VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY
DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

ZVÝŠENÍ EFEKTIVITY LINKY NA ZPRACOVÁNÍ KAUČUKU
OPTIMIZATION OF A PRODUCTION LINE

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE — **Bc. Marcel Štoudek**
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE — **doc. Ing. Petr Fiedler, Ph.D.**
SUPERVISOR

BRNO 2019

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor **Kybernetika, automatizace a měření**
Ústav automatizace a měřicí techniky

Student: Bc. Marcel Štoudek ***ID:*** 154890
Ročník: 2 ***Akademický rok:*** 2018/19

NÁZEV TÉMATU:

Zvýšení efektivity linky na zpracování kaučuku

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Cílem práce je návrh a realizace vývojové úlohy pro zvýšení efektivity automatizované linky na zpracování kaučuku v gumárenském průmyslu.

1. Analyzujte problematiky efektivity linky.
2. Navrhněte hardwarové řešení.
3. Realizujte návrh elektrického zapojení v programu EPLAN.
4. Návrhněte a implementujte algoritmus řídícího systému PLC včetně vizualizace na HMI.
5. Vyhodnoťte dosažené výsledky.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] Interní dokumentace firmy.

Termín zadání: 4.2.2019 ***Termín odevzdání:*** 13.5.2019

Vedoucí práce: doc. Ing. Petr Fiedler, Ph.D.
Konzultant:

doc. Ing. Václav Jirsík, CSc.
předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:
Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Abstrakt

Cílem diplomové práce je analýza problému výrobních linek na zpracování kaučuku a jejich možné eliminaci. Dalším krokem je bod, který bude věnován návrhu možného vylepšení linky pro zvýšení efektivity, bude popsán software, se kterým jsem pracoval, hardware, který byl použit, a na závěr bude popsán zdrojový kód pro řídící systém, který je navrhnutý pro velmi přesné polohování rámu v jedné části linky.

Klíčová slova

Automatizace, PLC, gumárenský průmysl, EPLAN, TIA Portal, výzkum, SchémataCAD, STARTER.

Abstract

The aim of this thesis is to analyze the problem of rubber production lines and their possible elimination. The next step is the point that will be devoted to the design of a possible improvement of the line to increase efficiency, the software I worked with will be described, the hardware that was used, and in the final part the source code for the control system, which is designed for very precise frame positioning in one part of the line.

Keywords

Automation, PLC, rubber-making industry, EPLAN, TIA Portal, research, SchemataCAD, STARTER.

Bibliografická citace:

Citace tištěné práce:
ŠTOUDEK, Marcel. Zvýšení efektivity linky na zpracování kaučuku. Brno, 2019. Dostupné také z: https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/119308. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav automatizace a měřicí techniky. Vedoucí práce Petr Fiedler.

Citace elektronického zdroje:
ŠTOUDEK, Marcel. Zvýšení efektivity linky na zpracování kaučuku [online]. Brno, 2019 [cit. 2019-05-09]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/119308. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav automatizace a měřicí techniky. Vedoucí práce Petr Fiedler.

Prohlášení

„Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma Zvýšení efektivity linky na zpracování kaučuku jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucí/ho diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.
Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne: **13. května 2019** …..……

podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Petrovi Fiedlerovi, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat firmě Konštrukta – TireTech, a. s. za možnost pracovat na této úloze a za možnost vzít si úlohu jako téma na diplomovou práci.

V Brně dne: **13. května 2019** ……

podpis autora

Obsah

1. Úvod 12
2. Problematika linek 13
2.1 Manuální části linky 14
2.2 Speciální (unikátní) typ senzoriky 14
3. Použitý software a hardware 16
3.1 Software 16
3.1.1 Programy použité při hardwarovém navržení 16
3.1.1.1 EPLAN Electric P8 16
3.1.1.2 SchémataCAD 17
3.1.2 Programy od společnosti Siemens 18
3.1.2.1 TIA Portal V15 18
3.1.2.2 STARTER 20
3.2 Hardware 20
3.2.1 Snímače a příslušenství 21
3.2.2 Řídící jednotka pro frekvenční měniče a napájení 21
3.2.2.1 Řídící jednotka 21
3.2.2.2 Napájení 22
3.2.3 Frekvenční měniče 23
3.2.4 PLC, karty a periférie 23
3.2.4.1 PLC 24
3.2.4.2 IO karty 24
3.2.4.3 Periférie 25
3.2.5 Ovládací panel HMI 25
3.2.6 Motory 26
3.2.6.1 Levý motor 26
3.2.6.2 Pravý motor 26
4. Návrh elektrického zapojení 28
4.1 Přívod elektřiny 29

4.2 Rozvod 24V 30
4.3 Zapojení snímačů Heidenhain 31
4.4 Síťové zapojení jednotlivých komponentů 32
4.5 Ovládací skříňky 32
4.6 Pneumatika 33
4.7 Ostatní problematika 33
5. Program pro řízení polohování rámu 35
5.1 První řešení 35
5.1.1 Hardwarová konfigurace 35
5.1.2 Nastavení komunikace mezi PLC a CU 38
5.1.3 Programové řešení 39
5.1.3.1 FB_Infeed_Control 39
5.1.3.2 FB_Drive_Control 41
5.1.3.3 FB_Main_Control 42
5.1.4 Vizualizace 43
5.1.5 Shrnutí 44
5.2 Druhé řešení 44
5.2.1 Hardwarová konfigurace v programu STARTER 45
5.2.2 GSDML soubor pro CU 47
5.2.3 Úprava hardwarové konfigurace v TIA Portal 47
5.2.4 Úprava programu 48
5.2.4.1 SensorTelegram 48
5.2.4.2 SpeedDrive_control 48
5.2.4.3 FB_Main_Control 48
5.2.5 Vizualizace 49
5.2.6 Shrnutí 50
6. Závěr 51

Seznam symbolů a zkratek

Zkratky:

TIA	…	Totally Integrated Automation
PLC	…	Programmable Logic Controller
SCL	…	Structured Control Language
STL	…	Statement list
VB	…	Visual Basic
HMI	…	Human Machine Interface
FC	…	Function
FB	…	Function Block
SMC	…	Sensor Module Cabinet
CU	…	Control Unit
IO	…	Input Output
DI	…	Digital input
DQ	…	Digital output

Symboly:

V	…	volt
A	…	ampér
DC	…	stejnosměrný proud
3AC	…	3fázový střídavý proud
kB	…	kilobyte
MB	…	megabyte
PN	…	Profinet
ŠxVxH	…	šířka x výška x hloubka

Seznam obrázků

Obrázek 2.1 Logo firmy [3] 13
Obrázek 2.2 Ukázka extrudérové (vytlačovací) linky [3] 13
Obrázek 2.3 Manuální nastavení [4] 14
Obrázek 3.1 Vzhled hlavního okna EPLANu[1] 17
Obrázek 3.2 Ukázka okna programu SchémataCAD[2] 18
Obrázek 3.3 Okno programovacího prostředí TIA Portal 19
Obrázek 3.4 Okno parametrizačního programu STARTER 20
Obrázek 3.5 Snímač Heidenhain[5] 21
Obrázek 3.6 Řídící jednotka[6] 22
Obrázek 3.7 Infeed[6] 22
Obrázek 3.8 Frekvenční měnič S120[6] 23
Obrázek 3.9 PLC[6] 24
Obrázek 3.10 Periférie ET200 [6] 25
Obrázek 3.11 HMI panel [6] 25
Obrázek 3.12 Motor [6] 27
Obrázek 4.1 Vnitřek rozvaděče se zapojením 28
Obrázek 4.2 Zapojení LED diod 29
Obrázek 4.3 Výstupní kanály napájecího zdroje SITOP 30
Obrázek 4.4 Zapojení snímače Heidenhain do SMC40 31
Obrázek 4.5 Profinetová topologie 32
Obrázek 4.6 Pneumatický válec a snímač Heidenhain 33
Obrázek 4.7 Zapojení cívky 34
Obrázek 5.1 Hardwarová konfigurace 36
Obrázek 5.2 Nastavení typu měniče 36
Obrázek 5.3 Nastavení motoru 37
Obrázek 5.4 Konfigurace CU320A 37
Obrázek 5.5 Konfigurace telegramů 38
Obrázek 5.6 Schéma volání funkcí 39
Obrázek 5.7 Volání funkce na obsluhu Infeedu 39
Obrázek 5.8 Namapování bitů u telegramu pro odesílání do PLC u Infeedu 40

Obrázek 5.9 Řízení Infeedu....41
Obrázek 5.10 Převod aktuální pozice z měniče....41
Obrázek 5.11 Telegram pro zápis do měniče....42
Obrázek 5.12 Zdrojový kód pro výpočet cílové pozice krokování....42
Obrázek 5.13 Hlavní obrazovka pro ovládání....43
Obrázek 5.14 Obrazovka s alarmovým deníkem....44
Obrázek 5.15 Konfigurace motoru přes software STARTER....45
Obrázek 5.16 Upřesnění enkodéru....46
Obrázek 5.17 Nastavení senzoru....46
Obrázek 5.18 Skript pro vytvoření GSDML souboru....47
Obrázek 5.19 CU v katalogu....48
Obrázek 5.20 Normalizace polohy....48
Obrázek 5.21 Finální obrazovka vizualizace....49
Obrázek 5.22 Obrazovka pro nastavení senzorů....49

1. ÚVOD

Zpracování kaučuku (gumy) má obrovský význam pro světové výrobce pneumatik jako Continental, Bridgestone, Barum, Dunlop. Michelin a mnoho dalších. Ty neustále na své dodavatele automatizovaných linek mají vyšší nároky na kvalitu a čím dál více specializovaných požadavků při procesu výroby či zpracování. Jedna taková firma, která se zabývá výrobou automatizovaných linek na zpracování kaučuku je slovenská Konštrukta – TireTech a. s. se sídle v Trenčíně, kde jsem měl možnost se podílet na výzkumné úloze pro zvýšení efektivity výrobní linky na zpracování kaučuku a umožnili mi si ji vzít jako téma pro diplomovou práci.

V kapitole 2 popíši, s jakými problémy se takové linky na zpracování kaučuku potýkají a určím, kterým problémem, nebo aspoň částí problému z celé linky, se bude celá diplomová práce zabývat a jaké jsou požadavky na dané řešení problému.

V další kapitole 3 se budu věnovat přiblížení k sestavě komponentů, které mi byli poskytnuty pro řešení dané výzkumné úlohy, tedy popíši hardware – snímače, motory, frekvenční měniče a hardwarovou konfiguraci PLC řídícího systému – a software, který jsem při vypracování diplomové práce používal – jedná se o programy od společnosti Siemens pro programování a programy jako EPLAN a SchémataCAD, které jsem použil při návrhu elektrického zapojení rozvaděčové skříně, tedy všech snímačů, frekvenčních měničů atd., a při kreslení ovládacích skříněk.

V diplomové práci věnuji kapitolu 4 samotnému návrhu a kreslení elektrického zapojení. Popíši problémy, se kterými jsem se při návrhu setkal a přidám ukázku zapojení rozvaděčové skříně.

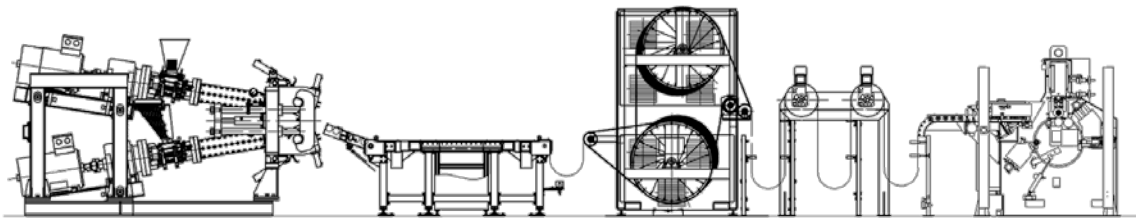
V poslední kapitole se budu věnovat samotnému programování algoritmu pro řízení velmi přesného polohování rámu pomocí dvou motorů (frekvenčních měničů). Úlohu jsem programoval dvěma způsoby. První způsob nevyhovoval požadavkům, proto jsem musel najít jiné řešení. V kapitole jsou popsány obě.

2. PROBLEMATIKA LINEK

Ve světě má gumárenský průmysl velké zastoupení, neboť požadavky na kvalitní pneumatiky se neustále zvyšují a tím se zvyšují i nároky na dodavatele automatizovaných linek. Jedna z firem, která dodává linky vyrábí a dodává, je slovenská firma Konštrukta – TireTech a. s. a spolupracuje s firmami po celém světě – Kanara, Čína, Thajsko, Rusko a mnoho dalších. Nabízí linky různých účelů, od malých, které mají několik metrů na délku, až po komplexní linky, které mají až několik desítek metrů (až cca 70 m) a jsou dodavatelé linek např. do světoznámé firmy Continental, Michelin, Pirelli nebo Dunlop.

Obrázek 2.1 Logo firmy [3]

Před vyrobením samotné pneumatiky musí prvně guma projít celou řadou úprav, aby měla potřebnou charakteristiku (pevnost, tuhost, teplotní charakteristiku aj.) vhodnou pro výrobu. Na Obr 2.2 je ukázka linky, kde je kaučuk zpracováván způsobem, že se nejprve zahřeje na určitou teplotu, aby byla guma tvarovatelná, a je vytlačována skrz „hlavu“ (extruder), kde je na konci forma (podle receptury) a tvoří se z gumy tvary např. kulaté, či obdélníkové pásky. Takovéto „menší“ linky se nepotýkají s nějakou extrémní problematikou, jen minimálně a její řešení je snadno dosažitelné.



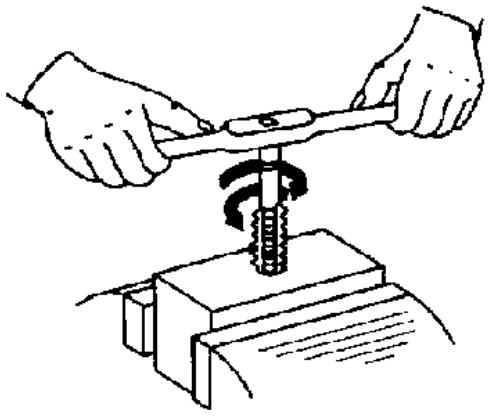
Obrázek 2.2 Ukázka extrudérové (vytlačovací) linky [3]

Na komplexnější lince od firmy s označením SLO se ovšem s jistou problematikou potýkat začínáme, kterou se projektanti a manažeři snaží eliminovat pomocí výzkumných úloh. Jednu problematiku (nebo aspoň její část) řeším v této diplomové práci. Linka SLO má několik úseků, na kterých se kaučuk zpracovává hned několika způsoby a celou linkou je přepravován po systému dopravníků. Na vstupu do linky je zásobník (nebo více) kaučuku, který je v podobě několika milimetrů silného, asi 30 cm širokého pásu, který prochází postupně různým řezáním, stříháním, překládáním pod různými úhly, lepením, aby výstup z linky měl definované vlastnosti na pevnost materiálu. Poté jsou úseky, které slouží ke kontrole

materiálu – snímá se např. zvlnění materiálu, či nečistoty v materiálu. Celkově by se problematika dala rozdělit do 2 skupin – manuální části linky a specializovaná (unikátní, ojedinělá) senzorika.

2.1 Manuální části linky

Automatizované linky pracují ve dvou režimech – automatický a manuální. Automatický pracuje při výrobě, je kontinuální a je vše vyhodnocováno pomocí proměnných v podobě snímačů aj. a řízeno pomocí algoritmu naprogramovaného podle filozofie výroby. Manuální režim pracuje pro účely údržby, například při popojíždění dopravníku, při nastavování do správné polohy, otvírání bezpečnostních dveří aj., a je jistým pohledem taky „automatický“, neboť je řízen PLC. Ovšem v některých případech se neautomatizuje úplně všechno a nechá se to na manuálním seřízení.



Obrázek 2.3 Manuální nastavení [4]

Stroj se nejprve musí uvést do bezpečné polohy, kdy je možné seřizovat, a stroj odstavit, aby nedošlo k havárii či úrazu. Linka SLO tento problém obsahuje, v jedné části linky je kladen veliký důraz na velmi přesné polohování železného stolu (rámu) pomocí dvou šroubů. Řešení tohoto problému je náplní diplomové práce a problém více přiblížím v kapitole 4 a 5.

2.2 Speciální (unikátní) typ senzoriky

Snímačů a převodníků je na dnešním trhu mnoho typů s různým charakterem a vlastnostmi. Ale v každém odvětví průmyslu se najde situace, kdy snímače, které trh nabízí, přesně nevyhovují požadavkům zákazníka a požadavkům výrobního procesu. Volí se pak kompromis, kdy se místo jednoho snímače musí použít více snímačů, a tím se problém vyřeší, nebo v druhém případě, pokud i tak to bude nevyhovující, může to mít za následek komplikace ve výrobě, což vede např. k zastavení kontinuálního vyrábění (a tak ke ztrátám).

Řešení má pak za úkol vymyslet výzkumný tým, který má najít východisko z dané situace. Zde se pak vytváří nové patenty na nové měřící a snímací techniky, které firma vymyslí a může pak použít ve svých strojích, a tím i zvýšit konkurenci s ostatními firmami.

Problematika tohoto druhu je také částečnou náplní diplomové práce, ale jen co se týče návrhu elektrického zapojení (viz kapitola 4). Jedná se hlavně o problém, kdy se na lince SLO snímá nečistota v materiálu (detektor kovu). Zde je použitý snímač detekování kovu, kdy je výstupem pouze pravdivostní hodnota – musí se tak vyříznout kus kaučukového pásu, a tak dojde k přerušení celistvosti pásu a musí se znovu spojovat.

3. POUŽITÝ SOFTWARE A HARDWARE

3.1 Software

Pro vypracování diplomové práce jsem potřeboval hned několik programů, které můžu rozdělit do dvou skupin. Do první skupiny patří dva programy, které souvisí s hardwarovým navržením úlohy – EPLAN Electric a SchémataCAD. Druhá skupina jsou programy od společnosti Siemens.

3.1.1 Programy použité při hardwarovém navržení

3.1.1.1 EPLAN Electric P8

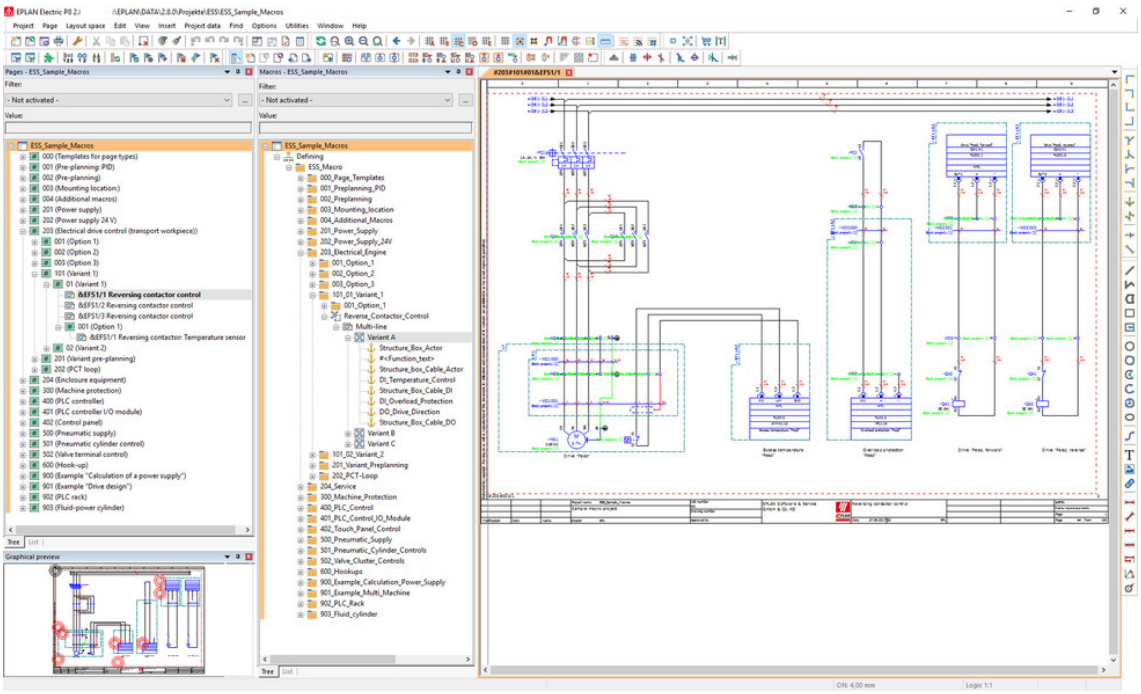
EPLAN Electric P8 je software od společnosti EPLAN Engineering CZ, s. r. o., která je součástí je součástí skupiny Friedhelm Loh Group (patří sem také společnost Rittal známá jako výrobce komplexních rozvaděčových skříní s vlastní klimatizací atd.). Společnost se řídí mottem „EPLAN – efficient engineering“ a klade důraz na odbornou optimalizaci inženýrských procesů. Software má několik částí, které napomáhají optimalizovat různá odvětví a různé typy procesů a tvořit tak výkresovou dokumentaci pro více typů technologií – elektrotechnika, mechatronika, fluidní technologie a technologie měření a regulace. Pro diplomovou práci jsem využil hlavně část pro elektrotechniku, kdy jsem navrhoval zapojení rozvaděče spolu s dalšími komponenty jako jsou snímače, motory, světla, dále pak definice kabelu a svorkovnic a síťového zapojení (PROFINET).[1]

Program obsahuje rozhraní, které se jmenuje DataPortal. Toto rozhraní funguje jako databáze artiklů, která spolupracuje s mnoha firmami jako je Siemens (elektrické komponenty), Rittal (rozvaděčové skříně), Weidmuller (svorkovnice), Lappgroup (kabely ÖLFLEX, …), SICK (snímače) aj. Pod pojmem „artikl“ si můžeme představit jakýkoli komponent, který je při návrhu zapojení použit (motory, kabely, snímače, …). Každý artikl má pak svůj vlastní popis, definici, technické veličiny, identifikační číslo a většina z nich má i svoje vlastní grafické makro, které se dá stáhnout z databáze a použít pak při kreslení zapojení. Postup pro získání artiklu z DataPortalu je jednoduchý. Jediné, co je potřebné je mít přihlašovací údaje, které se dodávají spolu s licencí, pak si najít příslušný komponent v databázi a stáhnout si ho (jednoduché hledání pomocí objednávacího čísla).

V případě, že pro použitý komponent neexistuje artikl, je možné si vytvořit artikl svůj vlastní a vyplnit potřebné údaje manuálně. K dispozici je i studentská verze Education, přístupná zdarma po zaregistrování na stránkách softwaru. Ve své diplomové práci jsem používal verzi EPLAN Electric P8 2.6.

Program samotný je velice intuitivní a kreslení zapojení není nijak složité. Jediné, co je potřeba, je dodržovat určitý systém a popisovat vše důležité, aby

elektrikáři na dílně neudělali chybu a nezničil se tak některý z komponentů, tzn. správně označit barvy žil kabelů, aby se nestalo, že bude špatně vyznačené zapojení napájení, komponent pak může zkratovat a tím pádem se zničí, dále je také důležité, aby projektant nezakreslil špatně zapojení napájení a neprohodil tak např. napájení pro 230 V s napájením pro 24 V DC, to také vede ke zničení přístroje, aj.



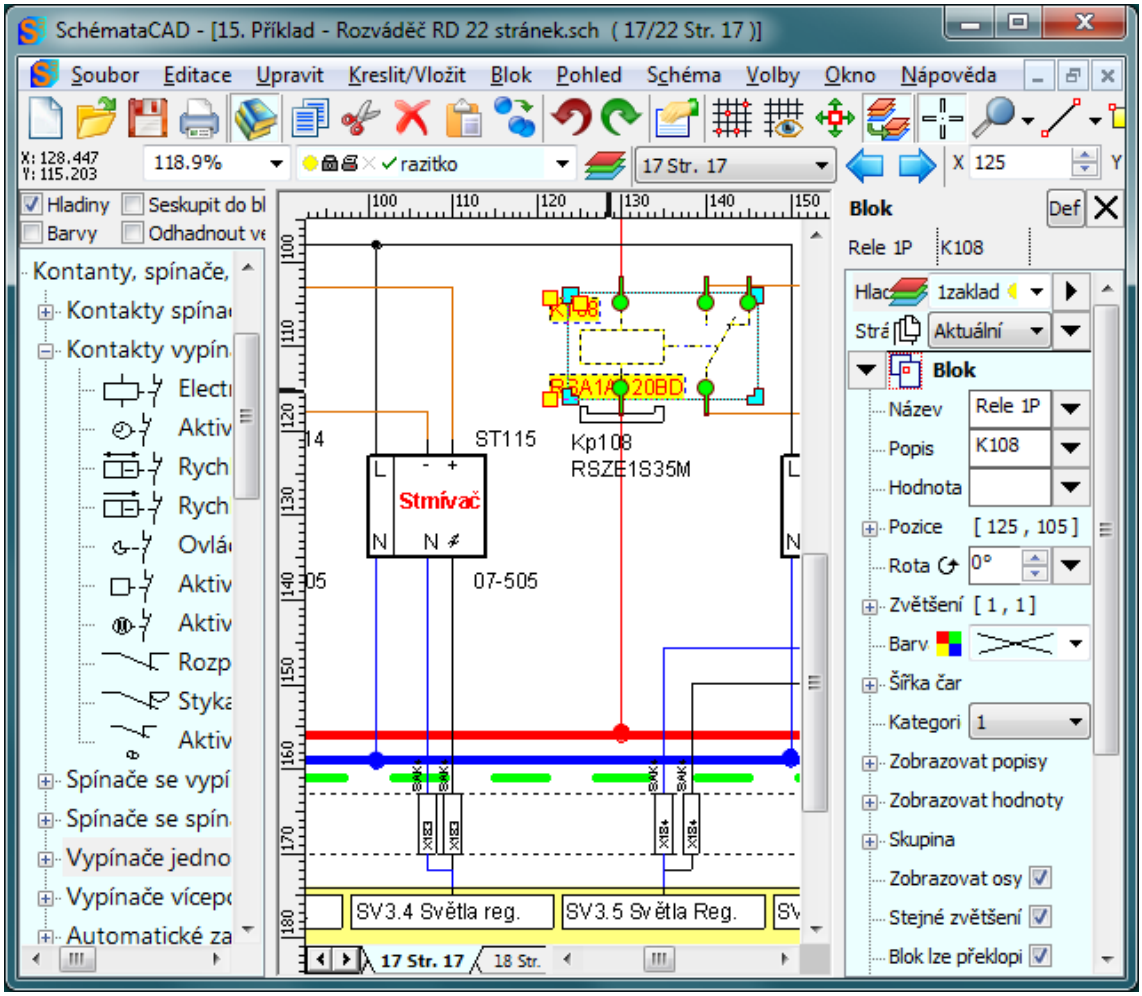
Obrázek 3.1 Vzhled hlavního okna EPLANu[1]

Program spolupracuje i s ostatními programy jako například soubory s formátem .DWG, což je formát souborů, ve kterých se tvoří výkresy například pro rozvaděčové skříně, ovládací skříňky aj. Toto spojení jsem použil hlavně při návrhu ovládacích skříněk, a to přes program SchémataCAD. Daný výkres se poté importuje přímo do projektu v EPLANu a je možné ho v něm poté i upravovat.

Při správnem dodržování artiklování je možné při tisku dokumentace si vyexportovat seznam komponentů – to je užitečné pro objednávky (v seznamu je přesný popis dostatečný pro nákup – počet kusů, objednací číslo aj.).

3.1.1.2 SchémataCAD

SchémataCAD je grafický program od společnosti ELMER Software s. r. o. a slouží k tvorbě elektrotechnických schémat – např. jednopólových, liniových, technologických, schémat rozvaděčů aj., používaný především projektanty a revizními techniky. Program je velice podobný od nástrojů od společnosti Autodesk (AutoCAD), je v českém jazyce, plně samostatný, a velkou výhodou je, že je v přenosné verzi, tzn. nainstalovaný i s licencí na flash disku. [2]



Obrázek 3.2 Ukázka okna programu SchémataCAD[2]

3.1.2 Programy od společnosti Siemens

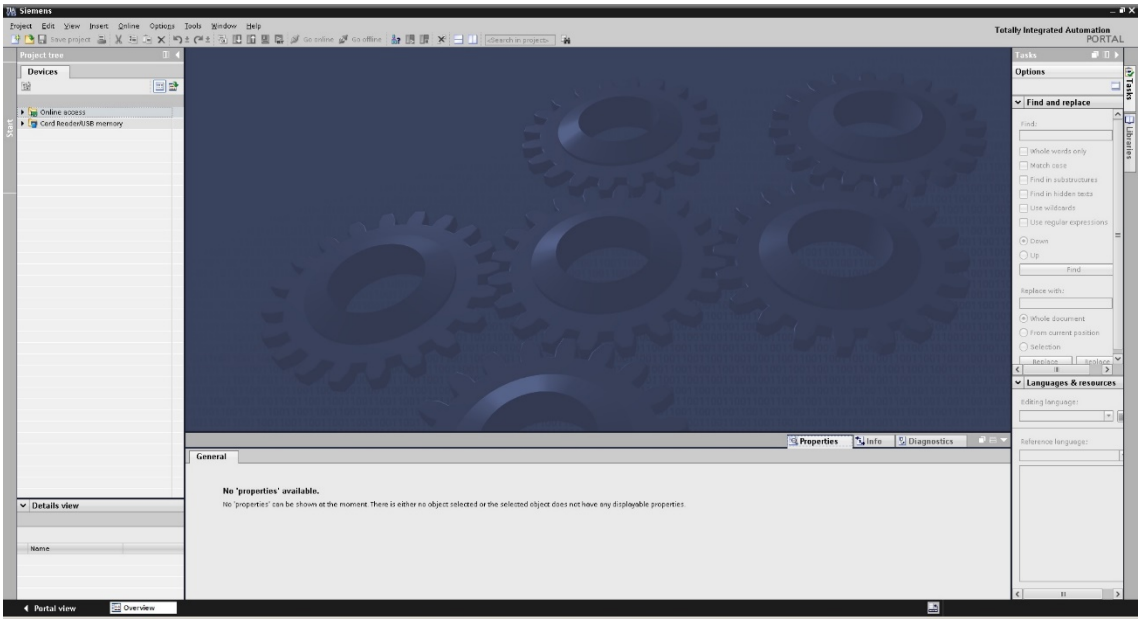
Siemens nabízí pro programování velké množství variací programů (Basic, Advanced, Professional) a k tomu i podpůrné programy, ke kterým není potřeba licence. Program jsem vytvořil ve vývojovém prostředí TIA Portal ve verzi V15 Upd4 obsahující několik součástí, které popíši společně v kapitole 3.1.2.1. Dále byl potřebný program STARTER Commissioning Software ve verzi 5.3.

3.1.2.1 TIA Portal V15

TIA Portal (Totally Integrated Automation Portal) je software od společnosti Siemens sloužící k programování PLC automatů a jeho součástí je hned několik podprogramů, které jsou potřebné pro automatizaci stroje nebo výrobního zařízení. Jádro tvoří SIMATIC Step 7 a slouží ke konfiguraci a programování kontrolérů SIMATIC. Nabízí několik programovacích způsobů jako například SCL, STL, FBD, GRAPH a LADDER. Při programování algoritmu jsem využil převážně jazyky SCL, hlavně kvůli možnosti použití CASE struktury, poté FBD pro sekvenční řízení

(využívá logické funkce AND a OR aj.), a pro volání funkcí (FC) či funkčních bloků (FB) jazyk LADER.

Pro tvorbu vizualizace je součástí instalačního balíčku podprogram WinCC Flexible. Samotná vizualizace se tvoří přímo v TIA Portalu a je možná při přidání panelu HMI do hardwaru projektu. Na vizualizaci můžeme mít několik oken a v případě složitějšího kódu použít i VB skripty. Vizualizace může mít připojení k několika PLC zároveň, avšak v diplomové práci to není využito, neboť se jedná o úlohu s jedním řídícím PLC a jednou periférií.



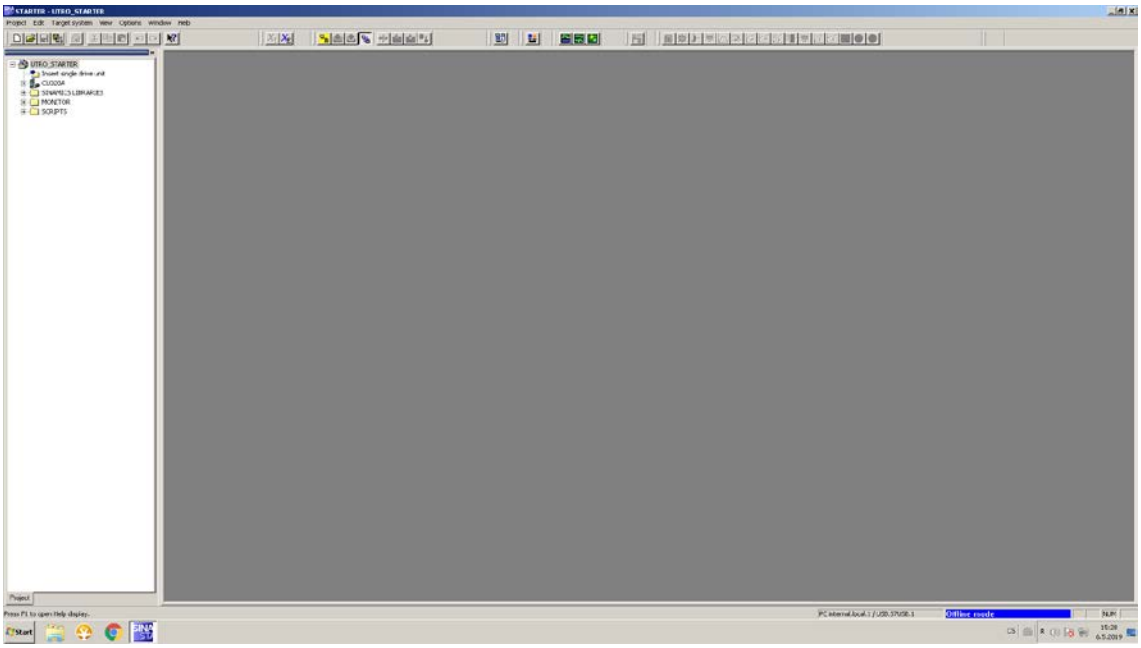
Obrázek 3.3 Okno programovacího prostředí TIA Portal

Pro parametrizaci pohonů je novinka od verze V15 v TIA Portalu součást Startdrive. Startdrive slouží k připojení motorů (frekvenčních měničů) do hardwarové konfigurace PLC a to tak, že se na ně můžeme přímo připojit, provést parametrizaci, a to dvěma způsoby. První je zadat měniči referenční hodnoty motoru, který je na něj připojen, ručně (dá se zjistit ze štítku motoru), druhý je, pokud je motor připojen po komunikaci přes Drive-CliQ (komunikační rozhraní pro snímače). Druhý způsob není možný ve všech případech, ale je nejjednodušší – měnič si sám po komunikaci vytáhne z motoru parametry a k nastavování toho už pak moc nezbyde. Startdrive má však jednu nevýhodu – je ještě „v plenkách“ a stále mu hodně věcí chybí a některé aplikace programů nejsou přes něj možné. V těchto případech se používá program STARTER Commissioning Software popsaný v kapitole 3.1.2.2.

Další součástí balíku je podprogram potřebný k tvoření bezpečnostního programu pro tlačítka nouzového zapojení, bezpečnostních bariér, dveří, různých zámků aj. Podprogram se jmenuje SIMATIC Step 7 Safety V15. Tvoří se v něm vlastní bezpečnostní komunikace pro bezpečnostní karty, PROFIsafe telegramy pro měniče aj.

3.1.2.2 STARTER

STARTER Commissioning Software je program volně ke stažení ze stránek společnosti Siemens a není potřebná licence. Slouží stejně jako Startdrive k parametrizaci frekvenčních měničů společně s motory, a navíc umí funkce, které Startdrive ještě neobsahuje – jedná se hlavně o komponenty z katalogu Siemens. Pomocí programu se připojíme na řídící jednotku měničů/měniče a provede se parametrizace, výstup programu je pak vygenerovaný GSDML soubor, který se poté musí naimportovat do projektu v TIA Portalu.



Obrázek 3.4 Okno parametrizačního programu STARTER

3.2 Hardware

U většiny hardware je použita „šuplíková metoda“, tzn. že neproběhlo žádné přesné vytipování komponentů, které jsou na úloze použity, a vzaly se komponenty, které byly skladem. Jediné snímače spolu se SMC40 byly přesně vytipovány na požadavky úlohy.

3.2.1 Snímače a příslušenství

Pro velmi přesné měření a polohování se vytypoval typ snímače HEIDENHAIN ACANTO AT3018, který má následující specifikaci:

Měřící rozsah:	30 mm
Stupeň krytí:	IP67
Přesnost systému:	±2 µm
Komunikační rozhraní:	EnDat 2.2

Obrázek 3.5 Snímač Heidenhain[5]

Snímače mají speciální rozhraní EnDat 2.2. Pro implementaci do PLC je zapotřebí ještě převodníků, který umožní komunikaci – vytipovány kabinety SMC40 od společnosti Siemens.

3.2.2 Řídící jednotka pro frekvenční měniče a napájení

Řídící jednotky pro měniče můžou být dvou druhů. Siemens frekvenční měniče řady G (G120) fungují jako samostatná jednotka, tedy sdružují funkci napájení, řídící jednotky a frekvenčního měniče. Tyto měniče slouží k jednoduchým účelům a řídí většinou indukční motory (například pro dopravníky, karusely). Pro větší nároky na ovládání slouží měniče řady S (podrobněji popíši v kapitole 3.2.3). Pro tyto měniče musí být oddělena řídící jednotka i napájení od měničů. To se může zdát, že pro projekty, kde takových měničů bude více, musí zabrat v rozvaděči hodně místa, nebo to bude zbytečně drahé. Opak je pravdou, jedna řídící jednotka a jedno napájení poslouží pro několik měničů naráz.

3.2.2.1 Řídící jednotka

Řídící jednotka (neboli CU) slouží, jak už název napovídá, pro řízení frekvenčních měničů. Jinak řečeno je mezičlánek mezi PLC řídícím systémem a frekvenčním měničem (motorem), zprostředkovává komunikaci (podrobněji popsána v kapitole 5). V diplomové práci je použita řídící jednotka SINAMICS Control Unit CU320-2 PN (Obr 3.6), která ke své funkcionalitě potřebuje ještě speciální kartu (ve dvou

provedeních Basic a Advanced, podle karty se určuje, kolik měničů je schopna řídící jednotka ovládat).

Obrázek 3.6 Řídící jednotka[6]

3.2.2.2 Napájení

Napájení (neboli Smart Line Modul, či Infeed) slouží k napájení měničů, umisťuje se hned vedle řídící jednotky, a slouží jako převodník ze střídavého napětí na stejnosměrné. Napájení pro měniče je řešeno tzv. DC linkem, který je ve vrchní části a spojuje všechny měniče, ke kterým je přidružená řídící jednotka. V projektu je použit Infeed řady S120 s následující charakteristikou:

Vstup: 380 – 480 V, 3AC, 50/60Hz
Výstup: 600 V, DC, 60 A, 36kW

Obrázek 3.7 Infeed[6]

3.2.3 Frekvenční měniče

Jak jsem zmiňoval, frekvenční měniče jsou 2 druhů – řady G a S. Řada S se dále dělí na 2 typy, a to na jednomodulové a dvoumodulové, tzn. jednomodulové „řídí“ jeden motor, dvoumodulové jsou zdvojené a dokáží tak „řídit“ motory dva. V diplomové práci jsem použil jeden dvoumodulový měnič SINAMICS S120 (Obr 3.8) s charakteristikou:

Vstup:	600 V DC
Výstup:	2x9A, 3-fázová 400 V, 4,8kW

Obrázek 3.8 Frekvenční měnič S120[6]

3.2.4 PLC, karty a periférie

Hardwarová konfigurace se skládá ze samostatného PLC, ke kterému je připojena jedna periférie a na ní celkem 4 karty.

3.2.4.1 PLC

Jako PLC je použito CPU s označením SIMATIC S7 – 1500F-1 PN. Charakteristika:

Pracovní paměť:	225kB pro program a 1MB pro data
Počet portů:	2
Použitá paměťová karta:	12MB

Obrázek 3.9 PLC[6]

3.2.4.2 IO karty

Jelikož je ovládání celé úlohy řešeno přes panel HMI, tak karty zde nemají téměř žádnou funkci (použit akorát jeden výstup), jsou tedy brány jako rezervy. Konfigurace obsahuje:

- *1 vstupní karta (8DI)*
- *1 výstupní karta (8DQ)*
- *2 analogové vstupní karty (původně měli být využity jako vyčítání hodnoty snímačů, ale snímače s rozhraním EnDat 2.2 nepodporují připojení na analogovou kartu)*

3.2.4.3 Periférie

IO karty jsou připojeny na periférii s označením ET 200SP s Profinetovým rozhraním IM 155-6PN.

Obrázek 3.10 Periférie ET200 [6]

3.2.5 Ovládací panel HMI

K ovládání úlohy je nainstalován ve dveřích rozvaděče HMI panel od společnosti Siemens s následující charakteristikou:

Označení: SIMATIC HMI TP900 Comfort
Počet palců: 9‘ TFT

Obrázek 3.11 HMI panel [6]

3.2.6 Motory

K frekvenčnímu měniči S120 je připojena dvojice motorů opět od společnosti Siemens. Zde by mohli být oba stejné, ale jelikož se brali zásoby, co byli na skladě, tak je každý motor jiný.

3.2.6.1 Levý motor

Rychlost:	3000 otáček/min
Výkon:	3,3kW
Proud:	7,2A
Moment síly:	10,5Nm
Napětí:	400V
Referenční značka:	Ne
Brzda:	Ne
Snímač:	inkrementální
Zapojení:	přes enkodér SMC10

3.2.6.2 Pravý motor

Rychlost:	3000 otáček/min
Výkon:	3,3kW
Proud:	7,2A
Moment síly:	10,5Nm
Napětí:	400V
Referenční značka:	Ano
Brzda:	Ano
Snímač:	resolver
Zapojení:	Drive-CliQ

Pozn. 1: Brzda dělá rozdíl jenom v elektrickém zapojení (1 kabel k motoru navíc) a v tom, že v klidu se s motorem nedá pootočit, musí se softwarově odbrzdit.

Pozn. 2: Referenční značka bude více popsána v kapitole 5.

Obrázek 3.12 Motor [6]

4. NÁVRH ELEKTRICKÉHO ZAPOJENÍ

Rozvaděč použitý pro úlohu je od společnosti Rittal a nese označení TS8206.500. Charakteristika skříně:

Rozměry (ŠxVxH):	1200x2000x600mm
Stupeň krytí:	IP55
Počet dveří:	2
Materiál:	ocelový plech (1,5-3,0mm)

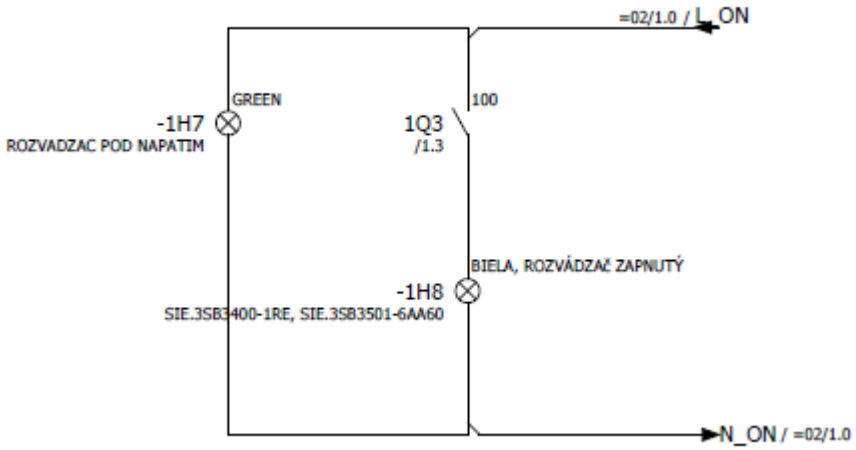
Obrázek 4.1 Vnitřek rozvaděče se zapojením

Na Obr 4.1 je zobrazeno vnitřní zapojení rozvaděče. Podle prvního pohledu je vidno, že hardwarového vybavení je zde více, než jsem popsal v kapitole 3.2, to je z důvodu, že se jedná o speciální rozvaděč sloužící nejenom pro jednu výzkumnou úlohu, ale hned pro tři. Zhruba uprostřed obrázku je vidět CU, Infeed a čtyři frekvenční měniče (dvoumodulové), měnič pro diplomovou práci je ten nejvíce vpravo. Pro lepší manipulaci a případnému posunu (neboť každá úloha má ve firmě jiné umístění a musí se neustále odpojovat a přemísťovat) je rozvaděč opatřen kolečky. Pro lepší viditelnost je vnitřek rozvaděče vybaven i světlem na 230V, který má 3 režimy – automatické snímání pohybu a spínání světla, světlo zapnuto, světlo vypnuto.

4.1 Přívod elektřiny

Přívod elektřiny je řešen pětižilovým kabelem (soustava typu 3PEN – 50Hz/380V TN-C-S). Fázové vodiče jsou přes hlavní přepínač (umístěný na levé straně rozvaděče viz. Obr 4.1) do hlavního jističe, který obsahuje 100A pojistky. Ochranný vodič PE a zemnící vodič N jsou vedeny na společné svorky PE a N, na které se připojují ochranné a zemnící vodiče od ostatních zařízeních jako zásuvky na 230V, světla aj.

Napájení v rozvaděči je signalizováno dvěma kontrolními LED diodami umístěnými na levých dveří, přičemž jedna ukazuje, zda je rozvaděč pod napětím, a druhá, zda je rozvaděč zapnutý pomocí hlavního přepínače. Zapojeno tak, že je vyvedena přes svorku jedna fáze, která napájí obě kontrolky, přitom jedna dioda ke musí mít v podmínce hlavní přepínač = zapnuto (viz Obr 4.2)



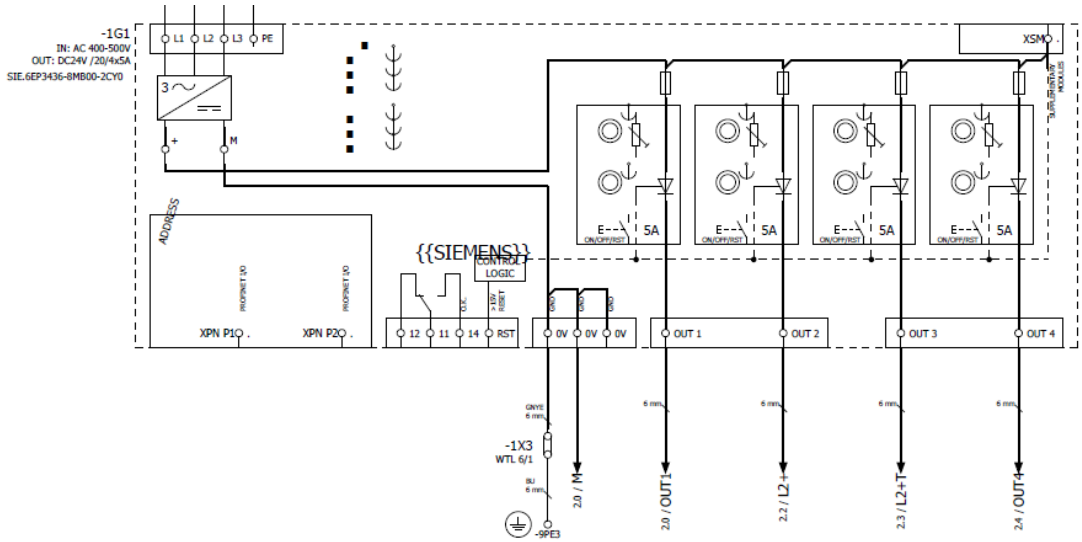
Obrázek 4.2 Zapojení LED diod

Fáze jsou následně vyvedeny na pojistkové odpínače rúzných velikostí. 50A odpínač pro napájení CU, Infeedu (tedy i měničů), 16A odpínač pro 24V napájení a

fáze L1 na 16A odpínač pro servisní zásuvky na 230V a 2A odpínač pro cívku, která slouží ke spínání třífázového stykače sloužícímu k softwarovému zapínání a vypínání napájení do Infeedu (frekvenčních měničů). Za každým odpínačem je následně i proudový chránič.

4.2 **Rozvod 24V**

K rozvodu 24V soustavy slouží spínaný napájecí zdroj od společnosti Siemens SITOP PSU8600, který má celkem 4 výstupní kanály, přičemž na každý kanál připadá výstupní proud 5A. Napájecí zdroj je konfigurovatelný ve smyslu, že se dá ze 4 kanálů udělat 2, které následně mají dvojnásobný výstupní proud (tedy 10A). To lze využít u komponentů na 24V, které mají vyšší odběr proudu. Sloučení na 1 kanál, který by měl výstupní napětí 20A, nelze udělat nastavením napájecího zdroje, ale dá se to obejít, že 2 kanály přivedeme na jednu svorku, odkud bude dále jen jeden vývod.

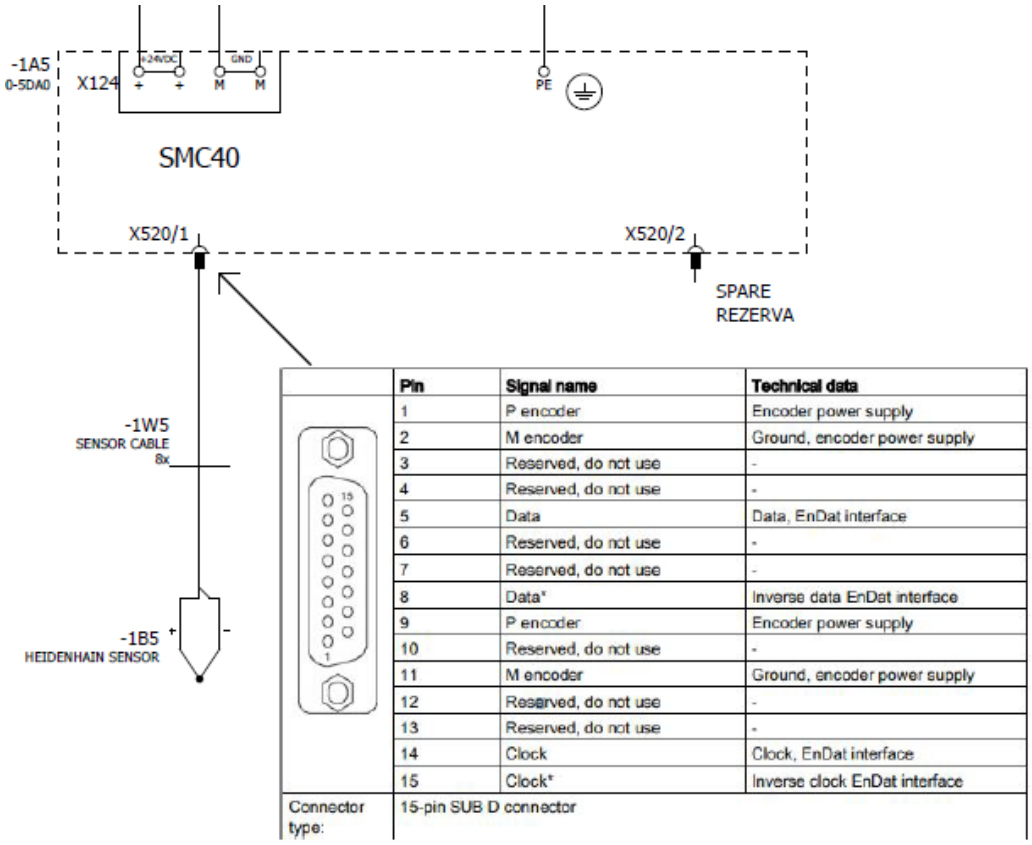


Obrázek 4.3 Výstupní kanály napájecího zdroje SITOP

V zapojení využívám kanály 1, 3 a 4 (viz Obr 4.3). Kanál 2 je připravený pro jinou výzkumnou úlohu jako napájení pro bezpečnostní karty. Kanál 1 (OUT1) slouží k napájení 24V Infeedu, CU a měničů, kanál 3 (L2+T) napájí HMI panel ve dveřích rozvaděče, periférie ET200 (mimo rozvaděč - nepoužíváno) a všechny enkodéry pro motory a snímače (SMC), tedy i ty, které jsou přichystané pro jiné úlohy, a kanál 4 (OUT4) je zdrojem 24V pro PLC a periférii s IO kartami uvnitř rozvaděče.

4.3 Zapojení snímačů Heidenhain

U snímačů od společnosti Heidenhain jsem narazil k prvnímu problému. Původně bylo zamýšleno, že se snímače zapojí do analogové karty u periferie a bude se hodnota vyčítat jako klasický vstup. Po dlouhém studování snímače a rozhraní EnDat 2.2 jsem se dopátral dvou řešení – existuje profinetový modul, který funguje jako převodník mezi EnDat 2.2 rozhraním a Drive-CliQem a speciální převodník od Siemensu SMC40, který tento formát podporuje. Nakonec se zdálo vhodnější přistoupit k variantě od Siemens, kde nastal další problém a to ten, že součást snímače je osmižílový kabel a SMC40 má jako vstup D-SUB konektor (tzn. 15 pinový), jinak řečeno, nevěděl jsem, která žíla se má připojit na který pin konektoru. Zde mi pomohla firma, která snímače dodala, a poskytla mi schéma pinů, kam která žíla patří (viz. Obr 4.4)

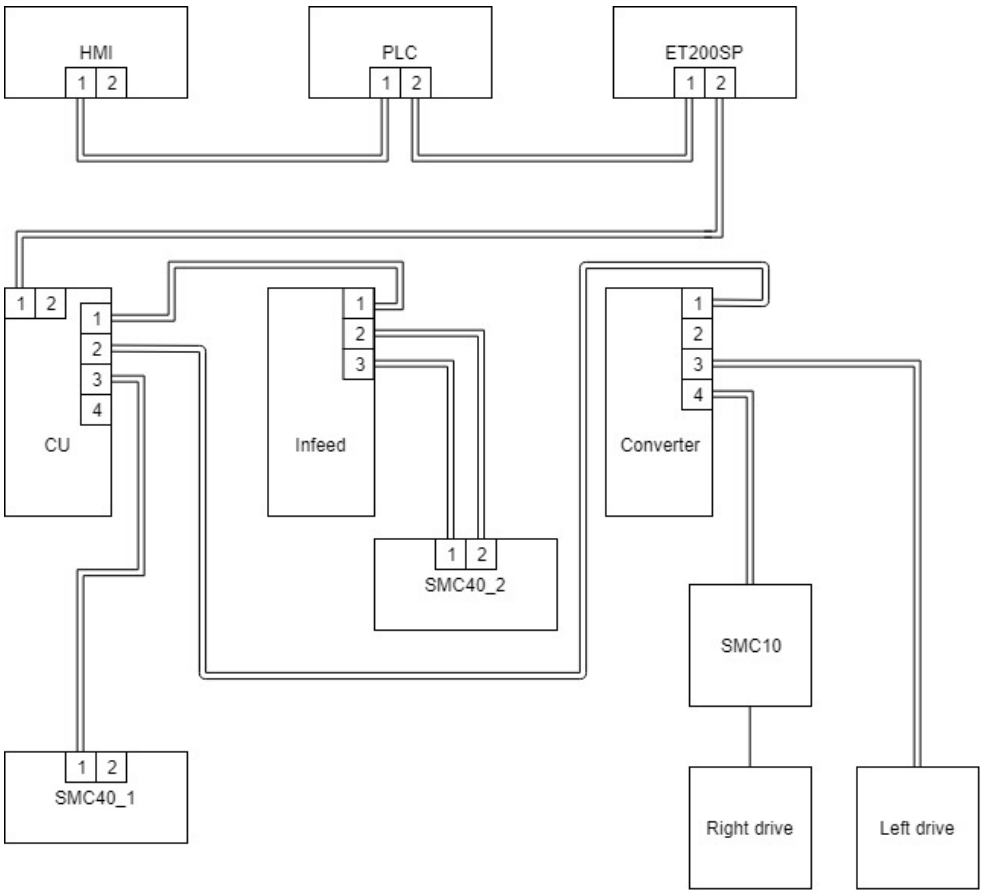


	Pin	Signal name	Technical data
	1	P encoder	Encoder power supply
	2	M encoder	Ground, encoder power supply
	3	Reserved, do not use	-
	4	Reserved, do not use	-
	5	Data	Data, EnDat interface
	6	Reserved, do not use	-
	7	Reserved, do not use	-
	8	Data*	Inverse data EnDat interface
	9	P encoder	Encoder power supply
	10	Reserved, do not use	-
	11	M encoder	Ground, encoder power supply
	12	Reserved, do not use	-
	13	Reserved, do not use	-
	14	Clock	Clock, EnDat interface
	15	Clock*	Inverse clock EnDat interface
Connector type:	15-pin SUB D connector		

Obrázek 4.4 Zapojení snímače Heidenhain do SMC40

4.4 Síťové zapojení jednotlivých komponentů

Celý systém je propojený po Profinetu. Do budoucna se plánuje připojení i WiFi routeru pro lepší přístup a lepší topologii. HMI, PLC a periferie ET200SP mají po 2 portech, Infeed má porty 3, frekvenční měnič 4 a CU má porty rozdělené na 4 pro připojení měničů (Drive-CliQ), SMC a Infeedu, pak má dále 2 porty čistě na Profinetovou síť a 1 LAN port, kterým se dá připojit pouze na řídící jednotku. Schéma profinetového zapojení je na Obr 4.5.



Obrázek 4.5 Profinetová topologie

Při řešení komunikace jsem se setkal s problémem, že nebylo možné přesně nakonfigurovat síť a že některé části nebyli viditelné. Problém nakonec byl v nejzákladnější věci – špatný komunikační kabel.

4.5 Ovládací skříňky

Součástí výkresové dokumentace je i ovládací skříňka navrhnuta v programu SchémataCAD. Tato skříňka neslouží k ovládání polohování, ale k jiné úloze. Její výkres je obsažen v celkové dokumentaci v Příloha 1 na straně 16.

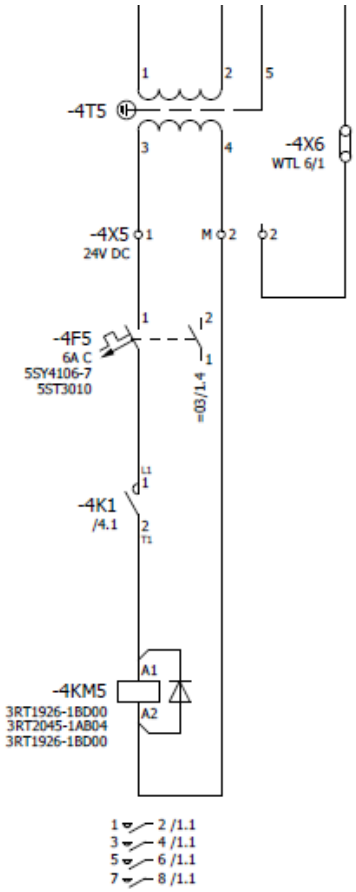
4.6 Pneumatika

Součástí úlohy je i pneumatika složená z pěti válců sloužících jako aretace rámu. Zde je provizorní řešení a to takové, že se válce tlakují manuálně a tím se rám uvolní a může se s ním pohybovat. Do budoucna bude ovládání řízeno PLC systémem.

Obrázek 4.6 Pneumatický válec a snímač Heidenhain

4.7 Ostatní problematika

Do ostatní problematiky bych zařadil hlavně vhodnou volbu pojistek a ostatních komponentů, neboť jsem si potvrdil, že neznalost součástek, které se používají při navrhování elektrické dokumentace, může mít někdy za následek nefunkčnost celého systému. U napájení Infeedu je třífázový stykač, který je softwarově ovládaný, a potřebný proud pro jeho sepnutí je 7A. Původně byl napájen sdruženým kanálem 1 a 2 z napájecího zdroje na 24V SITOP, ale 10A nestačilo na jeho sepnutí a napájecí zdroj „padal“ do chyby na přetížení. Nakonec podle charakteristiky stykače jsem přišel na to, že stykač potřebuje náběžný proud větší než 12A a že hodnota 7A je až po ustálení sepnutí. Tento problém jsem vyřešil přidáním cívky (viz. Obr 4.6). Celá dokumentace je v Příloha 1.



Obrázek 4.7 Zapojení cívky

5. PROGRAM PRO ŘÍZENÍ POLOHOVÁNÍ RÁMU

Při realizaci softwarového řešení jsem postupoval podle nároků a pokynů firmy Konštrukta – TireTech. To vedlo ke dvěma řešením, přičemž pouze druhé je pro polohování výhodnější.

5.1 První řešení

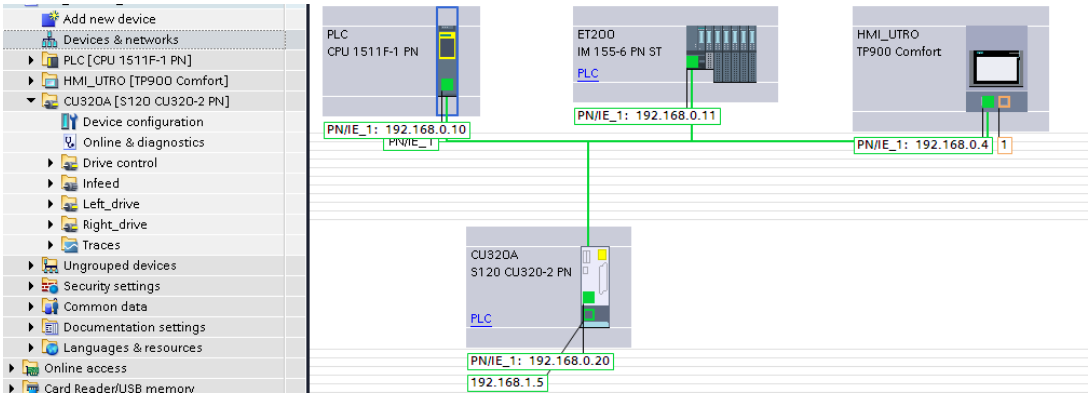
Původní myšlenka byla, jelikož se jedná o výzkumnou úlohu, využít novinky nové verze TIA Portalu V15 – konkrétně Stardrive – a nadefinovat frekvenční měniče jako technologické objekty a přistupovat k nim pomocí funkcí z knihovny Motion Control. Jako princip ovládání byl požadavek na využití snímačů motoru jako polohování, kde se musela vzít potaz i převodový poměr převodovky ke správnému přepočítání polohy stolu, přídavné snímače od Heidenhain měli sloužit jako informační. Výhoda tohoto programování je taková, že všechno potřebné je uděláno přímo v softwaru TIA Portal a nemusí se používat žádných dodatečných programů. Knihovna Motion Control obsahuje funkce například: MC_Power (slouží k zapnutí a vypnutí technologického objektu), MC_Reset (slouží k resetování chyb frekvenčního měniče), MC_Home (referencování motoru), MC_MoveJog (posun dopředu/dozadu závislý na sepnutém vstupu do funkce), MC_MoveVelocity (požadavkem se uvede motor do pohybu s nadefinovanou rychlostí, k jejímu zastavení je požadavek na funkci MC_Halt) aj.

Funkce MC_Home potřebuje ke svému správnému vykonání tzv. referenční značku, která bývá umístěna uvnitř motoru. Po vypnutí a zapnutí napájení do řídící jednotky CU motor s referenční značkou ztratí pojem o své poloze a musí se referencovat, jinak se s motorem nedá pohybovat. Vzhledem k tomu, že k polohování jsou využity jeden motor s referenční značkou a druhý bez, nejde tato funkce použit univerzálně na oba a muselo by se to dělit. Motor bez referenční značky lze referencovat pouze hardwarově, frekvenční měnič si to uloží do své ROM paměti a zůstane to i po vypnutí a zapnutí napájení, ale sebemenší jiný zásah (přehrátí, upravení parametrů) do hardware frekvenčního měniče nebo řídící jednotky tuto hodnotu vymaže a postup pro referencování se musí provést znovu, což je velice nepraktické. Vzhledem k rozdílnosti motorů (hlavně referenční značky) se rozhodlo, že funkce pro technologické objekty se nebudou využívat a použije se „starý způsob“ ovládání pomocí komunikace, přes tzv. telegramy.

5.1.1 Hardwarová konfigurace

Po vytvoření projektu je správné nastavení hardwaru nejdůležitější věc, bez které se neobejdeme. V katalogu je zapotřebí najít správný komponent, který je použit, a

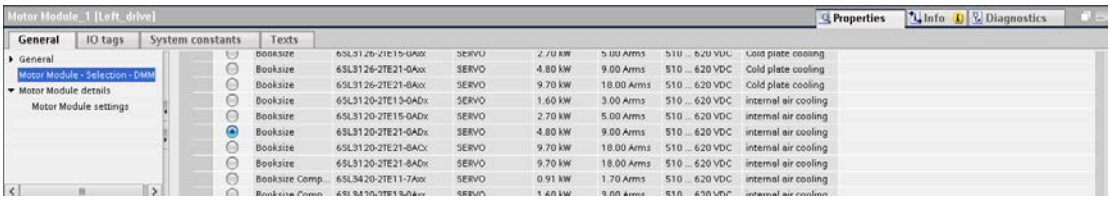
přidat ho do projektu, tedy PLC 1511F-1 PN, periferie ET200 spolu s IO kartami, HMI panel TP900 (spolu s tím vytvořit propojení s řídícím PLC), řídící jednotku CU320A a vše spojit do jedné sítě a přiřadit k jednotlivým komponentům IP adresy. Veškeré komponenty pak vidíme ve stromu projektu a můžeme s tím pracovat dále (viz. Obr 5.1).



Obrázek 5.1 Hardwarová konfigurace

Zde vidíme, že CU se chová podobně jako PLC, má svou vlastní strukturu, kterou je nutno upravit – přidat Infeed a frekvenční měniče. Probíhá to stejně jak přidávání PLC, či HMI do projektu – u CU320A se klikne na „Device configuration“ a poté pomocí katalogu přidat části, které připojené na danou CU. Zde je nutné si dávat pozor na přesně zapojení (topologii) měniče a infeedu, tzn. jaký port je kam připojen. V případně špatného propojení bude hlásit CU chybu.

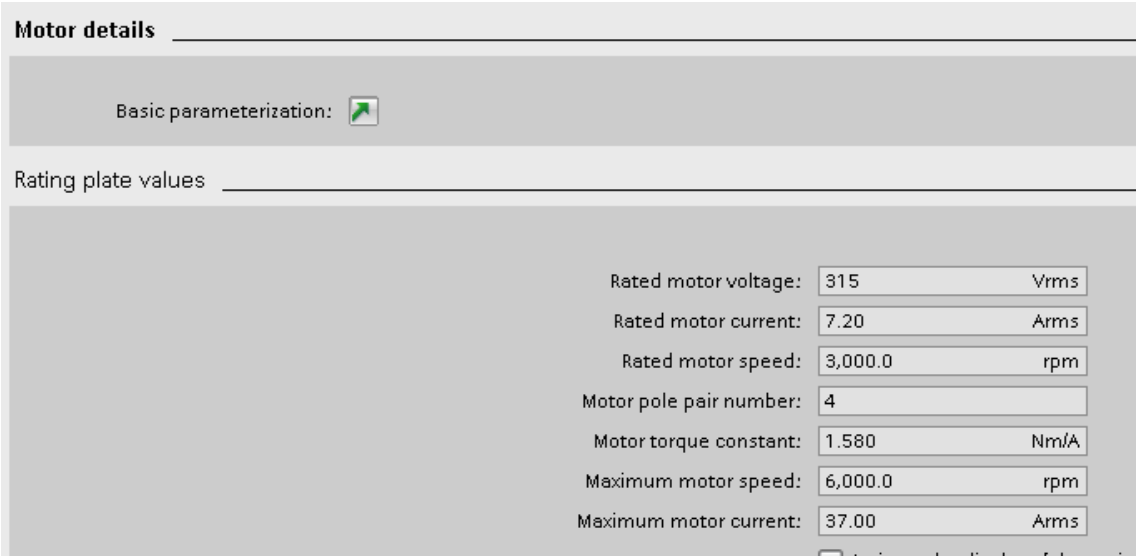
Základní struktura je hotová, další bod je správně nastavit dvoumodulový měnič. Provede se pravým kliknutím na měnič -> Properties, a z nabídky vybereme správný typ (viz. Obr 5.2). Nyní přidáme motory. Opět z katalogu vybereme správný typ a



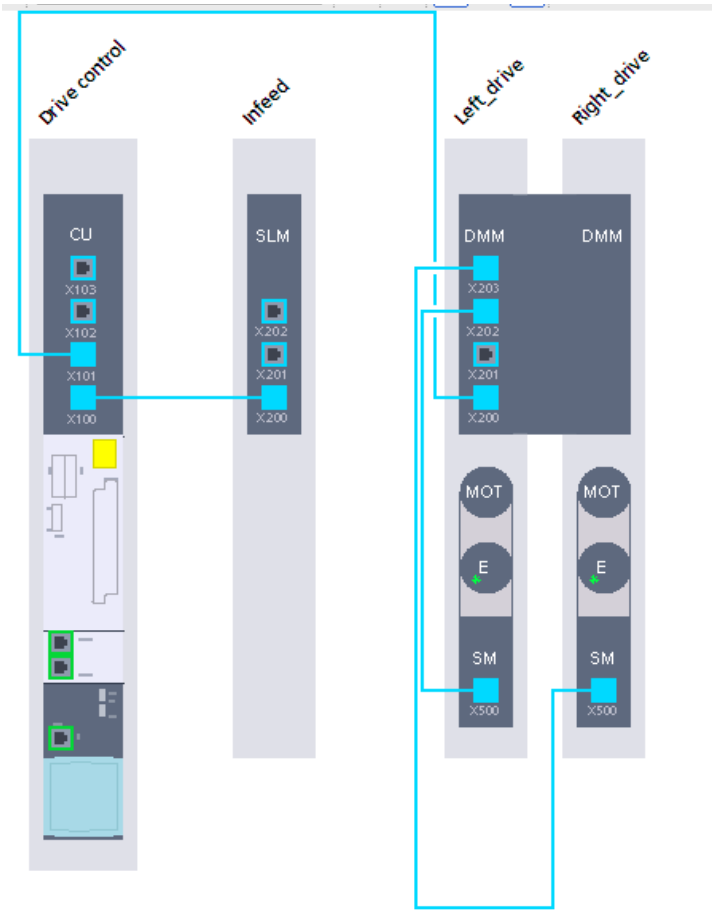
Obrázek 5.2 Nastavení typu měniče

vložíme ho do měniče (vloží se spolu s enkodérem) a nastavíme ho stejně jako měnič (Properties), zde se vypíšou data ze štítku motorů – rychlost, moment, proud, aj. (viz. Obr 5.3). Ke každému motoru ještě musíme přidat typ enkodéru. Zde k levému motoru přiřadíme Drive-CliQ a k pravému SMC10. Jako poslední věc je ještě nastavit funkci měniče, tzn. nastavit základní polohování – klikneme na tlačítko „Basic parameterization“ (vidět na Obr 5.3) a pod položkou „Function modules“ zaškrtneme checkbox pro „Basic positioner“. Na této straně je mnoho parametrů, některé bylo potřeba upravovat při ladění programu (například dynamická hodnota pro vyhodnocení chyby polohování), ale většina zůstala ve

výchozí hodnotě. Tímto je hardwarová konfigurace hotová (viz. Obr 5.4) a můžeme přejít k další věci, a to je nastavení komunikace mezi CU a PLC, tedy nastavením komunikačních telegramů.



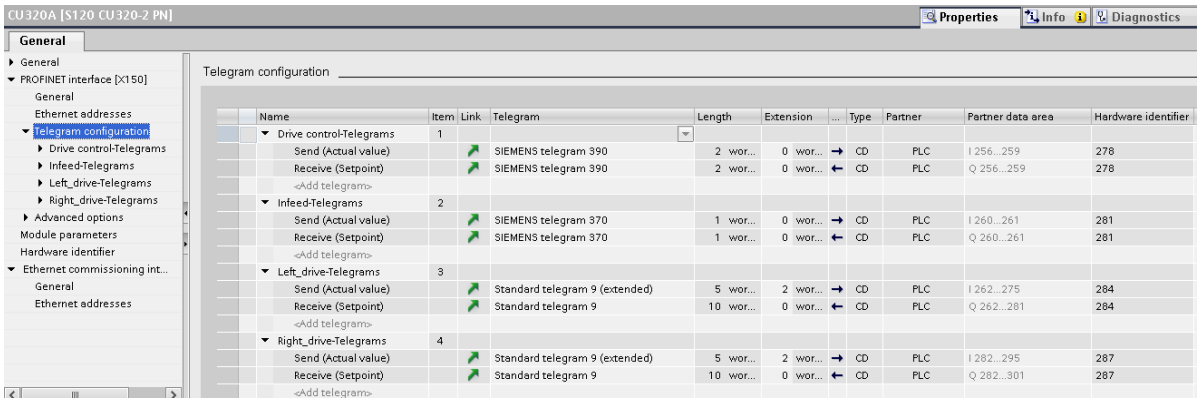
Obrázek 5.3 Nastavení motoru



Obrázek 5.4 Konfigurace CU320A

5.1.2 Nastavení komunikace mezi PLC a CU

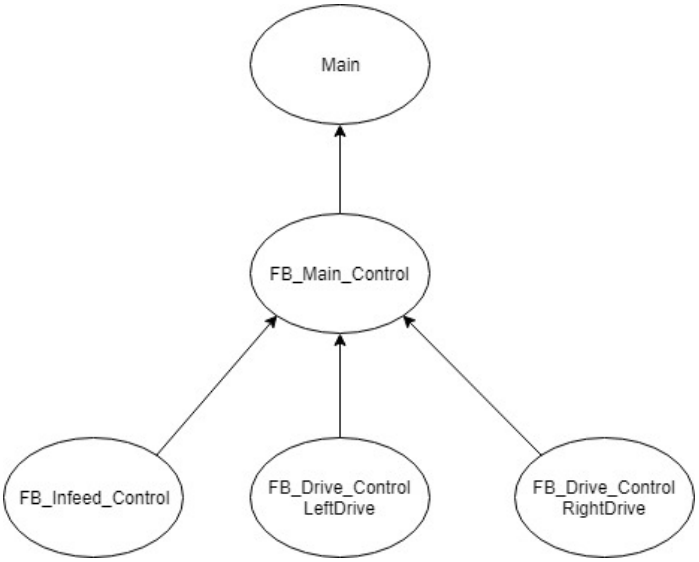
Pro výměnu dat mezi PLC a CU slouží tzv. telegramy. Telegram si můžeme představit jako pole bytů, který se posílá do PLC a do CU – z pohledu PLC máme tedy 2 pole, jedno určené pro zapisování hodnot do měniče, CU, Infeedu (Write) a druhé pro čtení aktuálních hodnot a stavu (Read). Telegramů je několik druhů, každý o různé délce a pro jiné využití. K nastavení telegramů se dostaneme přes Device & networks -> Pravý kliknutí na CU -> Properties a pod záložkou PROFINET interface -> Telegram configuration. Zde se dá jednoduše přidat telegram kliknutím na <Add telegram> (přidává se zde i bezpečnostní telegramy, v projektu nejsou využity, neboť nemám žádné bezpečnostní obvody jako E-Stop aj.), dále je potřeba vybrat správný typ v roletce ve sloupci „Telegram“. Pro CU jsem použil telegram 390 o délce 2 wordů a pro program nemá nijak zvláštní využití, u některých projektů se některý bit v telegramu může použít jako přepínání parametrizačních sad nebo povel pro přepsání paměti RAM do paměti ROM. Telegram 370 pro Infeed slouží k zapínání a vypínání (více popsáno v kapitole 5.1.3) a jeho délka stačí jeden word jak pro příjem, tak i pro posílání. Pro frekvenční měniče jsem zvolil telegram 9 o délce 5 wordů pro posílání a 10 wordů pro příjem, přičemž pole, které posílá měnič do PLC, je rozšířil o 2 wordy – jeden pro vyčítání aktuálního alarmu a druhý pro aktuální chybu na měniči. Konfigurace telegramů je znázorněna na Obr 5.5.



Obrázek 5.5 Konfigurace telegramů

5.1.3 Programové řešení

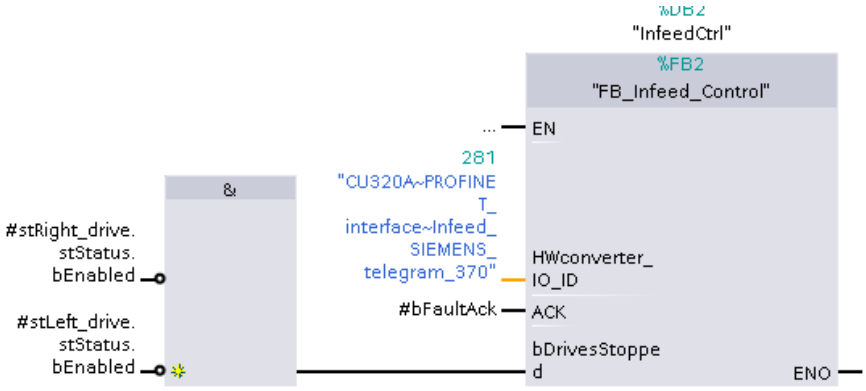
Program se skládá celkem ze tří funkčních bloků – dva jsou vytvořeny na obsluhu Infeedu a motorů, a třetí slouží k ovládání celé úlohy. V hlavním OB projektu Main se volá funkce FB_Main_Control, která volá funkční bloky FB_Infeed_Control a dvakrát FB_Drive_Control (pro pravý a levý motor). Zobrazeno na Obr 2.1.



Obrázek 5.6 Schéma volání funkcí

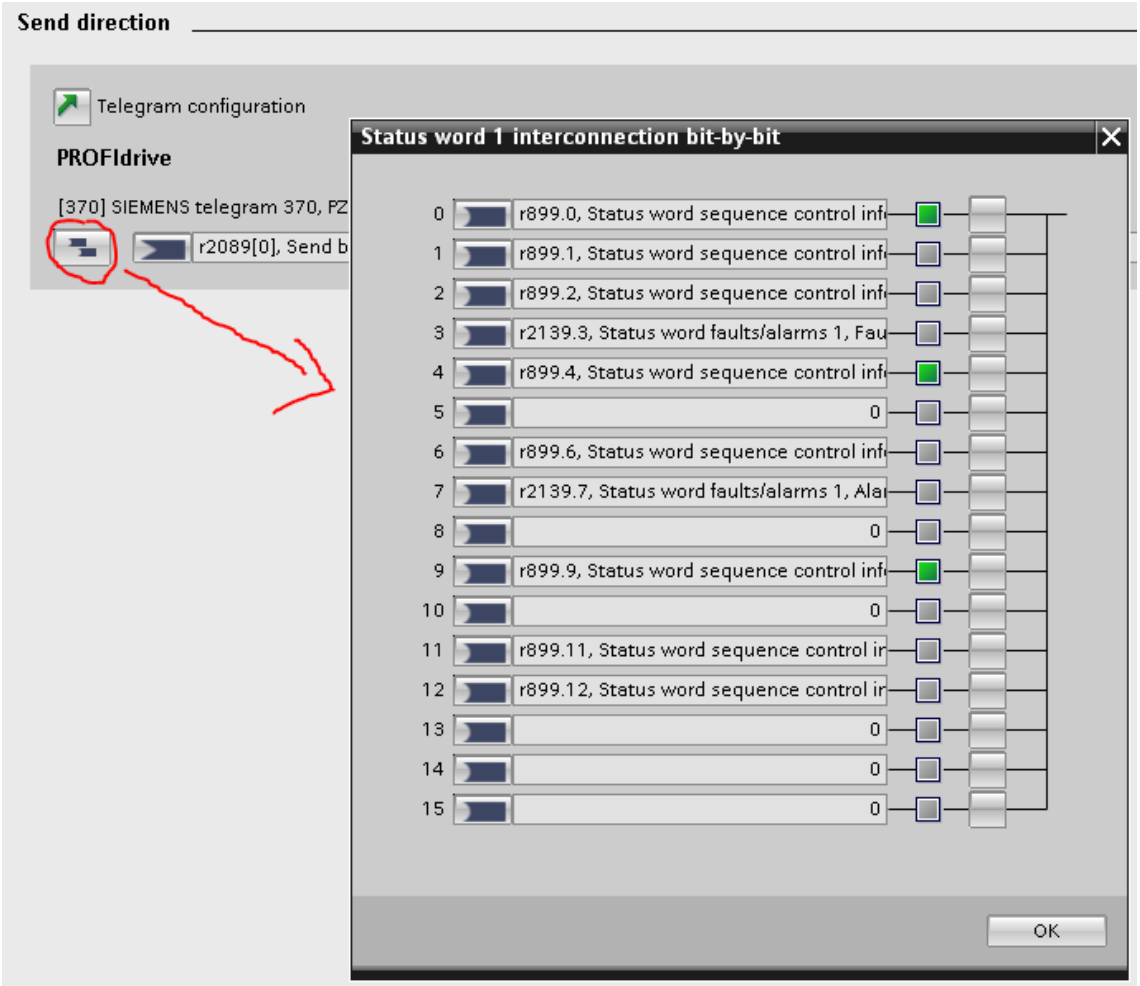
5.1.3.1 FB_Infeed_Control

Funkce pro ovládání Infeedu má 3 vstupy: HW identifikátor (speciální konstanta identifikující komponent v hardwarové konfiguraci, najdeme ho v okně pro konfiguraci telegramů Obr 5.5), potvrzení chyb (z vizualizace) a vstup pro zastavení Infeedu (oba motory neaktivní). Volání funkce je zobrazeno na Obr 5.7.



Obrázek 5.7 Volání funkce na obsluhu Infeedu

Uvnitř funkčního bloku je kód pro ovládání výstupu na spínání stykače u napájení Infeedu a zároveň vyčítání a zapisování. Důležitou roli zde hrají funkce DPRD_DAT (čtení – jako vstup je dán unikátní HW identifikátor a výstup musí být velikostně stejný jako velikost nadefinovaného telegramu, tedy 2 wordy) a DPWR_DAT (zapisování – podobně jako u DPRD_DAT je vstup HW identifikátor a výstup pole o stejné délce jako telegram), přičemž funkce pro čtení telegramu je v networku číslo 1, aby se provedl co nejdříve, a funkce pro zápis v posledním networku, aby se po vykonání obslužného programu všechno zapsalo a nestalo se tak, že se některá změna projeví až v dalším cyklu programu. Navázání jednotlivých bitů v telegramu (u všech komponentů) je možno zjistit přes CU, kdy si ji otevřeme ve stromě projektu, dále Infeed -> Parameter, v následujícím okně vybereme Communication -> Send/Receive direction (Send znamená, co komponent posílá do PLC, Receive komponent co přijme od PLC). Jednotlivé bity jsou znázorněny na Obr 5.8.



Obrázek 5.8 Namapování bitů u telegramu pro odesílání do PLC u Infeedu

Pro nás je důležitý bit 0, který nám říká, že Infeed je připraven k zapnutí a je bez chyb. U komunikace směrem do Infeedu je pro nás důležitý bit 0, 1, 3 a 7. Bit 7 je potvrzení chyby, bity 1 a 3 jsou pro zapnutí výstupu napájení do měničů a bitem 0 se Infeed zapíná (ošetřeno podmínkou připraveností Infeedu, viz. Obr 5.9).

```
1  #abControl_array[0] := #ftInfeedStart.Q AND #anReceive[0].%X0;
2  #abControl_array[1] := #ftInfeedStart.Q;
3  #abControl_array[3] := #ftInfeedStart.Q;
4  #abControl_array[7] := #ACK;
```

Obrázek 5.9 Řízení Infeedu

ftInfeedStart.Q je impulz od časovače nastaveným na 2 sekundy – aby se Infeed nespouštěl ihned po stlačení tlačítka na vyzualizaci a bylo jisté zpožnění před vypnutím a zapnutím. Poslední část funkčního bloku je CASE struktura reagující na tlačítko z vizualizace, které zapíná/vypíná Infeed.

5.1.3.2 FB_Drive_Control

Funkční blok pro obsluhu motoru využívá stejně jako u Infeedu funkce pro zápis a čtení dat z telegramů (DPRD_DAT a DPWR_DAT). Z měniče dostávám telegram o délce 7 wordů. 6tým a 7mým wordem získávám z měniče kód chyby, pokud nějaká je, a následně zobrazuji v alarmech na vizualizaci. Jelikož se jedná o motory definované jako základní polohovače, je nutno provést referencování. Z měniče mám zpětnou s aktuální pozicí motoru, ta je rozdělena do 2 wordů (4tý a 5tý) a musí se správně převést například na datový typ DInt (viz. Obr 5.10). 1ní word telegramu slouží jako tzv. „Status word“. V něm každý bit znamená informaci o stavu daného měniče. Bit 0 značí připravenost měniče, bit 2 indikuje, zda je měnič aktivní, bit 10 znamená dosažení zadané pozice/rychlosti a bit 13 značí, zda je měnič zreferencovaný podle referenční značky motoru.

```
1  #stControl_and_conversion.nActualPosition.%W1 := #anPZD_receive[4];
2  #stControl_and_conversion.nActualPosition.%W0 := #anPZD_receive[5];
3
```

Obrázek 5.10 Převod aktuální pozice z měniče

Směrem do měniče posílám telegram o délce 10 wordů. Zde první word slouží jako řídící a nazývá se „Control word“. Jsou zde bity pro zapínání měniče (0. – 3.), pro spuštění polohování (6.), potvrzení chyb (7.), tzv. „jogování“, což znamená pohyb dopředu/dozadu dokud je daný bit v logické 1 (bit 8. a 9.), bit 10. musí být také v logické 1, neboť značí, že měnič bude ovládaný z PLC, a poslední důležitý bit je 11., který spouští referencování motoru. Spolu s Control wordem se do měniče

posílá ještě cílová pozice, rychlost akcelerace a decelerace. Zde je vhodné si pohlídat rychlost, aby nepřesáhla limity a nedošlo tak ke zničení motoru. Akcelerace je velikost zrychlení při dosahování zadaná rychlosti, decelerace naopak rychlost při zastavování motoru. Zápis do telegramu je znázorněn na Obr 5.11.

```
1
2  #anPZD_send[1].%X0 := #bEnable AND #bReadyToSwitchOn AND NOT #bReqStop;
3  #anPZD_send[1].%X1 := #bEnable; // OFF2
4  #anPZD_send[1].%X2 := #bEnable; // OFF3
5  #anPZD_send[1].%X3 := #bEnable; // Enable operation
6  #anPZD_send[1].%X4 := TRUE; // EPOS reject traversing
7  #anPZD_send[1].%X5 := TRUE; // EPOS Stop
8  #anPZD_send[1].%X6 := #bPosiStart;
9  #anPZD_send[1].%X7 := #bACK;
10 #anPZD_send[1].%X8 := #"bJog+";
11 #anPZD_send[1].%X9 := #"bJog-";
12 #anPZD_send[1].%X10 := TRUE; // Control by PLC
13 #anPZD_send[1].%X11 := #bHoming; // Referencing
14 #anPZD_send[2].%X0 := FALSE;
15 #anPZD_send[2].%X1 := FALSE;
16 #anPZD_send[2].%X15 := TRUE;
17 #anPZD_send[4] := #stControl_and_conversion.#nTargetPosition.%W1;
18 #anPZD_send[5] := #stControl_and_conversion.#nTargetPosition.%W0;
19 #anPZD_send[6] := #stControl_and_conversion.#nVelocity.%W1;
20 #anPZD_send[7] := #stControl_and_conversion.#nVelocity.%W0;
21 #anPZD_send[8] := #stControl_and_conversion.nAcceleration;
22 #anPZD_send[9] := #stControl_and_conversion.nDeccelleration;
```

Obrázek 5.11 Telegram pro zápis do měniče

5.1.3.3 FB_Main_Control

Hlavní funkční blok k řízení motorů a Infeedu přes vizualizaci na HMI. Polohování má dva režimy – synchronní a asynchronní – a dva druhy pohybů – „jogování“ a krokování. Při synchronním režimu se řídí oba motory současně, asynchronní režim ovládá každý motor zvlášť (zde je nutno dávat pozor na možné zkřížení rámu!). Krokový pohyb funguje tak, že po zadaném kroku z vizualizace a stlačením příslušného tlačítka se vypočítá cílová poloha a spustí se polohování na cílovou pozici (viz.).

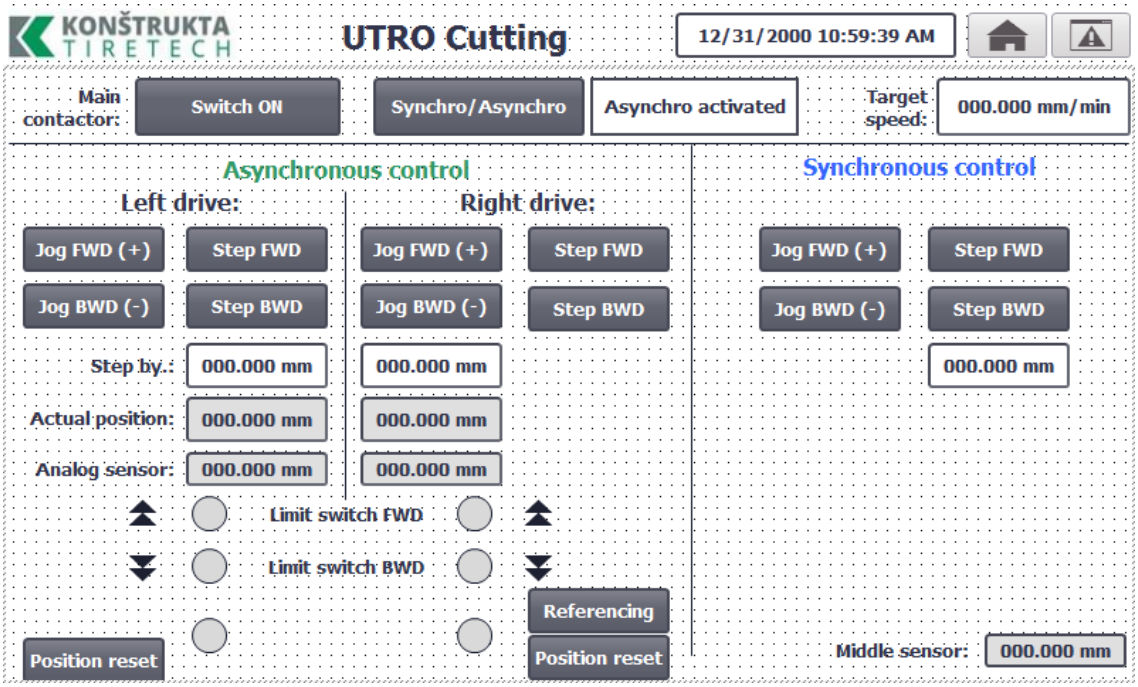
```
#fPELeftFWD(CLK := #stLeft_drive.stControl.bFWD_button);
#fPELeftBWD(CLK := #stLeft_drive.stControl.bBWD_button);

IF #fPELeftFWD.Q AND NOT #stSynchro.stControl."bSynchro/Asynchro" THEN
    #stLeft_drive.stControl.nTargetPos := (#stLeft_drive.stStatus.nActual_position + #stLeft_drive.stControl.nTargetStep);
    #stLeft_drive.stControl.bPosiStart := TRUE;
    #stLeft_drive.stControl.bFWD_button := FALSE;
END_IF;

IF #fPELeftBWD.Q AND NOT #stSynchro.stControl."bSynchro/Asynchro" THEN
    #stLeft_drive.stControl.nTargetPos := (#stLeft_drive.stStatus.nActual_position - #stLeft_drive.stControl.nTargetStep);
    #stLeft_drive.stControl.bPosiStart := TRUE;
    #stLeft_drive.stControl.bBWD_button := FALSE;
END_IF;
```

Obrázek 5.12 Zdrojový kód pro výpočet cílové pozice krokování

Je zde také logika pro signalizaci pohybů, zda se provádí pohyb vpřed či vzad, a zobrazování chybových hlášek na v alarmovém deníku na vizualizaci.

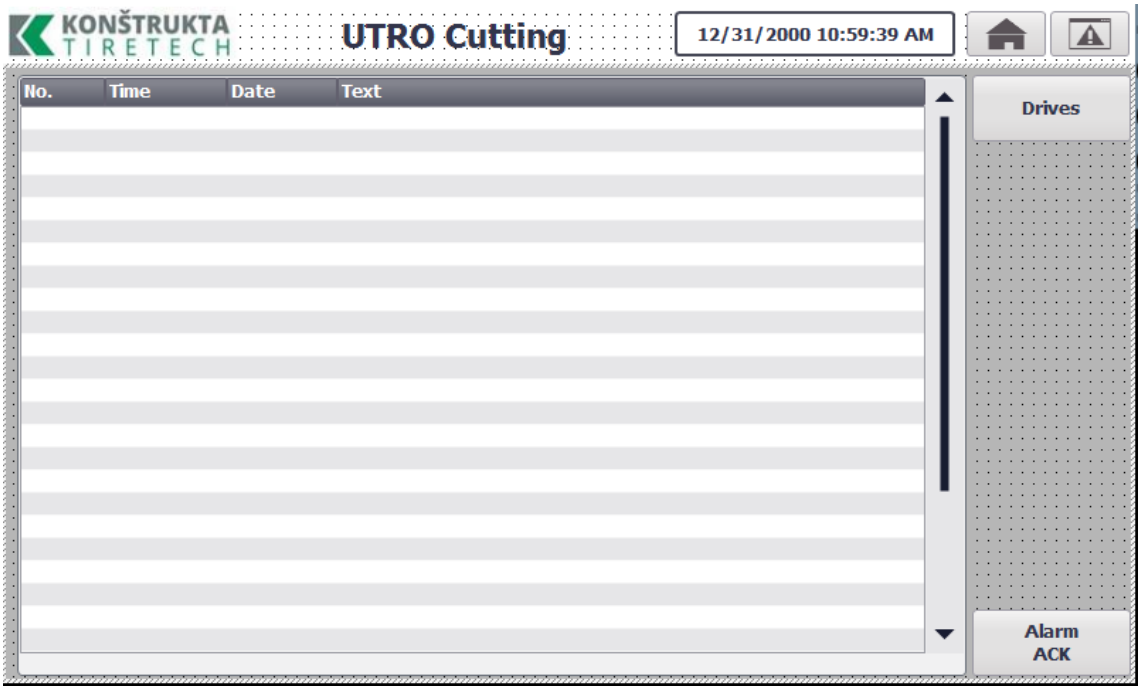
5.1.4 Vizualizace

Vizualizace se skládá ze dvou obrazovek – hlavní obrazovka, kde je ovládání obou motorů (Obr 5.13), a obrazovky s alarmovým deníkem (Obr 5.14). Hlavní obrazovka je rozdělena na dvě části – jedna pro synchronní (pravá strana) ovládání a druhá pro asynchronní (levá strana), ovládací tlačítka jsou aktivní pouze při



Obrázek 5.13 Hlavní obrazovka pro ovládání

zvoleném režimu (Control enable na daný tag). Režim ovládání se přepíná v horní části obrazovky tlačítkem Synchro/Asynchro, vedle něhož napravo je hned indikace spuštěného režimu. Nalevo od přepínače režimu je tlačítko na zapínání a vypínání Infeedu (pokud není zapnut, tak v alarmovém deníku jsou zobrazeny chybové hlášky a je nutné potvrzení chyby). K ovládání poté slouží vždy dvojice tlačítek (vpřed/vzad) pro „jogování“ a krokování, velikost kroku se zapisuje do IO pole „Step by:“, aktuální pozice je zobrazena v poli „Actual position“. Jsou zde předpřipraveny i pole pro vyčítání hodnoty ze snímačů Heidenhain, ale v této verzi nejsou ještě použity. U pravého motoru je navíc tlačítko referencování („Referencing“) a jeho indikace je hned nalevo od tlačítka. Tlačítko „Position reset“ slouží pro obsluhu pro nulování pozice (vytvoření offsetu). Cílová rychlost se zadává do IO pole nad částí pro synchronní ovládání. Dále jsou tu 2 tlačítka v pravým horním rohu. První tlačítko slouží k návratu na domovskou stránku (obrazovka pro ovládání) a druhé k zobrazení alarmového deníku.



Obrázek 5.14 Obrazovka s alarmovým deníkem

Na stránce s alarmovým deníkem jsou tlačítka pro návrat na obrazovku s ovládáním a pro potvrzení chyb.

5.1.5 Shrnutí

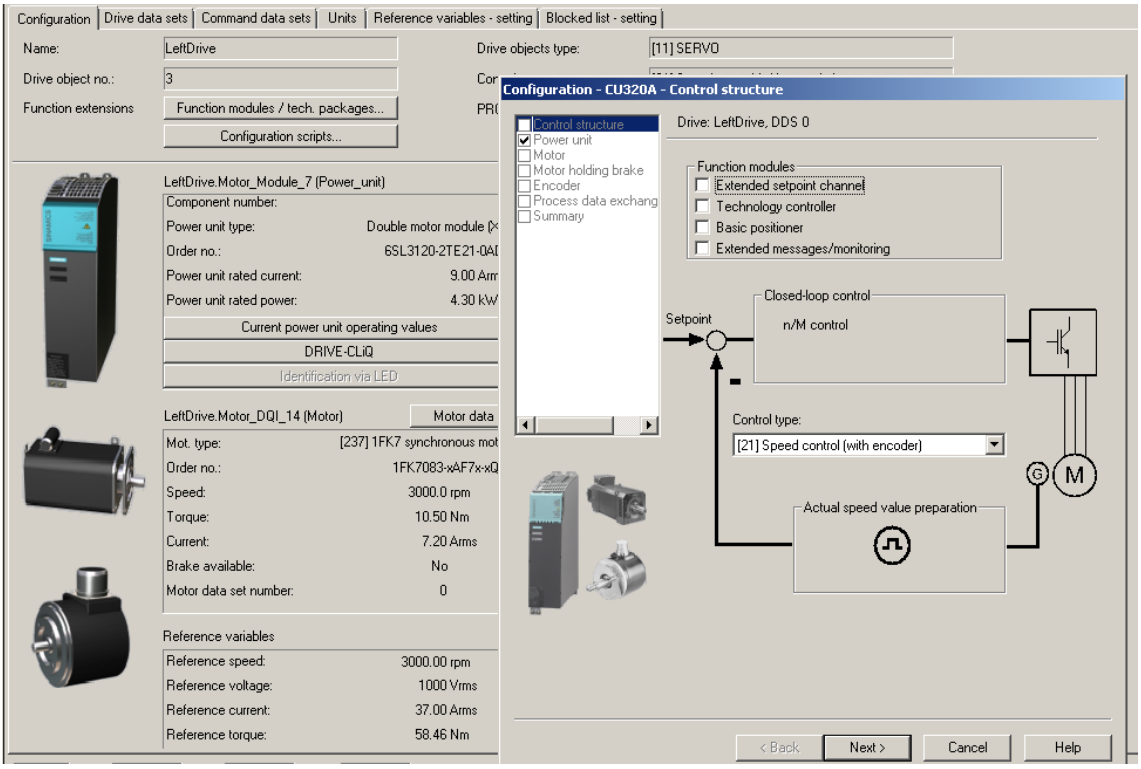
Po zkoušení funkcionality programu, kdy se testovalo pomocí speciálních měřících přístrojů s přesností na 0,001mm, jsme dospěli k názoru, že zvolený typ polohování pomocí snímačů z motorů není vhodný pro úlohu a bude se muset předělat. Hlavní důvod byl v rozdílnosti motorů, každý měl jiný vnitřní snímač, a i když měli převodovku se stejným převodovým poměrem, tak se rám na obou stranách rozcházel o přibližně 10% při synchronním pohybu – mohlo by vést ke „zkřížení“ rámu a tak k mechanickému zaseknutí.

5.2 Druhé řešení

Myšlenka druhé řešení je využít snímačů Heidenhain a řídit polohování podle nich. Hardwarová konfigurace zůstává stejná, až na konfiguraci řídící jednotky a měničů – nebudeme využívat funkce „Basic positioner“, ale využijeme oba motory jako rychlostní, kdy jim budeme posílat pouze rychlost, zastavovat se budou samy podle polohy od externího snímače -> vede ke změně i telegramů. Snímače jsou připojeny přes SMC40, dva vedou do dvou volných portů na Infeedu, a jeden na volný port na řídící jednotce. Vzhledem, že Startdrive nepodporuje speciální SMC40, musí se konfigurace udělat přes externí software STARTER.

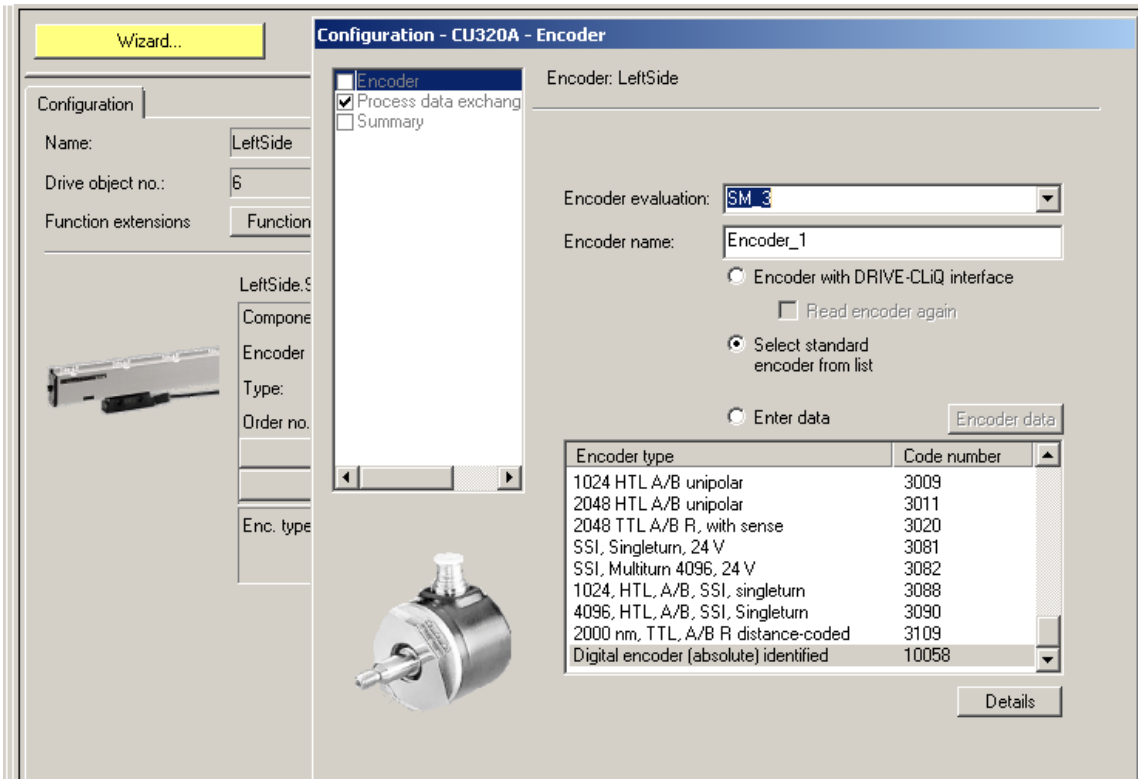
5.2.1 Hardwarová konfigurace v programu STARTER

Velkou výhodou programu STARTER je funkce automatické detekce topologie sítě -> stačí zapojit vše na své porty a software automaticky pozná, co v kterém portu je zapojené a základní topologii vytvoří, jediné, co poté zbývá, je dokonfigurovat motory a komunikaci s PLC. Ke konfiguraci motorů slouží tzv. „Configuration Wizzard“, ve kterém během několika kroků celý motor nastavíme (údaje ze štítku, telegramy, informace o měniči aj.). Okno pro nastavení je znázorněno na Obr 5.15.

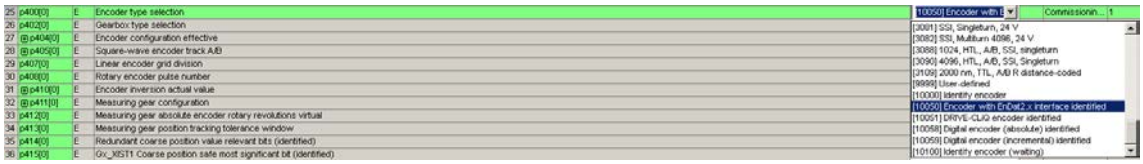


Obrázek 5.15 Konfigurace motoru přes software STARTER

Jelikož se bude jednat pouze o rychlostní řízení, zvolil jsem Telegram 1 o délce 2 wordů pro příjem a 6 wordů pro zápis (rozšířený o 4 worrdy – pro lepší diagnostiku přidáno posílání chyby, alarmu, aktuálního proudu a momentu síly). Nastavení SMC40 je obtížnější, zde se musí použít „Wizzard“ na nastavení telegramu 81 (délka 2 wordy na příjem, 6 na zápis – slouží pouze k cyklickému vyčítání hodnoty ze senzoru). Nastavení je zobrazeno na Obr 5.16. Důležité je nastavení, že se jedná o digitální absolutní enkodér.



Obrázek 5.17 Nastavení senzoru



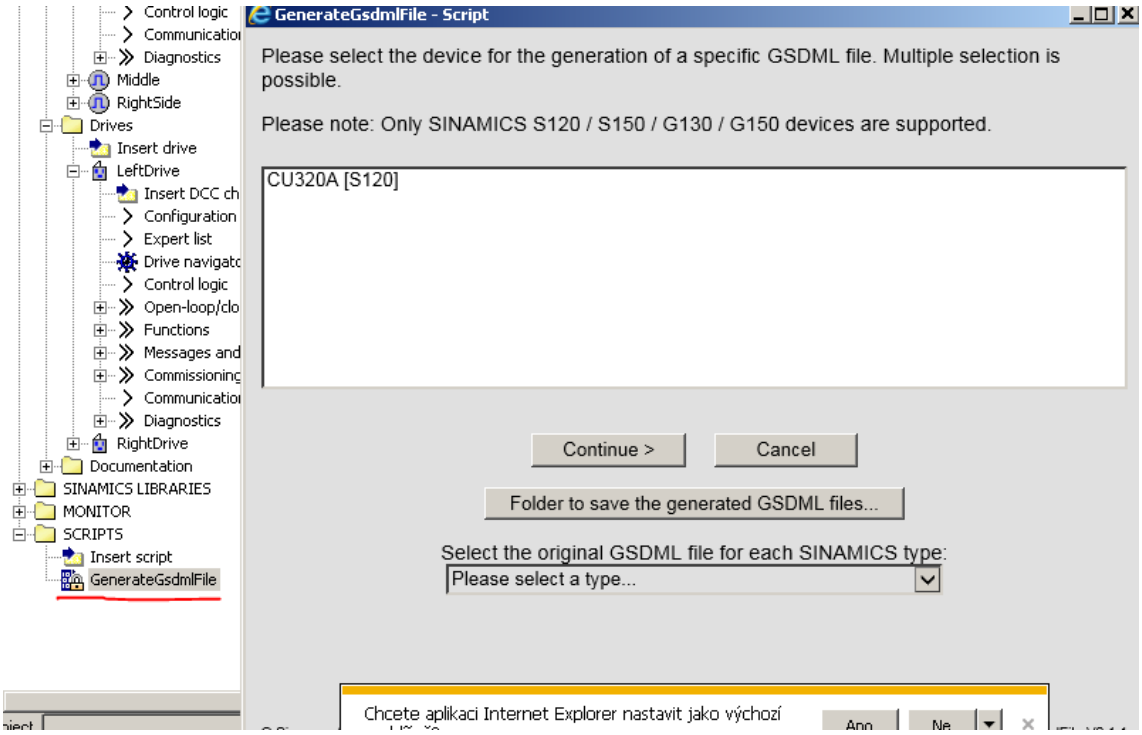
Obrázek 5.16 Upřesnění enkodéru

Dalším krokem je otevřít tzv. „Expert list“, ve kterém jsou veškeré parametry. Zde je zapotřebí upřesnit typ enkodéru, a to na enkodér s rozhraním EnDat 2.X (viz. Obr 5.17).

Po nastavení všech motorů a snímačů nahrajeme konfiguraci do řídící jednotky a vyexportujeme konfiguraci do GSDML souboru.

5.2.2 GSDML soubor pro CU

Export nastavení CU do GSDML souboru probíhá pomocí skriptu, který je volně ke stažení na stránkách Siemens. Po správném nastavení a vložení skriptu do projektu klikneme pravým tlačítkem na skript a zvolíme řádek „Accept and execute“. Skript funguje na principu webové aplikace, tudíž se spustí okno webového prohlížeče (Internet Explorer), kde se nastaví cesta pro složku, kam se bude GSDML soubor exportovat, poté je zapotřebí originální GSDML soubor pro námi používanou CU

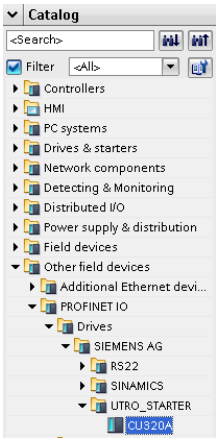


Obrázek 5.18 Skript pro vytvoření GSDML souboru

(ze stránky Siemens), a kliknutím na tlačítko „Continue >“ se skript spustí a vytvoří soubor pro náš projekt. Poté v TIA Portal v otevřeném projektu zvolíme záložku na hlavní liště „Options > Manage general station description files“, vybereme cestu, kde je náš soubor uložený, zaškrkneme chechbox a nainstalujeme ho do projektu.

5.2.3 Úprava hardwarové konfigurace v TIA Portal

Konfigurace pro PLC, periférii zůstává stejná, pouze řídící jednotku musíme nahradit námi nakonfigurovanou. Najdeme ji v katalogu v záložce „Other field devices -> PROFINET IO -> Drives -> SIEMENS AG -> XXX -> CU320A“ (XXX je název zadaný při exportu, zde UTRO_STARTER viz. Obr 5.19).



Obrázek 5.19 CU v katalogu

5.2.4 Úprava programu

Vzhledem ke změně telegramu u frekvenčních měničů jsem musel upravit bloky pro jejich obsluhu, program pro Infeed zůstal stejný a přidal jsem funkční blok pro obsluhu snímačů.

5.2.4.1 SensorTelegram

Funkční blok slouží jako cyklická komunikace s převodníky od snímačů. Na vstupu je HW identifikátor komponentu a výstupem je hodnota, kterou je nutné ještě normalizovat (Obr 5.20) na rozlišení snímače. Pro správné fungování je důležitá kalibrace snímače, kdy nejmenší hodnotu od snímače přiřadit k 0 a nejvyšší číslo od snímače přiřadit k 30 mm a vytvořit tak lineární závislost. Offset se nastavuje z vizualizace.

```
#oValue := (((#iYmax - #iYmin) / (#iXmax - #iXmin)) * (DINT_TO_REAL(#iValue) - #iXmin)) / 1000 + #iOffset;
```

Obrázek 5.20 Normalizace polohy

5.2.4.2 SpeedDrive_control

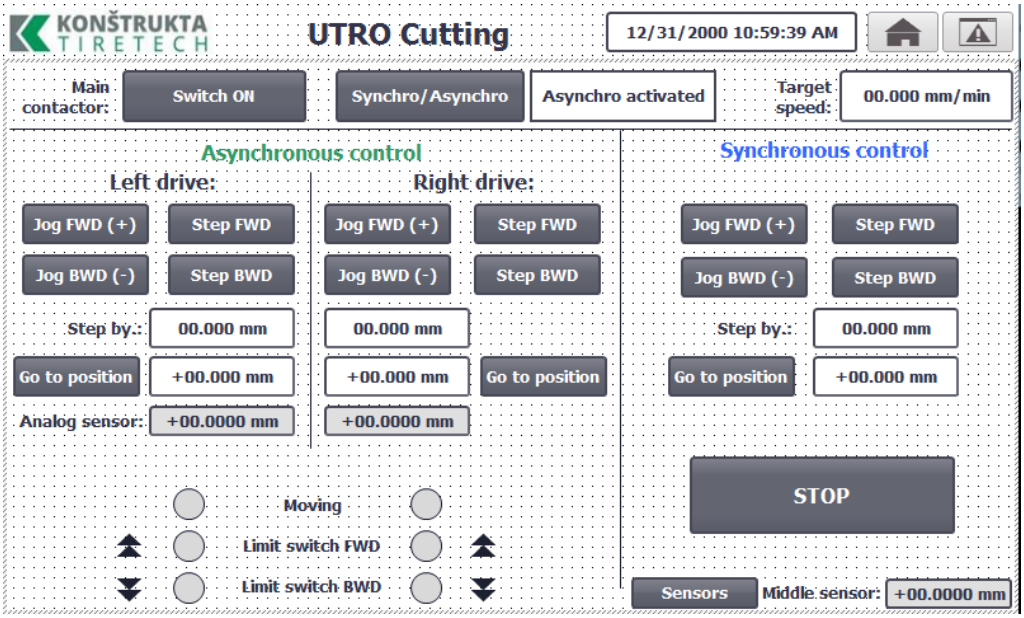
Upravený funkční blok FB_Drive_Control, program upravený, aby se posílala do měniče pouze rychlost.

5.2.4.3 FB_Main_Control

Řízení zůstává stejné jako v prvním řešení, jsou dva režimy (synchronní a asynchronní), avšak způsob vyhodnocení cílové pozice je jiný. Motor je řízen definovanou rychlostí, která se zmenšuje v závislosti na rozdílu cílové a aktuální pozice. Cílová pozice se počítá pomocí senzoru a kroku nebo povelem „Najeď na pozici“. Díky zpomalování má program přesnější napolohování a nemůže se stát, že v důsledku setrvačnosti motoru se cílová pozice překročí.

5.2.5 Vizualizace

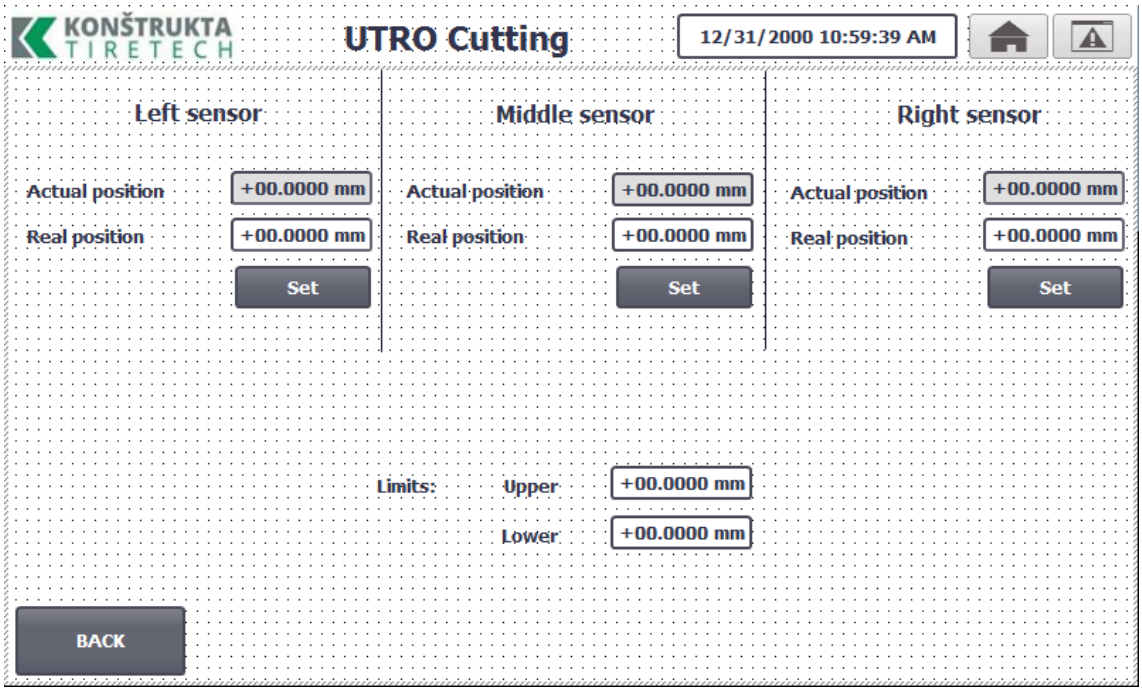
Do hlavní obrazovky (Obr 5.21) jsem přidal povely pro polohování na zadanou pozici, jak pro synchronní, tak i pro asynchronní režim. Pro předejití případným mechanickým poškozením při polohování vizualizace obsahuje i tlačítko STOP,



Obrázek 5.21 Finální obrazovka vizualizace

které ihned ukončí pohyb motorů. V části pro synchronní řízení dole vedle okénka pro vypisování polohy pro prostřední senzor je tlačítko „Sensors“.

Obrazovka „Sensors“ (Obr 5.22) slouží k nastavování senzorů a jejich limit.



Obrázek 5.22 Obrazovka pro nastavení senzorů

Limity jsou zde z důvodu, aby obsluha nezadala špatnou pozici. Po zadání polohy mimo limity se objeví v alarmovém deníku hláška o polohování mimo rozsah a je nutné potvrzení chyby, neboť je veškerý pohyb blokován. Indikace limitu je na hlavní obrazovce pro obě strany rámu. Také se na obrazovce nastavuje offset pro snímače – obsluha tak může napolohovat rám na pozici a nastavit tak základní polohu jako 0. Nastavit se však dá jakékoli číslo, které se pak bere v potaz v limitách.

5.2.6 Shrnutí

Při testování funkcionality jsme došli k závěru, že daný algoritmus řízení je vhodný pro velmi přesné polohování rámu. Při měření nebyla chyba větší než ±0,005mm, což vzhledem k chybě snímače je velmi dobrý výsledek. Po několika měřeních a zkoušeních polohování je chyba stejná, čehož můžeme vyvodit, že je závislá na kalibraci snímače.

6. ZÁVĚR

Diplomová práce se skládala ze dvou částí – teoretická a praktická. V první části jsem se seznámil s linkou na zpracování kaučuku a s její problematikou, kterou jsem popsal v kapitole 2. Dalším úkolem teoretické části bylo seznámení se softwarem, se kterým jsem při postupování návrhu řešení na zvýšení efektivity a eliminace vybraného problému linky pracoval, a s hardwarem, který byl při realizaci zapojení použit. Software a hardware je popsán v kapitole 3.

Praktická část se dále rozdělovala do dvou etap. První etapa byla návrh elektrického zapojení rozvaděče v softwaru EPLAN, která je popsána v kapitole 4, a druhá etapa byl návrh programového řešení v programovacím prostředí od společnosti Siemens TIA Portal. Řešení se skládalo ze dvou variant, přičemž pouze jedna varianta vyhovovala danému požadavkům firmy na polohování. Obě řešení jsou popsána v kapitole 5.

První varianta kódu nevyhovovala z důvodu rozdílnosti motorů. Jeden ze dvou motorů je vybaven vnitřním inkrementálním snímačem bez referenční značky, a to vedlo ke sčítání chyby polohy při opakovaném používání. Druhý tento problém neměl, referenční značku obsahoval, a tak se mohl kdykoliv povelem dostat do výchozí polohy, a to chybu značně snižovalo. Při testování funkčnosti při této variantě byla chyba asi 10% ze zadané polohy.

Druhá varianta byla řešena polohováním podle hodnoty velmi přesných snímačů od společnosti Heidenhain, kdy se motory při dosažení definované polohy snímače zastavili. Při testování chyba oproti prvnímu řešení byla daleko menší a vyhovovala požadavkům na polohování. Hlavní závislost velikosti chyby byla na správné kalibraci snímačů.

U prostředního snímače sloužícímu ke kontrole, zda se rám pohybuje ve všech místech stejně, se poloha od ostatních snímačů lišila až o 0,5 mm při větší změně polohy (±5 mm), což bylo způsobeno prohnutím rámu. V budoucnu by se tento problém dal softwarově řešit tím, že by se při polohování definovaná hodnota přesáhla o procentuální část, a poté by se zpětně napolohovalo na cílovou pozici. Tím by se rám při zpětném pohybu srovnal a chyba na prostřední části by se značně snížila.

Literatura

[1] *EPLAN – efficient engineering* [online]. Dostupné z: https://www.eplan.cz/cz/start/

[2] *ELMER – software pro elektrotechniky, projektanty a revizní techniky* [online]. Dostupné z: https://www.elmer.cz/

[3] Firemní dokumentace

[4] *Manual Thread Cutting* [online]. Dostupné z: http://www.nzdl.org/gsdlmod?e=d-00000-00---off-0gtz--00-0----0-10-0---0---0direct-10---4-------0-1l--11-en-50---20-about---00-0-1-00-0--4----0-0-11-10-0utfZz-8-00&cl=CL2.3&d=HASH01810ed5f215cd7f058531e8.2&x=1

[5] *Home - Heidenhain* [online]. Dostupné z: https://www.heidenhain.cz/

[6] *Siemens Industry Catalog* [online]. Dostupné z: https://mall.industry.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Products/1000000

Seznam příloh

Příloha 1 - DVD 54

Příloha 1 - DVD

Hlavní dokument
Záloha projektu TIA Portal V15
Záloha projektu STARTER
PDF s HW zapojením
Fotky