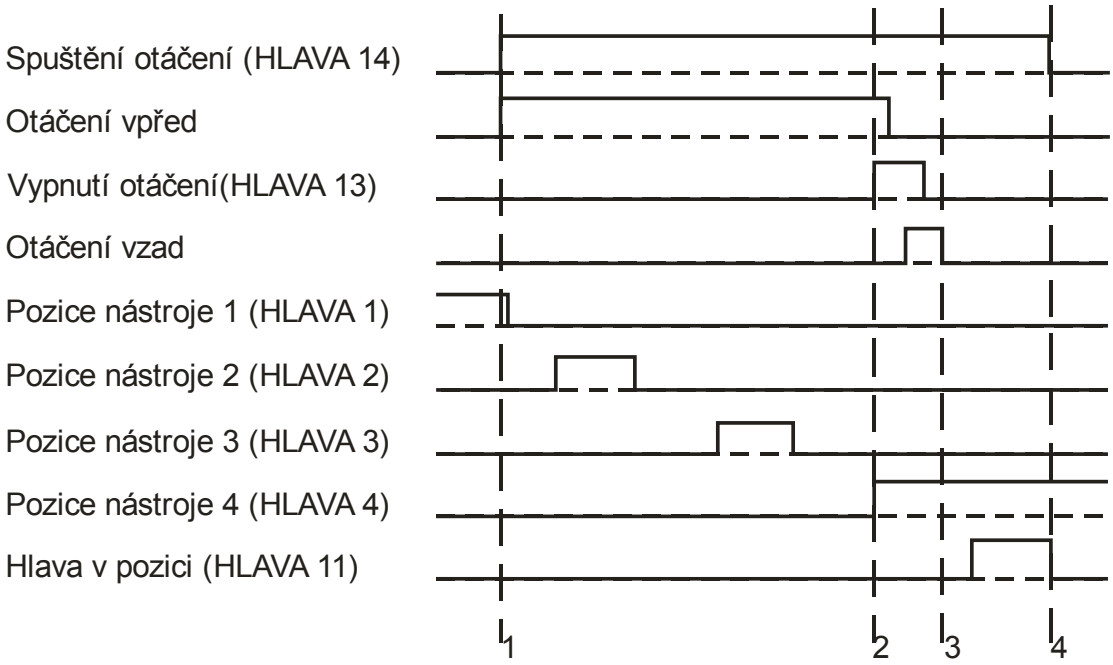
Je použit opět inkrementální snímač s rozlišením 8900 pulsů na otáčku. Princip je shodný se snímači na polohovacích osách.

2.6 Revolverová hlava

Revolverová hlava je realizována dvěma motory. Jeden slouží pro otočení – výměnu nástroje, druhý pro upevnění a dotažení v požadované poloze. V každé poloze je koncový spínač, určující konkrétní polohu. Spínače jsou připojeny přímo k řídícímu systému.

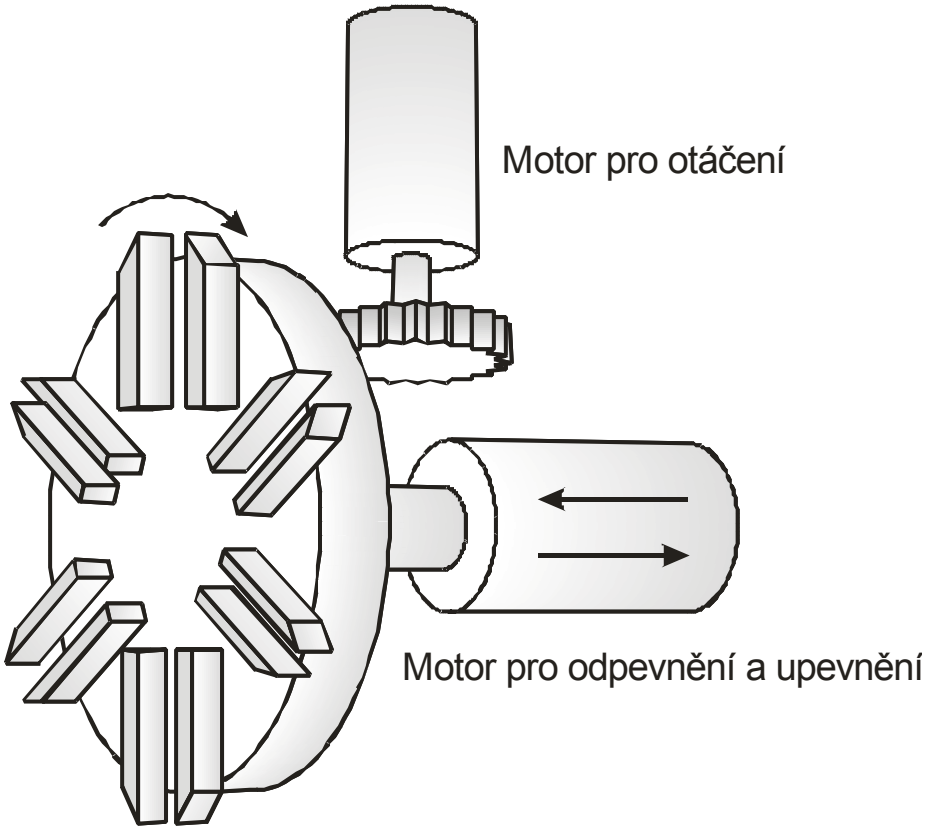
Konektor na soustruhu		Konektory na ADV 400		
HLAVA				
15				
14	Spuštění otáčení	OUT	OUTPUT 11	18
13	Vypnutí otáčení	OUT	OUTPUT 10	17
12	+24 V	OUT	OUTPUT 12	19
11	Hlava v pozici	IN1	INPUT7	7
10	0 V	OUT	Ext GND	25
9	+24 V	OUT	Ext + 24 V	24
8				
7	Signál pozice	OUT	OUTPUT 9	16
6	Nástroj 6	IN1	INPUT6	6
5	Nástroj 1	IN1	INPUT1	1
4	Nástroj 2	IN1	INPUT2	2
3	Nástroj 3	IN1	INPUT3	3
2	Nástroj 4	IN1	INPUT4	4
1	Nástroj 5	IN1	INPUT5	5

tab 14. Zapojení konektoru HLAVA



obr. 8 Průběh signálů při výměně nástroje

Výměna nástroje funguje následujícím systémem: signálem Spuštění otáčení (stav 1) zahájíme proces výměny. Výstup ponecháme aktivní kvůli informaci o ukončení výměny; na výstupu Hlava v pozici dostaneme signál pouze v případě, že je Spuštění otáčení stále aktivní. Hlava se uvolní a začne se otáčet, dokud se nedostane do pozice s požadovaným nástrojem. Ve schématu jsou pro zjednodušení uvedeny čtyři pozice nástrojů. Jakmile se objeví na vstupu Pozice nástroje N logická 1 a pozice nástroje je shodná s požadovaným nástrojem (řízeno pomocí PLC – bude vysvětleno v další kapitole), vyšle se na Vypnutí otáčení krátký impuls (stav 2). Hlava se zastaví (stav 3) a pootočí zpět do přesné pozice k upevnění. Tato pozice je určena zpětnou klapkou. Ukončení výměny signalizuje logická 1 na Hlava v pozici (stav 4). Spuštění otáčení nastavíme na log. 0 a ukončíme obslužný podprogram na výměnu nástroje.



obr. 9 Schéma revolverové hlavy

3 Řídící systém

3.1 Delta tau

Pro řízení soustruhu byl použit čtyřosý řídící systém Advantage 400 firmy Delta Tau. Systém je založen na počítači PC/104 v kombinaci se signálovým procesorem DSP 563xx.V základní verzi, se kterou jsme pracovali, obsahuje

- 8,4“ barevný displej,
- standardní CNC klávesnici F1 – F10
- tlačítka Start, Stop, Reset
- potenciometr na ovládání rychlosti; rychlost je možné ovládat v rozsahu 0-120%
- ruční kolečko na ovládání poloh os s rozlišením 50 kroků/otáčka
- port usb

Na zadní straně je Advantage vybaven těmito IO porty:

- **4 x** Sub-D15 pro 4 inkrementální čidla (ENC1-4)
- **1 x** Sub-D25 pro zapojení 4 analogových diferenčních/single ended výstupů ±10 V, výstup zapnut a chyba výstupu (AMP1)
- **1 x** Sub-D25 pro indikátor polohy home, kladný a záporný limit, použité pro všechny 4 osy (FLG1)
- **1 x** Sub-D25 pro ovládání krokových motorů, ± puls,směr a EQU výstup pro určení směru pro všechny 4 osy (STP1)
- **1 x** Sub-D15 pro 1 extra inkrementální čidlo, může se použít pro pátou osu, externí časovou základnu nebo kolečko (HW1)
- **1 x** Sub-D15 pro dva extra analogové výstupy ±10V a 3 analogové vstupy (ANA1)
- **1 x** Sub-D37 pro 32 digitálních vstupů (IN1)
- **1 x** Sub-D25 pro 16 digitálních výstupů (OUT1)
- **1 x** Sub-D9 pro RS232

Systém běží na operačním systému Windows CE a obsahuje software pro obsluhu a konfiguraci soustruhu nebo frézy PMAC-NC PRO2. V tomto softwaru je možné psát PLC, má diagnostické nástroje pro zjištění stavu vstupů a výstupů, uživatelsky příjemné rozhraní pro operátora obsluhujícího CNC stroj, nemá omezení na velikost programu, umožňuje naprogramovat vlastní M funkce, kompenzace velikostí nástrojů, atd. Operační systém Windows CE je robustní operační systém pro práci v reálném čase s nízkou latencí a deterministickým chováním. Více v dokumentaci [6].

Konkurenčním produktem je například MANUALplus 4110 od firmy Heidehain. Tento systém podporuje intuitivní ovládání, není potřeba znát ISO kód, ale samozřejmě ho podporuje. Celý systém se dá ovládat pouze pomocí předprogramovaných funkcí. Obrovskou výhodou je velmi dobře propracovaná vizualizace a simulace přímo v řídícím systému, která u námi použitého systému chybí. Před obráběním je možno si celý program "projet" nanečisto a odhalit případné nedostatky. Další nezanedbatelnou funkcí je výpočet času obrábění. Správce nástrojů umožňuje uložení až 99 rozměrů a korekcí nástrojů. Tato funkce je i na systému Advantage, ale není zdaleka tak propracovaná. Výrobce nabízí komplexní řešení včetně pohonů; v důsledku toho odpadají problémy s kompatibilitou jednotlivých částí systému.

Dalším výrobcem, na kterého nesmíme zapomenout, je Siemens se svým systémem Sinumerik. Je nabízen v mnoha variantách, taktéž jako komplexní řešení. Funkcemi je zcela srovnatelný s produktem firmy Heidenhain.

4 Nastavení systému

Systém Advantage je univerzální a může být proto použit pro jakýkoli stroj. Tato kapitola se zabývá nastavením systému na použitý soustruh. Po spuštění se systém zeptá na heslo a podle něj přidělí uživateli práva, která se dělí na tři stupně.

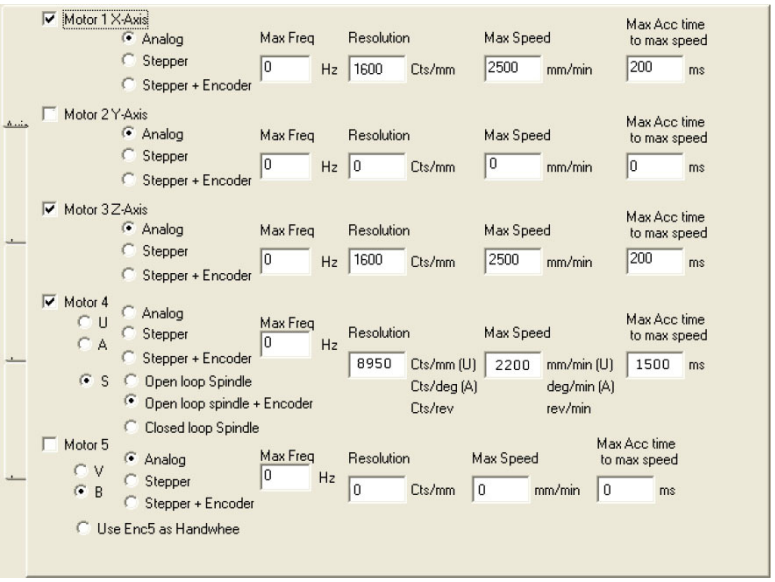
Uživatelský mód (bez hesla) umožňuje nastavení stroje do počáteční pozice manuálního ovládání os a spuštění NC programu.

Do módu manager se dostaneme zadáním hesla „400USER“. S tímto oprávněním můžeme měnit části NC programu, nastavovat offsety nástrojů a počátečního bodu a vstupovat do části menu.

Nejvyšší oprávnění má mód integration, který odemkne heslo „400MC“. Zde je povolen přístup do nastavení celého systému a všech menu. Tento mód je určen jen pro nastavení systému, ne pro běžnou práci.

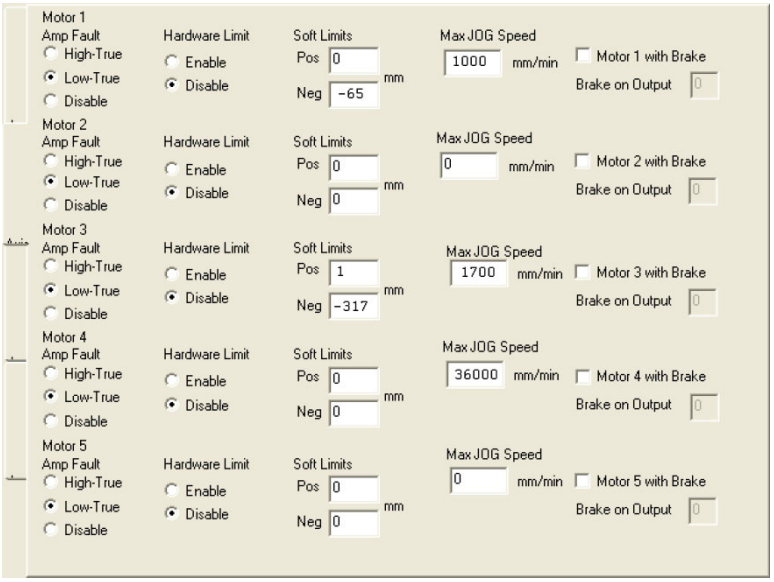
4.1 Nastavení parametrů pohybových os

Systému musíme sdělit všechny potřebné vlastnosti jako je počet os, typ motoru, rozlišení snímačů, rychlost posuvu, rozsah, atd. Do nastavení se dostaneme přes položku Settings v menu CNC.



obr. 10 Nastavení typu motoru a rozlišení snímačů

Na první straně jsou nastaveny motory, které se používají. Standardně jsou první tři motory po řadě osy X, Y a Z. Použité jsou jen X a Z, řízení je analogové - signálem ± 10 V. Rozlišení je dáno rozlišením snímače na příslušné ose a velikostí stoupání na jednu otáčku. U obou os je to 8000 pulsů na otáčku / 5 mm stoupání na otáčku → 1600 pulsů na mm posunu. Maximální rychlost posunu vychází z maximálních otáček motoru, stejně tak i poslední hodnota vychází z parametrů motoru. Motor číslo 4 je nastaven jako vřeteno (S), zbylé dva parametry U a A jsou pro lineární, případně rotační, čtvrtou osu. Zde nebylo rozlišení snímače známé, bylo tedy experimentálně změřeno. Zbylé parametry opět vycházejí z vlastností motoru.

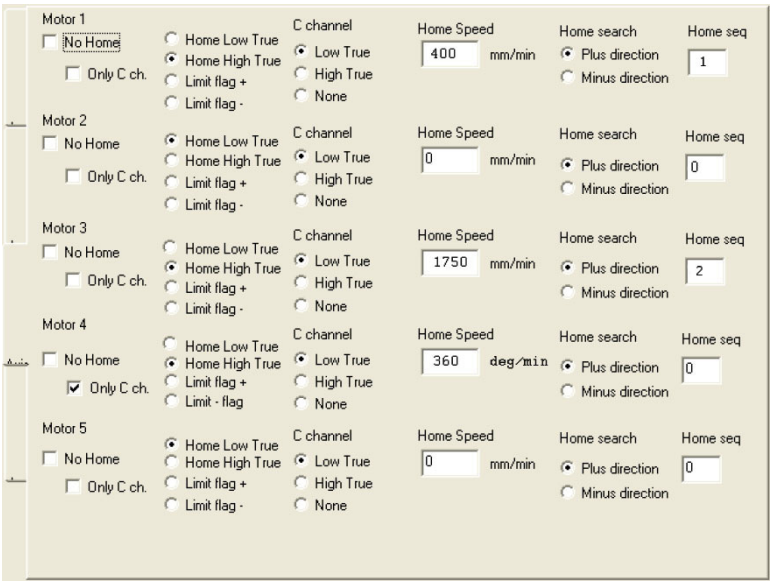


obr. 11 Nastavení koncových poloh a rychlosti posuvu ručním kolečkem

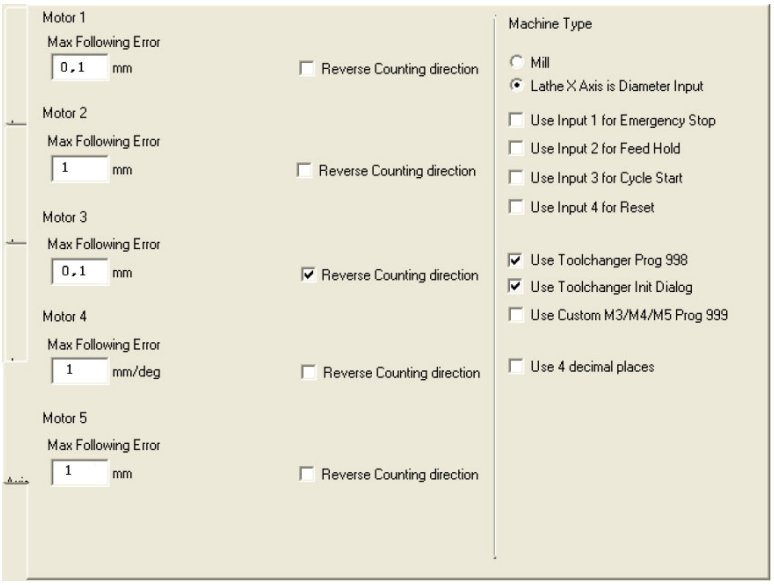
Druhá strana se týká nastavení indikace chybového stavu motoru a softwarového omezení posuvu. Jakmile se poloha rovná některé z koncových poloh, je hlava zastavena a vypsáno chybové hlášení. JOG speed je parametr, který určuje, jakou rychlostí se bude měnit poloha při ručním pohybu. Nulová hodnota znamená, že limit hodnoty nebude sledován.

Na třetí straně se nastavuje způsob nalezení referenční polohy. Pokud osa referenční polohu neobsahuje, najíždí se na nulové souřadnice. U našeho stroje je využito spínače pro určení referenční polohy v kombinaci s C kanálem snímače. K sepnutí spínače nemusí dojít vždy ve stejné pozici, proto se využívá ještě C

kanálu. Jakmile přijde signál ze spínače, tak ještě pokračuje pohyb, dokud nepřijde impuls ze snímače indikující konec otáčky. Home speed určuje, jakou rychlostí se bude do polohy najíždět. Poslední dva parametry určují, jakým směrem se má referenční poloha hledat a v jakém pořadí. Motory, které jsou používány, musí mít hodnoty vyplněny.



obr. 12 Nastavení způsobu určení koncové polohy



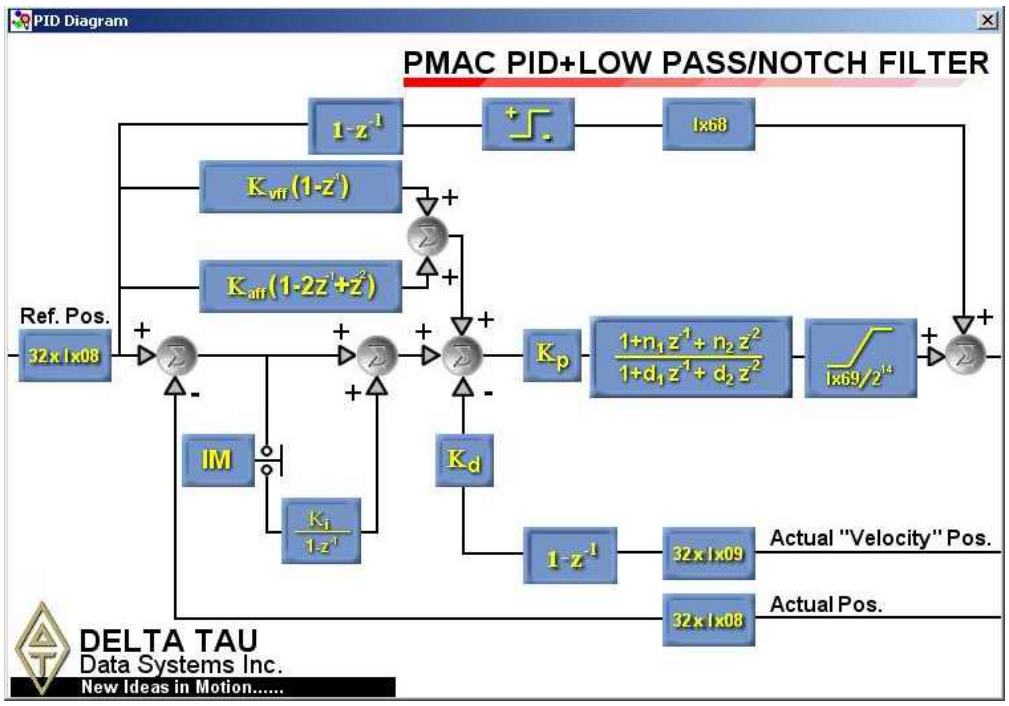
obr. 13 Nastavení chyb a typu stroje

Na poslední straně je nastavení maximální chyby posuvu. Pokud indikovaná chyba přesáhne tuto hodnotu, všechny osy se zastaví a je vypsáno chybové hlášení. Přepínač Reverse couting direction slouží k sjednocení požadovaného směru

otáčení a výstupu ze snímače. Machine type určuje typ obráběcího stroje: Mill – fréza, Lathe – soustruh. Výměnu nástroje obsluhuje podprogram 998 a při spuštění inicializační dialog výměníku nástroje, kde se nastavuje počet nástrojů a aktuální pozice.

4.2 Nastavení regulátorů

Pro každý motor je nutné nastavit parametry regulátoru. Schéma řídící smyčky je na obrázku. Do regulátoru je možné zakomponovat filtr typu dolní propust nebo pásmová propust.

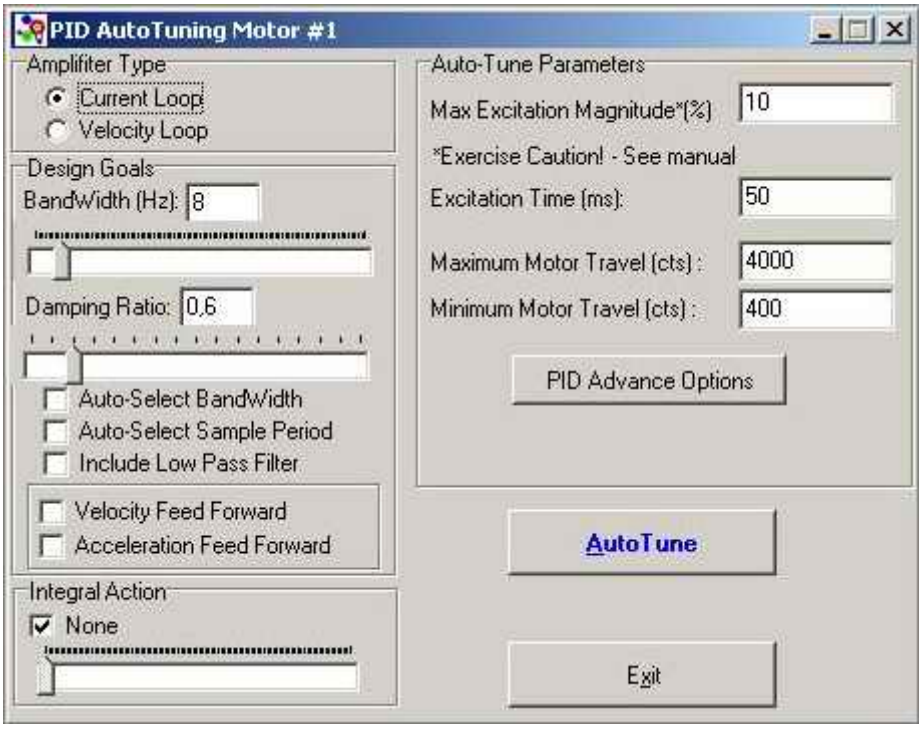


obr. 14 Regulační smyčka

Určování přenosu motoru a jednotlivých konstant by bylo příliš časově náročné, a proto je do systému zakomponováno automatické nastavení regulátoru. Parametry regulátoru jsou implicitně nastaveny na nízké hodnoty. Při automatickém nastavení je potřeba zadat následující parametry :

- Typ řízení motoru (Amplifier type) – proudovou nebo rychlostní smyčkou. Rychlostní smyčka se používá, pokud řízení motoru nemá proudovou zpětnou vazbu.

- Maximální amplitudu buzení převodníku na výstupu v procentech (max excitation magnitude), 100 procent odpovídá 10V.
- Dobu buzení motoru v ms (excitation time) – měla by být alespoň tak dlouhá, aby motor byl schopen udělat čtvrt až půl otáčky.
- Maximální a minimální počet pulsů ze snímače (Maximum/minimum motor travel), maximum zabraňuje kolizi při posuvu motorem o velkou vzdálenost, minimální hodnota indikuje, kdy má už měření smysl a není otočení příliš malé.
- Šířka pásma uzavřené smyčky motoru (bandwidth) – popisuje rychlost odezvy motoru. Při použití automatického nastavení šířky pásma se po testech vybere bezpečná hodnota, která je obvykle nižší, než které je motor schopen dosáhnout.
- Tlumení (damping ratio) – při příliš nízké hodnotě může dojít k nestabilitě systému, při vysoké bude odezva pomalá. Typicky se hodnoty pohybují mezi 0,7 a 0,8.



obr. 15 Nastavení parametrů regulátorů automaticky

4.3 PLC

PLC (programmable logic controller) je programovatelný logický automat, který se stará o obsluhu vstupů a výstupů. Na řídícím systému Advantage je jeden PLC s vyšší prioritou (PLC0) a 31 s nižší prioritou. Následující podkapitoly se věnují jednotlivým PLC, které byly použity při nastavení systému.

4.3.1 PLC 0

Do tohoto podprogramu bylo potřeba dopsat řízení směru otáčení vřetene. PLC 0 je speciální program, který pracuje s vyšší prioritou než ostatní PLC. Používá se pouze pro některé krátké úlohy, které je potřeba vykonat rychleji než ostatní. Nesprávné použití může být nebezpečné a může dojít až ke kolapsu systému. Zavádí se pouze při inicializaci stroje. Při jeho změně je potřeba software PMAC NC restartovat. Celý PLC 0 je uložen v souboru POSTDL.TXT. V našem případě slouží PLC 0 pouze k přizpůsobení interface řídícího systému a soustruhu. V proměnné M219 je směr otáčení vřetene; 3 znamená doprava, 1 doleva a v ostatních případech vřeteno stojí. V M420 je hodnota výstupu pro otáčky vřetene. Nastavení směru je popsáno v kapitole o vřetenu. Když požadujeme směr doprava, nastaví se na Output 1 log. 0 a na Output 2 log. 1, při směru doleva obráceně a na AMP1 7 (DAC3A+) se nastaví absolutní hodnota výstupu. Hodnoty jsou obráceně než v programu, protože v celém systému je inverzní logika. Ve všech ostatních případech je na výstupu Output 1 log. 0 a na Output 2 log. 0 a motor stojí. PLC je potřeba nahrát a zapnout – pomocí příkazů open, close a enable.

```
P382 = 108.8

I5=3
close
open plc0
clear
If (M219 = 3)
  M141=1
  M142=0
Else
  If (M219 = 1)
    M141=0
    M142=1
    M420=ABS(M420)
  Else
    M141=1
    M142=1
```

```
  EndIf
EndIf
close
ENABLE PLC0
```

4.3.2 PLC pro výměnu nástroje

K obsluze revolverové hlavy jsou použity dvě PLC. PLC 16 nastavuje do proměnné P807 číslo pozice nástroje a Prog998 řídí samotnou výměnu. Prog998 je definován v systému jako obslužný podprogram pro výměnu nástroje.

Následující příklad ukazuje část kódu pro pozici na druhém vstupu :

```
...
IF (ON_INPUT2)
  P807=2
ENDIF
...
```

A podprogram 998 pro výměnu:

```
N1000
Dwell0

IF(P807!=P201)
  SET_OUTPUT11

  WHILE(P807!=P201)
          Dwell0
  Endwhile

  SET_OUTPUT10
  USER_TIMER_1=50
  WHILE(USER_TIMER_1>0)
  Endw
  RESET_OUTPUT10

  WHILE(M107=1)
          Dwell0
  Endwhile

  RESET_OUTPUT11
ENDIF
RET
```

Samotná výměna začíná blokem N1000. Dwell0 čeká na dokončení předchozího pohybu. V proměnné P201 je uložena pozice nástroje,do které se chceme dostat; nastaví se voláním příkazu T. Pokud nejsme v požadované poloze, zahájíme výměnu nastavením Output 11 na 1 – signál Spuštění otáčení. Čekáme, dokud do pozice nedojedeme. Jakmile projedeme polohou, vyšleme puls na Output 10 a čekáme, dokud není log. 1 na Input 7 (M107) – signál Hlava v pozici. Hodnota 50

generuje puls na Output 10; byla zjištěna experimentálně. Hlava se nastaví do přesné polohy a upevnění. Poté musíme na Output 11 nastavit 0, tím shodíme i signál na Input 7. Poté je výměna dokončena a můžeme pokračovat další instrukcí.

4.3.3 PLC 25

Tento PLC je v systému již vložen a obsahuje další rozšiřující funkce, především pro definování uživatelských tlačítek. Musí být nahrán do systému, aby zajistil funkčnost tlačítek Cycle start, Reset, Feed, Hold atd. Pro aktivaci frekvenčního měniče bylo nutné nastavit signál Power připojený na Output 4:

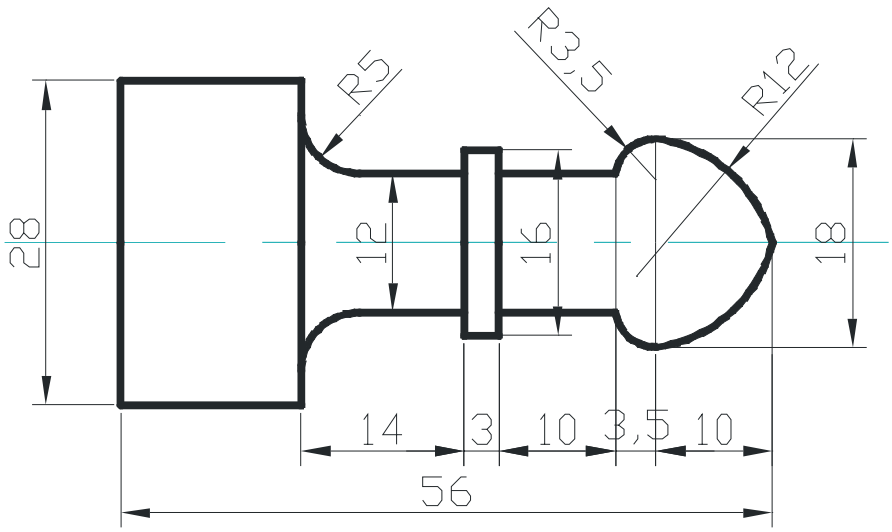
SET_OUTPUT4

Pro aktivaci výměny nástroje je potřeba při spuštění nastavit Output 9 - Pozice nástroje a Output 12. Jejich význam byl vysvětlen výše. V proměnné I5 je uložena konfigurace spouštění PLC, číslo tři znamená, že se bude zpracovávat i PLC 0.

SET_OUTPUT9
SET_OUTPUT12
I5=3

5 Příklad obrábění

Jako příklad obrábění byla vybrána šachová figurka. Na tomto příkladu je možné demonstrovat řadu základních funkcí obrábění.



obr. 16 Výkres figurky

N1 G58
N2 G98
N3 G0 X36 Z100
N4 T0404
N5 G00 X31 Z0
N6 G96 S70 M3
N7 G1 X30 F30
N8 G1 X-1.6
...

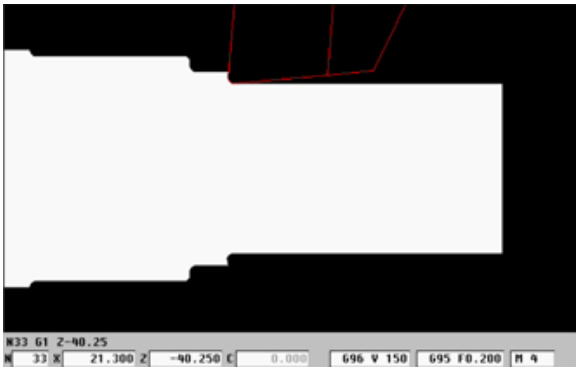
obr. 17 Zarovnání čela

Nejprve nastavíme souřadný systém a posun příkazem G58. Posun počátku souřadné soustavy je v menu pod položkou Work Offset. Najedeme do bezpečné vzdálenosti, nastavíme nástroj hrubovací nůž, nastavíme nůž nad obrobek (N5) a roztočíme vřeteno. Lineární interpolací zarovnáme čelo (N7, N8).

...
N13 G0 X27.3
N14 G1 Z.15 F50
N15 G1 Z-40.6065
N16 G1 X28.3 Z-41.1065
N17 G1 Z-60.8
...

obr. 18 Základní tvar

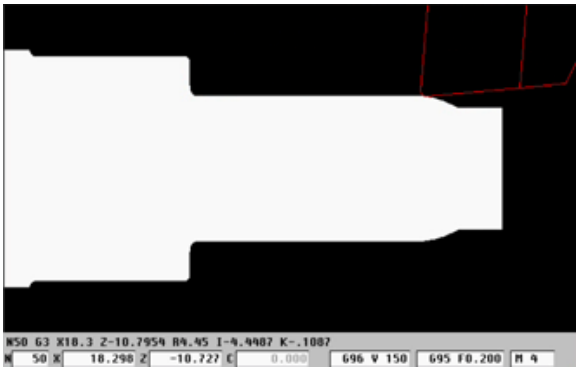
Postupným odebíráním materiálu srovnáme obrobek na určený průměr. Opět je použité řezání lineární interpolací.



...
N27 G0 X21.3
N28 G1 Z.15
N29 G1 Z-40.25
...
N35 G1 Z-10.8
N36 G1 X18.3004 Z-10.84
N37 G1 Z-40.11
...

obr. 19 Postupné odebírání materiálu

V závislosti na materiálu se odebírá materiál postupně po malých poloměrech.



...
N44 G1 Z-6.1875
...
N46 G3 X18.3 Z-10.7954
R4.45 I-4.4487 K-.1087
...

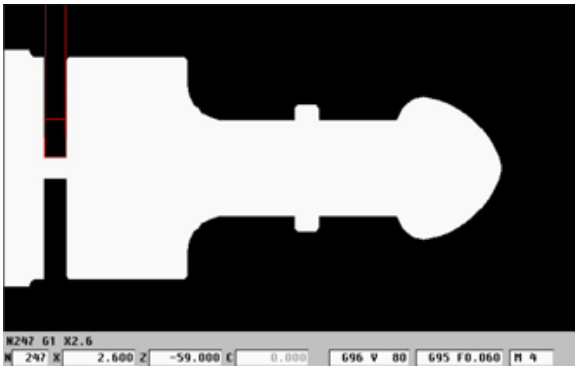
obr. 20 Obrábění koule kruhovou interpolací

Zaoblení se opět provádí postupně po menších částech. Parametry I a K určují, která část kruhu se bude interpolovat.

...
N98 T0606
N99 G96 S70 M3
...
N111 G0 Z-18.55
N112 G1 X18.3054
N113 G1 X12.3
...
N139 G0 Z-37.45
N140 G1 X18.3054
N141 G1 X13.0678
...

obr. 21 Hrubý obrys obrobku

Zapichovacím nástrojem vytvoříme hrubý obrys obrobku, odebírají se postupně kružnice materiálu.



...
N189 G0 Z-58.7
N190 G0 X30
N191 G1 X28
...
N247 G1 X-.4
...

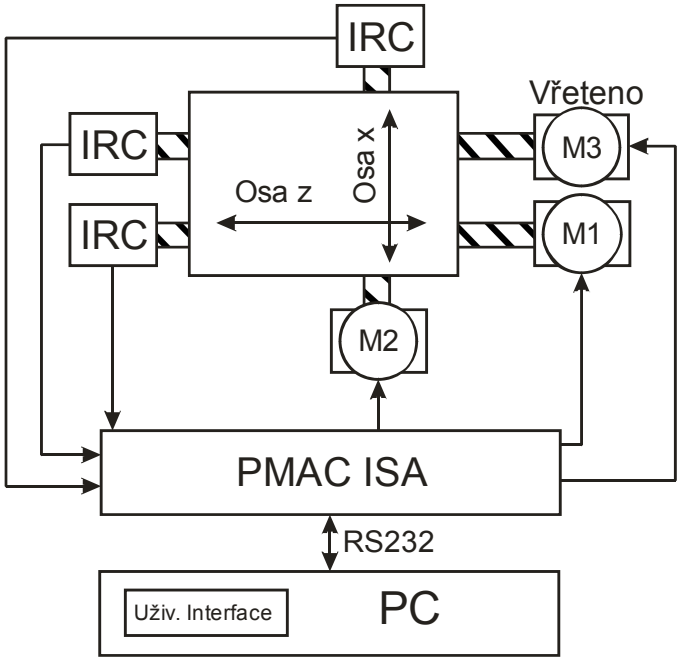
obr. 22 Finální výrobek a odpíchnutí

Celý obrobek je poté zarovnán do finální podoby. Na rovné části se používá lineární interpolace, na rohy a hrany kruhová interpolace. Obrobek je nakonec po jednotlivých krocích odpíchnut.

Kompletní NC programje uveden v příloze na CD.

6 ISA karty PMAC Delta Tau

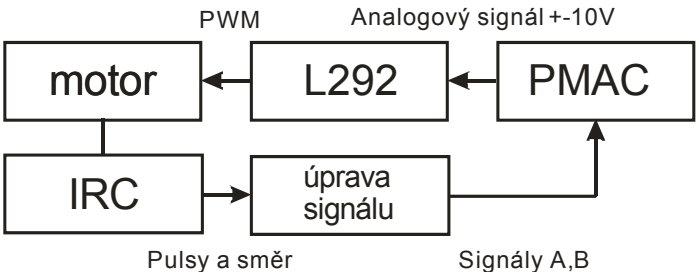
Součástí práce bylo také navrhnout využití starých řídících karet PMAC Lite a PMAC PC. Karty mohou pracovat samostatně bez počítače, protože obsahují vlastní procesor DSP Hitachi 560xx a paměť. Komunikace počítačem je zajištěna pomocí sériové linky RS232. PMAC Lite je nižší verze karty, schopná ovládat dohromady až čtyři osy, s příslušenstvím může být ovládáno až dvanáct os. PMAC PC je určena pro aplikace, kde je potřeba ovládat více než čtyři osy, anebo je potřeba dvojitá zpětná vazba (dva snímače na ose). Úkolem bylo řídit model soustruhu, který má jen tři osy.



obr. 23 Schéma zapojení PMAC Lite

6.1 Řízení motorků

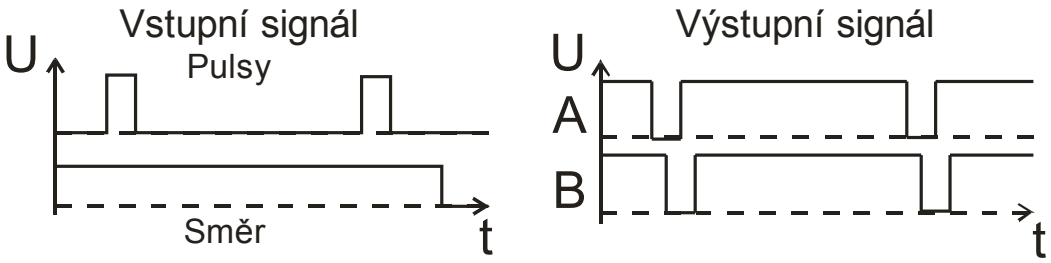
Motory modelu byly řízeny PWM modulací generovanou přímo z počítače, což bohužel karta nepodporuje. Proto bylo nutné udělat novou elektroniku, která by byla řiditelná analogovým signálem z karty PMAC. Motorky na polohování os mají výkon do 1W, motorek na vřetenu do 20 W. Z nabízených integrovaných obvodů se zdálo pro danou aplikaci nejvhodnější použít obvod L292 firmy SGS Thomson. Vstupem do obvodu je analogový signál, výstupem PWM modulovaný výkonový signál s amplitudou rovnou napájecímu napětí.



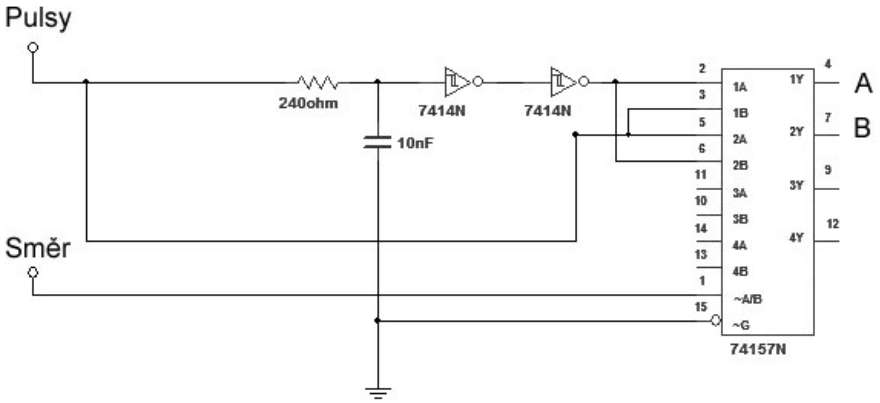
obr. 24 Schéma ovládání motorků

6.2 Snímače

Na modelu byly použity snímače SFH910 firmy Siemens. Výstupem snímače je signál směr a pulsy o délce 10 µs s proměnnou vzdálenosti odpovídající rychlosti otáčení pro vřeteno a posunu v jednotlivých osách. Amplituda obou signálů odpovídá napájecímu napětí, tedy 5V. K řídící kartě není možné takovýto signál připojit, musel se proto upravit na simulovaný signál ze standardního inkrementálního snimače (2 signály posunuté o π/2). Základem zapojení je zpožďovací obvod s časovou konstantou 5 µs. Pomocí multiplexeru se poté přepíná podle směru pohybu zpožděný a nezpožděný signál do výstupu A nebo B a naopak.



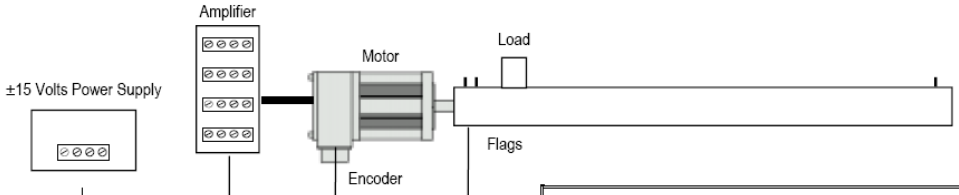
obr. 25 Vstupní a výstupní signál přizpůsobovacího obvodu.



obr. 26 Schéma přizpůsobovacího obvodu

6.3 Připojení ke kartě

Připojení ke kartě bylo realizováno podle doporučení v manuálu, s tím rozdílem, že nebyl zapojen Home spínač, který se na modelu nenachází. Snímače jsou připojeny jako Single ended, neboť se toto připojení ukázalo jako dostatečné, a u motoru nejsou zapojeny signály Enable a Fault.



ACC-8D or ACC-8P				
#1 Pin #	#2 Pin #	#3 Pin #	#4 Pin #	SYMBOL
53	54	39	40	-LIMn
55	56	41	42	HMFLn
51	52	37	38	+LIMn
58	58	58	58	AGND
1	2	1	2	+5V
3	4	3	4	GND
17	18	5	6	CHCn
19	20	7	8	CHCn/
21	22	9	10	CHBn
23	24	11	12	CHBn/
25	26	13	14	CHAn
27	28	15	16	CHAn/
43	44	29	30	DACn
45	46	31	32	DACn/
47	48	33	34	AENAn/DIRn
49	50	35	36	FAULTn
58	58	58	58	AGND
58				AGND
59				A+15V/OPT+V
60				A-15V

obr. 27 Schéma zapojení konektoru JMACH1 PMACu, obrázek převzat z [12].

7 Závěr

V práci je popsáno propojení soustruhu s řídícím systémem Advantage, které bylo realizováno a odzkoušeno. Projevily se některé technické nedostatky stroje, které omezovaly přesnost, zejména rušení signálů ze snímačů, automatické nastavení regulátorů a v neposlední řadě malá tuhost stroje, která neumožňuje přesné obrábění tvrdších materiálů.

Staré karty PMAC se ukázaly jako zcela použitelné i v dnešní době díky ovládání počítačem přes sériovou linku. Jsou schopny ovládat jakýkoli čtyřosý systém a mohly by být použity jak pro řízení obráběcího stroje, tak i pro různé manipulátory. Nevýhodou je nižší rychlost odezvy omezená propustností sériové linky a absence PWM modulace. Po nastevení regulátorů a řídícího softwaru PMAC NC PRO2 by se model stal zcela funkčním NC obráběcím strojem. Model by se v budoucnu mohl doplnit o home spínače a elektronika by se mohla umístit na navržený plošný spoj.

8 Seznamy

8.1 Seznam obrázků

obr. 1 Schéma zapojení jednotlivých částí systému 8
obr. 2 Schéma průběhu řízení 9
obr. 3 Postup při návrhu a výrobě součástky 10
obr. 4 Schéma interface soustruhu 13
obr. 5 Schéma zapojení IRC snímače 16
obr. 6 Schéma ovládání vřetena 17
obr. 7 Schéma zapojení frekvenčního měniče 19
obr. 8 Průběh signálů při výměně nástroje 21
obr. 9 Schéma revolverové hlavy 22
obr. 10 Nastavení typu motoru a rozlišení snímačů 25
obr. 11 Nastavení koncových poloh a rychlosti posuvu ručním kolečkem 26
obr. 12 Nastavení způsobu určení koncové polohy 27
obr. 13 Nastavení chyb a typu stroje 27
obr. 14 Regulační smyčka 28
obr. 15 Nastavení parametrů regulátorů automaticky 29
obr. 16 Výkres figurky 33
obr. 17 Zarovnání čela 33
obr. 18 Základní tvar 34
obr. 19 Postupné odebírání materiálu 34
obr. 20 Obrábění koule kruhovou interpolací 34
obr. 21 Hrubý obrys obrobku 35
obr. 22 Finální výrobek a odpíchnutí 35
obr. 23 Schéma zapojení PMAC Lite 36
obr. 24 Schéma ovládání motorků 37
obr. 25 Vstupní a výstupní signál přizpůsobovacího obvodu. 37
obr. 26 Schéma přizpůsobovacího obvodu 37
obr. 27 Schéma zapojení konektoru JMACH1 PMACu, obrázek převzat z [12]. 38

8.2 Seznam tabulek

tab 1. Tabulka nejpoužívanějších G funkcí 12
tab 2. Tabulka nejpoužívanějších M funkcí 12
tab 3. Zapojení konektoru XC1 13
tab 4. Zapojení konektoru XC5 14
tab 5. Zapojení konektoru XC2 15
tab 6. Zapojení konektoru XC6 15
tab 7. Parametry servozesilovčů Elmo NBA F 10/200R 16
tab 8. Parametry zdroje Elmo PSSF 20/200R 17
tab 9. Parametry motoru 17
tab 10. Zapojení konektoru XC3 18
tab 11. Zapojení konektoru XC4 18
tab 12. Ovládání směru – na konektoru OUT je použita obrácená logika. 19
tab 13. Parametry použitého frekvenčního měniče VS 606PC3 - CIMR PC22P2 19
tab 14. Zapojení konektoru HLAVA 20

8.3 Použitá literatura

[1] BAYER J, HANZÁLEK Z, ŠUSTA R: *Logické systémy pro řízení,* Skripta ČVUT-FEL, Praha 2000

[2] KLOKOČNÍK P: *Diplomová práce,* ČVUT-FEL, Praha 1996

[3] ŠEBEK Z: *Diplomová práce,* ČVUT-FEL, Praha 1994

[4] RYBÍN P, RAFAJ J: *Obsluha a programování CNC strojů,* Skripta ČVUT-FS, Praha 1995

[5] DELTA TAU DATA SYSTEMS: *PMAC – User Manual,* Delta Tau Data Systems, 2004

[6] DELTA TAU DATA SYSTEMS: *PMAC2 – User Manual,* Delta Tau Data Systems, 2004

[7] DELTA TAU DATA SYSTEMS: *Advantage 400 – User Manual,* Delta Tau Data Systems, 2006

[8] DELTA TAU DATA SYSTEMS: *Advantage 400 – Connection,* Delta Tau Data Systems, 2006

[9] DELTA TAU DATA SYSTEMS: *Advantage 400 – Integration,* Delta Tau Data Systems, 2006

[10] DELTA TAU DATA SYSTEMS: *Advantage 400 – Programming,* Delta Tau Data Systems, 2006

[11] DELTA TAU DATA SYSTEMS: PMAC – *Quick Reference,* Delta Tau Data Systems, 1999

[12] DELTA TAU DATA SYSTEMS: *Universal PMAC Lite,* Delta Tau Data Systems, 2001

[13] YASKAWA: *Varispeed 606PC3 Instruction manual,* Yaskawa, 1993

[14] ELMO MOTION SYSTEMS: *NBA Series Operating Manual,* Elmo, 1994

Uvedené manuály od firem Delta Tau, Yaskawa a Elmo Motion Control jsou umístěny na CD. Další podrobnosti a manuály firmy Delta Tau jsou dostupné na stránkách www.deltatau.com.

8.4 Seznam příloh

1. Pohon vřetene
2. Servopohony
3. Koncové polohy
4. Total stop a zdroje
5. Revolverová hlava

8.5 Obsah CD

- Advantage 400
  - Adv 400 Connection.pdf
  - Adv 400 Integration.pdf
  - Adv 400 Programming.pdf
  - Adv 400 User.pdf
  - PMAC TUNING PRO.pdf
- Model
  - L292 datasheet.pdf
  - SFH 910 datasheet.txt
- NC program
  - figurka.dwg
  - figurka.nc
- PMAC
  - PMAC AND PMAC2 SOFTWARE.PDF
  - PMAC STD.PDF
  - PMAC USERS.PDF
  - PMAC Quick reference.PDF
  - UNIVERSAL PMAC LITE.PDF
- PMAC2
  - EZ PMAC2A PC104 Setup.pdf
  - Flex CPU.pdf
  - PMAC2 User Manual.pdf
  - PMAC2A PC104 HRM.pdf
- Soustruh manualy
  - MAN_NBA_UG_EN_0294.pdf
  - MAN-PSSUG.pdf
  - MT30R4.pdf
  - TOE-606-3D VS-606 PC3 Instructions (spec A & E).pdf
- Soustruh PLC
  - plc16.txt
  - postdl.txt
  - prog998.txt
- Soustruh vykresy

- koncove polohy.tif
- pohon vretene.tif
- rizeni hlavy.jpg
- servopohony.tif
- total stop a zdroje.tif