



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI  
Fakulta mechatroniky, informatiky  
a mezioborových studií ■

# Ovládání kartézského manipulátoru prostřednictvím PLC

## Bakalářská práce

*Studijní program:* B2612 – Elektrotechnika a informatika  
*Studijní obor:* 2612R011 – Elektronické informační a řídicí systémy  
*Autor práce:* **Lukáš Trepera**  
*Vedoucí práce:* Ing. David Lindr Ph.D.  
*Konzultant:* Ing. Martin Diblík Ph.D.





TECHNICAL UNIVERSITY OF LIBEREC  
Faculty of Mechatronics, Informatics  
and Interdisciplinary Studies ■

# Motion control of the cartesian manipulator via PLC

## Bachelor thesis

*Study programme:* B2612 – Electrotechnology and informatics  
*Study branch:* 2612R011 – Electronic Information and Control Systems  
*Author:* **Lukáš Trepera**  
*Supervisor:* Ing. David Lindr Ph.D.  
*Consultant:* Ing. Martin Diblík Ph.D.



## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Lukáš Trepera**  
Osobní číslo: **M15000121**  
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**  
Studijní obor: **Elektronické informační a řídicí systémy**  
Název tématu: **Ovládání kartézského manipulátoru prostřednictvím PLC**  
Zadávací katedra: **Ústav mechatroniky a technické informatiky**

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

1. Seznamte se s principem programování PLC S7-1200 v prostředí TIA Portal a elektrických servopohonů Sinamics v prostředí Starter a Startdrive.
2. Vytvořte funkční bloky PLC pro přímé ovládání měniče v polohové vazbě a otestujte je na reálných servopohonech laboratorního standu.
3. Aplikujte tyto bloky při vývoji pokročilejších funkčních bloků určených k ovládání dvouosého kartézského manipulátoru. Dále vytvořte jednoduchý program, na kterém budete demonstrovat jejich funkčnost.
4. Vytvořte aplikaci na HMI panelu pro ovládání automatického a manuálního režimu kartézského manipulátoru.
5. Vypracujte závěrečnou textovou dokumentaci, zhodnoťte výsledky vaší práce a do elektronických příloh uveďte mimo jiné i zdrojové kódy vytvořených programů.

Rozsah grafických prací: **dle potřeby dokumentace**

Rozsah pracovní zprávy: **30–40 stran**

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

- [1] **Rydlo P.: Řízení elektrických střídavých pohonů. Skriptum, FM TUL, 2007, ISBN 978-80-7372-223-4.**
- [2] **Craig J.: Introduction to Robotics Mechanics and Control, Third Edition, Prentice Hall, 2005.**

Vedoucí bakalářské práce:

**Ing. David Lindr, Ph.D.**

Ústav mechatroniky a technické informatiky

Konzultant bakalářské práce:

**Ing. Martin Diblík, Ph.D.**

Ústav mechatroniky a technické informatiky

Datum zadání bakalářské práce: **10. října 2017**

Termín odevzdání bakalářské práce: **14. května 2018**

prof. Ing. Zdeněk Pliva, Ph.D.  
děkan



*Kolář*  
doc. Ing. Milan Kolář, CSc.  
vedoucí ústavu

V Liberci dne 10. října 2017

## Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou 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 samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum: 13.5.2018

Podpis: 

## Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá principy ovládání synchronních servomotorů skrze programovatelným automatem řízený frekvenční měnič, konkrétně pak ovládáním dvouosého kartézského manipulátoru. Manipulátor je možné ovládat pomocí aplikace na HMI panelu, a to buď v manuálním režimu, který umožňuje libovolný pohyb v obou osách, nebo v automatickém režimu, jenž slouží k provedení pohybu po definované dráze. Celá úloha je řešena v programovém prostředí softwaru TIA Portal a STARTER od firmy Siemens a zpracovávána hardwarovými zařízeními od stejného výrobce. V práci se dále detailněji rozebírá problematika a principy řízení pohonů pomocí frekvenčních měničů, činnost a konstrukce programovatelných automatů a synchronní motory samotné.

### Klíčová slova:

PLC, frekvenční měnič, HMI, servo, kartézský manipulátor

## Abstract

This bachelor thesis deals with principles of controlling of synchronous servomotors via a programmable logic controller controlled frequency converter, namely by controlling a two-axis Cartesian manipulator. The manipulator can be controlled via an application on the HMI panel, either in manual mode, which allows any movement in both axes, or in automatic mode to perform motion on a defined path. The whole task is solved in the software environment of TIA Portal and STARTER from Siemens and handled by hardware devices from the same manufacturer. The thesis deals with the problems and principles of drives control using frequency converters, operation and construction of programmable logic controller and synchronous motors themselves.

### Key words:

PLC, Variable frequency drive, HMI, servo, Cartesian manipulator

## Poděkování

Tímto bych rád poděkoval svému vedoucímu práce Ing. Davidu Lindrovi za podnětné rady a konzultace při řešení a zpracování této práce.

# Obsah

Seznam obrázků . . . . .	10
Seznam zkratek . . . . .	11
<b>1 Úvod</b>	<b>12</b>
<b>2 Frekvenční měnič</b>	<b>13</b>
2.1 Rozdělení frekvenčních měničů . . . . .	13
2.1.1 Přímé měniče . . . . .	13
2.1.2 Nepřímé měniče . . . . .	14
2.2 Konstrukce napětového měniče . . . . .	15
2.3 Způsoby řízení frekvenčním měničem . . . . .	16
2.3.1 Skalární řízení . . . . .	16
2.3.2 Vektorové řízení . . . . .	17
2.3.3 Přímé řízení momentu . . . . .	17
2.4 SINAMICS S120 . . . . .	18
<b>3 Programovatelný logický automat</b>	<b>20</b>
3.1 Provedení PLC . . . . .	20
3.2 Cyklické zpracování programu . . . . .	21
3.2.1 Cyklus s přerušením . . . . .	21
3.3 SIMATIC S7-1200 . . . . .	22
<b>4 Kartézský manipulátor</b>	<b>24</b>
<b>5 HMI</b>	<b>25</b>
5.1 HMI panely . . . . .	25
<b>6 Synchronní motor</b>	<b>27</b>
6.1 Synchronní motor s permanentními magnety . . . . .	27
6.2 Princip činnosti . . . . .	28
6.3 Momentová charakteristika . . . . .	29
6.4 Řízení synchronního motoru . . . . .	29
<b>7 STARTER</b>	<b>30</b>
<b>8 TIA Portal</b>	<b>31</b>
8.1 Programovací jazyky . . . . .	31



<b>9</b>	<b>Tvorba programu</b>	<b>33</b>
9.1	Ovládání kartézského manipulátoru . . . . .	36
9.2	HMI aplikace . . . . .	37
<b>10</b>	<b>Závěr</b>	<b>40</b>
	<b>Literatura</b>	<b>41</b>
	<b>Přílohy</b>	<b>43</b>
<b>A</b>	<b>Obsah CD</b>	<b>43</b>

## Seznam obrázků

2.1	a) Cyklokonvertorový měnič b) Maticový měnič [3]	14
2.2	Blokové schéma nepřímého měniče [5]	14
2.3	Schéma funkce frekvenčního měniče [6]	15
2.4	Momentové charakteristiky při skalárním řízení [9]	17
2.5	SINAMICS S120 [10]	18
3.1	Struktura programovatelného automatu [12]	20
3.2	Základní cyklus PLC [11]	22
3.3	SIMATIC S7-1200 [13]	23
4.1	Dvouosý kartézský manipulátor	24
5.1	HMI panel KTP 700 Basic [20]	25
6.1	Konstrukce synchronního servomotoru s permanentními magnety [16]	28
6.2	Momentová charakteristika synchronního motoru [18]	29
8.1	Jazyk LAD [14]	32
8.2	Jazyk FBD [14]	32
8.3	Jazyk SCL [14]	32
9.1	Vývojový diagram active line modulu [21]	34
9.2	Vývojový diagram pohonu [21]	35
9.3	Znázornění os manipulátoru	37
9.4	Úvodní obrazovka	38
9.5	Obrazovka manuálního režimu	38
9.6	Obrazovka automatického režimu	39

## Seznam zkratek

<b>TUL</b>	Technická univerzita v Liberci
<b>PLC</b>	Programmable logic controller (Programovatelný automat)
<b>HMI</b>	Human Machine Interface (rozhraní mezi člověkem a zařízením)
<b>ip</b>	Internet Protocol (identifikační síťové rozhraní)
<b>PWM</b>	Pulse Width Modulation (pulsně šířková modulace)
<b>CPU</b>	central procesor unit (centrální procesorová jednotka)
<b>SCADA</b>	Supervisory Control And Data Acquisition (dispečerské řízení a sběr dat)
<b>IGBT</b>	Insulated Gate Bipolar Transistor (Bipolární tranzistor s izolovaným hradlem)
<b>GTO</b>	gate turn off (vypínaný hradlem)
<b>PI</b>	proporcionálněintegrační
<b>PE</b>	protective earth (ochranný vodič)
<b>TTT</b>	translační pohyb ve třech směrech
<b>LED</b>	Light-Emitting Diod (světelná dioda)
<b>LCD</b>	liquid crystal display (displej z tekutých krystalů)
<b>LAD</b>	ladder diagram (kontaktní schéma)
<b>FBD</b>	function block diagram (schéma funkčních bloků)
<b>SCL</b>	structured control language (strukturovaný jazyk)
<b>LU</b>	logic unit (nastavitelná jednotka)

# 1 Úvod

V dnešním průmyslovém světě se logické řízení a automatizace neobejde bez vhodných řídicích systémů a kvalitních akčních členů. Automatizace průmyslu pomohla zefektivnit, a především zlevnit výrobní procesy při zvyšující se kvalitě. Rozvoj elektroniky a použití programovatelných automatů umožnilo nahrazení složité a prostorně rozměrné reléové logiky a usnadnilo především zásahy do chování systému, aniž by bylo potřeba fyzicky zasahovat do zapojení. Revoluci v oblasti pohonných jednotek přinesl příchod výkonových polovodičových prvků a následný vznik frekvenčních měničů. Nyní bylo možné ovládat otáčky synchronních motorů, které nejen že jsou díky své jednoduché konstrukci relativně levné, ale také nepotřebují téměř žádnou údržbu a nový způsob řízení byl i energeticky výhodnější. Synchronní motory dnes mají v průmyslu velké zastoupení a mají širokou škálu využití.

Cílem této práce bylo vytvořit v programovém prostředí TIA Portal a STARTER úlohu vhodnou pro řízení synchronních servopohonů, která by se dala použít pro ovládání dvouosého kartézského manipulátoru. Ovládání manipulátoru by mělo být realizované pomocí HMI aplikace s možností automatického a manuálního režimu.

Tato práce se bude také zabývat konstrukcí a principy činnosti frekvenčních měničů a konkrétně se zaměří na použitý frekvenční měnič SINAMICS S120. Kromě měničů se zaměří i na způsoby řízení synchronních motorů a na konstrukci a činnost motorů samotných. Věnovat se bude i základům logického řízení a detailněji se bude zabývat problematikou programovatelných automatů, jejich programovacími jazyky a také použitým PLC SIMATIC S7-1200. Dále se bude věnovat konfiguraci použitých zařízení a jejich vzájemnou komunikací a stejně tak i uživatelským rozhraním mezi člověkem a zařízeními. V neposlední řadě se v práci bude popisovat tvorba samotných programů a řídicích algoritmů.

## 2 Frekvenční měnič

Frekvenční měnič nebo také měnič s proměnným či nastavitelným kmitočtem je zařízení sloužící k přeměně síťového napětí s konstantní frekvencí na jiné napětí o jiné frekvenci. Takovéto měniče se používají především v elektromechanických pohonných systémech pro řízení otáček a točivého momentu u střídavých motorů pomocí změny napájecího napětí a jeho frekvence. Před vznikem frekvenčních měničů bylo nejrozšířenějším způsobem, jak řídit otáčky a moment elektrických motorů, použití Ward Leonardova ústrojí. V tomto ústrojí střídavý motor poháněl dynamo, které napájelo stejnosměrný motor. Od sedmdesátých let započal neustávající rozvoj frekvenčních měničů, který je způsoben nejen jejich schopností řízení elektrických pohonů, ale také jejich efektivitou. Při použití frekvenčního měniče se náklady na energii mohou snížit o 45-60%. Pokrok v oblastech polovodičových výkonových spínacích prvků, řídicích hardwarů a softwarů, přinesl snížení nákladů na výrobu frekvenčních měničů i jejich velikost a umožnil tak jejich rozšíření nejen v průmyslu a automatizaci.[1]

### 2.1 Rozdělení frekvenčních měničů

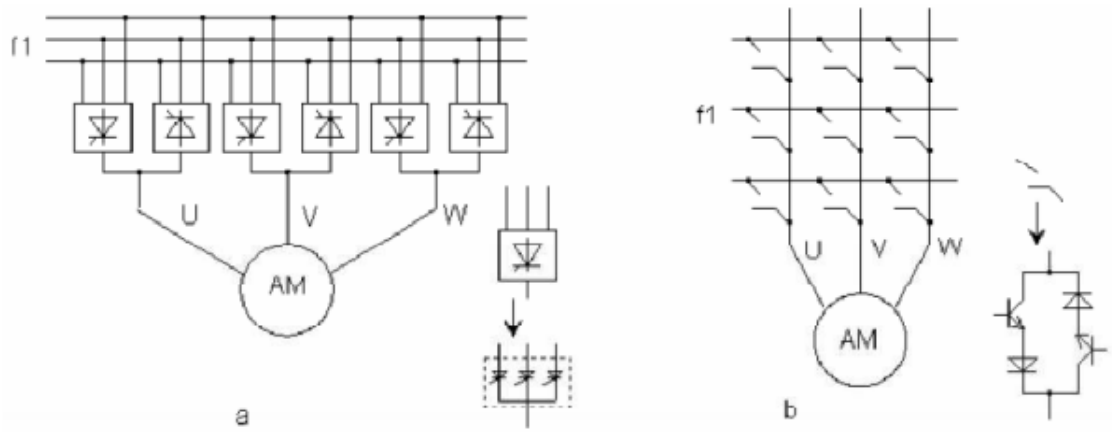
Frekvenční měniče se rozdělují na dvě základní skupiny, a to podle způsobu transformace energie. Rozlišujeme tedy měniče přímé a nepřímé.

#### 2.1.1 Přímé měniče

Přímé měniče využívají pouze jedné transformace energie, kdy mění vstupní síťové napětí o stálé frekvenci přímo na napájecí napětí proměnné frekvence. Přímé měniče dále dělíme na cyklokonvertory a maticové měniče.

Cyklokonvertory jsou tvořeny třemi reverzačními tyristorovými usměrňovači a každý tyristor se používá pro napájení jedné fáze výstupního napětí. Díky fázovému řízení jednotlivých tyristorů je možné dosáhnout výstupní frekvence až s hodnotou 25% vstupní frekvence. používají se především pro výkonné pohony s nízkými otáčkami.

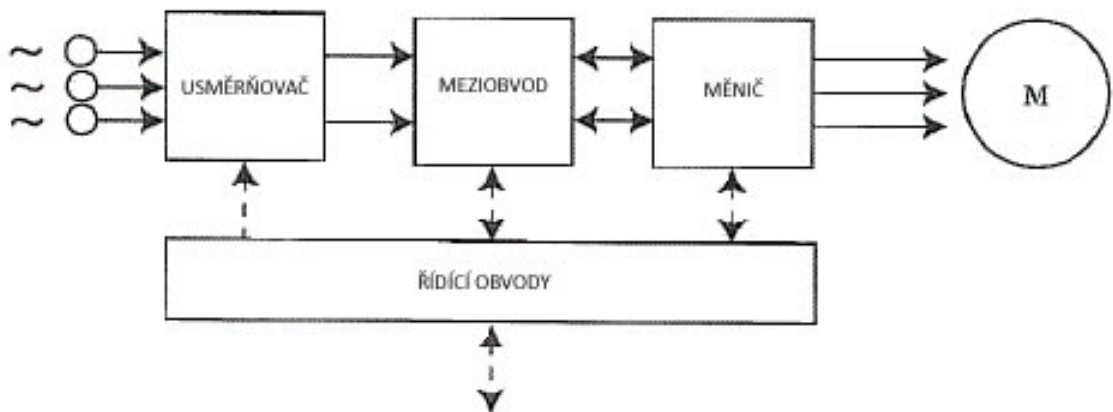
Maticové měniče jsou realizovány pomocí vypínatelných tranzistorů nebo GTO tyristorů. Díky těmto spínacím prvkům lze získat výstupní frekvenci vyšší, než je vstupní frekvence.[2]



Obrázek 2.1: a) Cyklokonvertorový měnič b) Maticový měnič [3]

### 2.1.2 Nepřímé měniče

Nepřímé měniče se skládají ze tří hlavních částí, kterými jsou usměrňovač, stejnosměrný meziobvod a střídač. Tyto měniče využívají dvou transformací energie a to, když nejprve usměrní vstupní střídavé napětí o stálé frekvenci na stejnosměrné napětí, které se následně opět mění na střídavé napětí proměnné frekvence. Nepřímé měniče se dále dělí na napětové, proudové a rezonanční, které se od sebe liší meziobvodem frekvenčního měniče.



Obrázek 2.2: Blokové schéma nepřímého měniče [5]

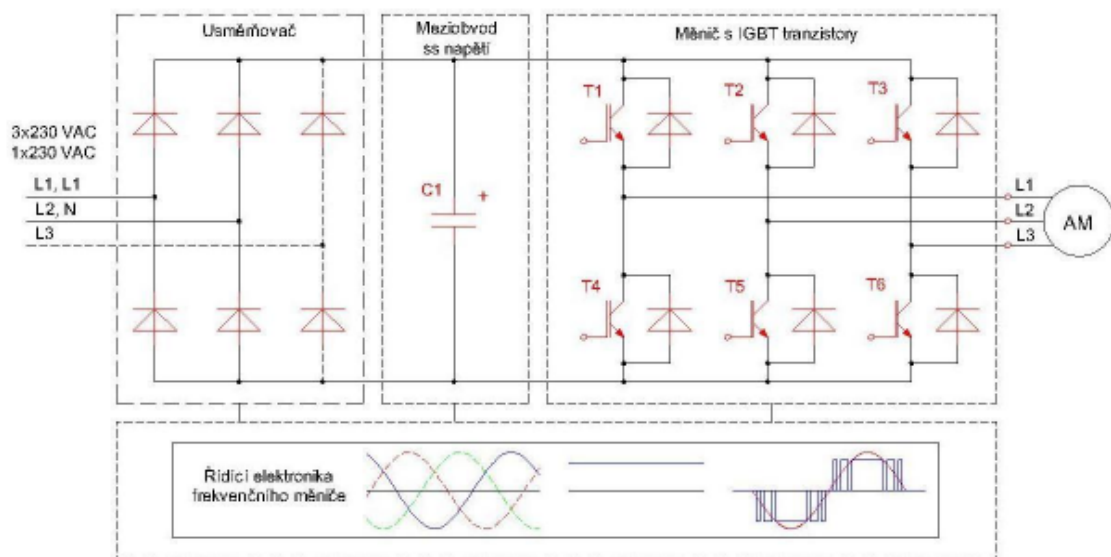
Napětový měnič je z nepřímých měničů nejpoužívanější a nejrozšířenější frekvenční měnič v průmyslových aplikacích. Vstupní střídavé napětí je nejdříve usměrněno a přivedeno na napětový meziobvod. Poté se střídačem vytvoří střídavé napětí o potřebné frekvenci.

Proudový měnič se odlišuje tím, že v proudovém meziobvodu tohoto měniče je tlumivka, jež vyrovnává průběh proudu při skokových změnách napětí, a že směr proudu je neměnný. Tyto měniče se používají pro řízení velkých pohonných systémů.

U rezonančního měniče se meziobvod vyznačuje tím, že má kmitavý charakter. Napětí v meziobvodu kmitá velmi vysokou frekvencí ve stovkách kilohertz a z tohoto napětí se poté generuje výstupní napájecí napětí o požadované frekvenci. Rezonanční měniče mají nejnižší ztráty, a to díky tomu, že ke spínání výkonových prvků dochází při průchodu nulou.[4]

## 2.2 Konstrukce napěťového měniče

Jako usměrňovače síťového napětí o frekvenci 50Hz se nejčastěji používají neřízené diodové šesti-pulsní usměrňovače, které však nejsou schopny rekuperace a je pro ně nezbytné zařadit do stejnosměrného meziobvodu brzdný odpor. Frekvenční měniče schopné rekuperace potom využívají řízené tyristorové usměrňovače. Pro usměrnění síťového napětí na stejnosměrné se u tyristorových usměrňovačů využívá usměrňovací režim a pro brzdění motoru a následnou rekuperaci se využívá invertorový režim.



Obrázek 2.3: Schéma funkce frekvenčního měniče [6]

Napěťový meziobvod je v podstatě obvod s velkým elektrolytickým kondenzátorem, který se chová jako ideální zdroj napětí s nulovou vnitřní impedancí. Pokud měnič disponuje možností rekuperace, tedy schopností navracet energii zpět do sítě při brzdění motoru, nemění se polarita stejnosměrného meziobvodu, ale pouze směr toku proudu mezi usměrňovačem a střídačem. Jestliže ale měnič není schopen rekuperace, je paralelně ke kondenzátoru připojen brzdný odpor spínaný při brzdění motoru. V takovém případě se elektrická energie neposílá zpět do sítě, ale mění se v odporu na teplo.

Výkonový obvod třífázového napěťového střídače velmi často používá IGBT tranzistory jako spínací prvky pro jejich velký rozsah spínání výkonů a vysokou pulzní frekvenci. Ke každému spínacímu tranzistoru je připojena paralelně dioda, aby se tranzistor nezničil indukovaným napětím. Střídač využívá principu pulsně šířkové modulace neboli PWM, kdy dochází ke střídavému připojování a odpojování zátěže k napětí meziobvodu. Doba připojení zátěže se mění pomocí změny střídy PWM signálu a díky indukčnímu charakteru zátěže tak vzniká téměř sinusový průběh proudu.

Frekvenční měniče obsahují vestavěný mikroprocesor a řídicí elektroniku, která řídí jejich celkovou činnost. Řídicí elektronika přijímá a vysílá signály z a do všech částí frekvenčního měniče. Dochází tak k měření a řízení usměřovače, meziobvodu i střídače. Komunikace a způsob řízení se liší podle konstrukce a hardwarové vybavenosti frekvenčních měničů. Základním principem je, že signály z řídicí elektroniky spínají výkonové spínací prvky a určují tak, kdy budou v sepnutém stavu a povedou proud z meziobvodu. Frekvenční měniče dále obsahují množství ochranných obvodů a obvodů proti rušení.[4]

## 2.3 Způsoby řízení frekvenčním měničem

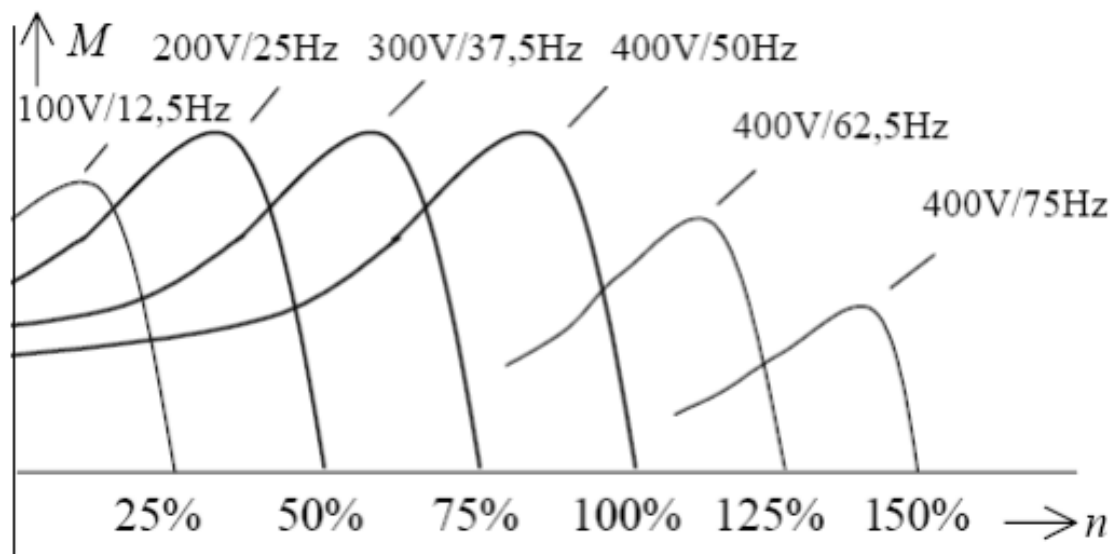
Nejrozšířenější způsob řízení motorů je pomocí změny napětí a frekvence napájecího signálu motoru. Nejčastěji se používají napěťové frekvenční měniče se sinusovou pulsně šířkovou modulací. Podle požadavků na řízení motorů se rozlišují metody na skalární řízení, vektorové řízení a přímé řízení. Pro nenáročné aplikace se může využít skalární řízení, u složitějších se zpravidla používá vektorové nebo přímé řízení, kde se zavádí zpětná vazba.[7]

### 2.3.1 Skalární řízení

Skalární řízení se vyznačuje tím, že reguluje konstantní spřažený magnetický tok statorového vinutí tak, že udržuje konstantní poměr mezi vstupním napětím a frekvencí. Pokud je frekvence příliš nízká, není možné udržet konstantní magnetický tok a v takovýchto případech dochází k poklesu momentu. Obdobně pak dochází k poklesu momentu při vysokých frekvencích, kdy už nelze zvyšovat napětí. Pokud nejsou vysoké požadavky na dynamiku a statickou přesnost, je skalární řízení schopné regulace otáček v širokém rozsahu. Toto řízení se používá pro dynamicky nenáročné pohony pracující v ustáleném stavu. Pro použití skalárního řízení musí být splněny dva základní předpoklady a to, že motor musí být popsán rovnicemi v ustáleném tvaru a magnetický tok statoru musí být konstantní. Hlavní výhodou skalárního řízení je jeho schopnost řízení v otevřené smyčce neboli bez zpětné vazby. Díky tomu se jedná o nejrozšířenější způsob řízení. Odhaduje se, že je takto řízeno až 90% motorů v průmyslových aplikacích.



Skalární řízení může být ovšem realizováno i v uzavřené smyčce, čímž se v kombinaci s PI regulátorem výrazně zlepší statická přesnost, ale dynamické vlastnosti nejsou oproti jiným způsobům řízení tak dobré.[7] [8]



Obrázek 2.4: Momentové charakteristiky při skalárním řízení [9]

### 2.3.2 Vektorové řízení

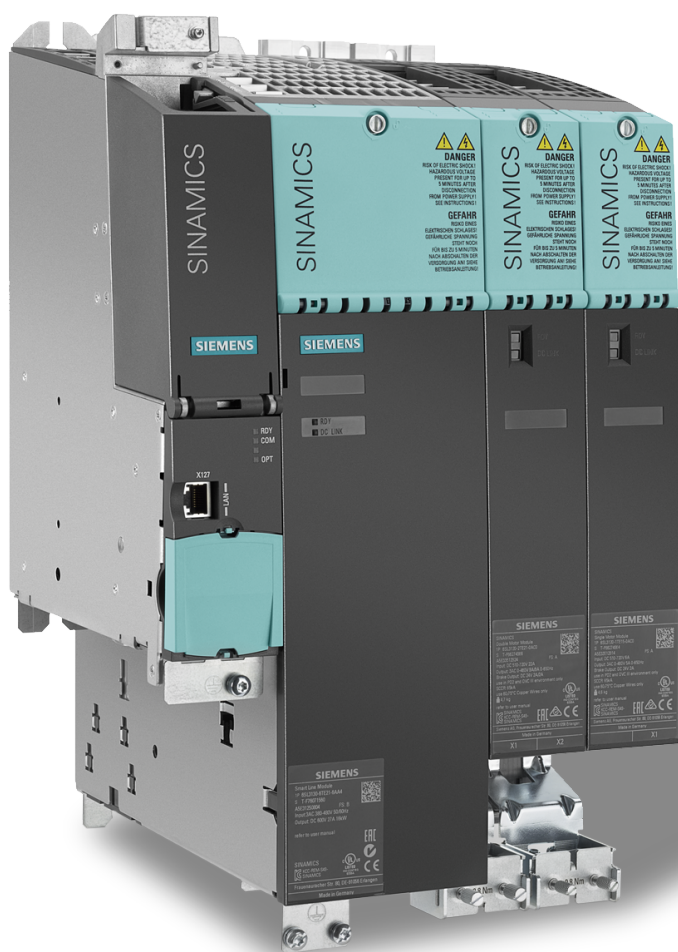
Vektorové řízení řídí jak velikost magnetického toku statorových vinutí, tak i jejich vzájemný úhel natočení, který se vyjadřuje jako poloha v komplexní rovině. U vektorového řízení se rozlišuje způsob, podle kterého se získávají informace o úhlové poloze vektoru magnetického toku statorových vinutí. První možností je přímé vektorové řízení, kdy je vektor magnetického toku získáván z napětí a proudů statoru. V případě, kdy je pro zpětnou otáčkovou vazbu k dispozici estimátor skluzu (matematický model) není již potřeba snímání rychlosti nebo polohy. Druhým způsobem je nepřímé vektorové řízení, kdy je úhel vektoru magnetického toku získán jako součet úhlu skluzu získaného z matematického modelu motoru a úhlu natočení rotoru, který je snímán rotačním snímačem polohy.[7] [8]

### 2.3.3 Přímé řízení momentu

Pro přímé řízení momentu je třeba znát přesný model řízeného motoru a využít k řízení výkonový signálový procesor. Princip přímého řízení je založen na dvouhodnotové regulaci okamžité velikosti momentu a dvouhodnotové regulaci polohy vektoru statorového magnetického toku. Tímto způsobem je možné dosáhnout dobrých výsledků i pro dynamicky náročné aplikace. Tomuto řízení ovšem působí potíže změna směru otáčení a řízení v nízkých otáčkách.[7] [8]

## 2.4 SINAMICS S120

Modulární měnič SINAMICS S120, použitý v této práci má širokou škálu komponent a funkcí, které jsou navrženy pro výkonné pohonné aplikace v mechanickém a systémovém inženýrství. Jednotky SINAMICS S120 jsou schopny řízení vysoce výkonných jednoosých i víceosých pohonů s vektorovými nebo servo funkcemi, které umožňují implementaci vysoce výkonných pohonných řešení pro maximální flexibilitu a zvýšenou produktivitu. Kromě inovativní architektury systému a možností digitální komunikace se tyto jednotky dodávají v různých provedeních a typech chlazení. Poskytují výkon od 120W do 4,5 kW a jsou vybaveny širokou škálou technických komponent a vyznačují se rychlým uvedením do provozu díky snadné montáži a jednoduchému zapojení.



Obrázek 2.5: SINAMICS S120 [10]

Řídící jednotka zajišťuje veškeré výpočty pro řízení silové oblasti měniče a zároveň slouží jako rozhraní k řídicímu systému, s kterým komunikuje v pravidelných časových intervalech pomocí rychlých a časově přesných protokolů. K frekvenčnímu měniči SINAMICS S120 jsou k dispozici různé typy síťových modulů, které slouží

k dodávání proudu do stejnosměrného meziobvodu. Basic line moduly se používají pro aplikace, kde stačí pouze energii dodávat do stejnosměrného modulu. Pokud je nějaká energie generována, je následně spotřebována v brzděném odporu, kde se mění na teplo. Smart line module je tvořen diodovým můstkem pro napájení stejnosměrného meziobvodu a IGBT je ve zpětném směru synchronizováno se sítí. Active line modul je pro napájení tvořen opět diodovým můstkem, ale pro zpětný směr využívá IGBT řízené PWM (pulsně šířkovou modulací) a dochází k rekuperaci energie zpět do sítě. K napájení připojeného motoru slouží motorový modul, který získává energii ze stejnosměrného meziobvodu. Opět se tyto moduly vyrábí v různých provedeních, ať už jako jednomotorová nebo dvoumotorová jednotka s rozsahy jmenovitých proudů od 3 až do 200 A. Jsou k dispozici ve verzích booksize compact, booksize a chassis. Různé verze mohou být provozovány na jednom stejnosměrném vedení. Samotné motorové moduly jsou chlazeny vzduchem nebo kapalinou. Vzduchem chlazené mají snadnější montáž, ale nižší výkon a nehodí se do špatně větraných, či tichých míst.[10]

Použitý frekvenční měnič SINAMICS S120 je verze booksize a skládá se z několika modulů. Kontrolní jednotka nese označení C320 a jedná se o typ 6SL3040-0MA00-0AA1. Slouží k řízení v uzavřené smyčce a pro komunikaci prostřednictvím profinet je vybavena komunikační kartou CBE20. Napájení je řešeno napětím 24V s maximálním proudovým odběrem 0,8A

Dalším modulem je active line modul typ 6SL3130-7TE21-6AA3, který převádí vstupní třífázové síťové napětí na stejnosměrné napětí o hodnotě 600V a 27 A určené pro motor moduly. Active line modul je s motor modulem propojen pomocí stejnosměrného meziobvodu.

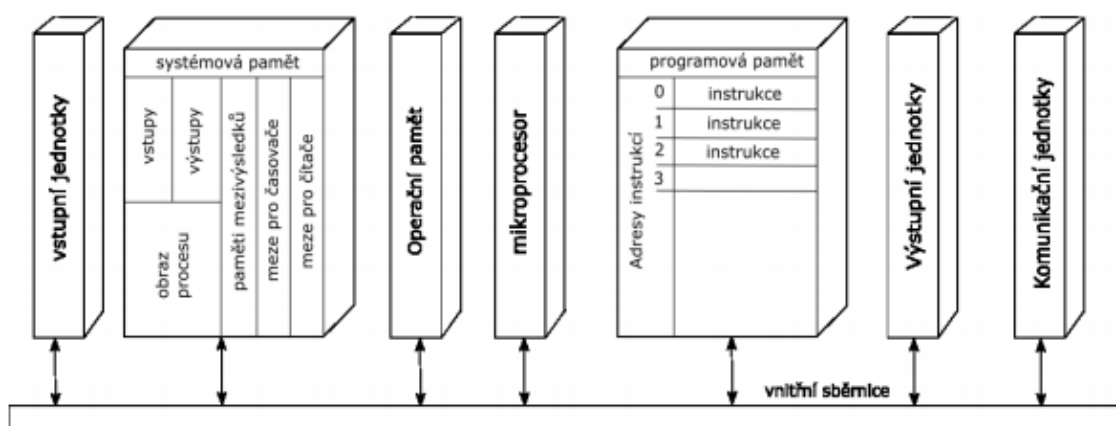
K samotnému napájení motorů je použit double motor modul typ 6SL3120-2TE21-0AA3, který mění usměrněné a odfiltrované napětí ze stejnosměrného meziobvodu pomocí střídače na napětí, které napájí příslušný motor. Z bezpečnostních důvodů jsou všechny moduly propojeny PE vodičem

### 3 Programovatelný logický automat

Programovatelný logický automat neboli PLC jako zkratka z anglického Programmable Logic Controller, je malý průmyslový počítač, sloužící k řízení technologických procesů v reálném čase s důrazem na co nejkratší dobu odezvy. Tento počítač je řízen mikroprocesorem s vlastním operačním systémem a byl přizpůsoben pro své použití v průmyslu. Je mnohem robustnější a celkově více přizpůsobený pro řízení výrobních procesů, jako jsou montážní linky, robotická zařízení nebo pro jakoukoli činnost vyžadující vysokou spolehlivost, snadné programování a diagnostiku chyb. PLC vznikly jako reakce na potřebu robustních a snadno programovatelných regulátorů, které by nahradili zastarávající reléovou logiku v automobilovém průmyslu. Od té doby se ale díky snižujícím nákladům své spolehlivosti rozšířili do všech průmyslových odvětví. [11]

#### 3.1 Provedení PLC

PLC mohou být realizovány od malých kompaktních jednotek, které v jednom zařízení obsahují analogové a digitální vstupy a výstupy, procesor a základní komunikaci, až po velké modulární systémy, kde je výsledný PLC systém složen z jednotlivých částí. Takovéto systémy mají samostatné moduly pro zdroj, centrální procesorovou jednotku, komunikaci, vstupy a výstupy. Výhodou těchto systémů je možnost jejich rozšiřitelnosti a propojení s jinými PLC nebo SCADA systémy. [11]



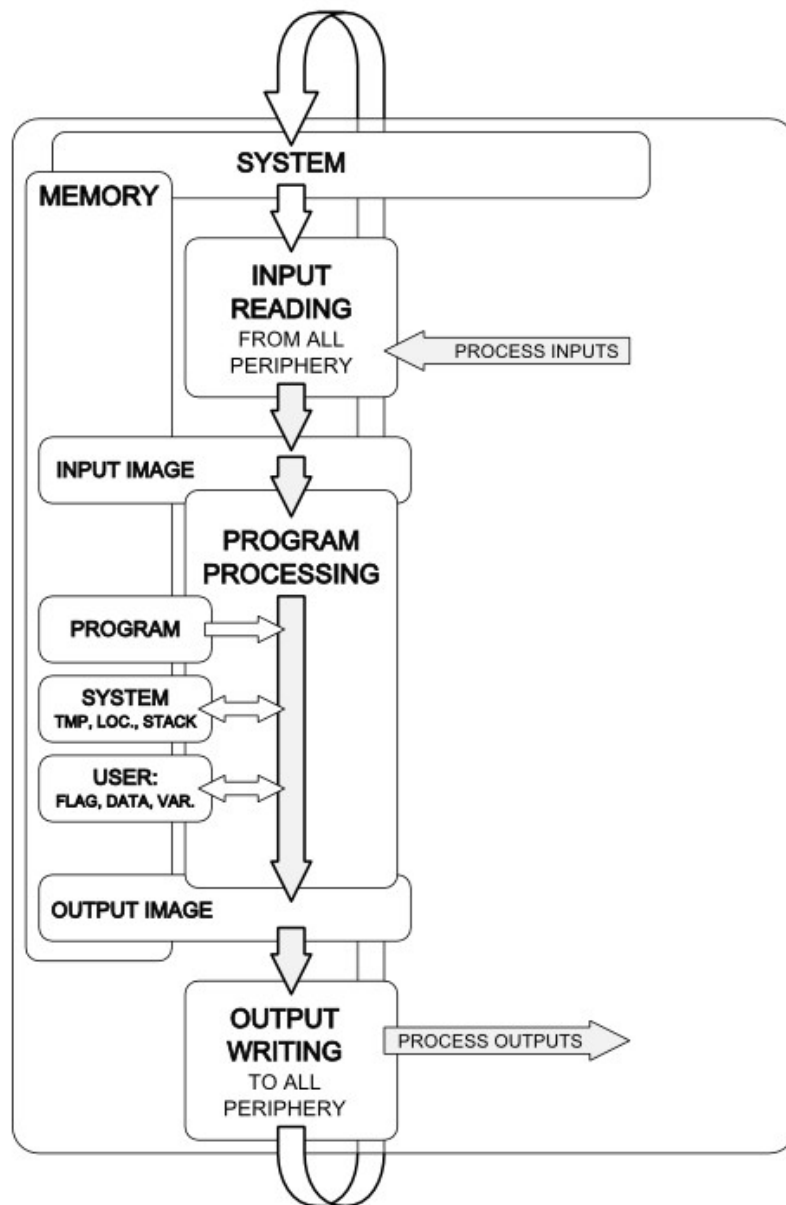
Obrázek 3.1: Struktura programovatelného automatu [12]

## 3.2 Cyklické zpracování programu

PLC zpracovává program cyklicky, což je jeho hlavní znak a největší odlišnost oproti klasickým počítačům. Jednotlivé instrukce jsou opakovaně vykonávány v programovém cyklu, zjednodušené zpracování programu by se dalo představit jako načtení vstupů, zpracování programu a zápis na výstupy. Začíná se inicializačními kroky, do kterých uživatel nijak nezasahuje, převážně se jedná o vnitřní kontrolu a systémové operace. Poté dochází k synchronnímu načtení všech stavů vstupních signálů a uložení těchto hodnot do obrazu procesu vstupů. Z této paměti se později zjišťují hodnoty vstupních proměnných použitých v programu. Díky synchronnímu načtení stavů vstupů do obrazu vstupů je zajištěno, že program bude pracovat s konstantními hodnotami a nemůže dojít k situaci, kdy se hodnota vstupu během vykonávání programu změní a dojde tak k nejednoznačným výsledkům. Zjištění stavů vstupů se provádí vzorkováním, kdy PLC pořídí minimálně dva vzorky vstupního signálu, z kterých určí jeho stav. Po úspěšném načtení obrazu vstupů je zahájeno samotné zpracování programu, který je uložen v programové části paměti. Program se zpracovává od shora směrem dolů podle toho, jak byl naprogramován. Program pro svou činnost využívá také pomocnou paměť pro dočasné proměnné, lokální proměnné a zásobník hloubky vnoření pro volání podprogramů a návratových adres. Při zpracování programu se vygenerují výstupní hodnoty podle algoritmu programu. A aby byla opět zajištěna jednoznačnost a neměnnost stavu výstupu, tak se po dokončení programu hodnota výstupů nejdříve zapíše do obrazu procesu výstupů a až poté dojde k synchronnímu přepisu na výstupní periferie. Ačkoli se jedná o řízení v reálném čase, dochází k určitým omezením s rostoucím počtem signálů, které jsou zpracovávány a tím i k drobným zpožděním. Toto se ale netýká malých kompaktních PLC systémů, které mají maximálně desítky vstupů a výstupů. [11]

### 3.2.1 Cyklus s přerušením

V případě, kdy potřebujeme provést nějakou prioritní akci, nezávisle na vykonávaném programu, čtení nebo zápisu, využívá se přerušení, jehož hlavním úkolem je zkrácení doby odezvy systému. Kvůli zachování kontinuity programu nelze přerušení vyvolat kdykoli, proto se posílá pouze požadavek na přerušení a systém sám v nejbližším možném okamžiku přerušení vyvolá. Při provedení přerušení se obejde obraz vstupů nebo výstupů, protože se aktualizují jednou za cyklus a pomocí instrukce pro přímé čtení vstupů nebo instrukce pro přímý zápis se provede požadovaná akce ještě před ukončením cyklu. [11]

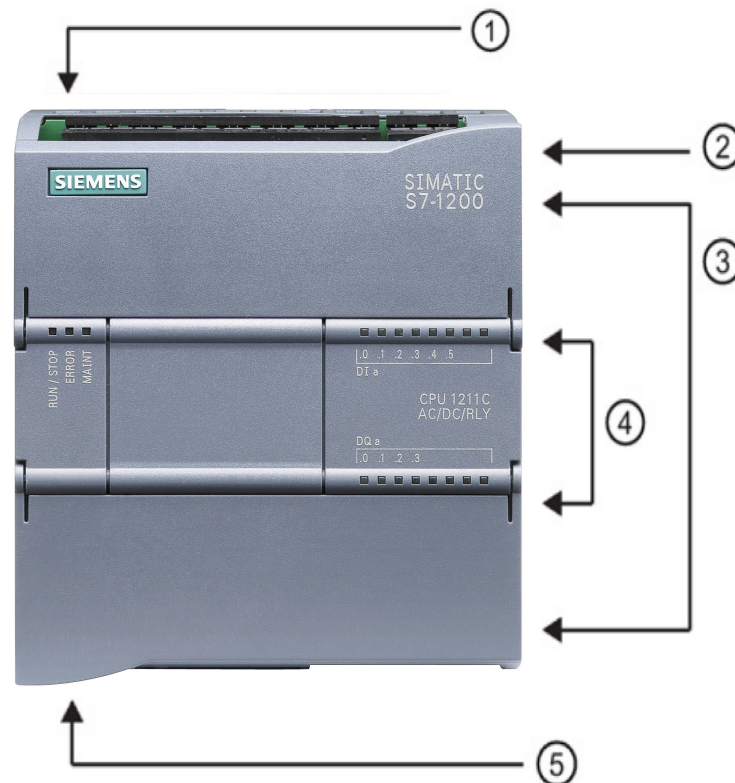


Obrázek 3.2: Základní cyklus PLC [11]

### 3.3 SIMATIC S7-1200

Jedná se o malý modulární řídicí systém od firmy Siemens, sloužící jako kompaktní, flexibilní a rozšiřitelný systém, který se vyrábí v několika modelových verzích, a jak ve standardních tak také v bezpečnostních verzích. Hlavní modul obsahuje integrované vstupy a výstupy ale je snadno rozšiřitelný, samotný hlavní modul lze rozšířit až o tři komunikační karty podporující ROFIBUS, RS232/485, CANopen, AS-interface, IEC 60870, DNP3 nebo GPRS a dále lze také k systémové sběrnici připojit až dva rozšiřující moduly s možností analogové nebo digitální periferie.

Rozšiřující moduly se k připojují z pravé strany CPU a komunikační moduly z levé strany. Pro komunikaci a programování používá rozhraní PROFINET, přes které lze připojit až tři HMI panely, distribuované I/O nebo pohony. S7-1200 poskytuje flexibilitu a potřebný výkon pro ovládání nejrůznějších strojů a zařízení a je vhodný pro malou a střední automatizaci s vysokým výkonem v reálném čase. Montáž se provádí nejčastěji do rozvaděčů a samotné PLC je připevňováno na DIN lištu. Velkou výhodou tohoto PLC je jeho rychlé uvedení do provozu a robustnost, díky které odolává drsným podmínkám, které mohou v průmyslu nastat (elektromagnetické rušení, vlhkost, prašnost a velký teplotní rozsah).[13]



Obrázek 3.3: SIMATIC S7-1200 [13]

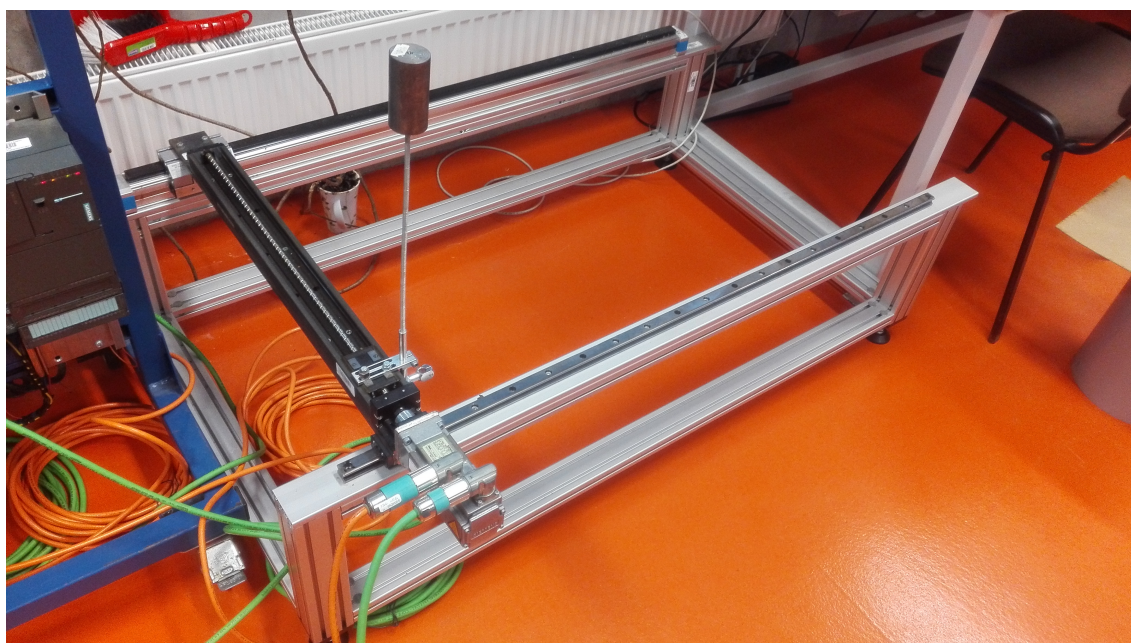
1. konektor napájení, 2. slot paměťové karty (pod dvířky), 3. svorkovnice (pod dvířky), 4. I/O indikační LED, 5. PROFINET konektor

Pro tuto práci byl použit programovatelný automat SIMATIC S7-1200 s centrální procesorovou jednotkou 1215C DC/DC/DC. Pro komunikaci je využita dvojice konektorů profinet, přičemž první je spojen s frekvenčním měničem SINAMICS S120 a druhý s HMI panelem KTP700 BASIC.

## 4 Kartézský manipulátor

Kartézský manipulátor je portálový robot typu TTT, kde se na vertikální osu připojuje koncový efektor. Všechny pohyby ve třech osách se provádějí lineárně a pracovní prostor robota tvoří hranol. Kartézský manipulátor má možnost 2D a 3D interpolace, ale nevýhodou je velká prostorová zastavěnost.

Pro tuto aplikaci je použit pouze dvouosý kartézský manipulátor, který jako pohon využívá dvojici třífázových synchronních servomotorů 1KF7022-5AK71-1SG0 od firmy Siemens. Převod pohybu těchto servomotorů z rotačního na translační je řešen pomocí pohybového šroubu, přičemž samotný převodní mechanismus se skládá ze závitové tyče, která se otáčí a matice. Pro správnou činnost musí mít závit určitou vůli, která má však vliv na přesnost polohování, i když jen minimální.



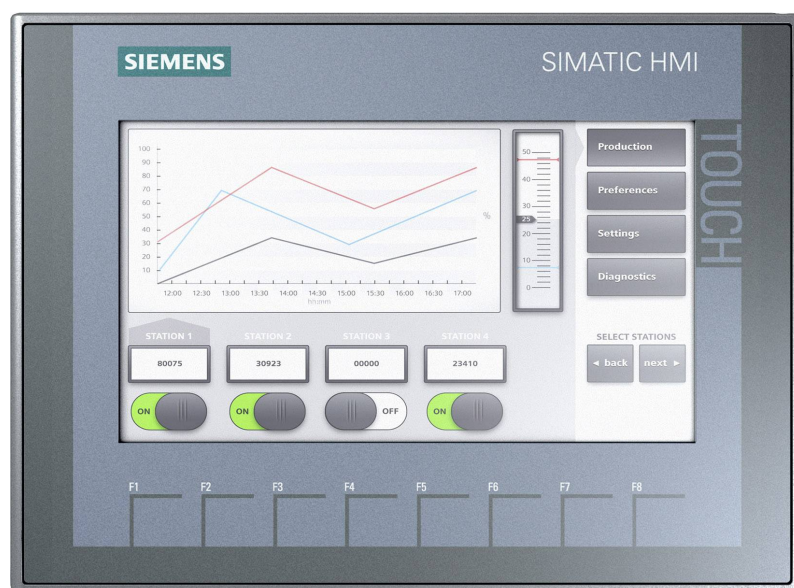
Obrázek 4.1: Dvouosý kartézský manipulátor



## 5 HMI

Jako rozhraní mezi člověkem a zařízením se používá HMI, což je zkratka z anglického Human Machine Interface a představuje vizualizaci a ovládání stroje. HMI zobrazuje a předává informace o zařízení a stavu, ve kterém se nachází a zároveň umožňuje zadávat hodnoty a ovládat zařízení. Dnes je již HMI nedílnou součástí průmyslové automatizace a dnešní HMI ovládací panely disponují kvalitním rozlišením, barevnými i dotykovými displeji, klávesnicemi, možností zobrazování v grafech, zobrazování chybových hlášení a spousty dalších vymožeností. Provedení vlastností HMI panelů se odlišují dle účelu a umístění ale také v závislosti na množství zobrazovaných informací a potřebách ovládání zařízení. [15]

### 5.1 HMI panely



Obrázek 5.1: HMI panel KTP 700 Basic [20]

Jedná se o dotykové obrazovky, obvykle barevné s různými úhlopříčkami a rozlišením, které poskytují mnohem lepší přenos informací a vizualizaci než obyčejné kontrolky. Oproti klasickým informačním prvkům dokáží předávat informaci v textové, číslicové i obrazové formě.

Kromě programových tlačítek na dotykovém displeji bývají v panelu umístěny i obyčejná hardwarová tlačítka. Displeje mohou být LED, ale nejčastěji se jedná o LCD. Dnešní HMI panely obsahují poměrně výkonný procesor, který zajišťuje zobrazování a snímání, ale také komunikaci s nadřazenými systémy.[15]

HMI panel použitý v této práci je SIMATIC HMI KTP700 BASIC typ 6AV2123-2GB03-0AX0 od firmy Siemens. Jedná se o sedmipalcový dotykový displej s rozlišením 800x480 pixelů a má k dispozici 8 hardwarových tlačítek ve spodní části. Pro komunikaci využívá rozhraní profinet a programuje se v prostředí TIA Portal.

## 6 Synchronní motor

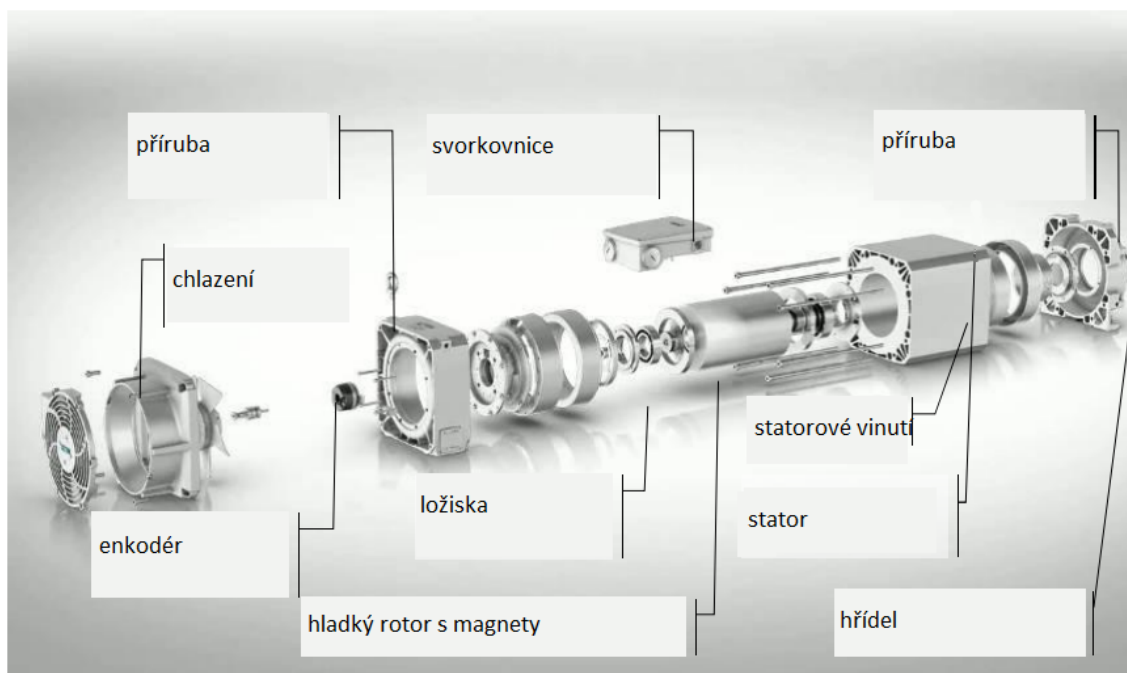
Synchronní stroje se dříve používaly převážně jako generátory pro výrobu střídavé elektrické energie, ale v dnešní době jsou synchronní stroje hojně rozšířené také jako pohony. Využití našly v průmyslu pro aplikace, kde byl potřeba vysoký výkon pohonu, a které zároveň nevyžadovaly časté spouštění. Dále byly vhodné pro pohon strojů pracujících konstantní rychlostí a málo proměnným zatížením jako jsou ventilátory, čerpadla či kompresory.

Synchronní motory jsou konstruovány jako pomaloběžné nebo rychloběžné a liší se od sebe konstrukcí rotoru, který se otáčí synchronně s magnetickým polem statoru. Jejich výhodou oproti motorům asynchronním jsou především menší rozměry, nižší hmotnost i tepelné ztráty a větší plynulost chodu. Pro svou činnost se ovšem musí rozběhnout na synchronní otáčky, což vyžaduje speciální spouštění. Vyrábí se ve výkonech od jednotek wattů až po desítky megawattů.

Synchronní motory našli další uplatnění až s rozvojem výkonové polovodičové elektroniky a příchodem frekvenčních měničů. Řízení pomocí změny frekvence umožnilo použití synchronních motorů i jako servopohonů v aplikacích, kde je kladen důraz na přesnou regulaci otáček a polohy. Pro tento způsob použití je nutná vysoká dynamika a přesnost, proto se využívají především synchronní motory s permanentními magnety. [17]

### 6.1 Synchronní motor s permanentními magnety

Třífázový synchronní motor s permanentními magnety se skládá ze dvou hlavních částí, kterými jsou statorová část a rotorová část. Statorová část je tvořena litinovou kostrou, ve které jsou nalisovány elektrotechnické plechy s drážkami, do kterých je navinuto třífázové vinutí statoru vyvedené na svorkovnici. Elektrotechnické plechy jsou od sebe vzájemně izolovány a používají se kvůli ztrátám vířivými proudy. Rotorová část je složena z hřídele a permanentních magnetů, které nahrazují pólové vinutí a vytváří rotorové magnetické pole. Uspořádání rotoru může být povrchové nebo vnitřní. Rotor je se státorem spojen dvojicí ložisek, které zajišťují co nejmenší tření při otáčení rotoru. Chlazení motoru je řešeno pomocí okolního vzduchu nebo aktivním vodním či plynovým chlazením. Zároveň bývá do statorového vinutí vkládáno teplotní čidlo jako prvek teplotní ochrany. V kombinaci s enkodérem jsou tyto motory používány jako servomotory. [17]



Obrázek 6.1: Konstrukce synchronního servomotoru s permanentními magnety [16]

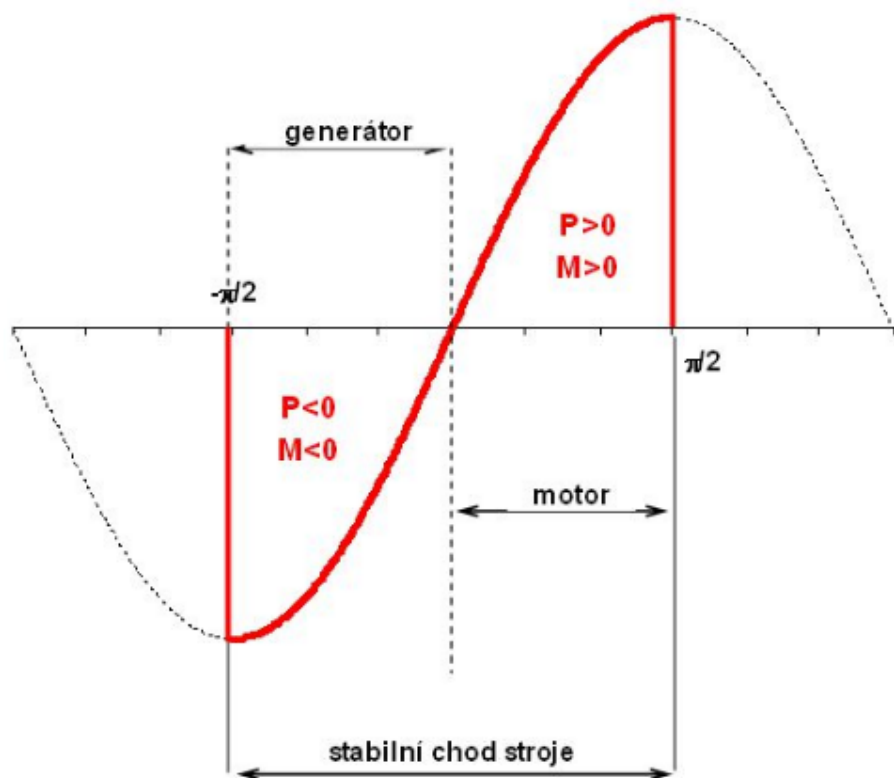
## 6.2 Princip činnosti

Princip činnosti synchronního motoru s permanentními magnety je založen na vzájemném silovém působení točivého magnetického pole statoru a rotoru. Statorové vinutí synchronního motoru je napájeno třífázovým střídavým síťovým napětím a jednotlivými cívkami statoru, které jsou posunuty o  $120^\circ$ , protéká střídavý proud. Průchodem proudu jednotlivými cívkami vzniká statorové magnetické pole, které se díky rozmístění cívek a fázovému posunu jednotlivých fází otáčí. Rotorové magnetické pole vytváří permanentní magnety. Motor se sám neroztočí, ale je několik způsobů rozběhu, většinou se motor roztočí na asynchronní otáčky a následně se přibudí rotorové vinutí, čímž se motor vtáhne do synchronismu. Toto ovšem u rotoru s permanentními magnety není možné, z toho důvodu se používá frekvenční rozběh řízený frekvenčním měničem. Pomocí frekvenčního měniče se řídí frekvence statorového napětí. Při nízké frekvenci má rotor možnost se roztočit a vždy po dosažení synchronních otáček se frekvence zvýší. U synchronních motorů při zvyšující se zátěži otáčky neklesají a zůstávají synchronní, ale pokud zátěž překročí maximální výkon, motor vypadne ze synchronních otáček a zastaví se. Otáčky motoru se vypočítají následovně. [19]

$$n = \frac{60 * f}{p} [ot/min]$$

## 6.3 Momentová charakteristika

Jedná se o závislost momentu na otáčkách a dělí se na dvě hlavní části. V první části charakteristiky se synchronní motor chová jako generátor, kdy je frekvence generovaného napětí závislá na otáčkách. V druhé části charakteristiky se projevuje přirozený chod motoru, kdy moment motoru převyšuje zatěžovací moment a motor se roztáčí. [17]



Obrázek 6.2: Momentová charakteristika synchronního motoru [18]

## 6.4 Řízení synchronního motoru

Řízení otáček synchronního motoru se provádí pomocí změny točivého magnetického pole statoru. Řízení se provádí změnou frekvence statorového napětí pomocí frekvenčního měniče. Rychlost motoru je dána výstupní frekvencí střídače a motor se chová jako při připojení na tvrdou síť. Využívá se omezení rychlosti změny frekvence střídače, aby nedošlo ke skokové změně frekvence a motor nevypadl ze synchronismu. [19]

## 7 STARTER

Program STARTER je software od firmy SIEMENS a je určený především k parametrizování a monitorování měničů SINAMICS a MICROMASTER. Tento software umožňuje nastavovat parametry a vlastnosti měničů nebo pohonů, při čemž je schopný i sledovat jejich stav nebo provádět měření charakteristik. K manuálnímu ovládání a monitorování slouží funkce control panel a pomocí funkce osciloskope se dají měřit přesnější hodnoty parametrů a následně je vykreslovat do grafů.

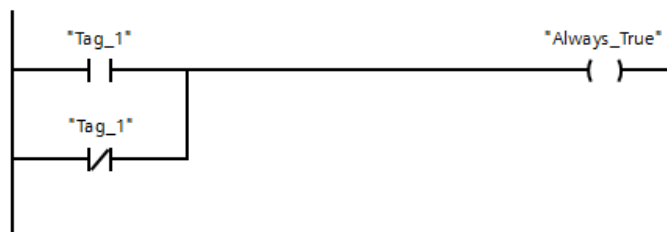
Pro tuto práci bylo nutné provést hardwarovou konfiguraci v softwaru STARTER, a to jak pro měnič samotný, tak také pro řízené servomotory. Ze začátku jsem využíval funkci control panel pro přímé řízení servomotoru. Také jsem pomocí funkce osciloskop zjistil frekvenční spektra pohonů a upravil je odstraněním rezonančních frekvencí, čímž nejen ustalo jejich pískání o vysoké frekvenci, ale především získali větší tuhost a přesnost. Program STARTER byl také velmi nápomocný při hledání chyb, protože jsem se mohl přímo podívat v jakém stavu se měnič nachází, jaká data přijímá a jaká odesílá. V tomto programu byli také tvořena použitá trajektorie pohybu a funkce pro TRAVERSING mód.

## 8 TIA Portal

S novou generací PLC Simatic přišlo na trh i zcela nové vývojové prostředí s názvem Totally Integrated Automation Portal, zkráceně TIA Portal, sloužící k programování a manipulaci s automatizačními systémy. Před vydáním TIA Portálu se naprostá většina PLC a HMI panelů programovala zvlášť, každý ve svém programovém prostředí. Pro PLC se využíval software STEP7 a pro HMI uživatelské panely SIMATIC WinCC. TIA Portal spojil možnosti obou softwarů a vzniklo tak společné vývojové prostředí pro všechny produkty nové vývojové řady. Jednotné prostředí a ovládání určené jak k programování a konfiguraci PLC, HMI panelů, SCADA vizualizací, ale i k navržení komunikace celých řízených soustav. V současné době se jedná o nejuniverzálnější a uživatelsky nejprívětivější vývojové prostředí pro průmyslové automatizační aplikace. TIA Portal má dvě verze. Simatic Step 7 Basic, je určen k programování řídicích systémů S7-1200 a Step 7 Professional slouží k programování všech PLC ze současné řady SIMATIC S7-1200, S7-300, S7-400. K programování vizualizace skrze uživatelské panely Simatic Basic Panels slouží v obou verzích Simatic WinCC Basic.[14]

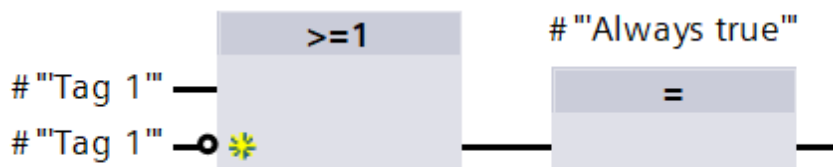
### 8.1 Programovací jazyky

V prostředí TIA Portal jsou podporovány tři programovací jazyky určené k programování PLC, jedná se o LAD, FBD a SCL. Programovací jazyk LAD (Ladder Diagram) je grafický a využívá zobrazení v kontaktním schématu, které vychází z reprezentace elektrických schémat kreslených v liniovém provedení. Tento programovací jazyk zajistil snadný přechod z reléové logiky na PLC díky své podobnosti, ale i dnes je široce používán především kvůli rychlosti, s jakou se v něm dá orientovat a odstraňovat poruchy, což je v průmyslovém prostředí neocenitelné. Program se zapisuje prostřednictvím propojených grafických prvků, které spojují levou a pravou napájecí sběrnici. Takovýto obvod se může větvit v rámci možností programu a jako grafické prvky mohou být použity spínací a rozpínací kontakty, cívky, funkce, funkční bloky, časovače a spousty dalších prvků.



Obrázek 8.1: Jazyk LAD [14]

Dalším grafickým jazykem je zobrazení pomocí funkčních bloků FBD (Function Block Diagram), ve kterém se program tvoří bloky s logickými funkcemi a je vizuálně podobný schématům logických funkcí. Jednotlivé funkční bloky se vzájemně propojují a mohou se do nich zakomponovat další komunikační nebo speciální bloky, ale také čítače nebo časovače.



Obrázek 8.2: Jazyk FBD

Třetím programovacím jazykem podporovaným TIA Portálem je SCL (Structured Control Language), jedná se o vyšší strukturovaný programovací jazyk, jehož zápis se provádí formou strukturovaného textu a svou syntaxí je velmi podobný programovacímu jazyku Pascal. SCL je především využíván pro komplikované výpočty a algoritmy, jejichž zápis by byl v klasických instrukcích příliš složitý a nepřehledný. Program ve formě strukturovaného textu je zkompileován do formy programu v seznamu instrukcí a jsou vygenerovány podprogramy a datové bloky. Použití SCL klade vyšší nároky na velikost paměti pro uložení programu a dat.[14]

```

1
2 #i:=2;
3 #j:=5;
4  FOR #i:=2 TO 8 DO
5     %EW(#i) := 0;
6     %AB(#i) := %MB(#i);
7     %AW(#i+1) := %MW(#i+1);
8 END_FOR;
```

Obrázek 8.3: Jazyk SCL [14]



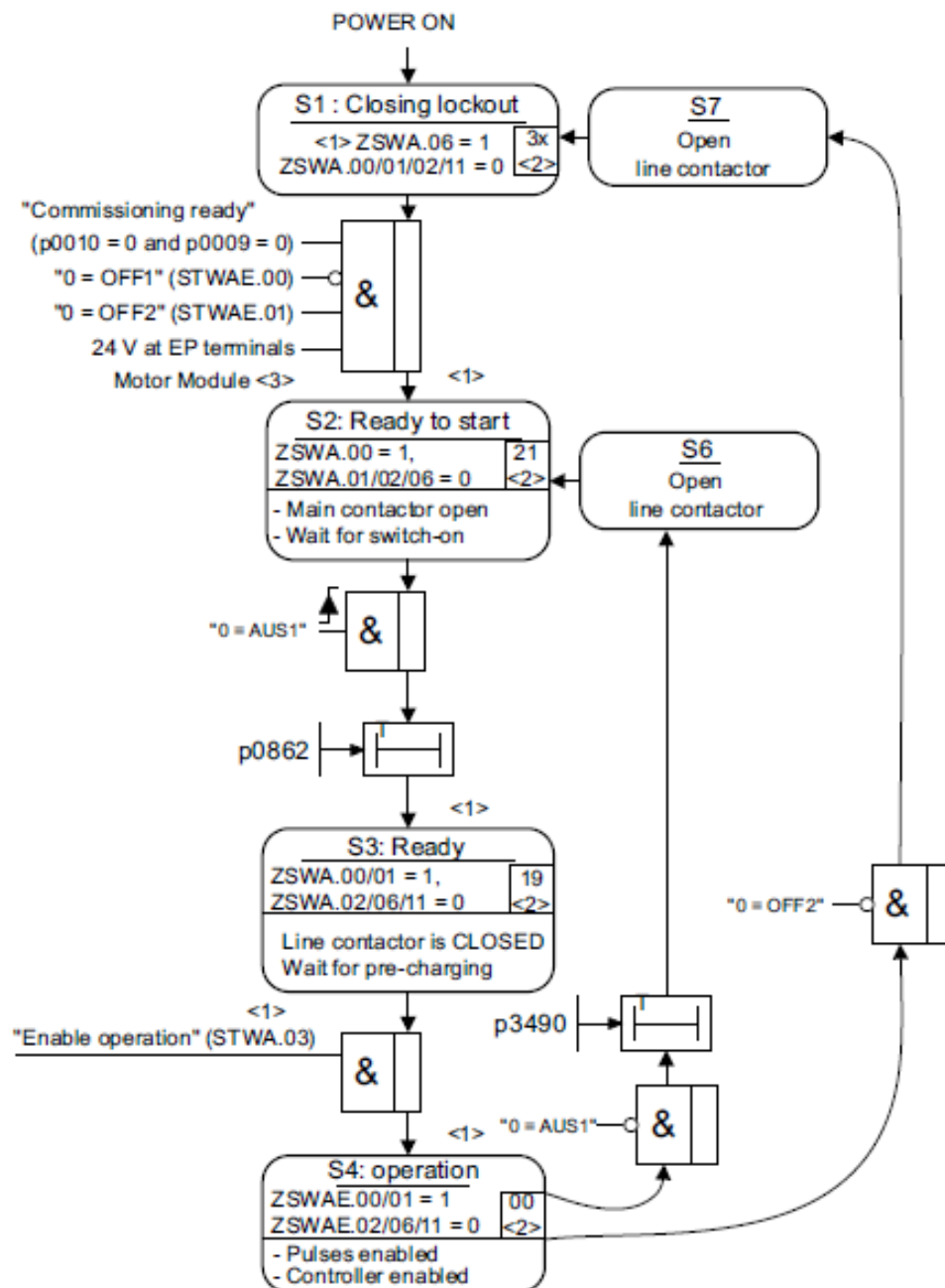
## 9 Tvorba programu

Tvorba programu pro PLC v prostředí TIA Portal probíhala následovně, po vytvoření nového projektu, kdy se zadá název a umístění projektu, TIA Portal nabídne okno pro konfiguraci použitého PLC. Pro hardwarovou konfiguraci PLC je nutné zadat řadu PLC, CPU kterou bude PLC využívat a následně i typové číslo, v mém případě se jedná o SIMATIC S7-1200 s centrální procesorovou jednotkou 1215C DC/DC/DC a číslem 6ES7 215-1AG31-0XB0. Nyní už pracujeme v samotném prostředí TIA Portal, kde se pokračuje v konfiguraci zařízení. PLC, které se v mém případě nese označení PLC\_1 je již definováno a nyní je možné přidat další moduly. Tuto možnost jsem ale využít nepotřeboval a přešel jsem k nastavení sítě, kde jsem nejprve nastavil IP adresu samotného PLC na 192.168.0.1. Poté jsem přidal zařízení frekvenčního měniče SINAMICS S120, jeho IP adresu nastavil na 192.168.0.4 a obě zařízení propojil prostřednictvím rozhraní profinet označené PN/IE\_1 (profinet/industrial ethernet). Dalším krokem bylo nastavení komunikačních telegramů pro frekvenční měnič, kdy jsem pro active line podul vybral SIEMENS telegram 370, s délkou jednoho slova vysílaného a jednoho slova přijímaného. Protože jsem měl k dispozici laboratorní stand se dvěma nezávislými servy rozhodl jsem se pro řízení prvního v rychlostní vazbě a druhého v polohové vazbě. Pro rychlostní řízení prvního serva jsem použil Standard telegram 1 s délkou dvou slov přijímaných a dvou vysílaných. A pro řízení druhého serva v polohové vazbě jsem použil SIEMENS telegram 110 s poměrem slov dvanáct ku sedmi. Tímto byla hardwarová konfigurace hotová a přešel jsem k psaní samotného programu.

Ve vytvořeném projektu ve složce PLC\_1 se nachází jednotlivé části programu, přičemž k tvorbě řídicího algoritmu dochází v podsložce Program blocks, která obsahuje organizační blok OB1 vytvořený automaticky při založení projektu. Organizační blok OB1 je hlavním blokem PLC, který je volán cyklicky a je automaticky nastaven do programovacího jazyku LAD. Pro tvorbu programu jsou k dispozici tři programovací jazyky, grafické LAD, FCB a textový SCL, přičemž pro tvorbu programů jsem si zvolil grafický jazyk LAD. Organizační blok není jediná část programu a dále lze přidat například funkční blok, funkci nebo data blok.

První program, který jsem potřeboval, měl sloužit k ovládní active line modulu. Zvolil jsem si tedy nový blok a vybral funkční blok v jazyce LAD, který jsem pojmenoval FB\_ALM. Na začátku programu načítám status word, který přijímám z měniče a na konci programu posílám zpět měniči control word. Program samotný spočívá v přechodu jednotlivých stavů, dokud active line modul není v aktivním režimu. Struktura programu je znázorněna v následujícím vývojovém diagramu. Hlavními vstupy tohoto funkčního bloku jsou CTRL\_REQ fungující jako povolení, který

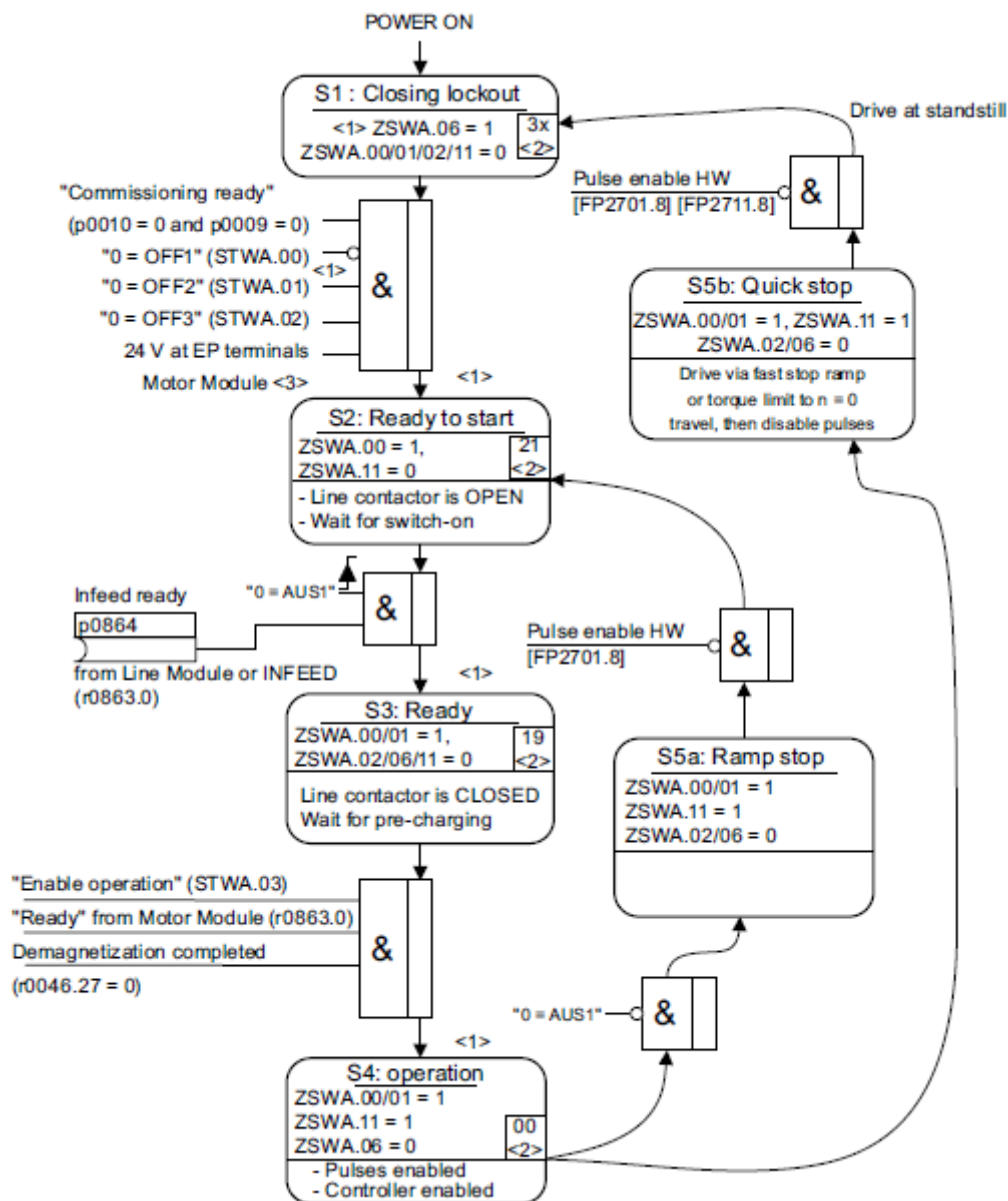
musí být v aktivním stavu a ENERGIZE\_CONTACTOR, který slouží k připojení napájení. Pokud je active line modul v aktivním stavu, je napájen motor modul stejnosměrným napětím a dále je možné napájet pohony.



Obrázek 9.1: Vývojový diagram active line modulu [21]

Pro řízení prvního serva v rychlostní vazbě jsem vytvořil nový funkční blok, kde přijímám status word o délce dva a odesílám control word o délce dva. Program opět funguje na principu plnění podmínek a přechodu do jednotlivých stavů. Protože funkce serva závisí na funkci active line modulu, je při přechodu ze stavu dva do

stavu tři nutné splnit podmínku infeed ready, která indikuje aktivní stav active line modulu. Pro uvedení serva do pohybu je nezbytné sepnout vstupy CTRL\_REQ, POWER\_ON, funkci povolení a generování ramp a povolení žádané rychlosti. Ve chvíli, kdy se program dostane do stavu čtyry je servo připraveno k činnosti a rychlost otáčení serva se nastavuje pomocí druhého kontrolního slova CW2.



Obrázek 9.2: Vývojový diagram pohonu [21]

Třetí funkční blok slouží k řízení druhého serva v polohové vazbě a po komunikační stránce je obsáhlejší. Na začátku program přijímá tři stavová slova a na konci odesílá 12 kontrolních slov. Problém řízení polohy u serva je ten, že například po vypnutí napájení servo přijde o údaj o své poloze a je nutné jej zareferovat na nulovou značku enkodéru. Jako první způsob řízení polohy jsem využil MDI mód, kdy je po

jeho aktivaci možné zadat MDI\_TARPOS jako cílovou polohu, MDI\_VELOCITY jako rychlost s jakou bude poloha dosažena, dále MDI\_ACC a DEC jako velikost zrychlení a zpomalení. Poloha se odměřuje ve vnitřních jednotkách LU, popřípadě u rychlosti v jednotkách 1000LU/min. Dalším vstupním parametrem je OVERRIDE, který se udává v procentech a procentuálně ovlivňuje výslednou rychlost. Hodnota 4000 značí 100%, přičemž je možné nastavit až 200%. Pro MDI mód je možné nastavit buďto relativní odměřování, kdy se pohyb provede vždy o danou vzdálenost nebo absolutní odměřování, při kterém se pohyb provede vůči nulové pozici. Pomocí MDI módu je také řešený homing, kdy se servo nastaví do nulové výchozí polohy. Dalším způsobem ovládání polohy je JOG mód, kdy se servo otáčí požadovaným směrem konstantní rychlostí, dokud jog aktivovaný. Pro každý směr je jiný aktivací vstup a rychlost otáčení se dá měnit pomocí OVERRIDE. Posledním způsobem řízení polohy je TRAVERSING mód, který je potřeba nastavit i v prostředí STARTER, ve kterém je 64 bloků, přičemž každému může být nastavena samostatná funkce. Využil jsem funkce polohování, kde se pro každý bod nastaví způsob odměřování, rychlost, zrychlení, zpomalení a akce, která následuje po provedeném bloku. V prostředí TIA Portal se následně pomocí jednotlivých stavů aktivuje TRAVERSING mód a pomocí binární kombinace vstupů traversing block selection se nastaví číslo jednoho bloku z 64, který se vykoná.

## 9.1 Ovládání kartézského manipulátoru

Po vytvoření a otestování programů na laboratorním standu jsem přešel k hlavní úloze, a to k ovládání kartézského manipulátoru. Manipulátor se skládá pouze ze dvou nezávislých os, které jsou poháněny dvěma servy. Tvorba projektu probíhala obdobně jako u prvního s tím rozdílem, že u manipulátoru jsou obě serva řízena v polohové vazbě, tudíž jsem pro obě použil komunikační telegram SIEMENS telegram 110. V programu pracuji se třemi funkčními bloky, přičemž první slouží k ovládání active line modulu a zbylé dva slouží pro řízení serv. Prvním krokem bylo opět převést active line modul do aktivního stavu, což byl stejný krok jako v předchozí úloze. K rozpořbování manipulátoru jsem použil JOG mód, protože se jedná o nejjednodušší způsob řízení a vyzkoušel jsem tak pohyb jednotlivých os. Opět jsem narazil na problém ztráty informace o poloze například při vypnutí napájení. Nyní se však nedala použít metoda nulové značky enkodéru, protože nulový bod každé osy se nachází v počátku osy manipulátoru. Manipulátor bohužel nedisponuje žádnými externími nebo koncovými snímači a nebylo tak možné zjistit koncovou polohu. Z toho důvodu jsem využil programovou funkci FIXED STOP, jakož to funkci TRAVERSING módu. Celé řešení homingu spočívá v tom, že se spustí traversing blok číslo jedna a osa se rozjede směrem k nulové pozici a zastaví se až tehdy, když dojde na doraz a kroutící moment serva dosáhne 0,1 Nm. V tu chvíli se zreferuje koncová poloha a osa se posune o 10000 LU jednotek, které byly nastaveny tak, aby se tato hodnota rovnala jednomu centimetru. Poté co osa popojede o 1 cm od koncové polohy v kladném směru, je zreferována nulová poloha. Toto řešení je z důvodu rezervy a zamezení kolize při přejetí nulové pozice. V prostředí STARTER byl zadán

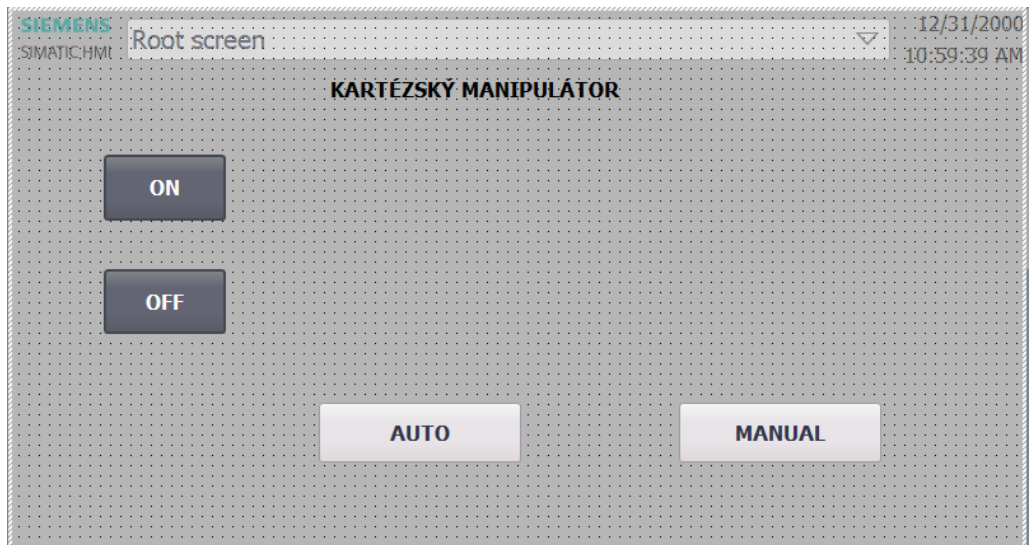
limit pro maximální pojezd osy, aby nedošlo k přejetí maximální koncové polohy a ke kolizi. Stejný postup byl aplikován i na druhou osu, takže ve výsledném stavu se obě osy nachází jeden centimetr od koncových poloh. Po dokončení homingu je možné aktivovat funkci positioning v rámci TRAVERSING módu nebo MDI mód.



Obrázek 9.3: Znázornění os manipulátoru

## 9.2 HMI aplikace

Poslední částí programu v prostředí TIA Portal bylo vytvoření aplikace pro HMI panel k ovládání kartézského manipulátoru. Bylo nutné provést hardwarovou konfiguraci HMI panelu, který v tomto případě nese označení SIMATIC HMI KTP700 BASIC typ 6AV2123-2GB03-0AX0. Po zadání typu zařízení následuje samotná konfigurace, při které se nastaví připojení k PLC, pozadí a vlastnosti obrazovky, dále počet obrazovek a jejich větvení. Aplikace se vytváří skrze jednotlivé obrazovky a tagy. Na obrazovku se vloží zobrazovací nebo ovládací prvek, který se s programem v PLC propojí prostřednictvím tagu. Dále je možné prvku nastavit vlastnosti a události, na které má reagovat. Aplikace pro ovládání kartézského manipulátoru se skládá ze tří obrazovek, a to z úvodní, pro manuální režim a pro automatický režim. Úvodní obrazovka obsahuje tlačítko ON pro zapnutí a tlačítko OFF pro vypnutí celého zařízení a dále se z ní pokračuje buď na obrazovku manuálního režimu nebo obrazovku automatického režimu.



Obrázek 9.4: Úvodní obrazovka

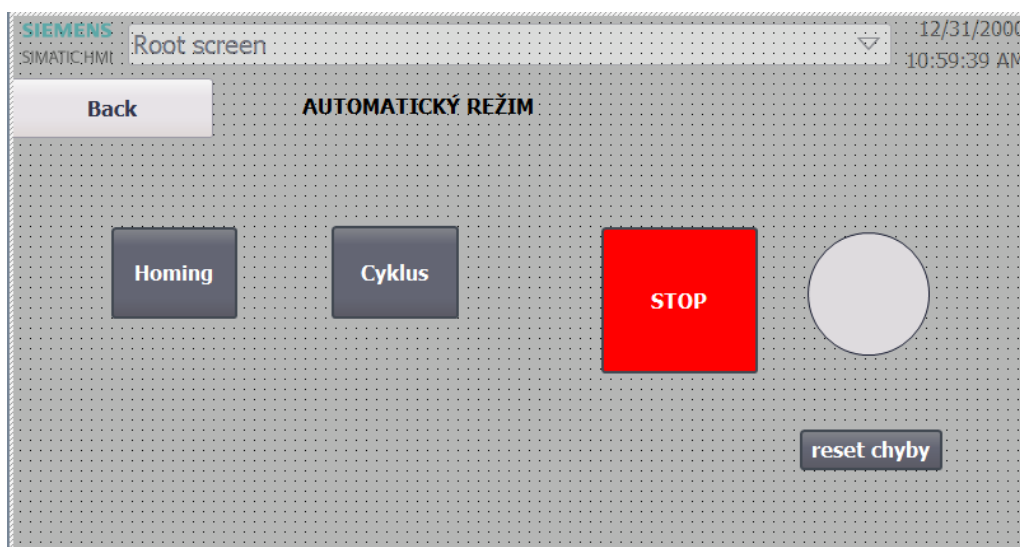
Z obrazovky manuálního režimu lze manipulátor ovládat dvěma způsoby, prvním je ovládání pomocí JOG módu použitím dvojice tlačítek pro každou osu pro kladný a záporný směr. Druhou možností je využití MDI módu, kde je pro každou osu dvojice políček na zadání požadované polohy v milimetrech a rychlosti posunu osy v milimetrech za minutu. Požadovaný pohyb se vykoná po podržení tlačítka start. Pro využití MDI módu je nutné, aby byl manipulátor zreferován. Z důvodu bezpečnosti dochází k pohybu os u obou způsobů ovládání pouze při stisknutí tlačítka, což zajišťuje rychlejší reakci než při řešení pomocí stop tlačítka.



Obrázek 9.5: Obrazovka manuálního režimu

Třetí obrazovkou je obrazovka automatického režimu, do které lze vstoupit z úvodní obrazovky. Ovládání manipulátoru v automatickém režimu je řešeno pomocí TRAVERSING módu. První možností je homing celého zařízení kdy se skrze PLC

vybere traversing blok číslo jedna s funkcí fixed stop a zahomuje do nulové polohy. Další možností je vykonání samotného pohybu po trajektorii definované v programu starter. Pomocí PLC je nastaven traversing blok číslo čtyři, který obsahuje funkci positioning s návazností dalších positioning bloků a vykoná pohyb přes zadané body. Pokud není zahomováno a spustí se pohyb po trajektorii, dojde nejprve k zahomování a následně při dalším stisku tlačítka se teprve vykoná pohyb. Protože pohyb, který manipulátor vykonává, je automatický je na obrazovku z bezpečnostních důvodů implementováno stop tlačítko, které pohyb zastaví. Součástí obrazovky je také signalizace, která v provozním stavu svítí zeleně a v případě chyby nebo použití stop tlačítka začne blikat červeně. V případě chyby nebo stisknutí stop tlačítka je nutné použít tlačítko resetu chyby, čímž se manipulátor vrátí do provozního stavu.



Obrázek 9.6: Obrazovka automatického režimu

## 10 Závěr

Pro účely této práce vznikly dva řídicí programy, k ovládání dvou nezávislých úloh. První úloha řízení dvojice servopohonů laboratorního standu sloužila k seznámení se s vývojovými prostředími TIA Portal a STARTER a k pochopení principů programování programovatelných automatů. Výsledkem této úlohy je možnost řízení servopohonů v rychlostní a polohové vazbě. Poznatky a vědomosti nabyté při tvorbě první úlohy jsem následně využil při tvorbě řídicího programu druhé, hlavní úlohy, kterou je řízení kartézského manipulátoru. Pro ovládání obou servopohonů kartézského manipulátoru byla využita polohová vazba, která umožňuje řídit polohování os několika způsoby. Pro jednoduchý pojezd os manipulátoru byl implementován JOG mód a MDI mód pro pojezd osy do žádané polohy. Třetím způsobem řízení servopohonu v polohové vazbě byl TRAVERSING mód, který v kombinaci s body definovanými v programu STARTER umožňuje vykonat pohyb po definované dráze. Když byly všechny metody řízení funkční a otestovány na manipulátoru, následoval návrh HMI aplikace, která se rovněž vytváří v prostředí TIA Portal. Manipulátor měl být ovládaný v manuálním a automatickém režimu, byla proto zvolena domovská obrazovka, která se větví na obrazovky podle režimu ovládání. Jednotlivé metody řízení byly následně otestovány na manipulátoru v kombinaci s HMI panelem i s bezpečnostními prvky stop tlačítka.

V průběhu práce bylo nutné se vypořádat s několika problémy, které se však nakonec podařilo vyřešit. S řešením problémů byla nápomocná technická dokumentace a také technické fórum na stránkách Siemens. Drobnou nepříjemností byly problémy s připojením, kdy si síťová karta příliš nerozuměla s používaným softwarem, nicméně to bylo vyřešeno restartováním síťové karty před připojováním. Asi největší překážkou byla absence koncových snímačů v osách manipulátoru, což bylo vyřešeno měřením kroutícího momentu motorů a nastavením softwarových limitů pro maximální pojezd.

Tato práce se ukázala být velice přínosná a do budoucna by bylo možné na ni navázat například 2D interpolací nebo možností zadávat body trajektorie přímo z HMI panelu.



## Literatura

- [1] K čemu je frekvenční měnič.[cit. 8.04.2018] Dostupné z: <http://www.pohonnatechnika.cz/frekvencni-menice>
- [2] Frekvenční měnič.[cit. 8.04.2018] Dostupné z: <https://coptkm.cz/portal/reposit.php?action=0&id=6286>
- [3] Měnič pro malý 3f asynchronní motor.[cit. 8.04.2018] Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=39761](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=39761)
- [4] PAVELKA, Jiří, Zdeněk ČEŘOVSKÝ a Jiří LETTL. Výkonová elektronika. Vyd. 3., přeprac. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2007. ISBN 978-80-01-03626-6.
- [5] Princip - Frekvenční měnič s pulzně šířkovou modulací.[cit. 14.04.2018] Dostupné z: <http://www.pohonnatechnika.cz/frekvencni-menice/princip-frekvencniho-menice/princip-pwm-menice>
- [6] ELKNER, Ing. Pavel. Řízení motorů pomocí frekvenčních měničů.[cit. 14.04.2018] Dostupné z: [https://support.dce.felk.cvut.cz/mediawiki/images/9/96/Dp\\_2010\\_elkner\\_pavel.pdf](https://support.dce.felk.cvut.cz/mediawiki/images/9/96/Dp_2010_elkner_pavel.pdf)
- [7] Frekvenční měniče.[cit. 19.04.2018] Dostupné z: <http://docplayer.cz/5561030-Spojite-rizeni-ridici-uhly-tyristorue.html>
- [8] Druhy řízení motorů pomocí frekvenčních měničů.[cit. 21.04.2018] Dostupné z: <http://mujweb.cz/burgerm/rizeni.html>
- [9] regulace otáček a brzdění.[cit. 21.04.2018] Dostupné z: <http://slideplayer.cz/slide/2452506/8/images/16/Momentov%C3%A9+charakteristiky+p%C5%99i+skal%C3%A1rn%C3%ADm+%C5%99%C3%ADzen%C3%AD.jpg>
- [10] sinamics-s120 modular drive system.[cit. 24.04.2018] Dostupné z: <https://www.industry.usa.siemens.com/drives/us/en/electric-drives/ac-drives/high-performance-and-servo-drives/sinamics-s120-modular-drive-system/Documents/driv-sinamics-S120-brochure.pdf>

- [11] PLC - Programovatelný logický automat.[cit. 24.04.2018] Dostupné z: <http://www.plc-automatizace.cz/knihovna/plc.htm>
- [12] Pavel Kadlečík-Možnosti využití programovatelných automatů Simatic řady S7-1200 od firmy Siemens.[cit. 27.04.2018] Dostupné z: [https://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/41283/kadle%C4%8D%C3%ADk\\_2017\\_dp.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/41283/kadle%C4%8D%C3%ADk_2017_dp.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- [13] Řídicí systém Simatic S7-1200.[cit. 27.04.2018] Dostupné z: [http://www1.siemens.cz/ad/current/content/data\\_files/automatizacni\\_systemy/mikrosystemy/simatic\\_s71200/manual\\_s7-1200\\_2015-01\\_en.pdf](http://www1.siemens.cz/ad/current/content/data_files/automatizacni_systemy/mikrosystemy/simatic_s71200/manual_s7-1200_2015-01_en.pdf)
- [14] Totally Integrated Automation Portal.[cit. 29.04.2018] Dostupné z: <http://www1.siemens.cz/ad/current/index.php?ctxnh=2416f2e791&ctxp=home>
- [15] HMI (vizualizace a ovládání).[cit. 29.04.2018] Dostupné z: <http://plc-automatizace.cz/knihovna/hmi.htm>
- [16] Upraveno z TIA na Dosah.[cit. 2.05.2018] Dostupné z: <http://docplayer.cz/8678220-Tia-na-dosah-prehled-a-novinky-motoru.html>
- [17] David Lála-Vysokootáčkové stroje s PM a jejich aplikace v průmyslu.[cit. 4.05.2018] Dostupné z: [https://dspace5.zcu.cz/bitstream/11025/27599/1/BP\\_Lala\\_David\\_Vysokootackove%20stroje%20s%20PM%20a%20jejich%20aplikace%20v%20prumyslu.pdf](https://dspace5.zcu.cz/bitstream/11025/27599/1/BP_Lala_David_Vysokootackove%20stroje%20s%20PM%20a%20jejich%20aplikace%20v%20prumyslu.pdf)
- [18] momentová charakteristika synchronního stroje s hladkým rotrem.[cit. 4.05.2018] Dostupné z: <http://slideplayer.cz/slide/2894058/10/images/20/Momentov%C3%A1+charakteristika+synchronn%C3%ADho+stroje+s+hladk%C3%BDm+rotorem.jpg>
- [19] RYDLO, Pavel. Řízení elektrických střídavých pohonů. Vyd. 2. V Liberci: Technická univerzita, 2007. ISBN 978-80-7372-223-4.
- [20] SIMATIC HMI KTP700 BASIC.[cit. 8.05.2018] Dostupné z: <https://support.industry.siemens.com/cs/products/6av2123-2gb03-0ax0/simatic-hmi-ktp700-basic?pid=302298&mlfb=6AV2123-2GB03-0AX0&mfnc=ps&lc=en-WW>
- [21] SINAMICS S120 Commissioning Manual 01/2011.[cit. 8.05.2018] Dostupné z: [https://www.google.cz/url?url=https://support.industry.siemens.com/cs/attachments/49084703/IH1\\_112011\\_eng\\_en-US.pdf%3Fdownload%3Dtrue&rct=j&frm=1&q=&esrc=s&sa=U&ved=0ahUKEwioe7E2\\_7aAhWC\\_KQKHTgWBHMqFgggtMAE&usg=AOvVaw1Uojo9xvenw-PuW1b99ln-](https://www.google.cz/url?url=https://support.industry.siemens.com/cs/attachments/49084703/IH1_112011_eng_en-US.pdf%3Fdownload%3Dtrue&rct=j&frm=1&q=&esrc=s&sa=U&ved=0ahUKEwioe7E2_7aAhWC_KQKHTgWBHMqFgggtMAE&usg=AOvVaw1Uojo9xvenw-PuW1b99ln-)

## A Obsah CD

- Elektronická verze bakalářské práce
- Program laboratorního standu
- Program kartézského manipulátoru