

**Technická univerzita v Liberci**

Fakulta mechatroniky a mezioborových inženýrských studií

Studijní program: B 2612 – Elektrotechnika a informatika

Studijní obor: 2612R011 – Elektronické informační a řídicí systémy

**Programování servopohonů pro řízení kartézského manipulátoru**

**Programming Servo-drive Unit for Controlling the Cartesian  
Manipulator**

**Bakalářská práce**

Autor: Aleš Vajsar

Vedoucí práce: Ing. David Lindr

Konzultant: Ing. Martin Diblík, Ph.D

V Liberci 20.5. 2011

**!!! SEM vložit originál zadání práce ... !!!**

## **Prohlášení**

Byl(a) jsem seznámen(a) s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo. Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL. Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše. Bakalářskou práci jsem vypracoval(a) samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum

Podpis

## **Poděkování**

Tímto děkuji panu P. Pražákovi za ochotu a spolupráci při frézování komponent na sestavení konstrukce. Dále děkuji panu vedoucímu této práce Ing. D. Lindrovi za ochotu a pomoc při zhotovování této práce.

## **Abstrakt**

Cílem této práce je sestavit dvouosý kartézský manipulátor řízený pomocí průmyslových jednotek řízení pohybu Simotion (motion controller). Manipulátor je poháněn dvěma servomotory Siemens, které jsou spojeny s horizontálními přímočarými lineárními pohony. Pohony jsou řízené pomocí pohybové jednotky Simotion, která zajišťuje správné funkce manipulátoru, pro co nejdynamičtější shodné seřízení obou os. Nastavení regulátorů je provedeno pomocí nastavení v Simoton Scout určeného pro programování jednotek používaných řídicích jednotek pohonu Sinamics S120. Tato práce bude sloužit k výuce jednotek pohybu řízení a dalším vědeckovýzkumným účelům na Fakultě mechaniky a mezioborových inženýrských studií na Technické univerzitě v Liberci.

**Klíčová slova:** jednotka řízení pohybu (motion controller), servomotor, dvouosý kartézský manipulátor, pohon, Simoton Scout

## **Abstract**

The aim of this work is to construct two-axis cartesian manipulator controlled by an industrial motion controller Simotion. The manipulator is powered by two Siemens servomotors, which are connected with horizontal straightforward linear actuators. The actuators are controlled by Simotion, which provides the most optimal controller settings for smooth movement using servomotors. Controller settings is done by settings Simoton Scout which is determined for programming units which are used as controlling units of drive Sinamics S120. This work will serve to teaching motion controller and more researcher purposes at the Faculty of mechanics and interdisciplinary engineering studies at the Technical university in Liberec.

**Keywords :** motion controller, servomotor, two-axis cartesian manipulator, actuator, Simoton Scout

## Obsah

Prohlášení .....	3
Poděkování.....	4
Abstrakt .....	5
Abstract.....	5
Obsah.....	6
Úvod .....	9
Seznam použitých obrázků a grafů .....	10
1 Manipulátory a regulace .....	11
1.1 Kaskádní regulační struktura pohonu se synchronními servomotory.....	11
1.1.1 Proudová regulace.....	11
1.1.2 Rychlostní regulace.....	12
1.1.3 Polohová regulace .....	12
2 Konstrukce kartézského manipulátoru .....	13
2.1 Konstrukce skeletu.....	13
2.2 Spojení konstrukce.....	14
2.3 Servomotory a lineární jednotky .....	14
2.4 Konstruování .....	14
3 Hardware komponenty .....	17
4 Programová analýza .....	17
4.1 Homing.....	19
4.2 Fixed and stop.....	20
4.3 Lineární interpolace .....	20
4.4 Interpolace kruhové dráhy.....	21
5 Nastavení a vykreslování os .....	24
5.1 Regulace os .....	25

5.1.1	Nastavení regulace Axis_X .....	25
5.1.2	Nastavení regulace Axis_Y .....	26
5.1.3	Srovnání obou přechodových charakteristik .....	27
5.2	Vykreslování obrazců .....	28
5.2.1	Test linearity .....	28
5.2.2	Test kruhovitosti .....	30
	Závěr .....	32
	Literatura .....	33
	Příloha na CD .....	33

## **Seznam použitých zkratk**

DSC (funkce dynamického řízení servopohonu)

P (proporcionální složka regulace)

PI (proporcionálně integrační regulace)

MC (motion controller)

ALM (aktive line modul)



## Úvod

V první části této bakalářské práce, se zabývá obecnými kartézskými manipulátory. Je zde popsáno jejich uspořádání druhy a jejich možné seřízení. Na to navazuje seznámení s technickými prostředky průmyslové automatizační techniky firmy Siemens, používané pro pohon kartézského manipulátoru.

Dalším bodem této práce je zkonstruování a sestavení kartézského manipulátoru, na kterém se bude ověřovat přesnost a funkčnost automatizační techniky Siemens. Jsou zde popsány použité prvky konstrukce a použité spojení lineárních posuvných jednotek se servomotory. Dále je zde popsáno uspořádání řídicích prvků. Po seznámení a ustanovení všech periférií následuje programování v prostředí Simotion Scout, určeném pro programování automatizační techniky firmy Siemens, kde bude využito dráhové interpolace pro test vykreslování obrazců.

Hlavním úkolem této bakalářské práce je zkoordinování os servomotorů a následné ověření pomocí testu vykreslení obrazců dráhovou interpolací. Kde se zjistí, jak jsou regulátory seřizeny a zda automatizační technika pracuje při všech dostupných rychlostech přesně bez deformace vykreslovaných obrazců.

Tato konstrukce kartézského manipulátoru bude dále sloužit pro výuku průmyslové jednotek řízeného pohybu na Fakultě mechatroniky a mezipředmětových inženýrských studií na Technické univerzitě v Liberci a rovněž i k vědecko výzkumným činnostem na fakultě týkajících se zkoumání magnetických polí transformátoru, skin efektu apod.

## Seznam použitých obrázků a grafů

- [1] Obr. 1 Blokové schéma kaskádní regulace
- [2] Obr 2. Náčrt kartézského manipulátoru
- [3] Obr. 3 Profil 6 60x30 L [4]
- [4] Obr. 4 Profil 6 60x12 L [4]
- [5] Obr. 5 Profil 6 60x60 L [4]
- [6] Obr. 6 Spoj Item řady 6 [4]
- [7] Obr 7. Spojení servomotoru a lineární jednotky THK
- [8] Obr 8. Spoj servomotoru a lineární jednotky Festo
- [9] Obr.9 Hardwarové složení
- [10] Obr 10. Kruhová interpolace dána poloměrem, koncovým bodem a orientací [3]
- [11] Obr 11. Kruhová interpolace daná středem, koncovým bodem a úhlem [3]
- [12] Obr 12. Kruhová interpolace se středem a koncovými body [3]
- [1] Graf 1. Přejížděvací charakteristika Axis\_ X
- [2] Graf 2. Přejížděvací charakteristika Axis\_ Y
- [3] Graf 3. Porovnání přejížděvacích charakteristik rychlostních smyček X a Y osy
- [4] Graf 4. Kosočtverec - aktuální pozice a rychlost os
- [5] Graf 5. Kosočtverec - závislost polohových křivek
- [6] Graf 6. Kružnice- aktuální pozice a rychlost os
- [7] Graf 7. Kružnice - závislost polohových křivek

## 1 Manipulátory a regulace

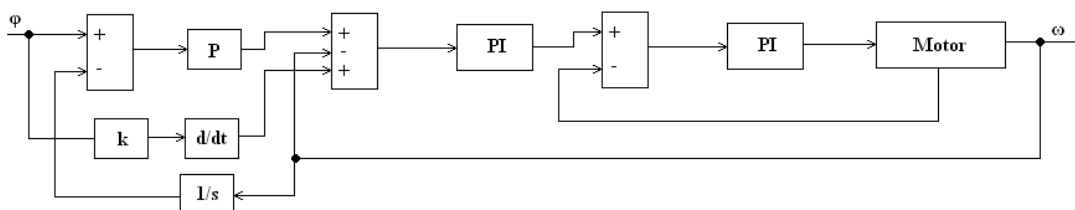
Pod pojmem manipulátor se rozumí robot. Roboti se již v praxi a průmyslových aplikacích užívají od poloviny minulého století, kdy se manipulační technika poprvé objevovala v praxi. Postupem času tato technika nacházela využití v širším spektru odvětví v lékařství, letectví a především v automobilovém průmyslu. I nyní se stále robotizovaná technika dále vyvíjí. Jde o jeden z nejmladších vědních oborů, který uspokojí nároky na využití v nových aplikacích. Manipulátory spadají do podskupiny stacionárních robotů, kteří jsou průkopníky průmyslové robotizované techniky. V dnešní době mají průmyslové manipulátory sedm i více pohyblivých os.

Již z názvu kartézský manipulátor vyplývá, že manipulátor pracuje v kartézské soustavě souřadnic. Kartézské manipulátory jsou rozděleny podle počtu manipulačních os. V této práci se bude jednat o dvouosý kartézský manipulátor. Manipulátor bude pracovat ve dvou rovinách. Bude sestaven z lineárních posuvných jednotek. Lineární jednotky budou poháněny servomotory.

### 1.1 Kaskádní regulační struktura pohonu se synchronními servomotory

V případě pohonů se používá kaskádní uspořádání regulačního obvodu s hierarchicky uspořádanými zpětnými vazbami. Používány jsou tři zpětné vazby: proudová, rychlostní a polohová. Občas je zařazena i akcelerační vazba [1].

Pro regulaci se využije blokového schématu kaskádní regulace (Obr. 1). Ve schématu jsou dva regulátory PI (proudový a rychlostní) a jeden regulátor typu P (polohový). Schéma také obsahuje dopřednou vazbu tzv. rychlostní feedforward (rychlostní regulátor) a proudový regulátor.



Obr. 2 Blokové schéma kaskádní regulace

#### 1.1.1 Proudová regulace

Tato regulace je již ve většině případů nastavena od výrobce. V proudové regulaci jde o to omezit slábnoucí vliv indukčnosti a následný pokles indukovaného napětí,

který omezuje napětí a proud zdroje při vysokých rychlostech pohonu [1]. Tento jev lze potlačit vytvořením zpětné proudové vazby s regulátorem typu PI. Regulátor je zařazen před přenosovou funkcí proudu (Obr. 1). Výsledkem je přenos proudového regulátoru:

$$K_{PI} \frac{1 + T_{NI} \cdot s}{T_{NI} \cdot s} \quad \text{kde:}$$

$K_{PI}$  – je proporcionální zesílení [V/A],

$T_{NI}$  – je integrační časová konstanta [s].

### 1.1.2 Rychlostní regulace

Motory se vyznačují velkou poddajností k zatížení. Tento nepříjemný jev však lze potlačit zavedením zpětné vazby s regulátorem typu PI jako u proudové regulace, kde přenos je stejného typu. kde:

$K_P$  – je proporcionální zesílení [A/m/s] u rotace [A/rad/s],

$T_N$  – je integrační časová konstanta [s].

Regulace probíhá pomocí rozdílu žádané a skutečné hodnoty. Tento rozdíl je pak zaveden na vstup regulátoru. U střídavých motorů stačí pouze jeden regulátor, je to dáno třífázovou soustavou.

Pro správnou rychlostní regulaci je potřeba zjistit, aby měla rychlostní smyčka co největší šířku pásma frekvenční charakteristiky smyčky. Ta se určuje poklesem amplitudy o -3dB. Širší propustné pásmo znamená větší pracovní rozsah regulátoru. Zkouškou reakce regulátoru je reakce na skok rychlosti největším přípustným rozkmitem 15 až 25% a následným rychlým utlumením [1].

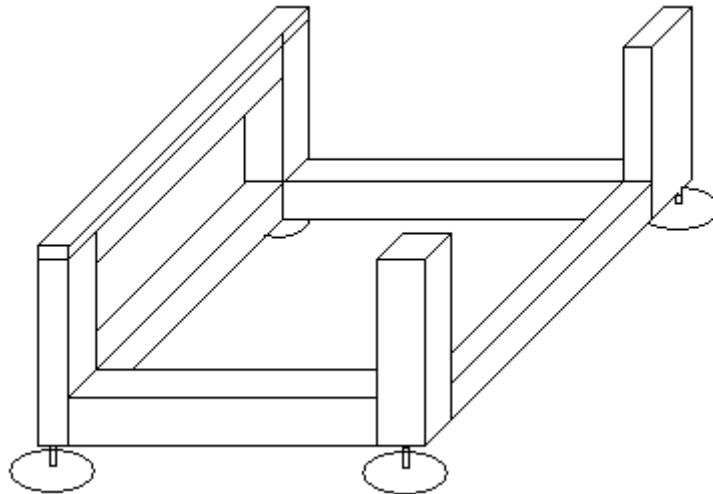
### 1.1.3 Polohová regulace

Regulační hodnotou v této regulaci je rozdíl skutečné a žádané hodnoty polohy  $\Delta(t) = u(t) - y(t)$ . Konstrukce soustavy musí mít statickou tuhost při působení vnějších sil. Protože tato rychlost a poloha jsou pevně matematicky stanoveny, stačí použít regulátor pouze typu P. Test pro kontrolu funkce polohové smyčky, spočívá v odezvě na rychlostní skok a rozdíl regulační odchylky polohy. Při tomto časovém průběhu nesmí dojít k překmitům či kmitání. Tento časový průběh by neměl mít jakékoliv překmity a kmitavé složky. V prostředí Simotion Scout lze ještě použít DSC (Dynamic servo kontrol) funkce dynamického řízení servopohonu, tím se zvýší dynamická odezva na

rozdíl žádané a skutečné hodnoty a odstraní se nežádané poruchy u velmi dynamických pohonů [1].

## 2 Konstrukce kartézského manipulátoru

U kartézského manipulátoru bylo třeba docílit velkých zdvihů, tím se zvýšili nároky na stavbu manipulátoru, proto v návrhu kartézského manipulátoru bylo třeba myslet na statickou tuhost a pevnost. Pro konstrukci se tedy zvolil pevný robustní profilovaný materiál, který jak ve svých parametrech tak ve svých možnostech spojení vyhovoval všem nárokům na statickou tuhost konstrukce. Náčrt konstrukce kartézského manipulátoru na Obr 2.



Obr 2. Náčrt kartézského manipulátoru

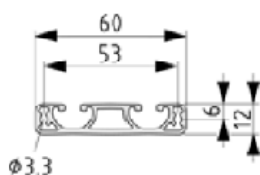
### 2.1 Konstrukce skeletu

Pro konstrukci byl použit stavebnicový profil Item řady 6. Tyto hliníkové profily řady 6 jsou hmotnostně konstruované pro konstrukce všeho druhu. Řada 6 je určen modulárními průřezy 30mm s otevřenými či uzavřenými drážkami se zvláštními na tuhost konstrukce. Tento profil je ještě doplněn krytkami na zaslepení otvorů na koncích profilu.

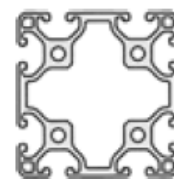
V konstrukci byly použity následující rozměry profilů:



Obr. 3 Profil 6 60x30 L [4]



Obr. 4 Profil 6 60x12 L [4]

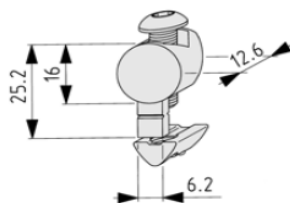


Obr. 5 Profil 6 60x60 L [4]

Tabulka použitých rozměrů profilů		
Profil 6 60x30 L	Profil 6 60x12 L	Profil 6 60x60 L
4 kusy o délce 1 190 mm	2 kusy o délce 1350 mm	2 kusy o délce 284 mm
2 kusy o délce 640 mm		2 kusy o délce 245 mm

## 2.2 Spojení konstrukce

Profily jsou spojeny pomocí univerzálního spoje item, který je určen pro spojení všech profilů dané řady. V našem případě je to již zmíněná řada 6. Tento spoj funguje na základě styku profilů. Tento spoje umožňuje dodatečný posun přichycovaného profilu. U tohoto druhu spojení je vyžadováno upravení pouze jednoho dílu a to vyfrézování otvoru pro tělo univerzálního spoje (kruhová díra o středu 17,2 mm od okraje profilu průměru 16 mm a hloubce 12,6 mm). Tělo univerzálního spoje je tvořeno zinkovým odlitkem. V protilehlém profilu v drážce je zasunuta drážková matice M6. Spojení těchto dvou dílu je provedeno ocelovým šroubem s půlkulatou hlavou M6. Nákres univerzálního spoje 6 je na Obr. 6.



Obr. 6 Spoj Item řady 6 [4]

### 2.3 Servomotory a lineární jednotky

Osy jsou tvořeny lineárními jednotkami. První z nich je od firmy Festo s typovým označením D-GEL-25-1000. Pohyb této lineární jednotky je zajištěn kuličkovým šroubem o velikosti konstrukce typu 25 a maximálním pracovním zdvihu 1000 mm. Tato jednotka může být maximálně zatížena silou 250N a točivým momentem 0,45 N.m. Její maximální rychlost je 0,5 m/s, zrychlení  $6 \text{ m/s}^2$  a přesnost  $\pm 0,02 \text{ mm}$ . Zdvih na jednu otáčku činí 10 mm. Na protilehlou stranu lineární jednotky Festo byla zvoleno lineární vedení HSR 20C2SS+1160CLt. Délka lineárního vedení je 1160 mm. Pro pohyb na tomto lineárním vedení byl určen vagónek s kuličkovou klecí. Druhá lineární jednotka je od japonské firmy THK s označením KR3310A posun je též zajištěn pomocí kuličkového šroubu. Maximální zdvih jednotky je 600 mm. Jednotka může být zatížena maximálním momentem 0,5 Nm, maximální rychlostí 0,5 m/s. Dosahované přesnosti jednotek jsou od 0,01 až 0,004mm. Zdvih na jednu otáčku je 10 mm.

Tyto lineární jednotky jsou poháněny dvěma servomotory Siemens 1AFK7022-5AK71-1SGO. Servomotory typu 1FK7 jsou velmi významnou a speciální skupinou průmyslových pohonů. Jsou nazývány jako „motion control“ (řízený pohyb pomocí inteligentních řídicích jednotek těchto pohonů). Využívají se jako pohony obráběcích strojů, motorové aktuátory robotů, nebo jako pohony dopravních prostředků a průmyslových pohonů. Servomotory jsou třífázové o jmenovitém točivém momentu 6 Nm a jmenovitém proudu 1,4 A a jmenovitých otáček 6000 ot/min (maximální otáčky 10000 ot/min). Motory mají vestavěný resolverový systém odměřování aktuální polohy rotoru.

### 2.4 Konstruování

Jako první byl nakreslen návrh s danými konstrukčními parametry a stavbou s ohledem na pevnost celku. Poté byl vybrán stavebnicový profil firmy Item řady 6, který splňoval požadavky pro sestavení manipulátoru. Hned v počátku se vyskytl problém se spojením jednotlivých dílů konstrukce. Problém spočíval v uložení univerzálního spoje do profilu. Do profilu se musela vyvrtat díra o průměru 16 mm a hloubce 12,6 mm pro uložení spoje. Po vyvrtání díry a následném uložení spoje bylo zjištěno, že byla narušena struktura profilu. To by mohlo narušit uchycení nebo pevnost profilu. Následným řešením bylo nechat díru na zapuštění spoje vyfrézovat, jelikož fréza má na rozdíl od vrtáku plochou špici nástroje, která nenaruší profil do hloubky

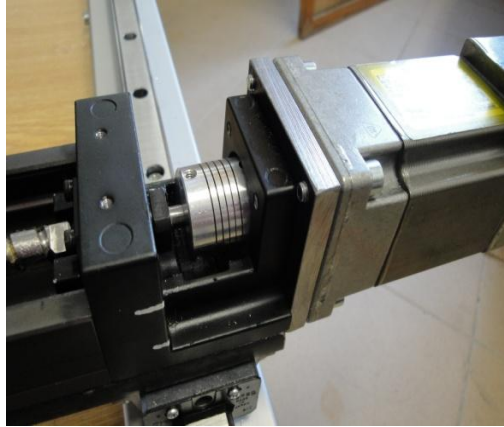
jako vrták. Profily se tedy nechaly pro ukotvení nechat vyfrézovat, poté již nic nebránilo v sestavování profilů.

Při ukotvení lineární jednotky Festo byla výška konstrukce pečlivě přeměřena a zkontrolována, aby byla konstrukce na obou stranách manipulatoru stejně vysoká. Lineární vedení HSR s vagónkem musí být ve stejné výšce jako lineární jednotka Festo. Při nepatrných rozdílech by mohlo dojít k nežádoucímu vzpříčení a tím i narušení plynulosti pohybu pohonu.

Při upevňování lineární jednotky THK na konstrukci se vyskytl problém s tuhostí konstrukce. Původně zvolený profil Item řady 6 nepostačoval požadavkům na tuhost a pevnost ve spojích. Při dynamických rázech konstrukce pod lineární jednotkou THK nebyla dostatečně pevná, proto byl hliníkový profil nahrazen plochým ocelovým válcovaným pásem o síle 10 mm, na který byla lineární jednotka THK upevněna. Tím problém s tuhostí konstrukce zmizel, však hmotnost ocelového pásu ovlivnila dynamiku systému.

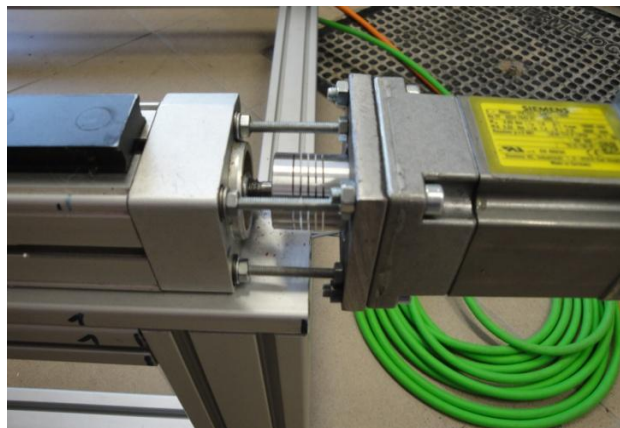
Spojení os lineárních jednotek a servomotorů bylo provedeno pomocí pružných spojek os, které byly na obou stranách upraveny na průměr hřídele motoru a lineárních jednotek. Lineární jednotky mají hřídel o průměru 5 mm, hřídele servomotoru mají průměr 8 mm. V tomto bodě však nastal problém se sousostí a ukotvením servomotorů k lineárním jednotkám. Servomotory a lineární jednotky THK jsou spojeny pomocí speciálně vyrobené ocelové příruby, která umožní pevné spojení servomotoru a lineární jednotky THK. U tohoto spojení jsou osy kotvicích děr v ose s hřídelemi lineární jednotky THK a servomotoru. Zde došlo k pevnému spojení bez distancí, proto je spojení pevné ve zkrutu. Spoj je znázorněn na Obr 7. Spojení servomotoru a jednotky THK. Strojní výkres této příruby viz příloha Příruha servomotoru k lineární jednotce THK. Příloha: Příruha servomotor, lineární jednotka THK (na CD).





**Obr 7. Spojení servomotoru a lineární jednotky THK**

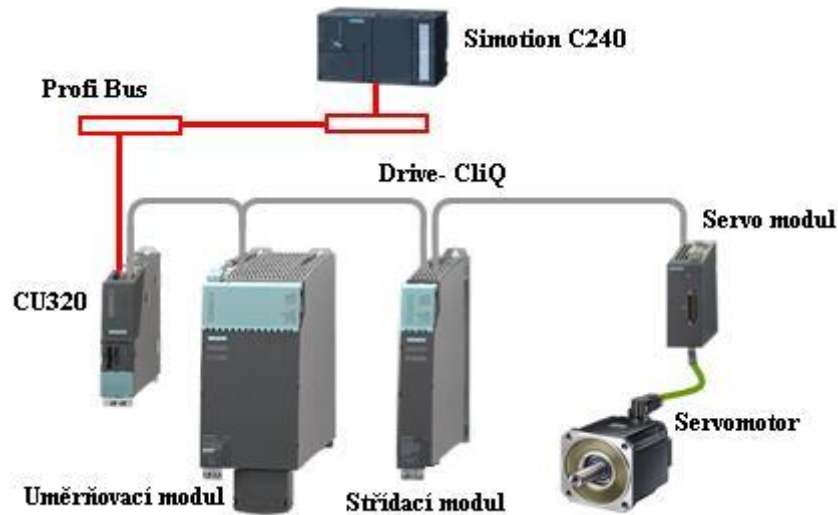
Servomotor a lineární jednotka Festo jsou spojeny podobně jako u lineární jednotky THK, ale v tomto případě jsou kotvící díry na lineární jednotce Festo vyosené. Proto se musela přesně doměřit velikost výchylky kotvících děr. Obě příruby nejsou standardní příslušenství k motorům nebo jednotkám. Příruby jsou atypické, nejprve vznikl návrh, poté byl zhotoven strojní výkres. Když byla dokumentace kompletní, bylo možné nechat přírubu zhotovit. Dalším nepříznivým faktorem pro konstrukci příruby u lineární jednotky Festo byla distance os, kde musely být použity dlouhé distanční ocelové šrouby, aby byla tato soustava pevná ve zkrutu a příčném namáhání. Spoj znázorněn na Obr 8. Strojní výkres této příruby je zařazen v příloze. Příloha: Příruba servomotor, lineární jednotka Festo (na CD).



**Obr 8. Spoj servomotoru a lineární jednotky Festo**

### 3 Hardware komponenty

Pro realizaci řídicího systému kartézského manipulátoru byla zvolena řídicí jednotka pohonu Sinamics S120 s nadřazenou řídicí jednotkou Simotion C240 od firmy Siemens. Obě tyto jednotky jsou využívány ke školním účelům.



Obr.9 Hardwarové složení

Jednotka Simotion C240 je určena k řízení pohonů. Tato jednotka je propojena pomocí průmyslové sběrnice profi bus s jednotkou Sinamics S120. Jednotka Sinamics S120 se skládá z kontrolních modulů usměrňovače a střídače. Jednotky dále komunikují se servo modulem, který zpracovává a vyhodnocuje data pro servomotor. Tato architektura komunikuje isochronně v cyklech telegramu 105. Pro spuštění servomotoru do pohybu je nutné sepnout stykač ALM (active line modul), který začne napájet usměrňovací modul. Usměrňovací modul dále napájí a ovládá pohyb pohonu.

Dále byly využity koncové indukční spínače. Tyto spínače využity pro operaci active homing, kdy sledovali pohyby lineárních jednotek do výchozí polohy (koncové spínače).

### 4 Programová analýza

K programování jednotek pro řízení pohybu MC a pohonů Sinamics S120 slouží programové prostředí Simotio Scout. V našem případě byla využívána verze 4.1. V tomto prostředí lze nastavit hardwarovou konfiguraci pomocí podprogramu HWconfig, kde se připojila komunikace profibus mezi Simotion C240 a frekvenčním měničem Simatic S 120. Komunikace, byla nastavena pro telegram 105 určeným pro pohony.

Nejprve pro jakýkoliv pohon os musíme aktivovat a inicializovat pomocí programu Active Line Modul, který aktivuje silové části Simodrive S 120. Pro aktivaci Active Line Modulu byl vytvořen programový funkční blok.

Dále se musí parametrizovat nastavení os na příslušné servomotory. Zadává se jméno osy, pod tímto jménem se osa volá v programu (v mém případě Axis\_X a Axis\_Y). Ose se musí nadefinovat uživatelské použití pro danou osu. V tomto případě kontrola rychlosti, pozicování a bodová interpolace. Dále se osa popisuje na základě parametrů servomotoru. Osa je lineární s elektrickým pohonem ve standardním módu. Poté se definuje řídicí jednotka (Sinamics S120) společně s komunikačním telegramem 105, to je doplněné o nominální (6000 ot/min) a o maximální (10 000 ot/min) otáčky motoru. V dalším bodě je nutné přesně definovat encoder (Sinamics S120 encoder1 drive1) a opět také komunikační telegram 105. U enkodéru je důležitým parametrem také typ enkodéru (Incremental), endocer mód (Resolver) a měřící systém (rotační enkodérový systém). V posledním bodě nastavení osy definujeme v tomto případě inkrementální encoder. Počet pólových párů (3 tzn. 6 polí) a rozlišení (2048). Pro obě osy se musí také přidat Path object, do kterého musíme přidat obě osy, které se pak mohou pohybovat v bodové interpolaci. Pro přesnou interpolaci definujeme mechaniku převodu v tomto případě je zvolen převod 1:1 a posun 10 mm na otáčku. Osám lze také přiřadit softwarové či hardwarové limity. Hardwarové limity jsou dány externími čidly připojené na vstup řídicí jednotky. Těmto limitám přiřadíme pouze adresy vstupů čidel, které byly připojeny k řídicí jednotce. V tomto případě byly použity softwarové limity, kterých se nastaví pouze koncové vzdálenosti od referenčního bodu a po té jsou hned aktivní (lze měnit pomocí příkazu swlimit.state).

Pro obě nadefinované osy musíme vytvořit Path object, který umožní synchronní pohyb obou os po určené trajektorii. Tímto zadáním os a zahrnutých v Path object se může nyní využívat příkazů z Path interpolation (dráhová interpolace).

Do programu se musí také zahrnout globální proměnné, kterými zadáváme rychlost posunu, či softwarově spouštíme jednotlivé procesy programu (s náběžnou hranou r\_trig). Hodnoty těchto všech proměnných se nastaví v podprogramu inicializace, kde se při startu programu automaticky nastaví do výchozího stavu. Tyto hodnoty se pak mohou kdykoliv v běhu programu nastavovat a měnit.

## 4.1 Homing

Jedná se o systém navádění os, při kterém jsou osy navedeny do určené výchozí polohy. Tímto systémem se nejen určí výchozí poloha, ale také se sjednotí souřadnice os, kdy souřadnice os řízeného systému musí mít stejné souřadnice jako reálný fyzický systém.

Pro náš případ s inkrementálním enkodérem je synchronizace prováděna při navádění do výchozí pozice souřadnic nebo do výchozí pozice koordinované s výchozí pozicí. Tyto získané hodnoty budou uvedeny v aktivní při dosažení definované pozice aktivní osy. Tato definice mechanické polohy osy se signalizuje řadiči přes nulu měřicího systému nebo přes nulovou vstupní externí hodnotu. Pro inkrementální enkoder. Pokud se chce vytvořit přímý odkaz na pozici, musí se synchronizovat skutečné hodnoty os systému po každé aktivaci.

V mém případě je použit Active Homing. Je to zvláštní pohyb pojezdu pro tento typ homingu. Tento typ homingu má různé typy navádění, v tomto mém případě využijeme navádění pomocí externí nuly. Externí nula znamená, že je do řídicí jednotky zaslán signál z externího čidla a proces je řízen pomocí nulového signálu (koncový indukční spínač).

Natavení Homingu pro zvolené osy. Pomocí homing mode zaktivujeme homing a zvolíme již zmíněný typ navádění externí nulou (external Zero mark only). V signálovém přechodu se zadá přechod hodnot z vyšší na nižší doleva (high -> low left). Po té se nastaví procedura startu a následného řízení vlevo, které je dané polohou polohového čidla (zero mark side). Nyní ještě zbývá zadat adresu externího čidla danou připojením k řídicí jednotce (adresa 64 pro osu Axis\_X->bit 0 a Axis\_Y->bit 1). Dále se mohou nastavit rychlosti os, touto rychlostí se budou osy vracet do výchozí polohy. Při volání homingu se nesmí zapomenout na deaktivování softwarových limit os (axis\_x.swlimit.state:=inactive; a axis\_y.swlimit.state:=inactive;) v případě aktivních softwarových limit se příkaz homing neprovede. Struktura příkazu Homing:

```
axis_y.swlimit.state:=inactive;           {deaktivace software limit}

retval :=

    _homing(
        axis := Axis_Y                       {volená osa}
        ,homingmode := ACTIVE_HOMING{mód homingu}
```

```

,homepositiontype := direkt           {typ polohování}
,homeposition := -0.5
,velocitytype := USER_DEFAULT
,velocity := 100.0
// ,positiveaccltype := USER_DEFAULT {další nastavení chování}
// ,positiveaccl := 100.0             akcelerace, jerk, rychlostí}

```

## 4.2 Fixed and stop

Funkce Fixed and stop je obdobnou náhradou za funkci homing, kterou je také možné využít pro momentové utahování. Při aktivování funkce se sleduje točivý moment. Když je nastavený moment překročen, řídicí jednotka ho vyhodnotí a dalšímu pohybu zabrání. V mém případě tato funkce zastane funkci homingu, kdy při nastavení pohybu k počátku osy. Jakmile osa narazí na začátek (na doraz) překročí se na stanovený točivý moment a jednotka se zastaví. Poté se jen zadá, že aktuální poloha osy je výchozí. Struktura povolovacího příkazu pro Fixed and stop:

```

retval:=
  _enablemovingtoendstop(
    axis := Axis_x           {určení osy}
    ,clampingvaluetype := direkt   {typ zadávání hodnoty momentu}
    ,clampingvalue := 0.10       {hodnoty momentu}
    ,torquelimitunit := torque);  {limitní hodnota}

```

## 4.3 Lineární interpolace

Po uvolnění os se může osa začít bez omezení využívat. Lineární posun je zprostředkován pomocí příkazu movepathlinear. V případě zvolení tohoto příkazu lineární interpolace dosáhne se cílového bodu po přímce. Ukázka složení příkazu:

```

IF RT_pathkoso.q THEN           {spuštění na náběžnou hranu signálu}
  RetVal :=
    _movepathlinear(
      pathobject := Path_object_1 {zadání path objektu}
      ,pathplane := x_y           {výběr 2D souřadného systému}

```

```

,pathname := relative      {výběr módu pohyb absolutně či relativně}
,x := 60.0                 {zadání vzdáleností x a y}
,y := 60.0
//,z := 0.0                {z - souřadnice nezadána použita v 3D}
,velocity := rychlost_path {zadání rychlosti pohybu v mm/s}
,mergemode := SEQUENTIAL {sekvenční průběh příkazů}
,nextcommand := AT_MOTION_START); {začátek další interpolace}

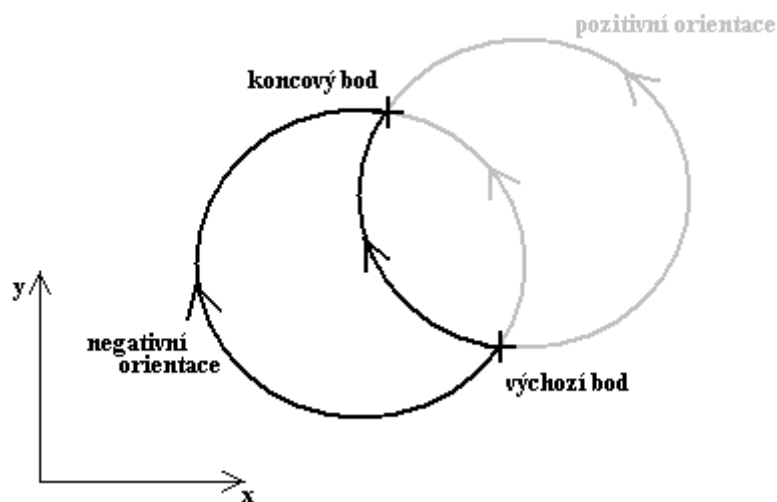
```

#### 4.4 Interpolace kruhové dráhy

V případě kruhové interpolace je dráha mezi počátečním a koncovým bodem kruhová. Dráha interpolace je aktivovaná příkazem `_movePathCircular ()`. Tento příkaz má tři typy nastavení podle kruhových parametrů:

a) Kruhová interpolace v hlavní rovině s poloměrem, koncový bod, a orientace

Styčnými parametry pro zadávání tohoto typu kruhové interpolace je poloměr (radius), koncový bod a orientace otáčení. Nejprve v příkazu `_movePathCircular ()` je nutné nastavit parametr `circularType:=WITH_RADIUS_AND_ENDPOSITION`, který dovolí vykonávat tento druh kruhové interpolace. Kruhová dráha je daná od aktuální pozice ke koncovému v určeném poloměru a uvedené orientaci (pohyb v kladném nebo záporném směru otáčení). Koncový bod je zadán parametry x, y a z. Průběh interpolace naznačen na Obr 10.



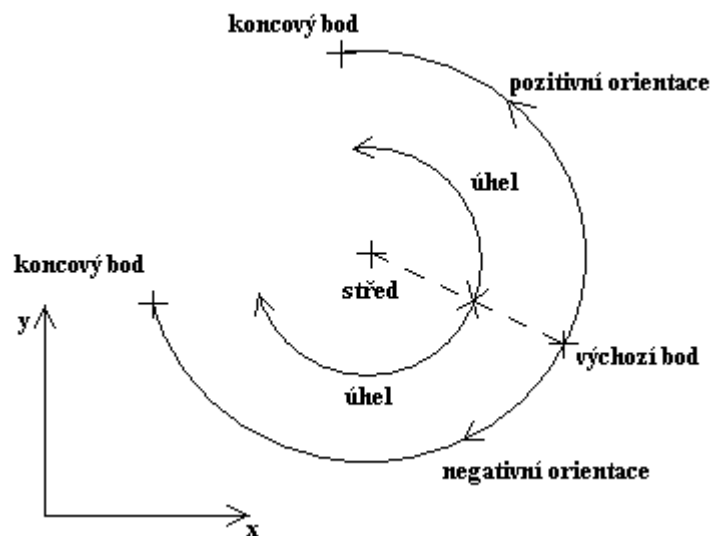
Obr 10. Kruhová interpolace dána poloměrem, koncovým bodem a orientací [3]

Ukázka složení příkazu:

```
retval :=  
_movepathcircular(  
pathobject := Path_object  
,pathplane := x_y  
,circulartype := WITH_RADIUS_AND_ENDPOSITION  
,circledirection := NEGATIVE  
,pathmode := RELATIVE  
,x := 20.0  
,y := 20.0  
,radius:=SQRT(200.0)/2.0);
```

#### b) Kruhová interpolace v hlavní rovině se středem a úhlem

Pro tento typ kruhové interpolaci je charakteristické zadání v hlavní rovině od aktuální pozice se zadáním středu a úhlu. Zde je nutné v příkazu `_movePathCircular()` nastavit `circularType:=BY_CENTER_AND_ARC`. Dále se zadá střed kruhu a kruhová orientace (vykružování vpravo nebo vlevo). Střed Kružnice definují `i,j,k` parametry. V `ijkMode` lze nastavit, zda budou souřadnice středu kruhu brány absolutně či relativně k výchozímu bodu nebo podle stavení `PathMode`. Chování příkazu naznačeno na Obr 11.



Obr 11. Kruhová interpolace daná středem, koncovým bodem a úhlem [3]

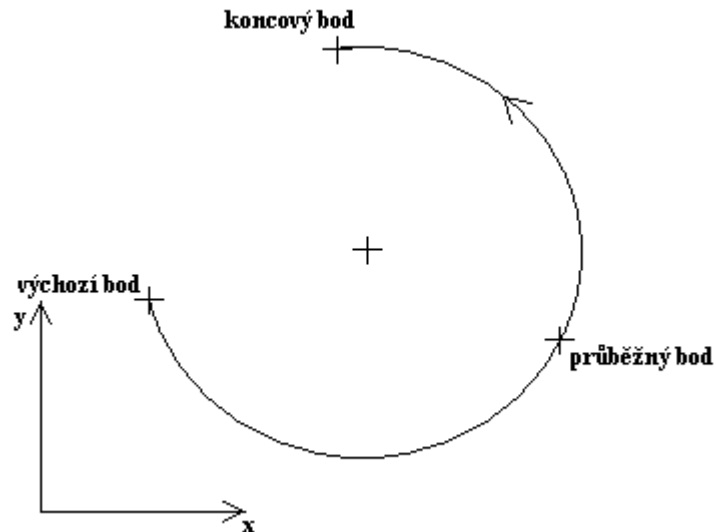
Ukázka složení příkazu:

```
retval :=  
  _movepathcircular(  
    pathobject := Path_object  
    ,pathplane := x_y  
    ,circulartype := BY_CENTER_AND_ARC  
    ,circledirection := NEGATIVE  
    ,ijkmode := ABSOLUTE  
    ,i := -10.0  
    ,j := 0.0  
    ,arc := 90.0 );
```

### c) Kruhová interpolace se středem a koncovými

Tento typ kruhové interpolace se vyznačuje pevně danými parametry středem a koncovým bodem. V příkazu `_movePathCircular` je nutné v podpříkazu `circularType`: `=OVER_POSITION_TO_ENDPOSITION`, aby se docílilo tohoto typu interpolace. Koncový bod je definován souřadnicemi  $x, y, z$  a mezilehlý bod souřadnicemi  $i, j, k$ . Podle parametru `ijkMode` určíme absolutní nebo relativní posunu k počátečnímu či koncovému bodu, který je nastaven parametrem `pathMode`. Tato kruhová interpolace znázorněna na Obr 12.





Obr 12. Kruhová interpolace se středem a koncovými body [3]

Ukázka složení příkazu:

```
retval :=
  _movepathcircular(
    pathobject := path_object
    ,pathplane := X_Y_Z
    ,circulartype := OVER_POSITION_TO_ENDPOSITION
    ,pathmode := RELATIVE
    ,x:=5.0
    , y:=4.0
    ,z:=3.0
    ,ijkmode := RELATIVE
    ,i:=5.0
    , j:=5.0
    ,k:=5.0 );
```

## 5 Nastavení a vykreslování os

V prostředí Simotion Scout je možnost širokého nastavení parametrů. Zde se vlastně nedefinuje jednotka řízení pohybu Simotion a servomotory se svými nastaveními na konstrukci manipulátoru.

Prvním z prvků regulace před prvním spuštěním je nutné nastavit parametry os na parametry servomotorů. Jde především o natavení točivého, kdy servomotory mají větší točivý moment nežli válečkové spojky a lineární jednotky. Proto je nutné omezit v driveru motory (osy) v parametru Torque limit zadat změnit omezení z 3,68 Nm na maximum lineárních jednotek 0,5 Nm. Přednastavení se musí provést u obou servomotorů (os).

Dalším omezením pro osy je nastavení softwarových limit os. Ty hlídají, aby nebyly překročeny koncové body lineárních jednotek pohonů. Nedojde k překročení mezí a tím se zamezí jakémukoliv poškození lineárního pohonu. U obou os v záložce Limits a panelu Position and velocity, kde jsou zahrnuty Software switch limit, se nadefinují parametry zdvihů lineárních pohonů (osa Axis\_X zdvih 600 mm a osa Axis\_Y 1000 mm).

Pro přenesení rotačního pohybu na posuvný se pro přesný chod musí nadefinovat parametr posunu na jednu otáčku servomotoru. Tento prvek os se nastaví v záložce Mechanics, kde se definují parametry převodu nebo již zmíněného posunu lineární jednotky. Pro obě osy je zvolen převod 1:1 a dle parametrů os nastaven posun 10 mm/ot.

## 5.1 Regulace os

Důvodem regulace a přednastavení regulátorů je dostat z os co nejlepší jejich možné parametry, aby navádění os do bodů nebo po křivkách bylo plynulé a přesné. Regulaci rychlosti a proudu se nastaví v parametrech Simatic S120, ale regulace polohy se nastavuje v parametrech os v Simotion C240. Regulátory se budou seřizovat pomocí experimentální metody, kde bude snaha o totožné seřízení obou os.

### 5.1.1 Nastavení regulace Axis\_X

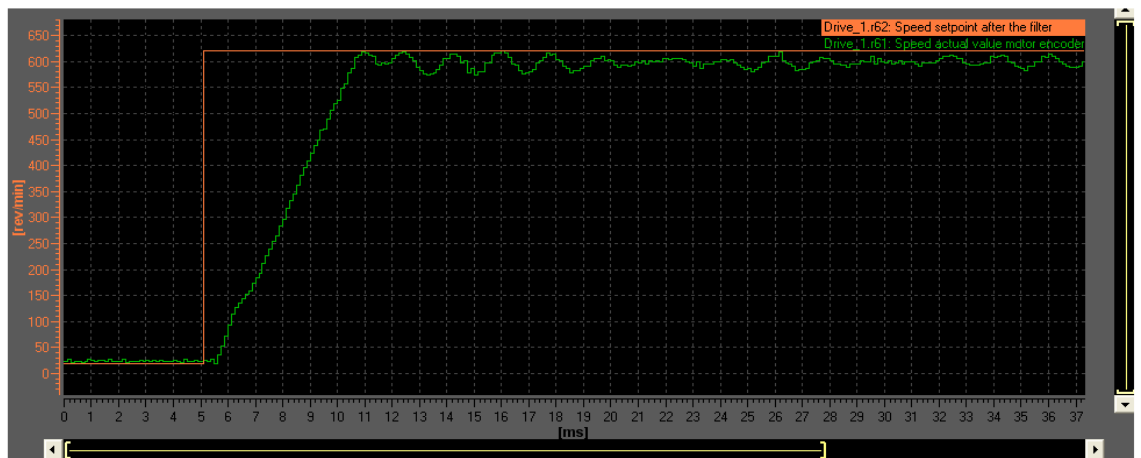
V případě osy, vzhledem k tomu že nemá žádné zatížení, může snadno dojít ke kmitavým výchylkám a následně k rezonanci. Při nastavování rychlostního regulátoru (Speed controller) se postupně zvyšovala hodnota proporcionální ho zesílení, až vznikly kmitavé složky. Poté se proporcionální zesílení opět snížilo na největší přípustnou hodnotu ( $K_p=0,07$  Nms/rad) před dosažením kmitavých složek, tím je docíleno co nejvyšší dynamiky. Integroční složka regulátoru byla ponechána.

Přenos rychlostního regulátoru:  $F_S = 0,07 \frac{1 + 0,01s}{0,01s}$ . Proudový regulátor se nastavuje

v parametru Current controller, kde byla upravena pouze integrační složka na 1 ms pro zlepšení plynulosti regulace. Přenos proudového regulátoru:

$$F_S = 28,472 \frac{1 + 0,001s}{0,001s}$$

. Nastavení polohového regulátoru se zadává v panelu Closed – loop control, kde pro regulaci polohového regulátoru byla zadána proporcionální složka P 10 1/s. Zde se použila dopředná vazba tzv.Feedforward, v nastavení jemného interpolátoru výběrem položky konstantní akcelerace interpolace. Pro ošetření dynamiky servomotoru bylo využito funkce DSC. Přechodová charakteristika celé soustavy na Grafu 1.



Graf 1. Přechodová charakteristika Axis\_X

### 5.1.2 Nastavení regulace Axis\_Y

Osa Y je zatížena osou X, proto při stejném postupu nastavování hodnot rychlostního regulátoru se zatížení projevilo. Proporcionální složku (budící) je možné nastavit větší díky zatížení osou X, ale i přes větší hodnotu proporcionální složky zesílení nedocílí dynamiky jako osa X. Dosáhlo se tedy proporcionálního zesílení

o 0,005 vyššího než u osy X. Přenos rychlostní regulace:  $F_S = 0,075 \frac{1 + 0,01s}{0,01s}$

Proudový regulátor je nastaven stejně jako u osy X, tedy v parametru Current controller.

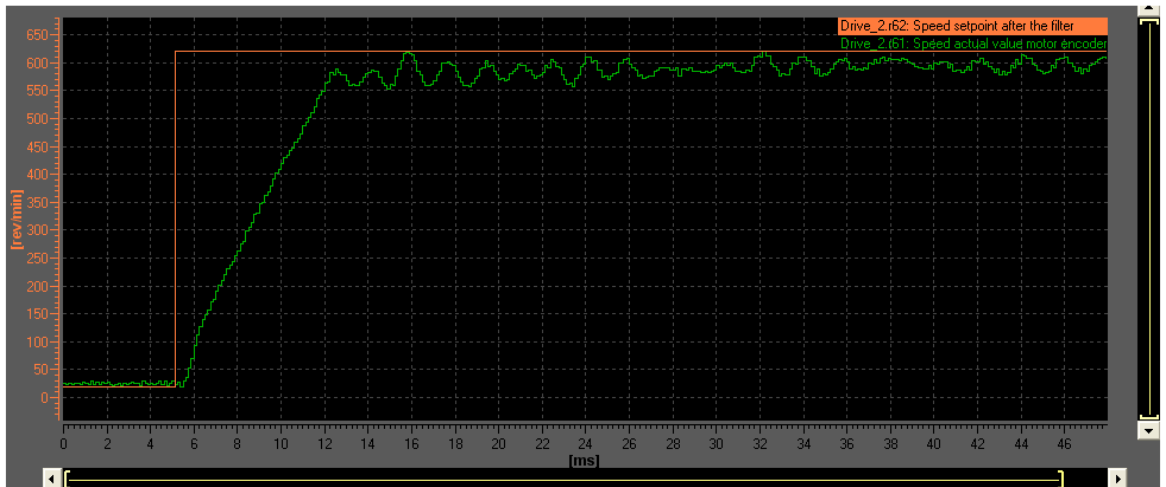
$$F_S = 28,472 \frac{1 + 0,001s}{0,001s}$$

Kde je přenos regulátoru:

. Pro nastavení

polohového regulátoru osy Y platí stejné parametry jako pro osu X v záložce Closed – loop controlse, kde se zadá proporcionální složka regulátoru složka P 10 1/s. Dále se opět zaktivuje dopředná vazba tzv.Feedforward na konstantní akceleraci interpolace a

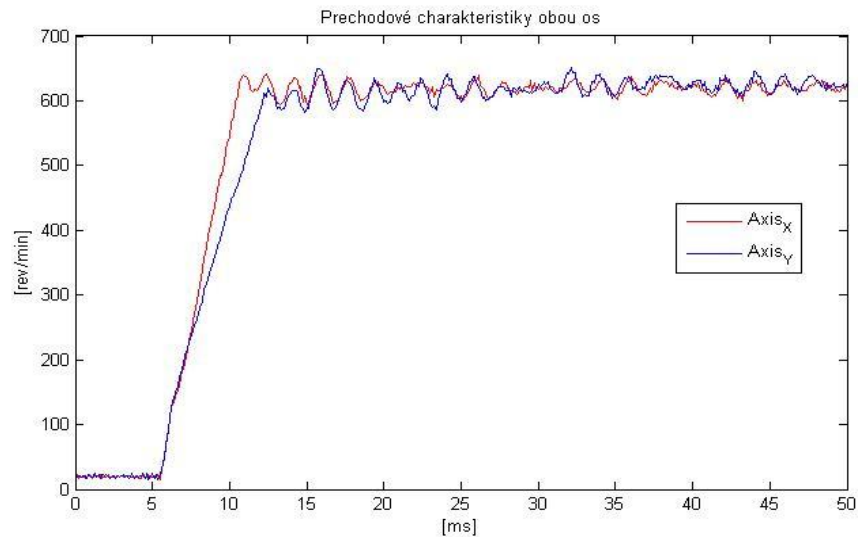
nesmí se zapomenout také na zapnutí DSC, které sleduje dynamiku servomotoru. Průběh celé soustavy na Grafu 2.



Graf 2. Přechodová charakteristika Axis\_Y

### 5.1.3 Srovnání obou přechodových charakteristik

Pro srovnání dynamik os jsou začleněny obě charakteristiky do následujícího Grafu 3.



Graf 3. Porovnání přechodových charakteristik rychlostních smyček X a Y osy

Předpokladem bylo docílit shodných parametrů obou os. Z grafu je patné, že osa Axis\_X má rychlejší náběh na stanovenou úroveň, proto je tato osa nepatrně dynamičtější. Je to dáno tím, že není zatížena jako osa Axis\_Y, která manipuluje s osou X. Osa Y je zatížena nejen lineárním pohonem osy X, ale také v konstrukci zmíněnou ocelovou výztuhou, na kterou je lineární pohon osy X upevněn. I přes tyto negativní

parametry se u přechodových charakteristik podařilo nejlepší sladění obou os s optimální dynamikou. Drobné kmitání okolo žádané hodnoty je dáno vnějšími vlivy, jako jsou elektrická rušení či vibrace mechanismu.

## 5.2 Vykreslování obrazců

Vykreslování pomocí Path interpolation (dráhová interpolace), která již byla zmíněna v programové části, by měla být pro řízení pohonů naprosto přesná bez jakýchkoliv výchylek. Pro ověření byly zvoleny dva útvary kosočtverec a kružnice, na kterých se ověří, zda dráhy obrazců se při opakovaném vykreslování a při změně rychlostí vykreslování zůstanou totožné.

### 5.2.1 Test linearity

Test linearity vykreslil kosočtverec, tento obrazec je možné vykreslit pomocí lineární interpolace. Zde byl použit příkaz `_movepathlinear`, který je schopen lineárního pohybu mezi dvěma body (vykreslí úsečku).

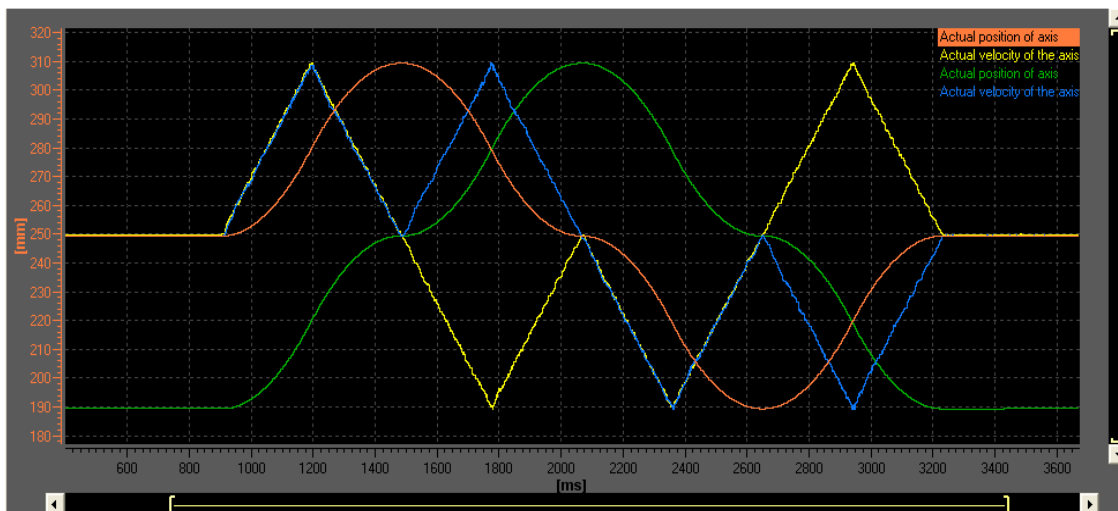
Program pro vykreslení kosočtverce:

```
IF RT_pathkoso.q THEN
  RetVal :=
    _movepathlinear(
      pathobject := Path_object_1
      ,pathplane := x_y
      ,pathmode := relative
      ,x := 60.0
      ,y := 60.0
      ,velocitytype := USER_DEFAULT
      ,velocity := rychlost_path
      ,mergemode := SEQUENTIAL
      ,nextcommand := AT_MOTION_START
    );
```

Tento příkaz se dále ještě třikrát opakuje, pouze se mění kladné či záporné znaménko parametrů x a y.

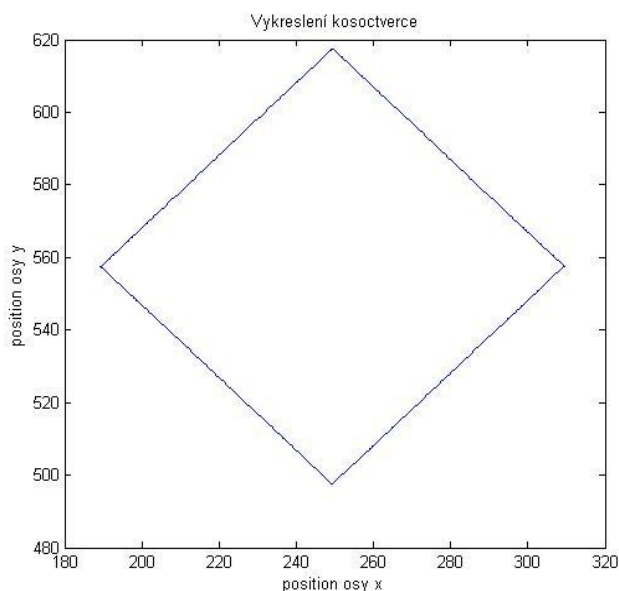
Při spuštění toho podprogramu začne kartézská soustava pracovat a vykreslí se obrazec. Ze Simotion Scout získáme Graf 4., kde oranžová a zelená křivka

znázorňují pozici Axis\_X, Axis\_Y. Žlutá a modrá barva obsahuje průběh rychlostí obou os.



**Graf 4. Kosočtverec - aktuální pozice a rychlost os**

Z Grafu 4. pozorujeme, že všechny křivky jsou plynulé a bez omezení či deformací. Proto by měl být vyobrazený kosočtverec přesný bez jakýchkoliv nepříznivých výchylek. Složení obou polohových křivek získáme zadaný vykreslený obrazec Graf 5.



**Graf 5. Kosočtverec - závislost polohových křivek**

Nyní je patrné z Grafu 5., že obraz kosočtverce je vykreslen naprosto přesně bez jakýchkoliv nýjancí. Tento obrazec byl vykreslen rychlostí 100 mm/s, ale i po

opětovném vykreslení rychlostí 1000 mm/s byla data naprosto stejná a obraz kosočtverce se pouze překreslil.

### 5.2.2 Test kruhovitosti

Pro vykreslování testu kruhovitosti byla zvolena circular interpolace (kruhová interpolace). Kruhová interpolace je zastoupena příkazem `movePathCircular`, u kterého byl zvolen již zmíněný parametr `circulartype := BY_CENTER_AND_ARC`. Ten zajišťuje kruhovou interpolaci danou středem, koncovým bodem a úhlem.

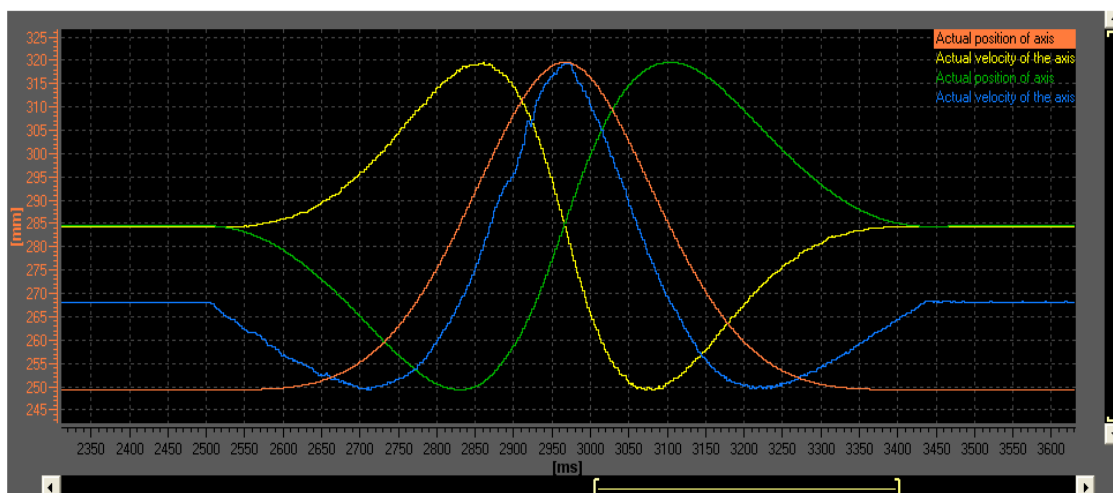
Pomocí takto definovaného příkazu v podprogramu, jsme schopni vykreslit kružnici:

```
IF RT_path1.q THEN
```

```
  retval :=
```

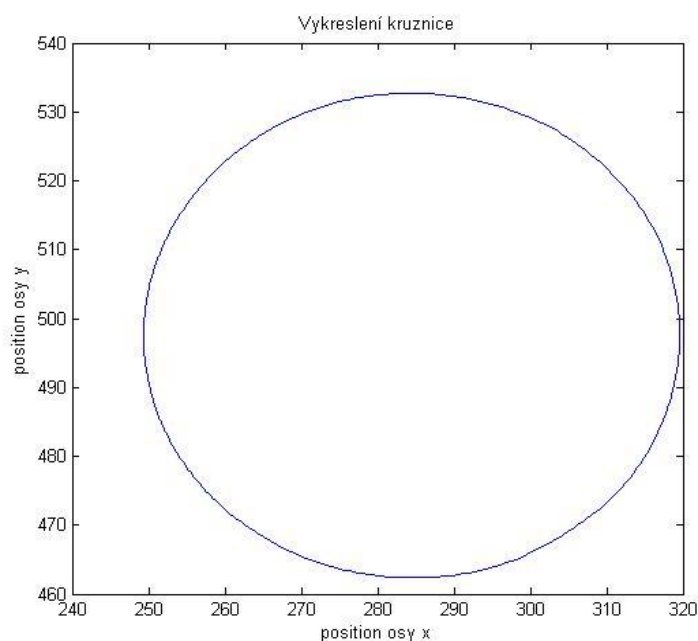
```
    _movepathcircular(  
      pathobject := path_object_1  
      ,pathplane := X_Y  
      ,circulartype := BY_CENTER_AND_ARC  
      ,circledirection := POSITIVE  
      ,pathmode := USER_DEFAULT  
      // ,x := 0.0  
      // ,y := 0.0  
      // ,z := 0.0  
      ,ijkmode := relative  
      ,i := 35.0  
      ,j := 0.0  
      // ,k := 0.0  
      ,arc := 360.0  
      ,velocitytype := USER_DEFAULT  
      ,velocity := rychlost_path);
```

Při spuštění toho podprogramu začne kartézská soustava pracovat. Pomocí Simotion Scout se vykreslí následující Graf 6., ve kterém jsou znázorněny aktuální pozice a rychlosti obou os. Pozici znázorňují oranžová a zelená křivka (pro Axis\_X, Axis\_Y). Průběhy rychlostí obou os zobrazuje žlutá a zelená křivka.



**Graf 6. Kružnice- aktuální pozice a rychlost os**

Z Grafu 6. je vidět, že jsou opět všechny křivky bez náznaku omezení a deformace. Tudíž by kružnice neměla být nijak deformovaná či narušená. Při složení obou polohových křivek by měla vzniknout kružnice (složením křivky sinu a kosinu vzniká kružnice). Vznik kružnice vykreslen v Grafu 7.



**Graf 7. Kružnice - závislost polohových křivek**

Zde v grafu 7. závislosti polohových křivek je vidět, že se kružnice vykreslila zcela přesně dle zadaných rozměrů a nedeformovaná. Kružnice i přes změny v rychlosti provedené jako u kosočtverce nezaznamenala žádné rozdíly ve tvaru, rozměrech či pozici.



## **Závěr**

Cílem této bakalářské práce bylo vytvořit kartézský manipulátor, řízený pomocí průmyslových jednotek řízení pohybu firmy Siemens (Simotion C240 a Simatics S120). Konstrukce manipulátoru byla zhotovena z hliníkových profilů, které byly osazeny lineárními jednotkami se synchronními servomotory.

Při sestavování manipulátoru docházelo ke konstrukčním problémům, které museli být urychleně řešeny, aby se mohlo úspěšně pokračovat a dokončit tuto bakalářskou práci. Jedním z největších konstrukčních problémů byly atypické příruby mezi lineární jednotky a servomotory. To především u lineární jednotky Festo, kde nastal problém s vyosením kotvících děr. Všechny tyto konstrukční problémy byly úspěšně vyřešeny a konstrukce splňuje požadované statické parametry.

Poté proběhlo seznámení s programovacím prostředím Simotion Scout, kde byla využita dráhová interpolace (path interpolation). V programu byly využity pro polohování do výchozí polohy příkazy Homing (za pomoci indukčních snímačů) a Fixed and Stop, kterým asistovali pro vymezení dráhy Software switch limits. Obrazce vykreslovaly příkazy Linear path, Circular path.

Dalším úkolem bylo nastavit regulátory experimentální metodou a prověřit všechny nastavení funkce path interpolatio, to vše za pomoci jejich příkazů. Posléze ověřit správnost vykreslení drah při různých rychlostech. Po vykreslení testů linearity a kruhovitosti drah se došlo k závěru, že obrazce při vykreslení nejsou deformovány či polohově posunuty a to jak při minimálních tak i maximálních rychlostech. Nakreslený obrazec se vždy překrýval bez jakýchkoliv nepříznivých výchylek. To je důkaz, že regulátory os byly dobře seřizeny a pohony optimálně sladěny. U pohonů nedocházelo k nežádaným překmitům nebo náznakům rozkmitání.

Výsledný program a výkresová dokumentace přírub jsou přiložené na CD.

## Literatura

- [1] **Souček P.: Servomechanismy ve výrobních strojích**, Vydavatelství ČVUT Praha, Praha, 2004, ISBN 80-01-02902-6. [cit 16.5. 2011]
- [2] **SIMOTION - Motion Control TO Axis Electric / Hydraulic, External Encoder**, Function Manual, Edition 03/2007, Siemens AG 2007. [cit 17.5. 2011]
- [3] **SIMOTION - Motion Control Technology Object Path Interpolation**, Function Manual, Edition 05/2007, Siemens AG 2007.
- [4] **Habercom ulmer – profily item Datasheet online** 12.4.2011  
[http://www.haberkorn.cz/files/file/system-hlinikovych-profilu/ke-stazeni/MB7\\_CZ.pdf](http://www.haberkorn.cz/files/file/system-hlinikovych-profilu/ke-stazeni/MB7_CZ.pdf) [cit 17.5. 2011]
- [5] **Festo – lineární pohony Datasheet online** 12.4.2011  
[http://www.festo.com/cat/cs\\_cz/data/doc\\_cs/PDF/CZ/DGE-SP\\_CZ.PDF](http://www.festo.com/cat/cs_cz/data/doc_cs/PDF/CZ/DGE-SP_CZ.PDF)  
[cit 10.5. 2011]
- [6] **Siemens – servomotory Datasheet online** 12.4.2011  
[http://cache.automation.siemens.com/dnl/zM1OTQzAAAA\\_28683106\\_HB/PFK7S\\_1206\\_en.pdf](http://cache.automation.siemens.com/dnl/zM1OTQzAAAA_28683106_HB/PFK7S_1206_en.pdf)
- [7] **THK – pohony KR3310A Datasheet online** 12.4.2011  
[https://tech.thk.com/en/products/pdf/en\\_a2\\_002.pdf#1](https://tech.thk.com/en/products/pdf/en_a2_002.pdf#1)
- [8] **Rydlo P.: Řízení elektrických střídavých pohonů**. Skriptum, FM TUL, 2007, ISBN 978-80-7372-223-4.
- [9] **HSR – lineární vedení datasheet** 16.5. 2011

## Příloha na CD

- [1] Strojní výkres: Příruha servomotor, lineární jednotka THK
- [2] Strojní výkres: Příruha servomotor, lineární jednotka Festo
- [3] Program s využitím Homing
- [4] Program s využitím Fixed end Stop