

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ



DIPLOMOVÁ PRÁCE

Laboratorní model letmých a rotačních
nůžek

Praha, 2014

Autor: Bc. Tomáš Kletečka

Poděkování

Rád bych poděkoval Doc. Ing. Janu Bílkovi, Csc. za vedení práce a všechny poskytnuté rady. Dále bych chtěl také poděkovat Ing. Juriji Tomisovi za projevenou vstřícnost a ochotu věnovat svůj čas konzultacím při tvorbě této práce. Děkuji Schneider Electric CZ s. r. o. za možnost vypracovat svou diplomovou práci v přátelském prostředí této společnosti.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne 2.1.2014



podpis

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá návrhem softwarových nástrojů pro řízení laboratorního modelu letmých a rotačních nůžek. Model je tvořen komponenty průmyslové automatizace od firmy Schneider Electric. Práce popisuje využití funkčních bloků z knihovny Packaging (od Schneider Electric) formou vzorových projektů, které obsahují kompletní konfiguraci potřebnou pro praktické využití letmých či rotačních nůžek. Dále vznikla přehledná vizualizace pro dotykový operátorský panel, která slouží k ovládání laboratorního modelu a usnadňuje demonstraci funkce letmých a rotačních nůžek včetně nastavení potřebných parametrů pro simulaci průmyslového procesu. V neposlední řadě byly vytvořeny didaktické materiály ve formě prezentací, které poslouží jako nástroj pro výuku na středních školách a školení techniků či zákazníků firmy Schneider Electric.

Abstract

This diploma thesis deals with a design of software tools for control of a laboratory model of flying shear and rotary knife. Laboratory model consists of industrial automation components by Schneider Electric company. This work describes application of function blocks from the Packaging Library (by Schneider Electric) using template projects, which include complete configuration needed for practical usage flying shear and rotary knife. Visualization for human - machine interface, which enables easy setting and control of the model, has been developed as well. Didactic materials, which are included in a form of presentation slides, can be put to use as a learning tool for industrial orientated schools or as a training tool for customers and engineers of Schneider Electric.

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická

katedra řídicí techniky

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student: **Bc. Tomáš Kletečka**

Studijní program: Kybernetika a robotika
Obor: Systémy a řízení

Název tématu: **Laboratorní model letmých a rotačních nůžek**

Pokyny pro vypracování:

1. Navrhněte případné úpravy nebo dovybavení pracoviště tak, aby mohlo být realizováno zadání práce.
2. Synchronizujte pohyb pásu s pohybem osy x robotu tak aby se po dobu synchronního pohybu dala provést simulace výrobní operace (například střih) a poté návrat osy x robotu do výchozí polohy.
3. Rotační nůž simulujte kotoučem s vyznačeným symbolem nože. Pro synchronizaci rotačního nože a robotu použijte komunikační sběrnici CANmotion Schneider Electric.
4. Výsledek práce zpracujte pro účely školení a výuky ve formě didaktických materiálů včetně prezentace v Microsoft PowerPoint.

Seznam odborné literatury:

Manuály a technická dokumentace Schneider Electric

Vedoucí: Doc.Ing. Jan Bílek, CSc.

Platnost zadání: do konce letního semestru 2014/2015


prof. Ing. Michael Šebek, DrSc.
vedoucí katedry




prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.
děkan

V Praze dne 23. 9. 2013

Obsah

Seznam obrázků	ix
Seznam tabulek	xi
1 Úvod	1
1.1 Popis práce a její cíle	1
1.2 Letmé nůžky (popis funkce a použití)	2
1.3 Rotační nůž (popis funkce a použití)	4
2 Hardware	7
2.1 Použité přístroje	7
2.2 Popis pracoviště	9
2.3 Úpravy pracoviště	10
3 Komunikace	13
3.1 CANopen	13
3.2 CANmotion	13
3.3 Ethernet	14
4 Softwarové nástroje - popis a možnosti	17
4.1 CoDeSys	17
4.2 Vývojové prostředí SoMachine	18
4.3 Knihovna Packaging	18
4.4 Vijeo Designer	19
5 Návrh využití softwarových nástrojů	21
5.1 Letmé nůžky z knihovny Packaging	21
5.2 Rotační nůž z knihovny Packaging	27

6	Vzorové projekty v prostředí SoMachine	31
6.1	Vzorový projekt pro letmé nůžky	32
6.2	Vzorový projekt pro rotační nůž	36
6.3	Návrh vizualizace pro operátorský panel	39
7	Prezentace pro didaktické účely	43
8	Testování funkce laboratorního modelu	45
9	Závěr	49
	Literatura	52
A	Obsah přiloženého CD	I
B	Seznam použitých zkratk	III
C	Vyjádření k diplomové práci	V

Seznam obrázků

1.1	Přehledové schéma funkce letmých nůžek.	3
1.2	Závislost polohy os během jednoho provozního cyklu - letmé nůžky.[15] .	4
1.3	Přehledové schéma funkce rotačního nože.	5
1.4	Závislost polohy os během jednoho provozního cyklu - rotační nůž.[15] . .	6
2.1	Hardwarová konfigurace laboratorního modelu.	9
3.1	Princip synchronizace os s využitím sběrnice CANmotion.[12]	15
5.1	Pin diagram funkčního bloku FlyingShears Motion z knihovny Packaging.[15]	24
5.2	Pin diagram funkčního bloku RotaryKnife Motion z knihovny Packaging.[15]	29
6.1	Pohled na použitý laboratorní model.	37
6.2	Vývojový diagram programu pro řízení laboratorního modelu letmých nůžek.	38
6.3	Vizualizační obrazovky pro ovládání modelu v režimu letmých nůžek. . .	42
8.1	Letmé nůžky - závislost polohy os Master a Slave.	47
8.2	Letmé nůžky - vývoj polohy a rychlosti v čase.	48
9.1	Specializovaná učebna automatizace na SŠED Frýdek - Místek.	50

Seznam tabulek

5.1	Popis vstupů a výstupů - funkční blok FlyingShear_Motion	25
5.2	Popis struktury parametrů ST_FSRK_PARAMETER	26

Kapitola 1

Úvod

Se stále rostoucí potřebou zvyšování efektivity průmyslové výroby, přichází i větší snaha o pokročilejší řízení automatizovaných prvků výrobních linek. Synchronizace pohonů se stává nedílnou součástí většiny dnes zaváděných výrobních provozů (zejména balicích linek). Využitím závislého polohování os pohonů lze dosáhnout značné úspory času a tedy i nákladů na výrobu.

Jako typické představitele aplikací se synchronizovanými pohony lze jmenovat funkce letmých a rotačních nůžek. Tyto funkce provádějí operace na materiálu, který se pohybuje na dopravníkovém pásu. Jako příklady prováděných operací lze uvést např. svařování plastové fólie, potisk balení, lepení etiket nebo řezání materiálu.

1.1 Popis práce a její cíle

Tato práce se zabývá aplikací letmých a rotačních nůžek¹ s využitím hardwarových komponent a softwarových nástrojů firmy Schneider Electric. Na reálných laboratorních modelech byly testovány funkce pro tvorbu letmých a rotačních nůžek, které jsou součástí aplikační knihovny softwaru SoMachine. Modely, na které byl aplikován řídicí systém popisovaný níže v této práci, simulují reálné průmyslové aplikace, jako jsou např. balicí linky. Tato práce má zejména didaktický charakter. Výsledky práce budou sloužit jako výukový materiál pro školy s průmyslovým zaměřením, ale také jako školící pomůcka pro techniky a zákazníky firmy Schneider Electric. Výstupem práce je souhrnný a přehledný

¹V této práci bude dále používán souhrnný název *letmé a rotační nůžky* v případě, že je poukazováno na obě funkce zároveň. Samostatně budou funkce nazývány *letmé nůžky* a *rotační nůž*.

popis funkce letmých a rotačních nůžek, postup návrhu řídicího systému (hardwarové konfigurace i řídicího programu) a vzorové programy, které mohou sloužit jako šablony pro tvorbu reálných průmyslových aplikací.

Tato práce vznikla kooperací nejen s firmou Schneider Electric, ale také se Střední školou elektrostavební a dřevozpracující Frýdek - Místek, která vlastní tři specializovaná pracoviště pro výuku automatizační techniky. Výsledky této práce budou využity jak ve výuce studentů tak pro odborná školení pro veřejnost.

Práce si klade tyto hlavní cíle:

- mechanické úpravy laboratorního modelu pro realizaci funkce letmých a rotačních nůžek,
- vytvoření funkčního modelu, simulujícího funkci letmé nůžky a rotační nůž, s využitím softwarových nástrojů firmy Schneider Electric,
- vytvoření vizualizace pro dotykový operátorský panel pro snadné a názorné ovládání laboratorního modelu včetně možnosti nastavování parametrů řídicího procesu,
- vytvoření výukových materiálů, které popisují postup pro tvorbu hardwarové konfigurace a tvorby řídicího programu.

1.2 Letmé nůžky (popis funkce a použití)

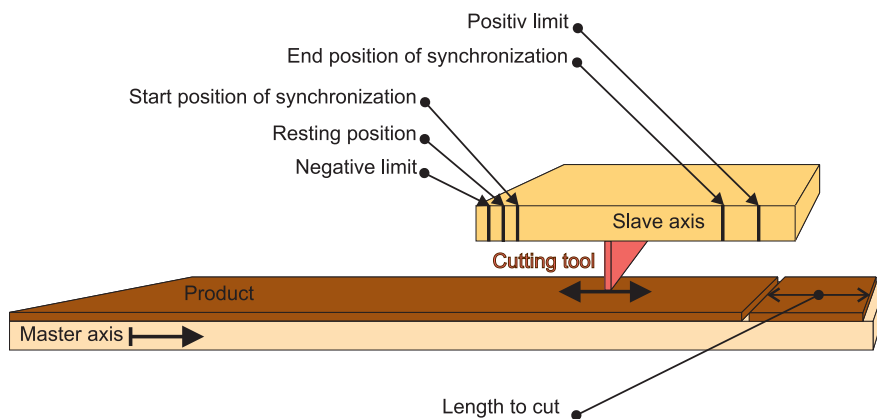
Funkce letmé nůžky zajišťuje synchronizaci dvou lineárních os k provádění operací na stroji, kde jedna osa dopravuje výrobky a druhá osa slouží k pohybu nástroje. Nástroj vykonává operace, kterými mohou být například:

- stříh,
- lepení (nanášení lepidla),
- tisk,
- kontrola kvality,
- a další.

Vzájemnou synchronizací obou os s využitím funkce letmých nůžek je dosaženo plynulého výrobního procesu bez nutnosti zastavovat přísun materiálu. Dopravník tedy plynule dopravuje (zpravidla konstantní rychlostí) výrobky, na kterých se za pohybu provádějí příslušné operace.

Je důležité zmínit, že v aplikaci letmých nůžek, pracují osy v režimu "Master-Slave". Osa dopravující materiál se chová jako "Master" a druhá osa nesoucí nástroj slouží v režimu "Slave".

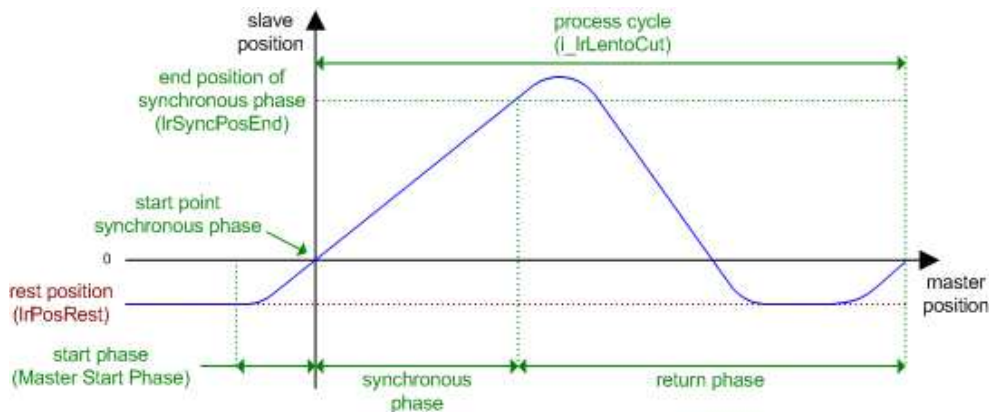
Přehledové schéma (obr. 1.1) znázorňuje základní princip funkce letmých nůžek. Hlavní osa (Master axis) plynule dodává materiál (pouze jedním směrem). Závislá osa (Slave axis), která provádí operaci (například stříh) se může pohybovat v obou směrech v rozmezí mezi negativním koncovým spínačem (Negative limit) a pozitivním koncovým spínačem (Positive Limit). Pokud slave čeká na příchod materiálu, který je dopravován dopravníkem, stojí v čekací poloze (Resting position). Vzdálenost mezi čekací polohou a počáteční polohou synchronizace (Start position of synchronization) slouží rozjezdu osy slave na rychlost hlavní osy. Počáteční poloha synchronizace odpovídá nulové absolutní poloze osy slave². Od počáteční polohy synchronizace se již stříhový nástroj pohybuje stejnou rychlostí jako materiál na dopravníkovém pásu. Než osa slave dosáhne koncové polohy synchronizace (End position of synchronization) může vykonávat operace na materiálu pohybujícím se po dopravníku. Po dosažení koncové polohy synchronizace se nástroj opět vrací do čekací polohy.



Obrázek 1.1: Přehledové schéma funkce letmých nůžek.

Závislost polohy obou lineárních os během jednoho provozního cyklu je přehledně vyobrazena na obr. 1.2. Horizontální osa zde představuje polohu dopravníku (Master) a vertikální osa polohu závislého pohonu (Slave). Před začátkem synchronizace stojí Slave v čekací poloze (rest position). Pak se během spouštěcí fáze (Master Start Phase) rozjede na rychlost synchronní s hlavní osou. Spouštěcí fáze může být iniciována dvěma způsoby - ujetím určité vzdálenosti master osy (v závislosti na konstantní délce stříhu) nebo

²Ze schématu tedy jasně vyplývá, že negativní koncový spínač a čekací poloha musejí mít zápornou hodnotu polohy, jelikož počáteční poloha synchronizace má vždy hodnotu rovnou nule.



Obrázek 1.2: Závislost polohy os během jednoho provozního cyklu - letmé nůžky.[15]

signálem ze senzoru detekujícím značku na produktu, který přichází po hlavní ose. Po průjezdu závislé osy polohou nula začíná synchronní fáze (Synchronous Phase), kdy se hlavní a závislá osa pohybují stejnou rychlostí. Když závislá osa dosáhne koncové polohy synchronizace (End of Synchronous Phase), začíná návratová fáze (Return Phase) a závislá osa se vrací zpět do čekací polohy, kde čeká na začátek dalšího provozního cyklu.

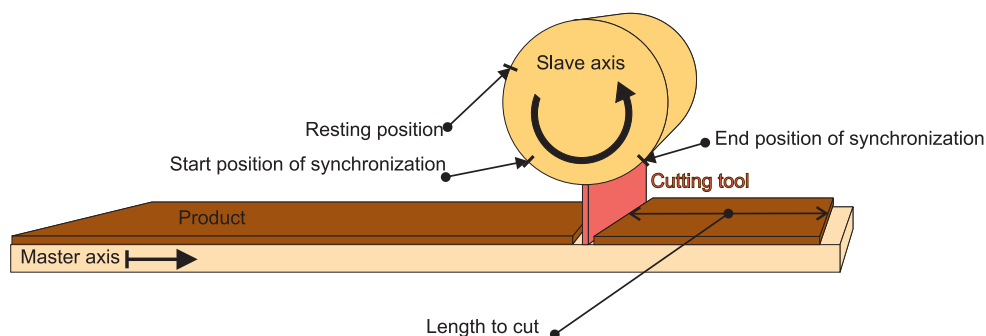
1.3 Rotační nůž (popis funkce a použití)

Funkce rotační nůž slouží k synchronizaci lineární osy, která dopravuje výrobky, s rotační osou, která představuje nástroj provádějící operace na výrobcích. Výrobními operacemi mohou být například:

- řezání,
- lepení,
- tisk,
- etiketování,
- a další.

Princip rotačního nože je velmi podobný principu letmých nůžek. Rotační nůž, ale na rozdíl od letmých nůžek, využívá nástroj umístěný na rotační ose (nikoliv na lineární ose).

Stejně jako u letmých nůžek i zde je hlavním cílem provádět operace na výrobcích, aniž by muselo dojít k zastavení přísunu výrobků pomocí lineární osy.



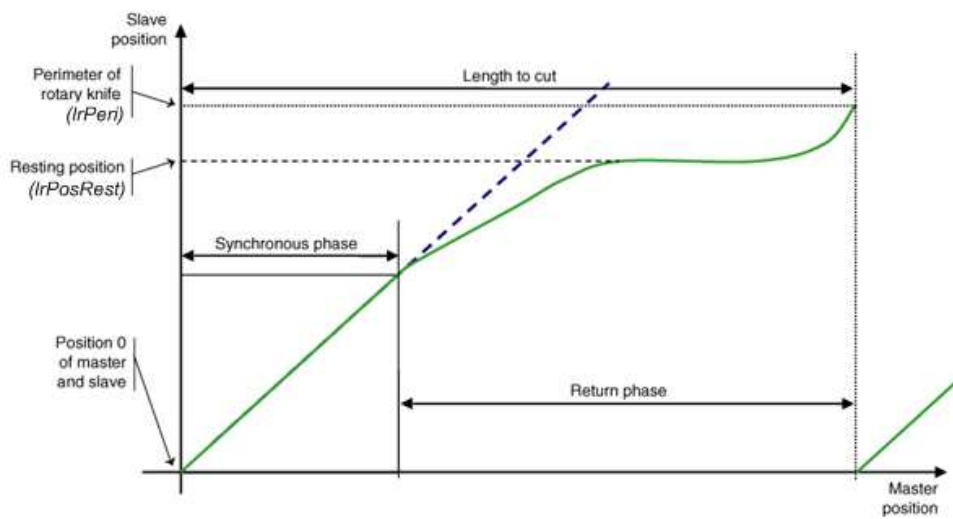
Obrázek 1.3: Přehledové schéma funkce rotačního nože.

Funkci lze nejlépe popsat přehledových schématem na obr. 1.3. Podobnost s obr. 1.1 je zřejmá na první pohled. Hlavním, již zmiňovaným rozdílem je, že závislá osa (Slave axis) není lineární, ale rotační. Operace (obecně stříh) se provádí, když stříhací nástroj (Cutting tool) je v dolní poloze. Aby se zamezilo kolizi při provádění operace stříhu musí se rotační osa, v okolí místa kontaktu s produktem, pohybovat synchronně s osou lineární. Za normálních podmínek (hlavní osa se pohybuje jedním směrem) se rotační osa otáčí pouze ve směru hlavní osy³.

Stejně jako v případě letných nůžek i zde jsou specifikovány tři základní polohy závislé osy - čekací poloha (Resting Position), poloha začátku synchronizace (Start Position of Synchronization) a koncová poloha synchronizace (End Position of Synchronization). Tyto polohy jsou udávány jako hodnoty vzdálenosti na vnějším obvodu rotačního nástroje. Nulová poloha je v počáteční poloze synchronizace.

Závislost polohy os během jednoho provozního cyklu (obr. 1.4) je opět obdobou závislosti již popsané v případě letných nůžek (obr. 1.2). V případě rotačního nože však nedochází ke změně směru pohybu závislé osy v návratové fázi (Return Phase), ale nůž pokračuje v otáčení ve stejném směru než opět dosáhne čekací polohy (Resting Position). Pokud by nůž vykonával zpětný pohyb jako v případě letných nůžek mohlo by dojít k opětovnému (nežádoucímu) kontaktu nástroje s produktem dopravovaným pohybem hlavní osy.

³Pokud se hlavní osa pohybuje vpravo, rotační osa se otáčí v kladném smyslu.



Obrázek 1.4: Závislost polohy os během jednoho provozního cyklu - rotační nůž.[15]

Kapitola 2

Hardware

2.1 Použité přístroje

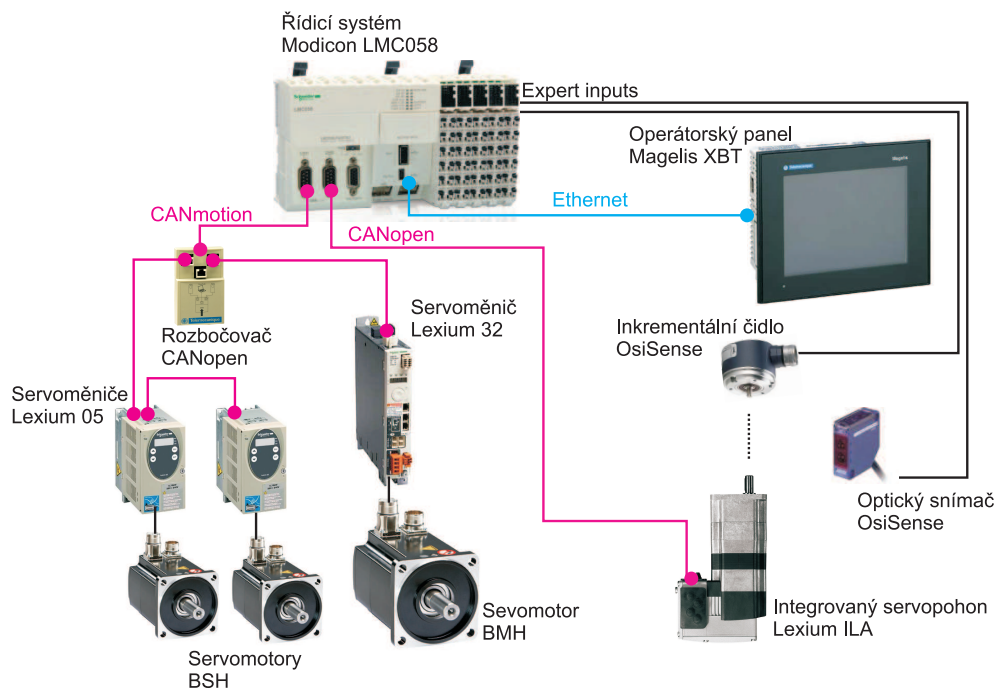
Laboratorní model letmých a rotačních nůžek, který je popisován v této práci, je tvořený hardwarovou konfigurací znázorněnou v obr. 2.1. Níže následuje stručný popis jednotlivých komponent, obsažených v použité konfiguraci:

- **Modicon LMC058** je řídicí systém pro pohony, který umožňuje řízení pro široké spektrum aplikací. Díky softwarové platformě SoMachine, která obsahuje řadu předpřipravených funkcí pro průmyslovou automatizaci, se tento řídicí systém stává výborným řešením zejména pro řízení a synchronizaci servopohonů v reálném čase. Podrobnější informace o možnostech a nastavení tohoto řídicího systému naleznete v [11] a [12].

V této práci je LMC058 nejdůležitější součástí konfigurace, jelikož provádí veškeré řízení pohonů potřebné pro vykonávání funkce letmých a rotačních nůžek. LMC058 zde řídí tři servopohony po sběrnici CANmotion (závislé osy) a jeden servopohon po sběrnici CANopen (hlavní osa představující dopravník). Dále systém komunikuje s operátorským panelem Magelis XBT GT po síti ethernet s využitím speciálního protokolu SoMachine Protocol, zpracovává informace o poloze hlavní osy pomocí rotačního enkodéru a detekuje přítomnost produktů na dopravníkovém pásu díky informaci od fotoelektrického snímače polohy.

- **Lexium 05** je kompaktní řídicí jednotka pro synchronní servomotory. Jednotky Lexium 05 jsou určeny k použití jako výkonové akční členy v pohonných systémech řízených prostřednictvím speciálních řídicích systémů pro servopohony nebo s použitím standardních programovatelných automatů PLC.[6]

- **Lexium 32** je řídicí jednotka určená zejména pro servomotory řady BSH a BMH. Modulární jednotky Lexium 32M umožňují připojení řady rozšiřujících modulů, kterými mohou být například rozhraní pro připojení druhého enkodéru, modul s digitálními a analogovými vstupy nebo bezpečnostní modul pro přídavné bezpečnostní funkce. Ke komunikaci s PLC lze využít několika způsobů komunikace - CANopen, CANmotion, DeviceNet, Profibus DP nebo EtherNet / IP.[13]
- **BSH** je řada synchronních servomotorů, které se používají s řídicími jednotkami Lexium 05 nebo Lexium 32. Vyznačují se malým momentem setrvačnosti rotoru a jsou proto vhodné pro dynamické aplikace. Motory jsou vybaveny absolutním snímačem polohy typu Sin - Cos. V enkodéru motoru je zabudována paměť EPROM s databází základních parametrů motoru, které jsou po připojení k řídicí jednotce přeneseny přes rozhraní HiperFace. Řídicí jednotka tak automaticky optimalizuje své nastavení pro daný motor.[8]
- **BMH** je řada synchronních servomotorů, které se používají s řídicími jednotkami Lexium 32. Vyznačují se středním momentem setrvačnosti rotoru. Jsou to univerzální motory pro široké spektrum aplikací. Motory jsou vybaveny absolutním snímačem polohy typu Sin - Cos. V enkodéru motoru je zabudována paměť EPROM s databází základních parametrů motoru, které jsou po připojení k řídicí jednotce přeneseny přes rozhraní HiperFace. Řídicí jednotka tak automaticky optimalizuje své nastavení pro daný motor.[10]
- **Lexium ILA** zastupuje produkt z řady integrovaných servopohonů. Jedná se o synchronní servomotor s buzením permanentními magnety. Skládá se ze samotného motoru a integrované elektroniky. Jednotka v sobě integruje komunikační a napájecí rozhraní, ovládací elektroniku, brzdu a výkonovou jednotku pro napájení motoru.[7]
- **Magelis XBT GT** je dotykový operátorský panel, který zajišťuje rozhraní mezi obsluhou a řídicím systémem. Panel obsahuje 5,7 palcový TFT displej, který přehledně zobrazuje provozní data přenášená z řídicího systému. Dovoluje také uživateli jednoduše provádět parametrizaci a nastavení systému zadáváním příkazů pomocí dotykové obrazovky. Komunikace s PLC může probíhat s využitím sériové linky RS232 / RS485 nebo připojením do sítě Ethernet. K přenosu dat využívá protokoly Modbus RTU, Modbus TCP nebo SoMachine Protocol. K tvorbě grafické aplikace slouží softwarové prostředí Vijeo Designer, které je součástí balíčku SoMachine.[14]



Obrázek 2.1: Hardwarová konfigurace laboratorního modelu.

- **XCC OsiSense** je inkrementální enkodér, který zajišťuje měření polohy a rychlosti otáčení. V této práci slouží enkodér k synchronizaci dopravníku, poháněného integrovaným servopohonem Lexium ILA, se závislým servopohonem.
- **Osiris XUK** je optoelektronický snímač polohy. Může fungovat ve dvou režimech, buď jako difuzní čidlo nebo jako optická závora (s využitím dvou modulů). Pro nastavení parametrů snímače v závislosti na prostředí a snímaném objektu lze využít automatický učicí mód, který je možné spustit stiskem tlačítka na snímači.

2.2 Popis pracoviště

Laboratorní model, jehož hardwarová konfigurace byla popsána v předcházející podkapitole, obsahuje i další mechanické části, které dotváří komplexní pohyblivý model letmých a rotačních nůžek. V této části následuje popis jednotlivých komponent z hlediska jejich funkce v rámci modelu jakožto celku.

Jádrem celého modelu je řídicí jednotka Modicon LMC058, která zajišťuje řízení čtyř servopohonů. Integrovaný servopohon Lexium ILA slouží k pohonu dopravníkového pásu,

umístěného ve spodní části modelu. Poloha dopravníku je snímána enkodérem, který je zapojen do speciálního vstupu řídicího systému Modicon LMC058. Na bílém povrchu dopravníku jsou příčně nalepeny černé pásy symbolizující značky příchozího výrobku. Pásy jsou rozmístěny v nepravidelných vzdálenostech po obvodu dopravníkového pásu. Poloha značek je snímána foto - elektrickým snímačem, jehož výstup je zapojen do diskrétního vstupu řídicího systému.

Servomotory BSH se servoměniči Lexium 05 pohánějí horizontální a vertikální lineární osy. Tyto osy jsou použity pro simulaci funkce letmých nůžek. Horizontální osa se pohybuje rovnoběžně s dopravníkem a demonstruje osu nesoucí nástroj (Slave axis - viz obr. 1.1). Druhá lineární osa se pohybuje kolmo k dopravníku a svým pohybem znázorňuje provádění operací během synchronní fáze. Pokud se tedy vodorovná osa pohybuje synchronně s dopravníkem, může vertikální osa provádět operaci (např. stříh), který je simulován pohybem nahoru - dolů.

Servomotor BMH se servoměničem Lexium 32 pohání rotační osu, která symbolizuje rotační nůž (Slave axis - viz obr. 1.3). Rotační nůž je znázorněn plastovým diskem instalovaným na hřídeli rotační osy. Tento disk je umístěn v pravé dolní části modelu a částečně se překrývá s dopravníkovým pásem.

Dále model je vybaven grafickým dotykovým panelem, který slouží k ovládání modelu. Uživatelé umožňuje nastavovat parametry řídicího systému a spouštět simulaci letmých a rotačních nůžek bez nutné znalosti programovacího prostředí SoMachine, ve kterém je řídicí program vytvořen.

2.3 Úpravy pracoviště

Pro správnou funkčnost a názornou demonstraci všech možností aplikace letmých a rotačních nůžek byly na modelu, který již byl součástí laboratoře technické podpory Schneider Electric, provedeny úpravy popsané v této kapitole. Jako hlavní změny lze jmenovat následující:

- instalaci, nastavení a zapojení optického snímače, který nebyl v původní konfiguraci obsažen,
- rozmístění černých značek na dopravníkový pás,

- instalaci, nastavení a zapojení servoměniče Lexium 32 se servomotorem BMH pro demonstraci funkce rotačního nože,
- přidání disku symbolizujícího rotační nůž,
- k pojezdu vertikální osy bylo instalováno laserové ukazovátko, které svítí kolmo na dopravníkový pás a přehledně tak znázorňuje synchronní pohyb pásu s vodorovnou osou (laser sleduje polohu černého pásu).

Kapitola 3

Komunikace

3.1 CANopen

CANopen je mezinárodně uznávaným standardem pro systémy distribuované průmyslové automatizace založené na protokolu CAN. CANopen byl vyvinut organizací CAN-in-Automation (CiA) a je též znám jako norma EN 50325-4. Nedlouho po svém vzniku si získal širokou oblibu, zejména v Evropě, a je považován za dominantní standard průmyslových komunikací založených na protokolu CAN.[4]

Rodina CANopen profilů je založena na specifikaci základních komunikačních mechanismů a standardizovaných forem sloužících k popisu funkcionality různých zařízení.

Ty nejdůležitější zařízení jako jsou programovatelné řídicí jednotky, senzory nebo vstupně/výstupní moduly jsou popsány takzvaným "profilem zařízení" (Device Profile). V těchto profilech je popsána funkcionality, parametry a data standardních zařízení. Díky standardizovaným profilům lze přistupovat po jedné sběrnici k zařízením různých výrobců.[3]

3.2 CANmotion

Rodina standardů CANopen také zahrnuje řadu profilů pro speciální zařízení a jejich aplikace. Jedná se například o aplikace ve zdravotnictví, výtahové aplikace, železniční vozidla a tak dále. V případě průmyslových polohovacích systémů, na které je tato práce zaměřena, je žádaná speciální sada profilů pro aplikace s elektrickými pohony. Tyto aplikace využívající servokontroléry, krokové motory nebo servomotory vyžadují speciální

CANopen profily, které zajistí rychlou a přesnou synchronizaci těchto zařízení.[3]

Specializovaná sběrnice standardu CANmotion od Schneider Electric spolu s kontrolérem Modicon LMC058 dokáže zajistit synchronizaci až osmi následujících zařízení:

- servoměnič Lexium 05,
- servoměnič Lexium 32,
- měnič pro krokový motor Lexium SD3.

Synchronizace probíhá cyklickým odesíláním synchronizačních značek. Během každého cyklu PLC je vypočítána nová požadovaná hodnota (polohy, točivého momentu nebo rychlosti) a je odeslána do každého zařízení ve zprávě TPDO (Transmit Process Data Object). Všechna zařízení se tak aktualizují na požadovanou hodnotu ve stejný čas. Poté každé zařízení odešle zpět svou aktuální polohu do PLC ve zprávě RPDO (Receive Process Data Object). Maximální zpoždění synchronizačního mechanismu je $75 \mu\text{s}$.

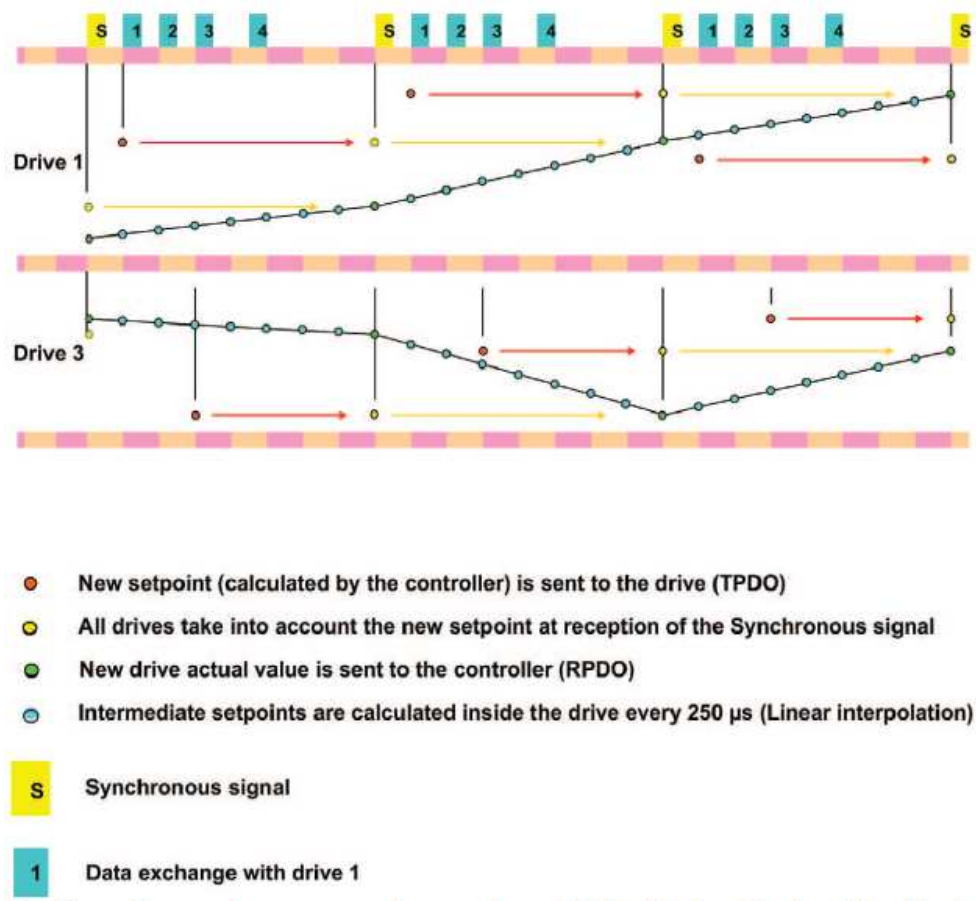
Mechanismus synchronizace po sběrnici CANmotion je graficky popsán na obr. 3.1. Po přijetí synchronizačního signálu odešle každé zařízení svou aktuální hodnotu (např. polohy) do řídicího systému¹ a začnou se polohovat dle nové žádané hodnoty. Každé zařízení lineárně interpoluje hodnoty každých $250 \mu\text{s}$ tak, aby dosáhlo žádané hodnoty v době přijetí příštího synchronizačního signálu. V době mezi synchronizačními signály probíhá postupně komunikace s jednotlivými zařízeními, kdy každé zařízení přijme novou žádanou hodnotu, která bude platná po přijetí příštího synchronizačního signálu.[12].

3.3 Ethernet

V hardwarová konfiguraci na obr. 2.1 je znázorněné propojení mezi operátorským panelem Magelis a řídicím systémem Modicon po fyzické vrstvě ethernet. Softwarové prostředí SoMachine a Vijeo Designer nabízí možnost různého nastavení z hlediska použitého protokolu pro přenos dat mezi těmito dvěma zařízeními. Lze využít protokolu Modbus TCP, který je jedním ze standardů pro průmyslovou komunikaci po síti ethernet. Více informací o tomto protokolu naleznete na [2]. Druhou možností je komunikace prostřednictvím SoMachine Protocolu. Tento speciální protokol zajišťuje snadný přenos proměnných mezi zařízeními platformy SoMachine. K proměnným definovaným v PLC lze jednoduše přistupovat z HMI, aniž by se muselo být explicitně odkazováno na určitou

¹V případě této práce se jedná o Modicon LMC058.

adresu v paměti PLC, ale stačí jednoduše využít název zvolené proměnné. V této práci je ke komunikaci mezi HMI a PLC zvolen SoMachine protokol, který je z důvodů výše popsaných výhodnější variantou pro komunikaci mezi produkty podporujícími platformu SoMachine. [9]



Obrázek 3.1: Princip synchronizace os s využitím sběrnice CANmotion.[12]

Kapitola 4

Softwarové nástroje - popis a možnosti

4.1 CoDeSys

CoDeSys (Controller Development System) je obecný, na platformě nezávislý, vývojový nástroj pro průmyslovou automatizaci, který vyvinula firma 3S - Smart Software Solutions GmbH. V základu se skládá ze dvou částí: programovacího systému CoDeSys a runtime systému CoDeSys runtime.[1]

Plní tyto hlavní úlohy:

- tvorba aplikací pro průmyslovou automatizaci,
- nahrávání a zpracovávání aplikací,
- ladění aplikací v libovolném jazyce dle IEC,
- komunikace s programovacím systémem,
- směrování zpráv v síti řídicího systému,
- obsluha vstupně/výstupních systémů.

CoDeSys umožňuje programování ve všech pěti jazycích dle normy IEC 61131 - 3, jimiž jsou: instrukční list (IL), diagram funkčních bloků (FBD), strukturovaný text (ST), sekvenční funkční diagram (SFC), žebříkový diagram (ladder diagram), označovaný také jako reléové schéma.

Více než 250 OEM zákazníků a tisíce koncových uživatelů činí z CoDeSysu nejrozšířenější vývojový nástroj splňující normu IEC 61131 - 3. Stal se standardem v programování řídicích systémů a PLC. [5]

4.2 Vývojové prostředí SoMachine

SoMachine je softwarový nástroj od firmy Schneider Electric určený pro návrh, programování, oživování a provozní správu strojů (PLC, HMI, pohony, frekvenční měniče). Vývojové prostředí SoMachine je založeno na výše popsaném CoDeSys V3. Vývojové prostředí SoMachine přináší oproti samotnému CoDeSysu mnohá rozšíření, zejména z hlediska uživatelského pohodlí. SoMachine přináší například tyto výhody:

- rozšíření knihoven funkčních bloků,
- specializované OEM aplikační knihovny,
- snadné integrování externích zařízení,
- soubor funkcí pro monitorování a ladění stroje,
- možnost programovat PLC i HMI v jedné aplikaci.

V současné době je na trhu verze SoMachine V3.1. Tato práce, jejíž součástí je využití specializované aplikační knihovny pro balicí stroje (Packaging Library), je vypracována v SoMachine V3.1 SP2.[5]

4.3 Knihovna Packaging

Knihovna Packaging Library je jednou z aplikačních knihoven pro výrobce strojů, obsažených v softwarovém nástroji SoMachine. Tato knihovna obsahuje sadu funkčních bloků, které usnadňují tvorbu řídicích programů pro balicí stroje. V této práci je využito dvou funkčních bloků z této knihovny: FlyingShear_Motion pro řízení letmých nůžek a RotaryKnife_Motion pro řízení rotačního nože. Popisu těchto dvou bloků je věnována následující kapitola. Z ostatních bloků obsažených v knihovně Packaging Library lze jmenovat tyto:

- Clamping_Motion - řízení pro dotahování,
- TemperatureControl - přesné řízení a regulace teploty na žádanou hodnotu. Funkční blok se využívá například pro regulaci teploty při svařování plastových obalových fólií,
- XYPickAndPlace - funkční blok slouží pro řízení polohování dvouosého manipulátoru při manipulaci s materiálem.

Více informací o knihovně Packaging Library naleznete v [15].

4.4 Vijeo Designer

Softwarové prostředí Vijeo Designer slouží k návrhu aplikací pro operátorské panely řady Magelis. Tento nástroj je součástí balíčku SoMachine, ale existuje také jako samostatný software. Jeho využitím se vytváří vizualizace řídicího systému, které mohou využívat řady grafických prvků. Vijeo Designer obsahuje řadu předpřipravených objektů (tlačítek, signalizačních ikon, oken pro správu uživatelů, atd.). V závislosti na použitém HMI lze také využít multimediální funkce jako jsou přehrávání videa a zvuku nebo zobrazování fotografií. Programátor má také možnost chránit svá data využitím široké řady možností pro zabezpečení a řízení přístupu uživatelů.

V této práci byl Vijeo Designer využit k návrhu grafického uživatelského rozhraní pro operátorský panel, které slouží k ovládání laboratorního modelu letmých a rotačních nůžek.

Kapitola 5

Návrh využití softwarových nástrojů

Knihovna aplikačních funkčních bloků Packaging Library poskytuje programové vybavení pro realizaci funkcí letmých a rotačních nůžek. Následující dvě podkapitoly jsou věnovány popisu dvou funkčních bloků z této knihovny, které jsou využity v této práci. Aplikace těchto funkčních bloků je relativně složitou úlohou vzhledem k velkému počtu vstupních a výstupních parametrů. Z toho důvodu bude věnována tato kapitola možnostem nastavení a parametrizaci těchto funkčních bloků. S ohledem na didaktický účel této práce je podrobný popis včetně ukázky použití v konkrétním programu (další kapitola) nezbytností.

5.1 Letmé nůžky z knihovny Packaging

Tato podkapitola se zabývá popisem funkčního bloku FlyingShear_Motion, jehož náhled můžete nalézt na obr. 5.1. Tento aplikační funkční blok složí k synchronizaci dvou lineárních os pro funkci letmých nůžek. Tabulka 5.1 obsahuje popis jeho nejdůležitějších vstupů a výstupů. Výčet z důvodů přehlednosti nepokrývá kompletní nabídku vstupů a výstupů. Některé vstupy slouží k ovládní funkcí, které nejsou v této práci aplikovány, a jejichž popis by mohl činit práci nepřehlednou, proto byly z výčtu vypuštěny.

Tabulka 5.1 popisuje všechny potřebné vstupy - výstupy funkčního bloku dostatečně podrobně. Pouze poslední položka tabulky (iq_stPara) si zaslouží podobnější popis. Tato vstupně-výstupní proměnná typu ST_FSRK_PARAMETER je strukturou definovanou v knihovně Packaging Library. Proměnná tohoto typu slouží k nastavení parametrů funkčního bloku FlyingShear_Motion nebo RotaryKnife_Motion. Tabulka 5.2 popisuje

nejdůležitější parametry, které tato struktura obsahuje. Ze stejného důvodu jako v předchozí tabulce ani zde není uveden kompletní výčet. Pro nepopsané parametry ze struktury `ST_FSRK_PARAMETER` je postačující využít tovární (defaultní) nastavení, jelikož se týkají parametrizace funkcí, které nejsou v této práci využity.

Jednotlivé parametry ze struktury `ST_FSRK_PARAMETER` si zaslouží bližší popis, proto budou nyní blíže specifikovány jeden po druhém. První parametr *lrPeri* je určen pro funkci rotačního nože, proto jeho hodnota není v tomto případě relevantní. Následující dva parametry *lrPosRest* a *lrSyncPosEnd* slouží k nastavení hodnot pro polohy závislé osy letných nůžek, které jsou přehledně vyobrazeny na obr. 1.1. Negativní a pozitivní limit osy je dán mechanickými vlastnostmi stroje, proto ho není potřeba explicitně definovat pro funkci bloku `FlyingShear_Motion`. Počáteční poloha synchronizace je z definice vždy rovna nule. Zbývá tedy nastavit pouze dva parametry a to *lrPosRest* pro čekací polohu a *lrSyncPosEnd* pro koncovou polohu synchronizace.

Jelikož lze zvolit různé nastavení pro čtení signálu z polohového spínače, který udává informaci i příchozím produktu na dopravníku, je nutné toto nastavení specifikovat parametrem *diCptrNb*. V této práci bude využít standardní logický vstup PLC, který je mapován na vstupní proměnnou *i_xTpInputStd* funkčního bloku `FlyingShear_Motion`. Z tohoto důvodu je nutno nastavit hodnotu parametru *diCptrNb* rovnou nule.

Polohový spínač, který je v této práci zastoupen foto-elektrickým snímačem polohy, slouží k detekci příchozích výrobků po hlavní ose. Tento polohový spínač musí být umístěn v určité vzdálenosti před počáteční polohou synchronizace, aby při detekci výrobku měla závislá osa dostatečně dlouhý čas potřebný k rozjezdu z čekací polohy do počáteční polohy synchronizace a přitom dosáhla synchronní rychlosti s hlavní osou. Poloha reálného umístění polohového spínače musí být uvedena v parametru *lrTpDistToSypt*. Tato poloha musí být větší než minimální hodnota, která je dána výstupním parametrem *lrTpDistToSyptMin*, který je vypočítán funkčním blokem `FlyingShear_Motion` použitím následující formule:

$$lrTpDistToSyptMin = \left| 1,875 \cdot \frac{lrPosRest}{lrM} \right| + \frac{lrTpWdow}{2}, \quad (5.1)$$

kde parametr *lrM* udává poměrnou rychlost os slave a master v synchronním režimu. V této práci využíváme pouze defaultní hodnotu parametru, kdy *lrM* je rovno 1. To znamená, že v synchronní fázi se závislá osa pohybuje stejnou rychlostí jako dopravník.

Toleranční okno polohového spínače je dáno nastavením parametru *lrTpWdow*. Hodnota tohoto parametru je relevantní pouze pro operační módy 1 a 2 popsané v následující kapitole.

dujícím odstavci. Význam hodnoty tolerančního okna tedy bude z důvodu přehlednosti vysvětlen níže.

Funkční blok pro letmé nůžky může pracovat ve třech různých režimech, které se přepínají pomocí hodnoty parametru *diOpMode*. Tři operační módy funkčního bloku lze definovat takto:

- **Operační mód 0:** Tento mód je využíván pro zpracování výrobků, které přichází po dopravníku ekvidistantně za sebou. Je to nejjednodušší z operačních módů. Vzdálenost mezi výrobky odpovídá délce jednoho procesního cyklu a je definována pomocí vstupní proměnné *i_lrLenToCut*. Parametr *i_lrLenToCut* může být modifikován za pohybu stroje. Jeho změny nabudou platnost v dalším procesním cyklu.
- **Operační mód 1:** Tento operační mód má v podstatě stejnou funkci jako mód 0. Jeho rozšíření spočívá v automatické korekci vzdálenosti mezi produkty. Tato korekce probíhá za využití signálu z polohového spínače. Korekce vzdálenosti se s výhodou uplatňuje například v případě provádění stříhu pružného materiálu, kde může docházet k deformacím, protáhnutí atd. V tomto případě se využije značek umístěných na materiálu, které slouží ke korekci vzdálenosti.

Základním podmínkou stříhu je opět vstupní proměnná *i_lrLenToCut*, která udává vzdálenost produktů (délku stříhu). Pokud je detekován příchozí produkt (značka) v tolerančním rozsahu, je provedena výrobní operace (střih) s korekcí vzdálenosti. To znamená, že je použita reálná vzdálenost získaná pomocí polohového spínače. Pokud v tolerančním rozsahu není detekován příchozí produkt (značka), tak je provedena operace na pozici dané délkou stříhu. Pokud počet stříhů provedených v řadě pouze dle *i_lrLenToCut* (nikoli dle detekované značky) dosáhne hodnoty definované v parametru *diTpMisdMax* je vybaven alarm. Toleranční rozsah (*RngOfTlr*) je definován pomocí tolerančního okna polohového spínače následujícím způsobem:

$$i_lrLenToCut - \frac{lrTpWdow}{2} < RngOfTlr < i_lrLenToCut + \frac{lrTpWdow}{2}. \quad (5.2)$$

- **Operační mód 2:** V tomto operačním módu přicházejí po dopravníku produkty v nerovnoměrných vzdálenostech. Proto zde není relevantní nastavení parametru *i_lrLenToCut*. Operace jsou prováděny výhradně dle reálné polohy produktů detekované polohovým spínačem.

Pro všechny tři operační módy je nutné dodržet podmínku minimální délky stříhu (minimální vzdálenosti produktu). Tuto minimální hodnotu lze vyčíst v parametru *lrTp-*



Obrázek 5.1: Pin diagram funkčního bloku FlyingShears Motion z knihovny Packaging.[15]

$DistToSyptMin$, který je počítán funkčním blokem FlyingShear_Motion za použití následujících formulí:

- v případě operačního módu 0:

$$l_rLenToCutMin = l_rPosSyncEnd, \quad (5.3)$$

- v případě operačního módu 1:

$$l_rLenToCutMin = l_rPosSyncEnd + \frac{l_rTpWdow}{2}, \quad (5.4)$$

- v případě operačního módu 2:

$$l_rLenToCutMin = l_rPosSyncEnd + \left| \frac{l_rPosRest}{2} \cdot 1,875 \right|. \quad (5.5)$$

Poznámka: Minimální délka stříhu vypočítaná dle výše uvedených formulí je hodnota teoretická. V praxi se zkracováním délky stříhu zvyšují nároky na rychlost a akceleraci závislé osy (slave), proto reálná hodnota minimální délky stříhu závisí na rychlosti, zrychlení a zpomalení, které dokáže zvládnout pohon a mechanické části osy.

Tabulka 5.1: Popis vstupů a výstupů - funkční blok FlyingShear_Motion

Proměnná	Typ	Popis
Vstupní		
i_xActv	BOOL	TRUE: Aplikační funkční blok je aktivní, FALSE: Aplikační funkční blok je neaktivní.
i_xExe	BOOL	TRUE: Spuštění pohybu v závislosti na operačním módu, FALSE: Pohyb je zastaven. Poznámka: Pokud je slave v synchronní fázi, pohyb nebude zastaven okamžitě.
i_lrLentoCut	LREAL	Délka stříhu (vzdálenost mezi produkty přicházejícími po dopravníku). Lze měnit za běhu. Platné pouze pro operační mód 1 a 2.
i_xTpInputStd	BOOL	Standardní vstup pro polohový spínač (snímání polohy příchozího produktu na dopravníku). Platné pouze pro $diCptrnb = 0$
Výstupní		
q_xActiv	BOOL	TRUE: Aplikační funkční blok byl inicializována a aktivován. FALSE: Aplikační funkční blok není aktivní.
q_xCoupled	BOOL	TRUE: Slave je spřažen s osou master a je připraven dle profilu letmých nůžek.
q_xInSync	BOOL	TRUE: Slave vykonává pohyb v synchronní fázi operačního cyklu letmých nůžek.
q_xAlrm	BOOL	Detekce alarmu.
q_diAlrmId	DINT	ID detekované chyby.
Vstupně-výstupní		
iq_stDrvMstr	SM3_Basic .AXIS_ REF_SM3	Referenční struktura hlavní osy (master).
<i>Tabulka pokračuje na další straně</i>		

iq_stDrvSlav	SM3_Basic .AXIS_ REF_SM3	Referenční struktura závislé osy (slave).
iq_stPara	ST_FSRK_ PARAME- TER	Struktura parametrů sloužící k nastavení funkce letmých nůžek.

Tabulka 5.2: Popis struktury parametrů ST_FSRK_PARAMETER

Vstupy		
Parametr	Typ	Popis
lrPeri (pouze pro rotační nůž)	LREAL	Obvod rotačního nože. Vzdálenost mezi noži v případě vícenožové aplikace. Tovární nastavení: 0 [Udáváno v uživatelských jednotkách osy slave].
lrPosRest	LREAL	Čekací poloha (Rest Position). Tovární nastavení:0 [Udáváno v uživatelských jednotkách osy slave].
lrSyncPosEnd	LREAL	Koncová poloha synchronizace (Synchronization end position). Tovární nastavení: 0 [Udáváno v uživatelských jednotkách osy slave].
diCptrNb	DINT	Volba vstupu pro signál z polohového spínače. Pro použití standardního vstupu i_xToInputStd je nutné nastavit hodnotu 0.
lrTpDistToSypt	LREAL	Vzdálenost mezi polohovým spínačem a počáteční polohou synchronizace. Platné pouze pro operační módy 1 a 2. Tovární nastavení: 500 [Udáváno v uživatelských jednotkách osy master].
<i>Tabulka pokračuje na další straně</i>		

lrTpWdow	LREAL	Toleranční okno pro polohový spínač. Pro operační mód 1: Rozsah planého snímání polohy. Pro operační mód 2: Vzdálenost od poslední aktivity polohového snímače, během které jsou jeho další signály ignorovány.
diOpMode	DINT	Volba operačního módu. 0: Rovnoměrný přísun produktů. 1: Rovnoměrný přísun produktů s kompenzační značkou. 2: Nerovnoměrný přísun produktů. Střih dle kompenzační značky. Tovární nastavení: 0
diTpMisdMax	DINT	Maximální počet sepnutí polohového spínače mimo jeho toleranční okno dané parametrem lrTpWdow. Platné pouze pro operační mód 1. Tovární nastavení: 0
Výstupy		
lrTpDistToSyptMin	LREAL	Minimální vzdálenost mezi polohovým spínačem a počáteční polohou synchronizace (nulová poloha osy slave). Relevantní pouze pro operační mód 1 a 2.
lrLentoCutMin	LREAL	Minimální délka stříhu. Počítáno aplikačním funkčním blokem.

5.2 Rotační nůž z knihovny Packaging

Tato podkapitola je věnována popisu aplikačního funkčního bloku RotaryKnife_Motion z knihovny Packaging Library, který slouží k realizaci funkce rotačního nože. Struktura i použití tohoto funkčního bloku se příliš neliší od funkčního bloku FlyingShear_Motion. Na základě předpokladu, že je čtenář již seznámen s funkčním blokem popsáním v předchozí podkapitole, bude nyní poukázáno pouze na vlastnosti a nastavení, které se liší od těch již popsanych pro funkční blok FlyingShear_Motion. Na obr. 5.2 naleznete ná-

hled funkčního bloku. Struktura jeho vstupů a výstupů (včetně jejich funkce) se neliší od té, která byla popsána v předchozí kapitole. Informace o nejdůležitějších vstupech a výstupech, uvedených výše v tabulce 5.1, jsou tedy platné i pro funkční blok RotaryKnife_Motion.

Struktura parametrů ST_FSRK_PARAMETER , sloužící k nastavení funkčního bloku a režimu funkce, již také byly popsány v předchozí podkapitole. Oproti funkci letmých nůžek je nutné pro správnou funkci rotačního nože nastavit jeden parametr navíc - $lrPeri$. Tento parametr udává obvod rotačního nože nebo vzdálenost mezi noži, pokud je využit vícenožový systém. Veškeré potřebné parametry již byly popsány v tabulce 5.2.

Minimální vzdálenost mezi středem rotačního nože a polohou optického spínače, která je vypočítávána uvnitř funkčního bloku RotaryKnife_Motion, lze číst z jeho výstupní proměnné $lrTpDistToSyptMin$. Hodnota této proměnné je dána rovnicí 5.6, kde parametr lrM je stejně jako v případě 5.1 roven nule.

$$lrTpDistToSyptMin = |1,875 \cdot \frac{lrPeri - lrPosRest}{lrM}| + \frac{lrTpWdow}{2}, \quad (5.6)$$

Jednotlivé operační módy, popsané výše pro letmé nůžky, jsou platné také pro rotační nůž. Hlavní rozdíl ve funkci rotačního nože oproti funkci letmých nůžek je v rotačním pohybu nože, který je vykonáván pouze v jednom směru. V návratové fázi se tedy nůž nevrací zpět opačným směrem, ale přetáčí se dokola.

Stejně jako v podkapitole 5.1, i zde je nutné dodržet minimální délku stříhu (minimální vzdálenost mezi produkty). Tuto minimální hodnotu lze vyčíst v parametru $lrTpDistToSyptMin$, který je počítán funkčním blokem RotaryKnife_Motion za použití následujících formulí:

- v případě operačního módu 0: viz 5.3,
- v případě operačního módu 1: viz 5.4,
- v případě operačního módu 2:

$$lrLenToCutMin = lrPosSyncEnd + \left| \frac{lrPeri - lrPosRest}{2} \cdot 1,875 \right|. \quad (5.7)$$



Obrázek 5.2: Pin diagram funkčního bloku RotaryKnife Motion z knihovny Packaging.[15]

Kapitola 6

Vzorové projekty v prostředí SoMachine

Pro oživení laboratorního modelu letmých a rotačních nůžek bylo zapotřebí vytvořit funkční programy pro PLC Modicon LMC058, které řídí pohyby os modelu. Tyto řídicí programy byly vytvořeny s předpokladem, že budou sloužit jako funkční didaktický nástroj. Přehledná a jednoduchá struktura byla cíleně využita k tvorbě vzorových projektů v softwarovém prostředí SoMachine. Vznikly dva oddělené projekty - jeden pro letmé nůžky a druhý pro rotační nůž. Tyto projekty si kladou několik specifických cílů:

- demonstrace funkcí Letmé nůžky a Rotační nůž na reálném funkčním modelu,
- pochopení struktury nástrojů z knihovny Packaging Library a jejich reálného použití,
- vytvoření šablon, které budou složité jako vzor pro tvorbu aplikací využívajících nástroje z této knihovny,
- vzniklé vzorové projekty budou snadno aplikovatelné na jinou hardwarovou strukturu než tu popsanou v kapitole 2.

Vzorové projekty záměrně nevyužívají veškerých možností použitých funkčních bloků z knihovny Packaging Library. Pro zachování názornosti a přehlednosti byly vytvořeny takové programy, které zajistí plnou funkčnost laboratorního modelu s využitím přiměřené míry parametrizace. Pro širší využití možností funkčních bloků *FlyingShear_Motion* a *RotaryKnife_Motion* lze nahlédnout do [nápopověda SoMa].

Při ladění funkce vzorových projektů byl využit on-line režim vývojového prostředí SoMachine, který umožňuje sledovat a nastavovat hodnoty proměnných. Pro usnadnění vývoje aplikace a jejího testování byla také využita vizualizace, jež je dalším z nástrojů,

keré prostředí SoMachine nabízí. Tato vizualizace přehledně zobrazuje vybrané proměnné v online režimu a umožňuje jednodušší nastavování proměnných. Po celkovém odladění programů a zprovoznění funkcí letmých nůžek a rotačního nože byly také vytvořeny vizualizační aplikace pro operátorský panel Magelis XBT. Ovládání laboratorního modelu s využitím operátorského panelu přináší řadu výhod pro obsluhující uživatele. Ti pak nemusejí používat počítač s vývojovým prostředím SoMachine k nastavení a spuštění aplikace. Proměnné potřebné k ovládání modelu jsou přehledně vyvedeny na operátorský panel, což značně zvyšuje uživatelské pohodlí. Podrobněji bude vizualizace popsána níže v této kapitole.

Tato kapitola popisuje vzniklé vzorové projekty a jejich funkce zejména z uživatelského hlediska. Samotná tvorba programu a konkrétní softwarová struktura jsou rozebrány v Kapitole 7 a v didaktických prezentacích, které naleznete na příloženém CD.

Již během tvorby této diplomové práce byla ověřena využitelnost vzniklých vzorových projektů. Pro potřeby Střední školy elektrostavební a dřevozpracující Frýdek - Místek byly vzniklé vzorové projekty modifikovány a aplikovány v učebně automatizace pro řízení laboratorních modelů letmých a rotačních nůžek. Tyto laboratorní modely využívají odlišnou hardwarovou strukturu než je popsána v Kapitole 2.

6.1 Vzorový projekt pro letmé nůžky

Pro řízení laboratorního modelu v režimu letmých nůžek byl vytvořen projekt v softwarovém prostředí SoMachine. Projekt využívá funkční blok *FlyingShear_Motion* z aplikační knihovny Packaging Library. Tato podkapitola popisuje funkci a strukturu řídicího programu pro PLC Modicon LMC058, jenž je znázorněn vývojovým diagramem na obr. 6.2.

Kromě samotného vykonávání funkce letmých nůžek, obstarává vzorový projekt pro řízení laboratorního modelu i další nezbytné činnosti:

- zajišťuje komunikaci mezi řídicím systémem a jeho periferiemi obsaženými v hardwarové konfiguraci,
- provádí nastavení servopohonů, které pohání pohybové osy modelu,
- uvádí model do stavu, který je potřebný ke spuštění funkce letmých nůžek (najejí osy do počáteční polohy, nastavení a spuštění pohybu dopravníkové osy, apod.),
- umožňuje parametrizaci funkčního bloku *FlyingShear_Motion*, jenž je nezbytná k jeho správné funkci a volbě různých operačních režimů,

- dovoluje monitorování činnosti programu využitím vizualizace.

Vzorový projekt byl vytvořen pro konkrétní hardwarovou konfiguraci popsanou v Kapitole 2.

Reálný pohled na laboratorní model, který je složen z prvků výše popsané konfigurace, je vyobrazen na obr. 6.1. Tento model obsahuje také mechanické pohyblivé části, které demonstrují funkci letmých nůžek. Integrovaný servopohon Lexium ILA pohání dopravníkový pás, na kterém jsou umístěny černé pásy symbolizující příchozí produkty. Tyto černé pásy jsou detekovány optoelektronickým snímačem. Poloha dopravníku je snímána inkrementálním enkodérem. Servomotor BSH č. 1 slouží k pohonu pojezdu osy X laboratorního modelu. S pohybem osy X se pohybuje laserové ukazovátko, které směřuje paprsek na dopravník a značí tak místo, kde bude prováděna operace stříhu. Servomotor BSH č. 2 slouží k pohonu pojezdu osy Y laboratorního modelu. Pohyb osy Y není ve vzorovém projektu realizován. Oba motory BSH jsou řízeny servoměniči Lexium 05. Dále model obsahuje operátorský panel Magelis XBT, který slouží k ovládní modelu s využitím vizualizačních obrazovek popsaných níže. Servomotor BMH poháněný servoměničem Lexium 32 demonstruje funkci rotačního nože. Řídicí systém Modicon LMC058 a servoměnič Lexium 32 nejsou v pohledu (obr. 6.1) zachyceny.

Řídicí program popsaný v obr. 6.2 nepracuje zcela autonomně od začátku do konce, ale vyžaduje interakci s uživatelem, která je zajištěna pomocí grafického operátorského panelu, jehož využití bude popsáno později v podkapitole 6.3. Tato interakce dává uživateli možnost ovládat laboratorní model a lépe pochopit jednotlivé kroky programu popsané ve vývojovém diagramu. Veškeré parametry, které je nutné nastavit pro správnou funkci modelu, jsou přednastaveny na počáteční hodnoty. Noví uživatelé tedy nemusejí provádět žádnou parametrizaci, ale pouze zajišťují spuštění jednotlivých fází programu. Uživatel, který si osvojí ovládní přednastaveného modelu, může dále využít změny nastavení a spouštět model v různých režimech jeho funkce.

Interakce uživatele s řídicím systémem zmiňovaná v předchozím odstavci bude nyní popsána podrobněji. Kroky, které musí uživatel provést ke správné funkci programu (dle diagramu na obr. 6.2), jsou popsány níže.

- **Odblokování pohonu Master:** uživatel provede spuštění výkonového funkčního bloku, který pohon uvede do tzv. "power stage". Dojde tak k odblokování výkonové části servoměniče. V tomto režimu je možno pohon plně řídit a vyčítat hodnoty jeho stavů. Po odblokování pohonu uživatel zkontroluje stav pohonu (zda není v některém z poruchových stavů).

- **Reset pohonu:** Pokud uživatel zaznamená chybový stav pohonu, provede jeho resetování.
- **Odblokování pohonu Slave:** viz odblokování pohonu Master.
- **Nájezd do referenční polohy osy Slave:** uživatel spustí proces referování, tedy najetí do počáteční pozice a nastavení její absolutní hodnoty. Ve vzorovém projektu se tento proces (také zvaný homing) provádí najetím pojezdu osy do levé krajní polohy (sepnutím negativního koncového spínače). Po najetí do této krajní polohy je nastavena absolutní hodnota polohy, která odpovídá negativnímu koncovému spínači. Z předchozích kapitol je již známo, že hodnota polohy negativního koncového spínače musí být záporná (viz podkapitola 1.2). Uživatel tedy provádí v tomto případě dvě operace: nastavení absolutní polohy negativního koncového spínače a spuštění operace homing.
- **Nastavení parametrů funkce Letmé nůžky:** tyto parametry jsou již přednastaveny tak, aby bylo možno funkci Letmé nůžky spustit bez nutnosti nastavování těchto parametrů. Toto přednastavení je ale platné pouze pro konkrétní laboratorní model, který byl využit pro tvorbu vzorového projektu. Popis jednotlivých parametrů, které je potřeba nastavit, a jejich vliv na funkci modelu bude podrobněji popsán níže.
- **Spuštění funkce Letmé nůžky:** pokud byly parametry v předchozím kroku správně nastaveny, může být provedeno spuštění funkce letmých nůžek. Pokud nastavení parametrů bylo provedeno nesprávně, funkční blok *FlyingShear_Motion* vygeneruje číslo příslušné chyby, které pomůže uživateli identifikovat parametr, který byl špatně nastaven¹.
- **Spuštění pohybu osy Master:** po úspěšném provedení všech předchozích kroků je již model v synchronním režimu. Protože se ale hlavní osa nepohybuje, synchronizace os se neprojeví. Po uvedení hlavní osy do pohybu začne model skutečně vykonávat funkci letmých nůžek dle nastaveného režimu. Uživatel má v tomto kroku možnost nastavit rychlost, jakou se hlavní osa (dopravník) bude pohybovat. Hodnota rychlosti dopravníku může být libovolně modifikována za běhu funkce letmých nůžek².
- **Ukončení synchronizace:** uživatel má možnost jednoduchým příkazem zastavit

¹Jednotlivé chybové stavy (Error ID) funkčního bloku *FlyingShear_Motion* jsou popsány v [15]

²Příliš vysoká rychlost hlavní osy může mít za následek vysoké požadavky na zrychlení a zpomalení závislé osy (Slave), které nemusejí být vždy dosažitelné. Maximální možné rychlosti, zrychlení a zpomalení jsou závislé na konkrétní HW konfiguraci.

vykonávání funkce letmých nůžek. Model je stále připraven ke spuštění této funkce. Dopravník se stále pohybuje. Uživatel má dále možnost provést úpravu nastavení parametrů nebo ukončit program.

- **Ukončení programu:** pokud se uživatel rozhodne ukončit funkci modelu vykoná tři následující kroky.
- **Zastavení osy Master:** zastavení se provede obdobným způsobem jako spuštění. Použije se nastavení stejného parametru (rychlost), který se nastaví na hodnotu 0. Toto zastavení je možné provádět i za běhu funkce letmých nůžek. Po opětovném rozjetí dopravníku bude pak model pokračovat ve funkci letmých nůžek, tam kde skončil.
- **Odpojení od pohonu Master:** uživatel provede zablokování výkonové části servoměniče. Pohon zastaví svůj pohyb (pokud je v pohybu) a není možné ho dále ovládat z řídicího programu.
- **Odpojení od pohonu Slave:** viz odpojení od pohonu Master.

Provedením posledních pěti kroků se model vrátí do stejného stavu, ve kterém byl před svým spuštěním.

Parametry funkčního bloku *FlyingShear_Motion* byly již popsány výše (viz tabulka 5.2). Tyto parametry je nutné správně nakonfigurovat před spuštěním funkce letmých nůžek. Ke skupině parametrů byl ještě přidán jeden vstupní parametr funkčního bloku *FlyingShear_Motion*, který není ze struktury parametrů *ST_FSRK_PARAMETER*. Tímto vstupním parametrem je *i_lrLenToCut*, který slouží k nastavení délky stříhu. Parametr *lrPeri* je nutno nastavit pouze pro aplikaci funkce rotačního nože, proto nemusí být v tomto případě brát v potaz. Parametr *diCptrNb* je nastaven na konstantní hodnotu 0, což zajišťuje správné zpracování signálu z polohového spínače. Pro připomenutí lze zmínit, že seznam parametrů, které jsou použity ve tomto vzorovém projektu, není kompletní seznam parametrů, které lze využít pro konfiguraci funkčního bloku *FlyingShear_Motion*. Byly vybrány jen ty nejdůležitější parametry potřebné pro správnou funkci modelu a dostatečnou demonstraci funkce letmých nůžek. Pro přehlednost vizualizačního rozhraní nejsou použity názvy parametrů použité v knihovně Packaging Library, ale byly použity názvy uvedené níže.

- Rest position - lrPosRest
- Sync. end position - lrSyncPosEnd
- TP dist to sync. point - lrTpDistToSypt
- TP window - lrTpWdow

- Operation mode - diOpMode
- TP missed maximum - diTpMisdMax
- Length to cut - i_lrLenToCut
- TP dist. to sync. p. MIN - lrTpDistToSyptMin
- Lenth to cut MIN - lrLenToCutMin

Poslední dvě uvedené položky nejsou nastavitelnými parametry, ale jejich hodnoty jsou počítány pomocí bloku *FlyingShear_Motion*. Jedná se o minimální hodnoty parametrů *TP dist to sync. point* a *Length to cut*, tedy minimální vzdálenost mezi optoelektronickým snímačem a počátečním bodem synchronizace a minimální délka stříhu (rozestupu přichozích produktů). Tyto hodnoty slouží jako nápověda pro uživatele, který tak získá informaci o limitech těchto dvou nastavovaných parametrů. Formule pro počítání těchto minimálních hodnot naleznete v podkapitole 5.1.

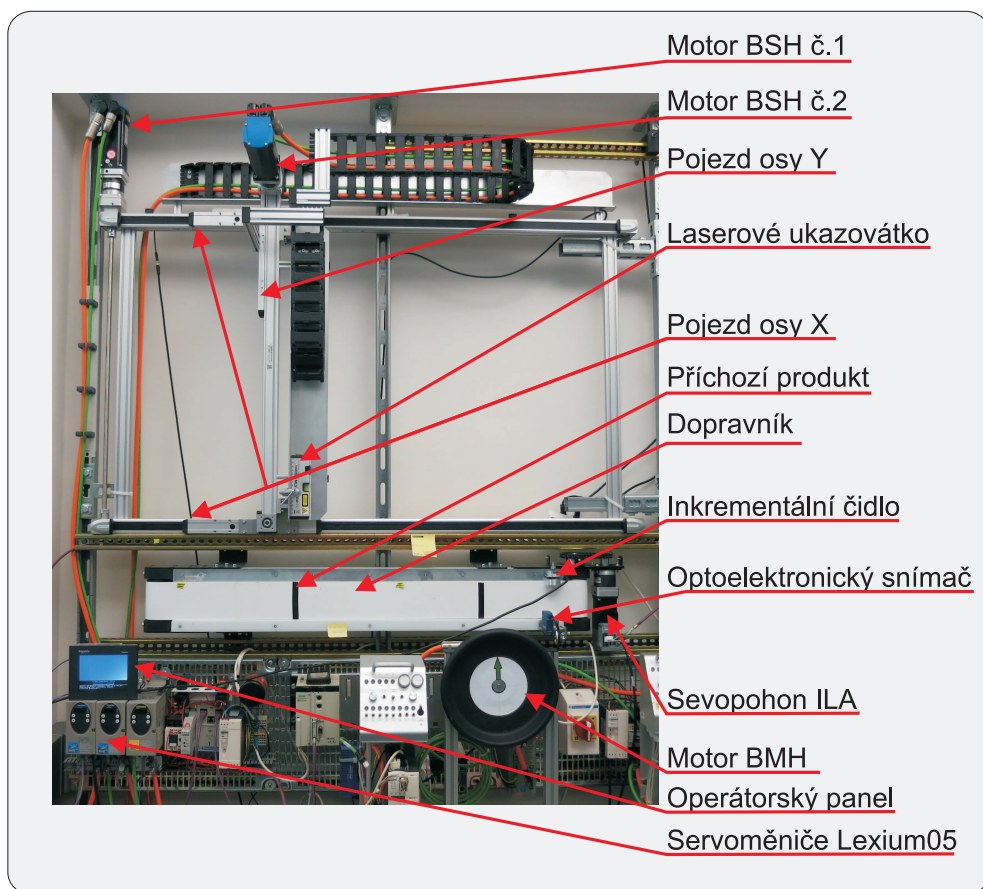
Jak již bylo zmíněno výše, pro všechny parametry jsou ve vzorovém projektu přednastaveny počáteční hodnoty. Toto přednastavení můžete nalézt v náhledu vizualizační obrazovky na obr. 6.3(c). Přednastavená hodnota pro nájezd do referenční polohy (poloha negativního koncového spínače) je nastavena na -200mm. Tyto přednastavené hodnoty zajišťují bezproblémovou funkci letných nůžek na modelu použitém při tvorbě této práce.

V případě použití jiného modelu, je nutno nastavení parametrů přizpůsobit dané situaci. Poloha optoelektronického snímače bude s největší pravděpodobností dána mechanickým uspořádáním modelu (nebo reálného stroje). Pokud je vzdálenost mezi optoelektronickým snímačem a počáteční polohou synchronizace menší než hodnota minimální, která je dána hodnotou *Length to cut MIN*, musí být poloha počáteční polohy synchronizace zvýšena (posunuta doprava). Jelikož se tato hodnota nenastavuje přímo, ale je dána nulovou polohou závislé osy. Je v tomto případě zapotřebí nastavit polohu negativního koncového spínače na menší hodnotu a tím posunout nulovou hodnotu více doprava.

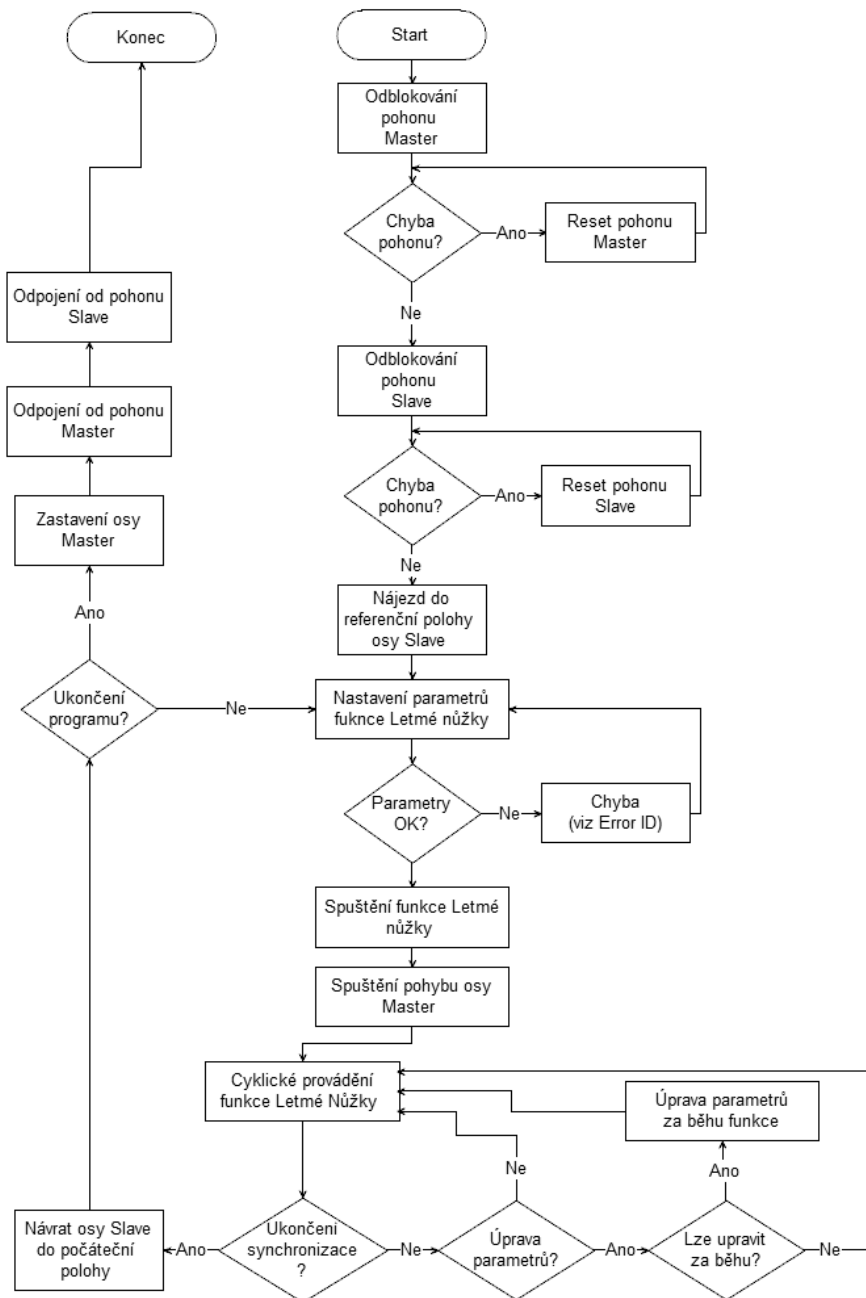
6.2 Vzorový projekt pro rotační nůž

Pro řízení laboratorního modelu v režimu rotačního stroje byl vytvořen vzorový projekt v prostředí SoMachine. Tento projekt využívá totožné struktury jako ten popsany v podkapitole 6.1. Pro realizaci samotné funkce rotačního nože byl použit aplikační funkční *RotaryKnife_motion* z knihovny *Packaging Library*.

Diagram 6.2, popisující funkci řídicího programu letných nůžek z uživatelského hle-



Obrázek 6.1: Pohled na použitý laboratorní model.



Obrázek 6.2: Vývojový diagram programu pro řízení laboratorního modelu letmých nůžek.

diska, je platný i pro funkci rotačního nože. Všechny kroky programu jsou totožné, pouze v tomto případě bude vykonávána funkce rotačního nože namísto letmých nůžek.

Oproti funkci letmých nůžek zde přibyl jeden parametr, který je nutné nastavit ke správné funkci laboratorního modelu. Tímto parametrem je obvod rotačního nože ($lr-Peri$).

I v případě tohoto vzorového projektu jsou již přednastaveny hodnoty všech parametrů, tak aby mohl být model spuštěn bez nutnosti prvotního nastavení. Toto nastavení je však platné pouze pro použitý laboratorní model (obr. 6.1).

Jelikož se závislá osa je tomto případě osou rotační, je hlavní rozdíl ve funkci modelu (oproti letmým nůžkám) dán zejména polohováním závislé osy. Nájezd do počáteční polohy a nastavení její hodnoty zde nemůže být, stejně jako v předchozí podkapitole, řešen nájездem na negativní koncový spínač. Rotační osa laboratorního modelu (obr. 6.1) totiž žádný koncový spínač nemá. Lze ale s výhodou využít enkodéru, který je integrován v servomotoru BMH. Nulový pulz enkodéru, který je generován jedenkrát za otáčku motoru, poslouží ke snadnému nastavení počáteční polohy závislé osy. V průběhu nájezdu do referenční polohy se tedy motor otáčí jedním směrem, dokud není detekován nulový pulz. V této poloze se zastaví a nastaví hodnotu polohy na hodnotu danou uživatelem. Tato hodnota musí být zvolena tak, aby závislá osa byla v kontaktu s hlavní osou (dopravníkem) během synchronní fáze operačního cyklu.

Veškeré odlišnosti laboratorního modelu rotačního nože od modelu letmých nůžek již byly jmenovány. Podrobný rozbor jednotlivých kroků řídicího programu, popis mechanických částí modelu a výčet parametrů nutných k nastavení naleznete v předchozí podkapitole 6.1.

6.3 Návrh vizualizace pro operátorský panel

Po odladění programů pro řízení laboratorního modelu byly vytvořeny vizualizace pro operátorský panel Magelis XBT. Vizualizační aplikace vznikly ve dvou verzích - jedna pro letmé nůžky a druhá pro rotační nůž. Díky přehledným obrazovkám (viz obr. 6.3) může uživatel jednoduše ovládat a nastavovat model bez nutnosti využití počítače se softwarem SoMachine. Uživatel není zbytečně maten složitým prostředím a množstvím parametrů, které nejsou v aplikaci využity. V následujících odstavcích budou popsány jednotlivé vizualizační obrazovky, jejich funkce a vliv na ovládání modelu. Jelikož rozdíly

mezi obrazovkami pro aplikaci letmých nůžek a rotačního nože jsou minimální, bude důkladně popsána pouze vizualizace pro letmé nůžky. V závěru kapitoly bude uvedeno, v čem se vizualizace pro rotační nůž liší od té pro letmé nůžky.

Obrazovka hlavního menu (viz obr. 6.3(a)) slouží jako rozcestník pro přechod na další tři obrazovky. Tlačítkem *Axis management* se uživatel přepne do obrazovky pro ovládání os, tlačítkem *Flying Shear Setting* do obrazovky pro nastavení parametrů a tlačítkem *Flying Shear Monitoring* do obrazovky pro sledování funkce. Všechny tři tyto obrazovky obsahují tlačítko *Menu*, které zajistí návrat do hlavního menu.

Ovládání os je realizováno vizualizační obrazovkou, která je k nahlédnutí na obr. 6.3(b). Pro nastavení a ovládání závislé osy slouží horní část obrazovky nazvaná *Slave management*. Stisknutím tlačítka *Power enable* se provede operace, která je v vývojovém diagramu (obr. 6.2) nazvána jako *Odblokování pohonu Slave*. Parametr *Home position* udává hodnotu polohy, která se nastaví po najetí na negativní koncový spínač. Nájezd do referenční polohy se spouští tlačítkem *Homing exe*. Parametr *Stop deceleration* slouží k nastavení hodnoty zpomalení v případě zastavení pohonu tlačítkem *Stop*. Pokud je v pravé horní části obrazovky indikována chyba pohonu (svítí červený nápis *Error*), lze provést reset pohonu stisknutím tlačítka *Reset*.

V dolní polovině obrazovky pro nastavení os se nachází sekce nazvaná *Master management*, která slouží k nastavení a ovládání hlavní osy pohánějící dopravník. Stisknutím tlačítka *Power enable* se provede operace, která je v vývojovém diagramu (obr. 6.2) nazvána jako *Odblokování pohonu Master*. Po nastavení požadované rychlosti parametrem *Move velocity* lze uvést dopravník do pohybu stiskem tlačítka *Move exe*. V případě detekce chyby pohonu (v textovém poli *Master status*) lze provést resetování pohonu stiskem tlačítka *Reset*.

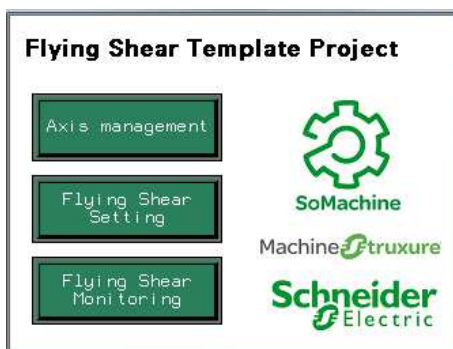
Pro nastavení parametrů funkce letmých nůžek slouží obrazovka, která je k náhledu na obr. 6.3(c). Pokud je provedena změna parametrů, musí následovat stisknutí tlačítka *Set parameters*, které potvrdí provedené změny. Tlačítko *xActive* slouží k aktivaci funkčního bloku *FlyingShear_Motion*. Po aktivaci funkčního bloku jsou vypočítány limitní hodnoty parametrů *TP dist. to sync. point* a *Length to cut*. Pokud jsou nastavené hodnoty těchto parametrů menší než minimální, příslušná špatně nastavená hodnota bliká a je zbarvena červeně. Pokud je všechno nastavení provedeno správně, lze stiskem tlačítka *xExe* spustit funkci letmých nůžek. Pokud uživatel nezná význam jednotlivých parametrů, může využít nápovědy, kterou vyvolá stiskem v místě názvu daného parametru.

Poslední čtvrtá obrazovka (obr. 6.3(d)) slouží ke sledování funkce letmých nůžek. Uživatel může sledovat aktuální polohu závislé osy a její rychlost (*Slave position* a *Slave*

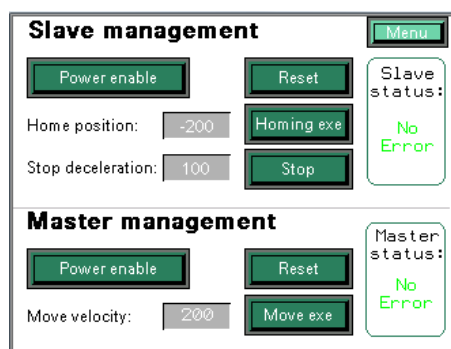
velocity). Absolutní poloha závislé osy je názorně vyobrazena v dolní části obrazovky, kde kruhová výseč představuje pojezd osy x modelu. Dále lze sledovat aktuální rychlost hlavní osy (dopravníku) - *Master velocity*. V pravé straně obrazovky je signalizován stav procesu letmých nůžek. První kontrolka *Flying Shear FB activ* svítí (světle zelené podbarvení), pokud byl aktivován funkční blok *FlyingShear_Motion* tlačítkem *xActive* na předchozí obrazovce. Kontrolka *Flying Shear FB coupled* svítí, pokud byla funkce letmých nůžek úspěšně spuštěna tlačítkem *xExe*. Poslední kontrolka signalizuje, zda je model v synchronní fázi pracovního cyklu letmých nůžek či nikoliv. Synchronní fáze je signalizována nápisem *Flying Shear FB in Sync* a světle zeleným podsvícením.

Vizualizační aplikace pro funkci rotačního nože se liší od té výše popsané jen v několika málo bodech, které budou nyní zmíněny. Jelikož princip funkčních bloků *FlyingShear_Motion* a *RotaryKnife_Motion* je velice podobný a funkční bloky využívají stejný typ struktury parametrů, bylo možné využít vizualizační aplikaci pro letmé nůžky a drobnými modifikacemi ji přizpůsobit pro rotační nůž při zachování stejného vzhledu obrazovek. První dvě obrazovky jsou tak naprosto totožné. V třetí obrazovce (nastavení parametrů) přibylo nastavení obvodu rotačního nože, které je v případě letmých nůžek irelevantní. Na poslední obrazovce (sledování funkce) je osa pro demonstraci aktuální absolutní polohy závislé osy nahrazena otáčejícím se ukazatelem, který znázorňuje aktuální natočení rotačního nože.

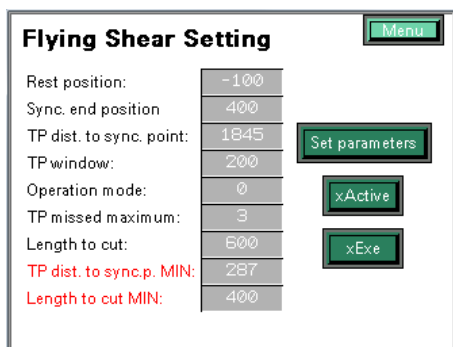
Vizualizační aplikace vytvořená v prostředí Vijeo Designer spolu s programem pro PLC tvoří jeden komplexní projekt, který je uchován v souboru s příponou *.projectarchive*. Vytvořené vzorové projekty spolu s vizualizací naleznete na přiloženém CD pod názvy *FlyingShear_template.projectarchive* a *RotaryKnife_template.projectarchive*.



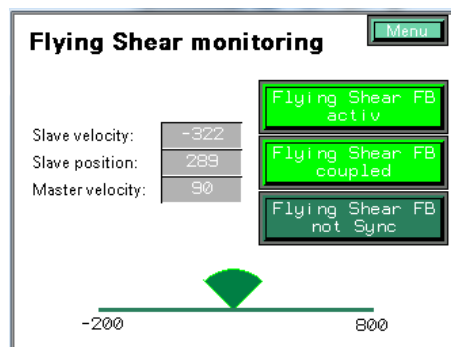
(a) Hlavní menu vizualizace.



(b) Obrazovka pro ovládání os.



(c) Obrazovka pro nastavení parametrů.



(d) Obrazovka pro sledování funkce.

Obrázek 6.3: Vizualizační obrazovky pro ovládání modelu v režimu letmých nůžek.

Kapitola 7

Prezentace pro didaktické účely

Podstatnou součástí této diplomové práce jsou výukové materiály ve formě prezentačních souborů, které budou složité jako didaktický nástroj pro tvorbu aplikací založených na funkčních blocích *FlyingShear_motion* a *RotaryKnife_motion* z knihovny Packaging Library. Předchozí kapitola byla věnována popisu vzorových projektů vytvořených v prostředí SoMachine pro řízení laboratorního modelu letmých nůžek a rotačního nože. Byla popsána struktura vzniklých programů a jejich funkce z uživatelského hlediska. Pokud ale neznalý uživatel nahlédne do již vzniklého projektu, jehož struktura je relativně komplikovaná, není snadné reprodukovat postup pro tvorbu projektu obdobného. Z tohoto důvodu byly vzorové projekty doplněny sadou dvou prezentací, které dokumentují postup pro tvorbu řídicích programů a vizualizačních aplikací krok za krokem. První z prezentací je věnována aplikaci letmých nůžek a druhá aplikaci rotačního nože.

Struktura obsahu obou prezentací zachovává stejný formát, který se snaží, co nej-přehledněji popsat tvorbu projektu v prostředí SoMachine od počáteční hardwarové konfigurace, přes aplikaci jednotlivých funkčních bloků až po finální ladění funkce. Nejdůležitější body, kterým jsou prezentace věnovány jsou tyto:

- základní popis funkce letmých nůžek (rotačního nože), včetně rozboru operačního cyklu stroje ve třech různých operačních módech,
- hardwarová konfigurace - přidání jednotlivých zařízení do projektů a nastavení komunikace,
- nastavení uživatelských jednotek pohonů,
- použití funkčních bloků pro ovládání pohonů (zejména PLCopen funkční bloky),

- použití funkčního bloku *FlyingShear_motion* (*RotaryKnife_motion*),
- konfigurace parametrů ze struktury *ST_FSRK_PARAMETER*,
- ladění aplikace pomocí vizualizačních nástrojů prostředí SoMachine,
- stručný popis tvorby vizualizační aplikace v prostředí Vijeo Designer.

Forma prezentací je založena zejména na názorných snímcích obrazovky vývojového prostředí SoMachine. Pozornost je věnována těm nejpodstatnějším bodům konfigurace a také těm pasážím, které mohou činit potenciálně nejvíce problémů při tvorbě programů. Prezentace vznikly s předpokladem, že jejich čtenáři ovládají programování PLC dle normy IEC 61131-3 a orientují se v prostředí SoMachine (nebo mají zkušenost s prostředím obdobným).

Obě prezentace vznikly ve dvou jazykových verzích - česky a anglicky. Pro potřeby výuky v českých školách a školení českých zákazníků a zaměstnanců firmy Schneider Electric bude lépe využitelná česká verze. Protože firma Schneider Electric působí nejen v České republice a v globálním měřítku, byla na základě požadavku vytvořena i anglická verze prezentací, což značně navyšuje počet uživatelů, které budou moci těžit z výsledků této diplomové práce.

Obě prezentace v české a anglické verzi můžete nalézt na přiloženém CD.

Kapitola 8

Testování funkce laboratorního modelu

Po vytvoření vzorových projektů v prostředí SoMachine pro řízení laboratorního modelu v režimu letných a rotačních nůžek následovalo testování jejich funkce. Obecná správnost funkčnosti modelu byla již ověřena během tvorby samotných programů a jejich ladění. Tato kapitola se zabývá diskuzí nad limitacemi a nepřesnostmi modelu a nad problémy, které by mohli nastat při použití funkčních bloků *FlyingShear_motion* a *RotaryKnife_motion* v reálném provozu.

Pro sledování pohybu os a zaznamenání změny polohy a rychlosti v čase byl využit nástroj, který je integrován v softwarovém prostředí SoMachine. Díky tomuto nástroji je možné získat přesný záznam vývoje jakékoliv proměnné, která je součástí řídicího programu. Tímto způsobem byl získán průběh na obr. 8.1. Vykreslená závislost hlavní (master) a závislé osy (slave) odkrývá jeden z možných problémů, který může nastat při aplikaci funkčního bloku *FlyingShear_motion*. Graf znázorňuje hodnoty polohy hlavní a závislé osy ve funkci letmé nůžky při následujících parametrech:

- Length to cut = 600,
- Rest position = -100,
- Sync. end position = 400,
- Operation mode = 0.

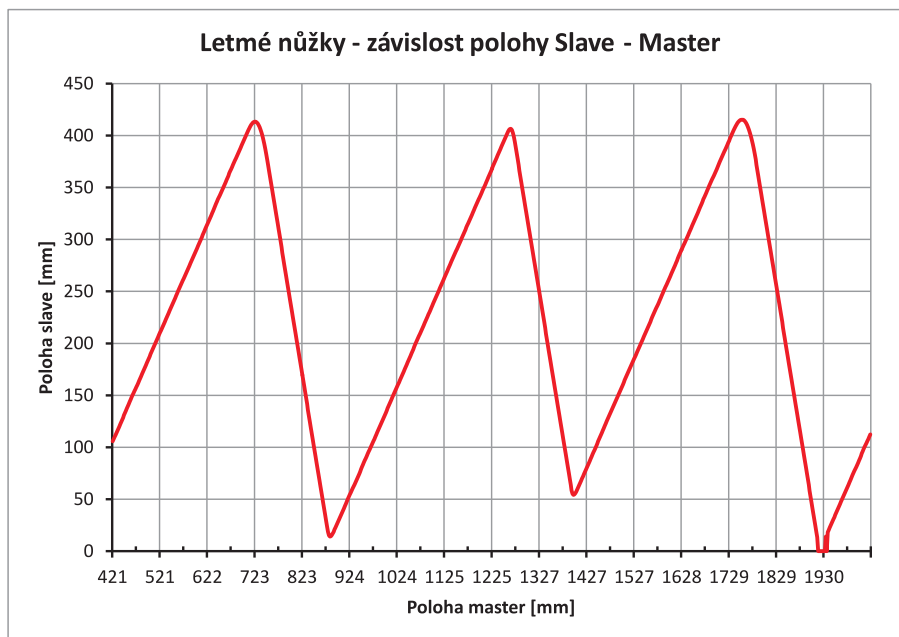
Ze znázorněné závislosti je vidět, že v synchronní fázi se osa master pohybuje stejnou rychlostí jako osa slave až do dosažení koncové polohy synchronizace (Sync. end position). Poté se během návratové fáze osa slave přesouvá zpět směrem k čekací poloze (Rest position). Správné dokončení pracovního cyklus probíhá takto:

- Při dostatku času závislá osa dosáhne čekací polohy a čeká na začátek dalšího pracovního cyklu.
- Při nedostatku času se závislá osa dostane pouze před počáteční polohu synchronizace (před nulovou polohu) a začne nový pracovní cyklus bez zastavení v čekací poloze.

To ale v naměřeném průběhu nenastává. Závislá osa nestihne opakovaně dosáhnout polohy menší než je počáteční poloha synchronizace. Synchronní fáze tedy začne se zpožděním, což by mohlo v reálném provozu způsobit vážné problémy. Po následném hledání příčiny této situace bylo zjištěno, že problém je způsoben softwarovou limitací maximální rychlosti motoru. Poté, co byla nastavena vyšší maximální rychlost v konfiguraci motoru, byl výše popsaný problém vyřešen. Důležité je zmínit, že funkční blok *FlyingShear-motion* v popsané nestandardní situaci negeneruje žádný chybový stav ani alarm, ale pokračuje ve vykonávání své funkce aniž by zastavil proces nebo upozornil uživatele. Tato skutečnost by měla být vzata v potaz při možném dalším vývoji funkčního bloku.

Dále lze z obr. 8.1 vyčíst skutečnost, že v synchronní fázi se nepohybují osy absolutně stejnou rychlostí, ale osa master mírně předbíhá osu slave, řádově o 1 % ujeté vzdálenosti. Toto je způsobeno několika nepřesnostmi v nastavení modelu. Pro správnou a přesnou funkci modelu je nutné přesné nastavení uživatelských jednotek pro polohu pohybových os. Jinými slovy je nutné nastavit hodnotu ujeté vzdálenosti pojezdu, která odpovídá jedné otáčce motoru. U použitého laboratorního modelu nelze tuto hodnotu přesně stanovit, jelikož nepřesnosti mechanické konstrukce tomu brání. Poloha hlavní osy je snímána pomocí inkrementálního čidla, které snímá reálnou polohu pomocí kotoučku přitlačeného k povrchu dopravníkového pásu. Tento způsob snímání polohy zanáší do měření nepřesnost způsobenou nedokonalým přenosem mezi kotoučkem a pásem. Může docházet k různému prokluzu mezi kotoučkem a pásem, který se navíc může měnit v závislosti na rychlosti pásu. Situace popsaná v tomto odstavci nikterak nesnižuje demonstrativní či didaktické kvality laboratorního modelu (pouhým okem je nepřesnost téměř nepozorovatelná).

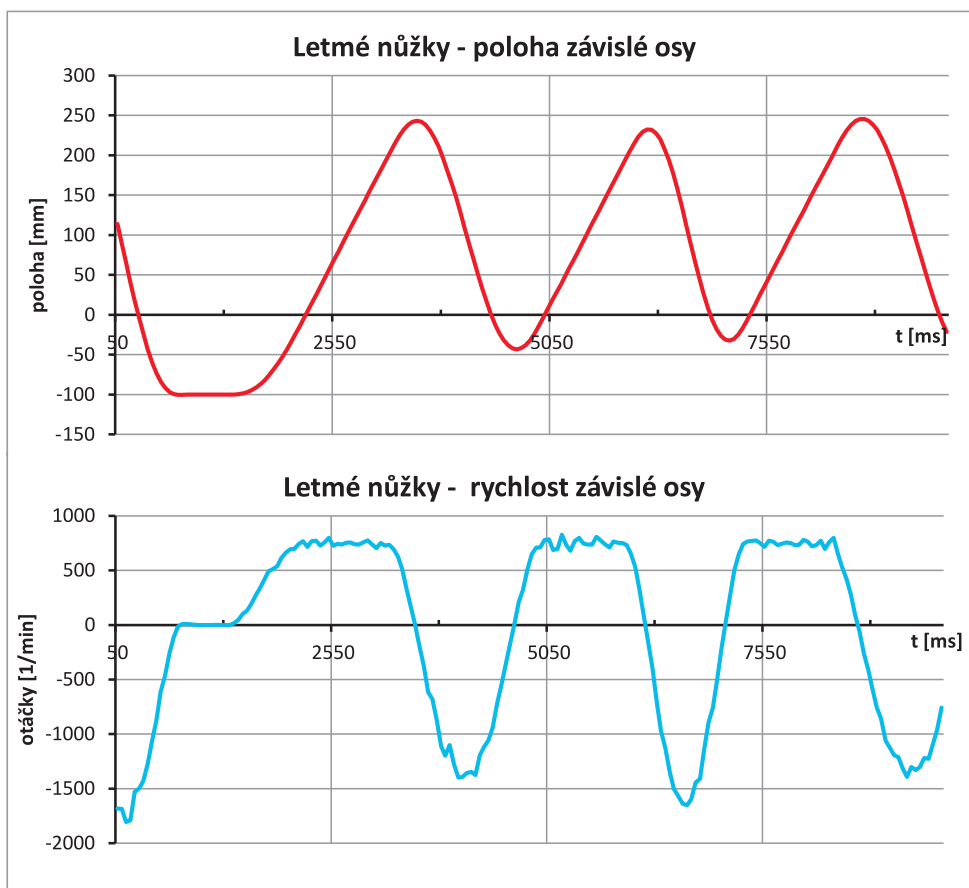
Vývoj polohy a rychlosti závislé osy letmých nůžek v závislosti na čase je znázorněn na obr. 8.2. V synchronní fázi, kdy by se měla osa pohybovat konstantní rychlostí, lze v grafu sledovat kmitání otáček pohonu osy kolem žádané hodnoty. Tento šum v hodnotě otáček závislé osy má svůj původ již v měření polohy hlavní osy. Jelikož závislá osa kopíruje v synchronním režimu pohyb osy hlavní, jsou i nepřesnosti a šum v měření



Obrázek 8.1: Letmé nůžky - závislost polohy os Master a Slave.

polohy hlavní osy promítnuty do pohybu osy závislé. Hlavní původ šumu v poloze hlavní osy je způsoben řetězovým pohonem dopravníku, který není nijak napínaný a zanášá do pohybu dopravníkového pásu značné rázy. Více než u letmých nůžek byl přenos těchto rázů zřetelný u aplikace rotačního nože. Nespojité otáčení kotouče demonstrujícího rotační nůž bylo zřetelné pouhým okem.

Během testování funkce letmých a rotačních nůžek byl nalezen také následující nedostatek funkčních bloků z knihovny Packaging Library. Funkční bloky nedovolují nastavení, které by omezovalo návratovou rychlost závislé osy do čekací polohy. Pokud tedy rychlost není omezena přímo v konfiguraci samotného motoru, nastává v některých případech situace, kdy je návratová fáze pracovního cyklu neefektivně využita. Pohon závislé osy někdy dosahuje zbytečně vysoké návratové rychlosti, která je následována zbytečně dlouhým setrváním v čekací poloze. Optimalizace návratové části pracovního cyklu a přidání možností pro jeho nastavení by mohlo být realizováno během dalšího vývoje aplikačních funkčních bloků knihovny Packaging Library.



Obrázek 8.2: Letmé nůžky - vývoj polohy a rychlosti v čase.

Kapitola 9

Závěr

Cílem této diplomové práce bylo ověření funkcí letmých nůžek a rotačního nože na laboratorním modelu. S využitím softwarových nástrojů firmy Schneider Electric byly vytvořeny vzorové projekty, které obsahují programy pro PLC Modicon LMC058 a vizualizační aplikace pro operátorský panel řady Magelis XBT, které zajišťují řízení a ovládání laboratorního modelu letmých nůžek a rotačního nože. Při tvorbě práce byl kladen silný důraz didaktický účel vzniklých materiálů. Text této práce spolu s příloženými vzorovými projekty a školicími prezentacemi vytváří komplexní celek, který přehledně popisuje funkci, využití a realizaci letmých nůžek a rotačního nože. Značná část práce je věnována popisu a návrhu využití softwarových nástrojů z knihovny aplikačních funkčních bloků Packaging Library.

Cíle uvedené v podkapitole 1.1 byly splněny. Byly provedeny úpravy laboratorního modelu, které byly potřebné pro realizaci této práce. Byly vytvořeny dva vzorové projekty v prostředí SoMachine - jeden pro řízení modelu v režimu letmých nůžek a druhý pro režim rotačního nože. Tyto projekty byly, stejně jako celá diplomová práce, vytvořeny tak, aby mohly sloužit jako pomůcka pro školení a výuku. Vzorové projekty také obsahují vizualizační aplikace pro operátorský panel, které slouží pro ovládání a nastavování laboratorního modelu letmých nůžek a rotačního nože. To umožňuje práci s modelem i uživatelům, kteří nejsou znalí práce se softwarovým prostředím SoMachine. Díky přehledné a jednoduché koncepci vizualizačních obrazovek může být model obsluhován i bez nutné znalosti řídicího programu. Uživatelé tak mohou spouštět model v různých režimech nastavení a následně sledovat jeho funkci na reálném modelu.

Další podstatným výstupem této práce je sada dvou prezentací, které přehlednou formou popisují tvorbu řídicího programu pro realizaci funkcí letmé nůžky a rotační nůž s využitím softwarového prostředí SoMachine. Tyto prezentace vznikly ve dvou jazyko-



Obrázek 9.1: Specializovaná učebna automatizace na SŠED Frýdek - Místek.

vých verzích - česky a anglicky.

Během testování funkce letmých nůžek a rotačního nože s využitím laboratorního modelu, bylo zjištěno několik nepřesností, které jsou dány zejména mechanickou konstrukcí laboratorního modelu. Bylo také nalezeno několik nedostatků v implementaci funkčních bloků knihovny Packaging Library. Jedním z nich je neoptimální využití návratové fáze pracovního cyklu letmých nůžek a rotačního nože, což se projevuje nepřiměřeně vysokými rychlostmi a zrychleními závislých os, které následují zbytečně dlouhým setrváním v čekací poloze. Tento a další nalezené nedostatky budou předány, spolu s návrhy na vylepšení, vývojovému centru firmy Schneider Electric.

Výsledky této práce již byly aplikovány jako didaktická pomůcka na Střední škole elektrostavební dřevozpracující (SŠED) Frýdek - Místek, která vlastní speciálně vybavenou učebnu pro výuku automatizační techniky (viz obr. 9.1. Laboratorní modely umístěné v této učebně jsou tvořeny jinou hardwarovou konfigurací než model, který byl využit pro tvorbu vzorových projektů. Vzorové projekty jsou ale jednoduše modifikovatelné, což dokazuje jejich nasazení pro výuku na SŠED Frýdek - Místek. Vyjádření k výsledkům této práce od vedení SŠED Frýdek - Místek naleznete v příloze C.

Literatura

- [1] Codesys, 12 2013. [online] <http://www.codesys.com/>.
- [2] Modbus organization, 12 2013. [online] <http://modbus.org/>.
- [3] Cia - can in automation, 12 2013. [online] <http://www.can-cia.org>.
- [4] Konrad Etschberger. Canopen: An introduction, 5 2003. [online] <http://www.eetimes.com>.
- [5] Tomáš Kletečka. Sběr a sledování provozních dat, 2011. Bakalářská práce.
- [6] Schneider Electric. *LXM05C AC Servo Drive, Product manual*, 12 2006. Manuál ke stažení na www.schneider-electric.com.
- [7] Schneider Electric. *Lexium Integrated Drive, Product manual*, 9 2008. Manuál ke stažení na www.schneider-electric.com.
- [8] Schneider Electric. *BSH, Servo motor, Motor manual*, 6 2010. Manuál ke stažení na www.schneider-electric.com.
- [9] Schneider Electric. *SoMachine Introduction*, 10 2010. Manuál ke stažení na www.schneider-electric.com.
- [10] Schneider Electric. *BMH, Servo motor, Motor manual*, 10 2012. Manuál ke stažení na www.schneider-electric.com.
- [11] Schneider Electric. *Modicon LMC058 Motion Controller Hardware Guide*, 4 2012. Manuál ke stažení na www.schneider-electric.com.
- [12] Schneider Electric. *Modicon LMC058 Motion Controller Programming Guide*, 4 2012. Manuál ke stažení na www.schneider-electric.com.

- [13] Schneider Electric. *LXM32M AC Servo Drive, Product manual*, 1 2013. Manuál ke stažení na www.schneider-electric.com.
- [14] Schneider Electric. *Magelis XBT GT, XBT GK, XBT GH Hardware Guide*, 04 2013. Manuál ke stažení na www.schneider-electric.com.
- [15] Schneider Electric. *SoMachine Help*, 04 2013. Nápověda softwaru SoMachine verze 3.1.10.1.

Příloha A

Obsah příloženého CD

K této práci je přiloženo CD s následujícím obsahem:

- /Dokumenty/: Obsahuje elektronickou verzi diplomové práce ve formátu PDF.
- /VzoroveProjekty/: Vzorové projekty pro letmé a rotační nůžky vytvořené v prostředí SoMachine.
- /Prezentace/: Materiály pro výuku a školení ve formě prezentací MS PowerPoint.
- /FotoVideo/: Fotodokumentace pracoviště a videoukázka funkce laboratorního modelu.

Příloha B

Seznam použitých zkratk

CAN - Controller Area Network

HMI - Human Machine Interface

IEC - International Electrotechnical Commission

LMC - Lexium Motion Controller

MS - Microsoft

OEM - Original Equipment Manufacturer

PLC - Programmable Logic Controller

Příloha C

Vyjádření k diplomové práci

VÁŠ DOPIS ZNAČKY:

ZE DNE:

Schneider Electric

NAŠE ZNAČKA:

SSED/02795/2013

Tomáš Kletečka

VYŽUJE:

Mgr. Karel Volný

Thámová 13
186 00 Praha 8 - Karlín

TELEFON:

558 421 241

E-MAIL:

volny@ssed-fm.cz

VE FRÝDKU-MÍSTKU

DNE:

19.12.2013

Vyjádření k Diplomové práci s názvem

Laboratorní model letmých a rotačních nůžek (autor: Tomáš Kletečka)

Výsledky výše uvedené diplomové práce již byly aplikovány v učebně automatizační techniky SŠED Frýdek – Místek. Vzniklé programy byly předány vyučujícím pedagogům a jsou využívány pro výuku a demonstraci funkcí letmé nůžky a rotační nůž. Samotná práce s příloženými programy a výukovými materiály je velkým přínosem pro střední školu a podstatným způsobem rozšiřuje možnosti praktické i teoretické výuky učebních oborů 26-51-H/01 Elektrikář a 26-41-M/01 Elektrotechnika. Vedení školy rovněž vysoce oceňuje zájem a aktivní přístup studenta při řešení dané problematiky.

Souhlas k využití fotografické dokumentace

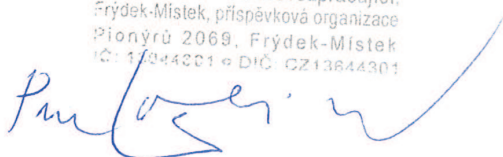
Střední škola elektrostavební a dřevozpracující, Frýdek – Místek, příspěvková organizace zastoupená ředitelem Mgr. Petrem Solichem souhlasí s využitím fotografické dokumentace laboratorních modelů pořízené pro účel výše uvedené diplomové práce autora Tomáše Kletečky.

Ve Frýdku-Místku

Dne: 19.12.2013

Podpis:

Střední škola
elektrostavební a dřevozpracující,
Frýdek-Místek, příspěvková organizace
Pionýrů 2069, Frýdek-Místek
IČ: 13644301 a DIČ: CZ13644301



TELEFON:
558 421 211

BANKOVNÍ SPOJENÍ:
KB F-M 28437781/0100

IČ:
13644301

DIČ:
CZ13644301

FAX:
558 432 495

E-MAIL: ss@ssed-fm.cz
URL: <http://www.ssed-fm.cz/>