



Bakalářská práce

Návrh a realizace řídicího systému pro pohon jehelní tyče

Studijní program:

B0714A270001 Mechatronika

Autor práce:

Štěpán Dvořák

Vedoucí práce:

Ing. Martin Diblík, Ph.D.

Ústav mechatroniky a technické informatiky

Liberec 2022



Zadání bakalářské práce

Návrh a realizace řídicího systému pro pohon jehelní tyče

Jméno a příjmení:

Štěpán Dvořák

Osobní číslo:

M20000103

Studijní program:

B0714A270001 Mechatronika

Zadávací katedra:

Ústav mechatroniky a technické informatiky

Akademický rok:

2022/2023

Zásady pro vypracování:

1. Seznamte se s mechanickým uspořádáním funkčního modelu pohonu jehelní tyče s lineárním elektromotorem.
2. Prostudujte dokumentaci všech elektrotechnických prvků, jejich použití je na realizaci stroje předpokládáno.
3. Na základě požadavků zadavatele navrhnete elektrotechnické zapojení rozvodnice stroje a toto zapojení realizujete s využitím dostupného hardware.
4. K zapojení vypracujete elektrotechnickou dokumentaci s využitím SW Eplan.
5. Navrhnete a naprogramujete základní verzi řídicího systému tak, aby bylo možno funkční model využívat pro další výzkum v oblasti mechaniky pohybu jehelní tyče šicích strojů.

Rozsah grafických prací: dle potřeby dokumentace
Rozsah pracovní zprávy: 30-40 stran
Forma zpracování práce: tištěná/elektronická
Jazyk práce: Čeština

Seznam odborné literatury:

- [1] JOHN, Karl-Heinz a Michael TIEGELKAMP. IEC 61131-3: programming industrial automation systems: concepts and programming languages, requirements for programming systems, decision-making aids. Second edition. Berlin : New York: Springer, 2010. ISBN 978-3-642-12014-5
- [2] MARTINÁSKOVÁ, Marie, Ladislav ŠMEJKAL, ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE a STROJNÍ FAKULTA. Řízení programovatelnými automaty. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2004. ISBN 978-80-01-02925-1.
- [3] MARTINÁSKOVÁ, Marie a Ladislav ŠMEJKAL. Řízení programovatelnými automaty II. Praha: ČVUT, Strojní fakulta, 2000. ISBN 978-80-01-02096-8.
- [4] KOMÁREK, Jiří. *Mechanismus jehelních tyčí šicího stroje* (Disertační práce). Liberec: TUL, 2018.
- [5] BARBORÁK, Oto. *Oděvnictví II, Šijacie stroje v odevnej výrobe*. Trenčín: Trenčianská univerzita A. Dubčeka v Trenčíně, 2002, ISBN 80-88914-77-9.

Vedoucí práce: Ing. Martin Diblík, Ph.D.
Ústav mechatroniky a technické informatiky

Datum zadání práce: 12. října 2022
Předpokládaný termín odevzdání: 15. května 2023

prof. Ing. Zdeněk Plíva, Ph.D.
děkan

L.S.

doc. Ing. Josef Černohorský, Ph.D.
vedoucí ústavu

V Liberci dne 12. října 2022

Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně jako původní dílo s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Jsem si vědom toho, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu Technické univerzity v Liberci.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti Technickou univerzitu v Liberci; v tomto případě má Technická univerzita v Liberci právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Současně čestně prohlašuji, že text elektronické podoby práce vložený do IS/STAG se shoduje s textem tištěné podoby práce.

Beru na vědomí, že má bakalářská práce bude zveřejněna Technickou univerzitou v Liberci v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů.

Jsem si vědom následků, které podle zákona o vysokých školách mohou vyplývat z porušení tohoto prohlášení.

Návrh a realizace řídicího systému pro pohon jehelní tyče

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem elektrického zapojení řídicího systému s lineárním elektromotorem a jeho základním řídicím programem. Výsledný model se bude dále využívat pro další výzkum mechaniky pohybu jehelní tyče v šicím stroji.

Klíčová slova: PLC, Jehelní tyč, Řídicí mechanismus, SDC, Lineární motor

Design of control system for needle bar drive

Abstract

This bachelor thesis deals with the design of electrical wiring of a control system with a linear electric motor and its basic control program. The resulting model will be used for further research into the mechanics of needle bar movement in a sewing machine.

Keywords: PLC, Needle bar, Control mechanism, SDC, Linear motor

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce panu Ing. Martinu Diblíkovi, Ph.D. za odborné vedení, připomínky a cenné rady, které mi poskytl při vytváření této práce.

Dále bych chtěl poděkovat panu Ing. Jiřímu Komárkovi, Ph.D. za ujasnění podrobností ohledně řešeného modelu.

V neposlední řadě bych rád poděkoval své rodině a své přítelkyni za podporu a trpělivost při vypracovávání práce.

Obsah

Seznam zkratek	9
1 Úvod	13
2 Šicí stroje	14
2.1 Hlavní části šicího stroje	14
2.2 Účel mechanismu pohybu jehly	14
2.3 Mechanismy pohybového ústrojí šicího stroje	14
2.3.1 Mechanismy hlavního pohybu jehly	15
2.3.2 Mechanismy doplňkových pohybů	17
2.4 Řešený model pohonu jehelní tyče	17
3 Lineární elektrické pohony	18
3.1 Konstrukce a princip lineárních pohonů	18
3.2 Rozdělení lineárních pohonů	19
3.3 Odměřování polohy	20
3.4 Řízení lineárních pohonů	22
3.5 Lineární pohon použitý v řešeném modelu	22
4 Řešení zapojení	24
4.1 Schéma zapojení rozvaděče	24
4.2 Realizace rozvodné skříně	25
5 Seznámení se s ovládáním a základní nastavení pohonu	27
5.1 Konfigurace frekvenčního měniče	27
5.2 Základní pohybové příkazy v prostředí LinMot Talk	31
5.3 Propojení frekvenčního měniče a PLC	31
5.4 Základní pohybové příkazy pomocí PLC	32
6 Realizace pohybu jehelní tyče	33
6.1 Master/Slave ovládání pomocí SDC interface	33
6.2 Realizace virtuální vačky a její propojení s LM	34
6.3 Ladění regulace lineárního pohonu	36
Závěr	43
Použitá literatura	45

A Přílohy	46
A.1 Zdrojové kódy	46
A.2 Elektronická dokumentace zařízení	46

Seznam zkratek

FM	Frekvenční měnič
PLC	Programovatelný logický automat
LM	Lineární motor
LSM	Lineární synchronní motor
LAM	Lineární asynchronní motor
TLSM	Tubulární lineární synchronní motor
IEC	Mezinárodní elektrotechnická komise
PLC	Programmable Logic Controller
SDC	Smart Device Controller
HMI	Human Machine Interface
IP	Internet Protocol
NC	Numerical Control
FF	FeedForward
spm	stehy za minutu
t_p	čas periody

Seznam obrázků

2.1	Klikový centrický mechanismus [3]	15
2.2	Mechanismus s kývavým hřídelem [3]	15
2.3	Složený kloubový mechanismus [3]	16
2.4	Mechanismus s plovoucí jehlou [3]	16
3.1	Princip lineárního motoru [5]	18
3.2	Schéma tubulárního motoru, modifikováno [9]	20
3.3	Prosvětlovací způsob enkodéru [10]	21
3.4	Reflexní způsob enkodéru [10]	21
3.5	Lineární motor použitý v projektu	22
4.1	Blokový diagram hardwarové části	24
4.2	Vypracovaný rozvaděč	25
4.3	Ovládací tlačítka na přední straně rozvaděče	26
4.4	Pohled na pracoviště	26
5.1	Konfigurace FM - 1. část	27
5.2	Konfigurace FM - 2. část	28
5.3	Konfigurace FM - 3. část	28
5.4	Konfigurace FM - 5. část	28
5.5	Konfigurace FM - 6. část	29
5.6	Konfigurace FM - 7.1. část	29
5.7	Konfigurace FM - 7.2. část	29
5.8	Konfigurace FM - 8. část	30
5.9	Konfigurace FM - 9. část	30
5.10	Křivka vytvořená v programu LinMot	31
6.1	Diagram přenosu dat při využití SDC interface	34
6.2	Vizualizace pro ovládání lineární osy	35
6.3	Vizualizace pro ovládání virtuální osy	35

Seznam tabulek

3.1	Parametry LM	23
3.2	Parametry LM pro výpočet zrychlení	23

Seznam grafů

6.1	Základní nastavení PID regulátoru	37
6.2	Nastavený PID regulátor pro zdvih 10 mm	38
6.3	Nastavený PID regulátor pro zdvih 25 mm	38
6.4	Zdvihová závislost vačky v prostředí Automation Studio	39
6.5	Průběh zdvihové závislosti vytvořené v programu Matlab	40
6.6	Zdvihová závislost bez přípravku při rychlosti otáčení virtuální vačky 0.5 mm/s	41
6.7	Zdvihová závislost bez přípravku při rychlosti otáčení virtuální vačky 1.7 mm/s	41
6.8	Zdvihová závislost s přípravkem při rychlosti otáčení virtuální vačky 1.7 mm/s	42

1 Úvod

První část bakalářské práce se věnuje problematice pohonu jehelní tyče. Je zde představen základní mechanismus pro tento pohon a také výsledný model, kterým se tato bakalářská práce zabývá. Jako podklad k vypracování bakalářské práce je použita disertační práce pana Ing. Jiřího Komárka.

Ve druhé části je popsána konstrukce a princip lineárních motorů, způsoby odměřování poloh, možnosti řízení a také představený pohon využitý v řešeném modelu.

Třetí část práce je věnována řešení elektrotechnického zapojení v programu EPLAN a instalaci jednotlivých komponent do rozvodnice.

Ve čtvrté části bakalářské práce je popsáno seznámení se s řídicím systémem použitého pohonu, jeho základními pohybovými příkazy a nastavením rozsahu pohybu pro model pohonu.

V poslední páté části se práce zabývá problematikou simulace vačkového mechanismu na lineárním pohonu. Jsou zde otestovány různé metody řízení motoru, následně i měření, porovnání jednotlivých charakteristik a vyhodnocení výsledných parametrů.

2 Šicí stroje

Šicí stroje napomáhají člověku k rychlejšímu a efektivnějšímu procesu šití, tedy spojování dvou materiálů šicí nití. Lze je rozdělit na stroje s automatizačními prvky, které jsou schopny pracovat bez zásahu člověka a bez automatizačních prvků. Dále na ty co potřebují zásah člověka ke správnému fungování a dokončení vykonávané práce [1].

2.1 Hlavní části šicího stroje

V současné době se pro šití využívá mnoho různých strojů s odlišnými částmi, způsoby šití a mechanismem pohybu. Základ strojů ale zůstává stejný. Mezi základní části šicího stroje patří ústrojí pohybu jehly, kterým se tato práce zabývá, zbylé části šicích strojů jsou popsány v práci [2].

2.2 Účel mechanismu pohybu jehly

Pro vytvoření švu je zapotřebí, aby šicí nit prošla materiálem a vytvořila smyčku, která je pak zachycena hrotem stehotvorného ústrojí.

Účelem mechanismu je zajistit spolupráci mezi pohybem jehly, přítlačným mechanismem a podávacím mechanismem tak, aby bylo zajištěno správné protahování smyček materiálem žádaným způsobem. Tyto pohyby jsou vzájemně sladěny pomocí vnitřních převodů s různými poháněcími mechanismy [2].

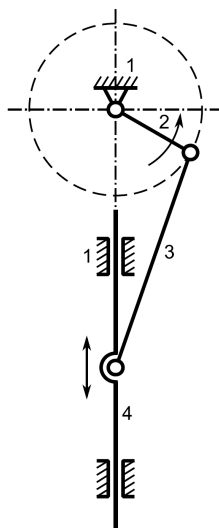
2.3 Mechanismy pohybového ústrojí šicího stroje

Pohybové ústrojí má za úkol pohybovat šicí jehlou tak, aby jehla prováděla přímočarý vratný pohyb po přímkové, nebo obloukové dráze. Tento pohyb nazýváme hlavní. Dále jsou zde pak pohyby doplňkové, které mohou svojí činností vychýlit pohyb jehly a tím určit místo vpichu jehly, to následně umožní různé styly výsledného švu [3].

2.3.1 Mechanismy hlavního pohybu jehly

Klikový centrický mechanismus

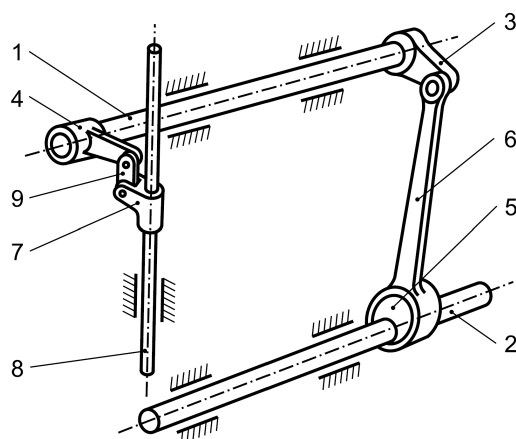
Jedná se o nejvíce používaný mechanismus pro převod rotačního pohybu na pohyb přímočarý vratný. Výhodou tohoto mechanismu je jeho prostorová nenáročnost [2, 3, 4].



Obrázek 2.1: Klikový centrický mechanismus [3]

Mechanismus s kývavým hřídelem

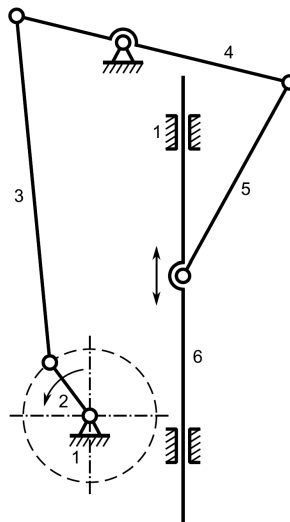
Pomocí tohoto mechanismu dokážou šicí stroje dosahovat rychlostí až 8000 stehů za minutu, mechanismus je ukázán níže na obrázku 2.2. Kývavý hřídel je uložen v rameni (1), kterému je předáván pohyb přes páku (3) a ojnici (6), ojnice je poháněna výstředníkem (5) na hřídeli šicího stroje (2). Dále se pak pomocí částí (4,7) a (9) předává přímočarý vratný pohyb jehelní tyči (8) [2, 4].



Obrázek 2.2: Mechanismus s kývavým hřídelem [3]

Složený kloubový mechanismus

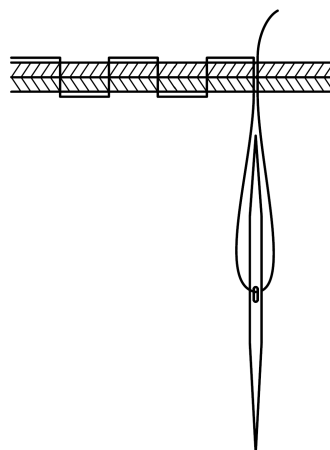
Na obrázku 2.3 je znázorněný příklad složeného kloubového mechanismu se čtyřmi rameny, pohyb jehelní tyče se zde odvozuje od nerovnoměrného pohybu vahadla (4) přes ojnici (5). Vahadlo je poháněno členem (1) a společně se členy (4,5,6) tvoří excentrický klikový mechanismus [3].



Obrázek 2.3: Složený kloubový mechanismus [3]

Mechanismus s plovoucí jehlou

Tento mechanismus se používá ve strojích napodobujících ruční dekorativní steh. Plovoucí jehlu znázorňuje obr. 2.4, jehla má na obou svých stranách hrot a předává si jí dvojice jehelních tyčí, které jsou naproti sobě. Celá jehla tedy prochází šitým materiálem při každém stehu. Tato metoda potřebuje předem stanovenou délku nitě, jako je tomu u ručního šití, jelikož se při každém propíchnutí materiálu protáhne celá nit na druhou stranu, pomocí tzv. chapače.



Obrázek 2.4: Mechanismus s plovoucí jehlou [3]

2.3.2 Mechanismy doplňkových pohybů

Mechanismus s výkyvem příčně na směr šití

Tento mechanismus se využívá k dosažení tzv. klikatých stehů. Jehla pro tento steh musí vykonávat jak pohyb hlavní, tak musí vykonávat pohyb do stran kolmě na rovinu podávání. Tento pohyb musí jehla vykonávat v úvrati, kdy je nad materiálem, aby nedocházelo k jejímu ohybu. Výkyvný pohyb jehly je realizován nejčastěji pomocí čtyřkloubových nebo vačkových mechanismů [3].

Mechanismus s výkyvem ve směru šití

Jehla se u tohoto mechanismu vykývne ve směru šití a tím umožní kvalitní podávání vrstev šitého materiálu. Pohyb mechanismu je obdobný jako u mechanismu s příčným výkyvem. Tento mechanismus nazýváme se spodním a jehelním podáváním [3, 2].

2.4 Řešený model pohonu jehelní tyče

Řešený model pohonu jehelní tyče je vypracovaný panem Ing. Jiřím Komárkem. V původní disertaci [3] byl řešen pohon pomocí rotačních servopohonů, kde byl rotační pohyb převáděn na lineární pomocí ozubeného řemenu.

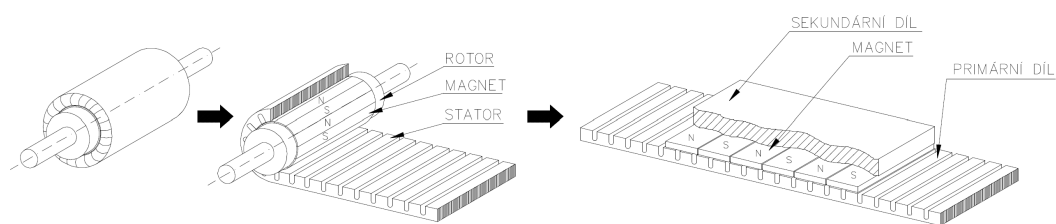
Jako pohon zde byl vybrán lineární servo motor řízený frekvenčním měničem. Celé řízení je pak realizováno PLC automatem od firmy B&R Automation. Řešený model využívá technologii šití s plovoucí jehlou, která napodobuje ruční šití a využívá se k tvorbě dekorativních stehů.

3 Lineární elektrické pohony

Lineární motor (LM) je zařízení, které vykonává lineární pohyb bez nutnosti využívat převodu mezi rotačním a lineárním pohybem, jako je to u rotačních elektrických motorů. Tato vlastnost dává LM značnou výhodu oproti rotačním s převodovkou, jelikož zde nevznikají problémy s převodovým ustrojím [5].

3.1 Konstrukce a princip lineárních pohonů

LM fungují analogicky jako synchronní, či asynchronní rotační motory. Lze si je představit jako zmíněné motory rozvinuté do roviny viz obr. 3.1. LM se dají rozdělit na motory s plochou konstrukcí a motory s tubulární konstrukcí.



Obrázek 3.1: Princip lineárního motoru [5]

Vznik posuvné síly LM je stejný jako u rotačních motorů, kdy na sebe působí magnetické pole primárního a sekundárního dílu. Konstrukce určuje jaký díl bude vykonávat přímočarý pohyb.

U plochých LM vykonává pohyb primární díl (rotor), ten je tvořený svazkem feromagnetických plechů s trojfázovým vinutím v jeho drážkách. Sekundární díl (stator) tvoří základnu pro pohyb primárního dílu. Je tvořen permanentními magnety, které jsou nalepeny na ocelové desce. U této konstrukce je zapotřebí napájet rotor motoru.

U tubulárních LM vykonává pohyb sekundární část, která je tvořena ocelovou objímkou s permanentními magnety. Primární část je tvořena opět z vinutí ale ve válcovitém tvaru. Výhodou této konstrukce je eliminace pulsací tažné síly [5, 6].

3.2 Rozdělení lineárních pohonů

Lineární synchronní motor

LSM jsou motory, u kterých je lineární pohyb synchronizovaný s magnetickým polem buzeným cívkami. To způsobuje, že rychlost magnetického pole a rychlost pohyblivé mechanické části motoru jsou stejné. Pohybová síla se pro tyto dva typy motorů vytváří různě [7]:

- Pro LSM se střídavým vinutím kotvy je tvořena tzv. putujícím magnetickým polem, které je tvořené vícefázovým vinutím a polem střídajících se magnetických pólů nebo feromagnetickou kolejnicí s proměnnou reluktancí.
- Pro LSM s lineárním krokovým vinutím je pohyb tvořen magnetickým polem, tvořeným spínaným stejnosměrným proudem ve vinutí motoru, a polem střídajících se pólů nebo kolejnicí, jako tomu bylo v předešlém typu.

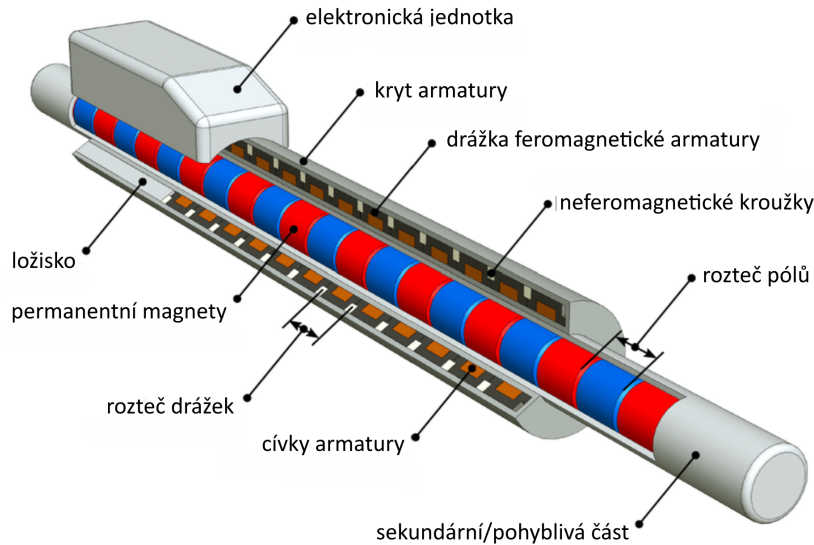
Primární díl u LSM vytváří posuvné magnetické pole. Je složen nejčastěji z třífázového vinutí se železným jádrem nebo bez železného jádra.

Sekundární díl vytváří stejnosměrný magnetický tok, může se označovat i jako budící systém. Je tvořen z elektromagnetického buzení nebo se používají permanentní magnety [8].

Lineární tubulární motor

TLSM pracují na stejném principu jako LSM s tím rozdílem, že je obtočen kolem osy rovnoběžné se směrem pohybu magnetického pole. Tedy rovnoběžně s posuvnou silou viz obr. 3.2.

Vinutí primární části je nejčastěji realizováno nemagnetickými ocelovými plechy s vinutím v jejich drážkách. Sekundární díl pak realizován jako kovová tyč, která má v sobě zapouzdřené permanentní magnety. Tyč je uložena v kluzných ložiskách uvnitř primární části. Mezi výhody těchto motorů patří vysoká účinnost a velká posuvná síla [8, 5].



Obrázek 3.2: Schéma tubulárního motoru, modifikováno [9]

Lineární asynchronní motor

LAM pracují na principu asynchronního stroje. Rotor je opožděn vůči rychlosti posuvného magnetického pole, vzniká zde tzv. skluz. Oproti LSM mají jednodušší konstrukci a levnější sekundární díl.

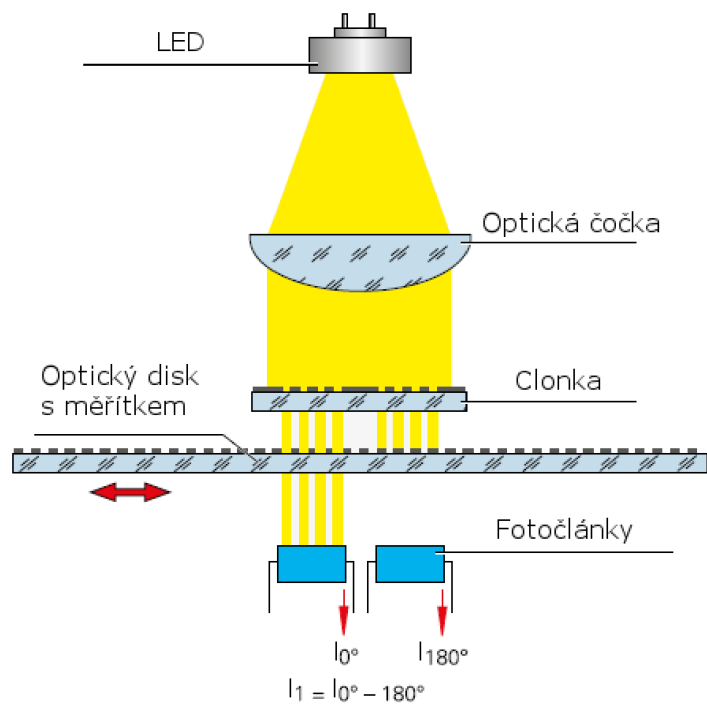
Tyto pohony nevyžadují ke své činnosti frekvenční měnič, a lze je přímo připojit k trojfázové síti. Dobrá účinnost motoru je zajištěna vzduchovou mezerou mezi primární a sekundární částí okolo 1mm. Mají menší účinnost jak LSM.

3.3 Odměřování polohy

Metody na vytvoření zpětné smyčky, tedy sledování polohy LM se dá docílit mnoha způsoby. Odměřovací systémy jsou zpravidla inkrementální enkodéry a pracují na magnetickém nebo fotoelektrickém principu. Ve většině odměřovacích systémů je měřící hlava na pohyblivé části motoru, a dále je na základně zavedena stupnice nebo jiné formy armatur pro čtení polohy.

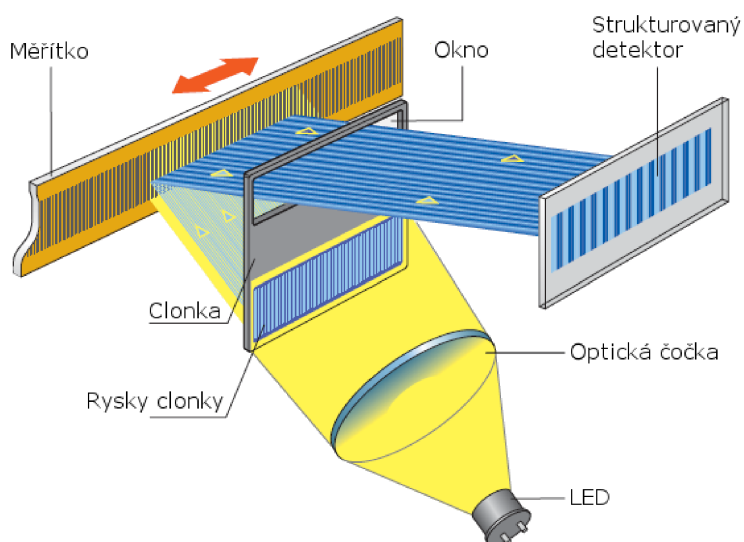
Fotoelektrický nebo také optický enkodér se využívá u strojů, na které je kladen požadavek přesného polohování. Pracují buďto na základě reflexní metody (odražený paprsek) nebo se využívá transmisní metoda (prosvětlovací).

Prosvětlovací způsob má výhodu v jednoduchosti optického řešení oproti reflexní metodě. Jeho nevýhodou, ale představuje optický disk, který se může v prašném prostředí zanést nebo poškodit, tím znemožnit přesnost a správnou funkčnost enkodéru. Na obr. 3.3 je znázorněn princip funkčnosti, kdy paprsky z LED prochází čočkou a clonkou, dále pak skrze optický disk s drážkami v měřítku na fotočlánky, které pak generují dva signály (A,B) pro vyhodnocení polohy. U některých senzorů se může objevit tzv. referenční signál určující koncovou polohu [10].



Obrázek 3.3: Prosvětlovací způsob enkodéru [10]

Reflexní metoda pracuje na podobném principu jako prosvětlovací. Metody se liší provedením snímání. Pohyblivá část je zde měřítko z nerezové oceli, na kterém jsou odrazivé a neodrazivé risky v měřítku. Odolnější konstrukce měřítko není tak náchylná na poškození. Světlo neprochází skrze měřítko, ale odráží se na sensor snímače. Na obr. 3.4 je znázorněn princip senzoru. Detektor má podobu skenovacího pole, které obsahuje opakující se fotodetektory. Výstupem senzoru jsou 2 sinusové signály pootočené vůči sobě o 90° [10].



Obrázek 3.4: Reflexní způsob enkodéru [10]

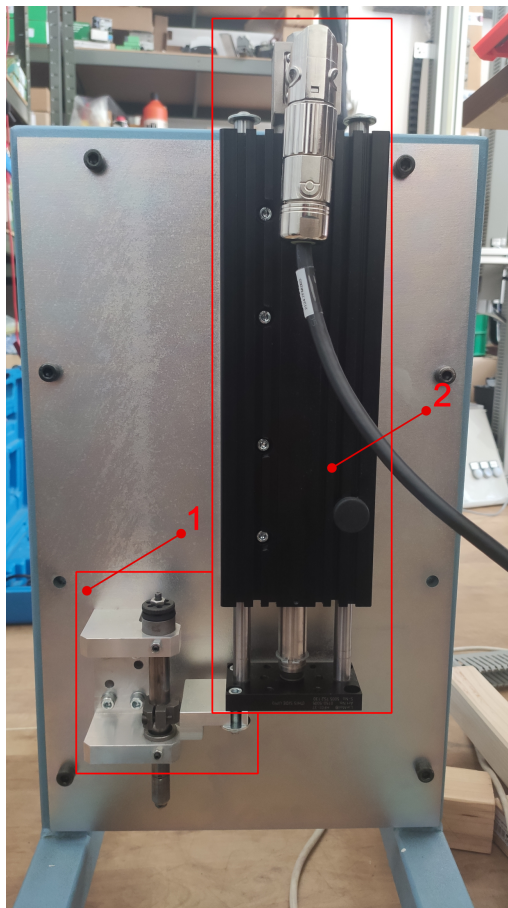
3.4 Řízení lineárních pohonů

Ve většině případů použití řízení LM se používají číslicové regulátory. Samotné regulování má základní tři zpětné vazby - proudovou, rychlostní a polohovou. Pro případné požadavky na lepší mechanickou stabilitu pohonu se pak přidává regulace rychlosti a filtry pásmové propusti.

Regulátor se skládá z interpolátoru a procesoru s vysokou operační rychlostí. Komunikace mezi regulátorem a pohonem nebývá jednosměrná. V obousměrné komunikaci vysílá regulátor „pokyny“ pro pohyb LM, který mu následně posílá data o poloze a protékajícím proudu. Ze zpětné vazby motoru dokáže řídicí systém snímat i napětí, teplotu, signalizovat přetížení LM nebo např. ztrátu stability regulace [5, 8].

3.5 Lineární pohon použitý v řešeném modelu

LM využívaný v řešeném modelu je v provedení tubulárního synchronního motoru viz kap. 3.2. Na obr. 3.5 je vidět lineární motor (2) a přípravek jehelní tyče (1).



Obrázek 3.5: Lineární motor použitý v projektu

Popis proměnné	hodnota	jednotka
Váha rotoru motoru	860	g
Váha vodících tyčí rotoru	2020	g
Váha jehelního mechanismu	390	g
Maximální trvalá síla bez chlazení	52	N
Maximální trvalá síla s chlazením	96	N
Maximální trvalá síla špičkově	306	N
Maximální pohybová rychlost motoru	3,8	m/s

Tabulka 3.1: Parametry LM

Dle 2. Newtonova zákona a parametrů z [11] viz tabulka 3.2 byl sestaven vzorec pro výpočet teoretického zrychlení tyče směrem dolů a_1 a zrychlení tyče směrem nahoru a_2 .

$$a_{1,2} = (F \pm F_g)/m \text{ [m/s]} \quad (3.1)$$

Tíhová síla F_g se vypočítá pomocí vzorce

$$F_g = m \cdot g \text{ [N]} \quad (3.2)$$

m je součet všech hmotností pohybujících se částí LM

$$m = m_1 + m_2 + m_3 = 860 + 2020 + 390 = 3270g = 3,27 \text{ kg} \quad (3.3)$$

po dosazení do vzorců z tabulky 3.2 vznikne následující výpočet

$$F_g = m \cdot g = 3,27 \cdot 9,81 = 32,1 \text{ N} \quad (3.4)$$

$$a_1 = (52 + 32,7)/3,27 = 25,7 \text{ m/s} \quad (3.5)$$

$$a_2 = (52 - 32,7)/3,27 = 6,1 \text{ m/s} \quad (3.6)$$

Z výpočtu teoretického zrychlení lze říci, že zrychlení motoru by mělo být více než dostačující. U předešlých prací zabývajících se pohybem jehelní tyče se zrychlení pohybuje kolem 3 m/s [3, 12].

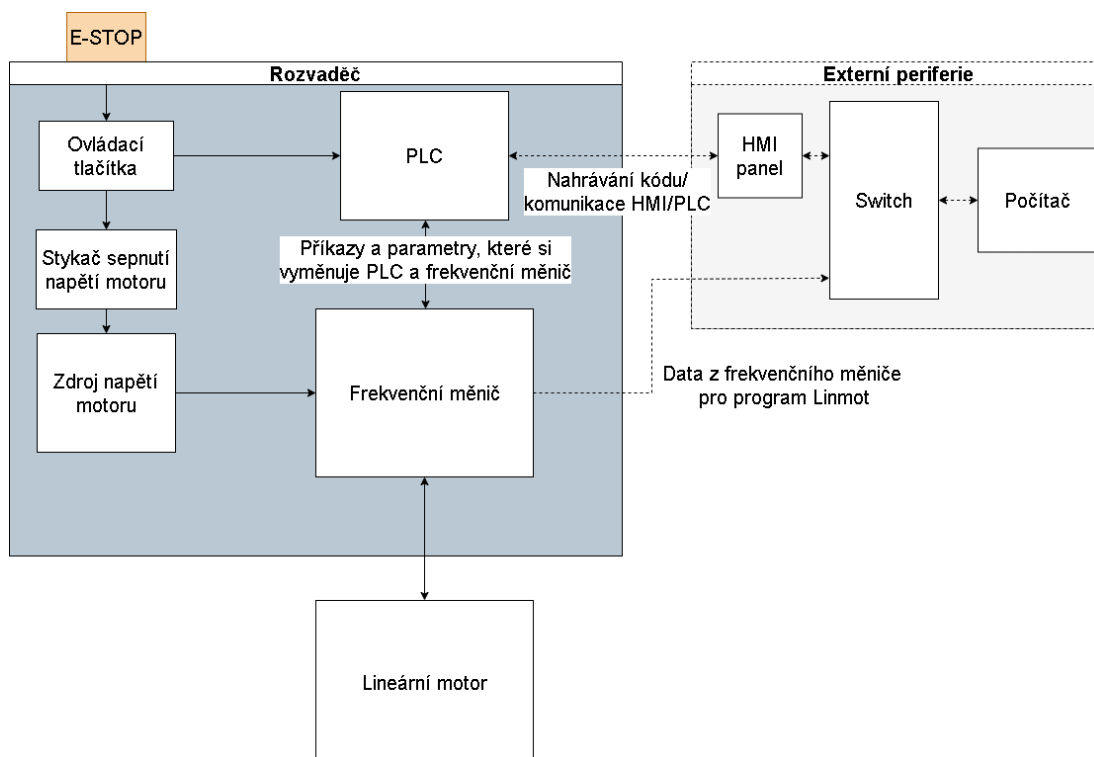
Popis proměnné	zkratka	hodnota	jednotka
Váha rotoru motoru	m_1	860	g
Váha vodících tyčí rotoru	m_2	2020	g
Váha jehelního mechanismu	m_3	390	g
Maximální trvalá síla	F	52	N
Gravitační konstanta	g	9,81	m/s^2

Tabulka 3.2: Parametry LM pro výpočet zrychlení

4 Řešení zapojení

4.1 Schéma zapojení rozvaděče

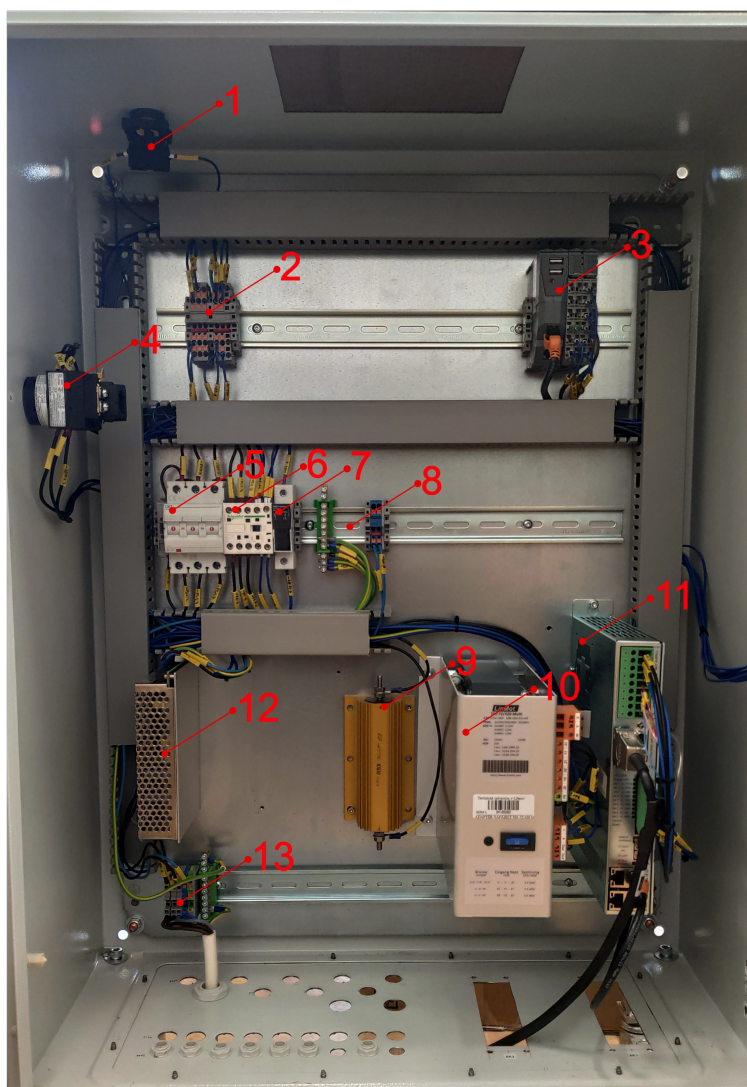
Elektrotechnické schéma bylo vytvořeno v programu Eplan. Hlavní komponenty jako rozvodná skříň, PLC, zdroje napětí a frekvenční měnič s brzdným odporem, již byly objednané před začátkem vypracovávání. Následně bylo nutné určit dle technických specifikací jmenovité hodnoty jističů a zkontrolovat kompatibilitu jednotlivých komponentů. PLC komunikuje s frekvenčním měničem pomocí sběrnice Powerlink. Ovládání zařízení je zajištěno tlačítky a kontrolkami signalizujícími chod a stav provozu zařízení. Zařízení je ošetřeno E-STOP tlačítkem pro odpojení napájení LM a znemožnění tak jeho pohybu. Podrobnější informace o vypracování elektrického schéma rozvodnice obsahuje příloha A.2. Základní hardware logika je znázorněna v blokovém diagramu viz obr. 4.1.



Obrázek 4.1: Blokový diagram hardwarové části

4.2 Realizace rozvodné skříně

Rozvaděčová skříň viz obr. 4.2 je rozvržena na více částí. Na jednotlivých lištách lze najít nejprve PLC automat (3) a svorky pro distribuci 24 V stejnosměrného napětí (2). Dále pak jištění přívodu napájení (5), svorky pro distribuci PE a N potenciálu (8), stykač pro odpojení napájení frekvenčního měniče (6) a pojistku pro napájení LM (7). Následně jsou v rozvaděči rozmístěny dva stejnosměrné zdroje napětí 24 V (12) a 76 V (10), frekvenční měnič (11), brzdový odpor (9) a svorka pro připojení přívodního kabelu (13). Na levé boční straně je umístěn hlavní vypínač (4), na vrchní straně se nachází tlačítko nouzového zastavení E-STOP (1). Na dveřích rozvaděče jsou umístěny ovládací tlačítka a kontrolky stavu zařízení viz obr. 4.3. Pro připojení napájení k frekvenčnímu měniči je potřeba potvrdit stiskem modrého tlačítka. Fotografie pracoviště, na kterém byly provedeny měření a tvorba programu viz obr. 4.4.



Obrázek 4.2: Vypracovaný rozvaděč



Obrázek 4.3: Ovládací tlačítka na přední straně rozvaděče



Obrázek 4.4: Pohled na pracoviště

5 Seznámení se s ovládáním a základní nastavení pohonu

5.1 Konfigurace frekvenčního měniče

Konfiguraci FM lze provést propojením počítače a měniče pomocí jeho konfiguračních ethernetových přípojek X15 a X16, dle [13]. K FM se lze následně připojit přes ethernetové rozhraní viz „kapitola 3.14“ v manuálu [14]. Po připojení lze nastavit konfiguraci pohonu „kapitola 3.15“. Konfigurační soubor pro použitý FM byl využit PS01-37x240F-XX_V3S3_20210610.adp v adresáři instalace programu.

- V první části konfigurace je nutné zvolit využívaný pohon. Konkrétně je nutno nastavit stator PS01-37x240F-C a rotor PL01-20X400/340-LC. Následně určit orientaci rotoru vůči statoru a kladný směr pohybu viz obr. 5.1.

Actuator Data File: PS01-37x240F-XX_V3S3_20210610.adp Change Actuator ...

Stator: PS01-37x240F-C Slider filter:

Slider: PL01-20x400/340-LC (L: 400mm; D: 20mm; ArtNo: 0150-2562)

The slider can be identified by its length and the number of notches on the front end (1 Notch = Standard, 2 Notches = HP, 3 Notches = LC).

Standard -HP -LC

Slider Mounting Direction: Regular

The sliders are not symmetric. The value of ZP (Zero Position) depends on the mounting direction relative to the stator. Therefore the available stroke range changes with the mounting direction.

Force ↑
100% Fb
ES
SS
Stroke →
ZP
Notch(es)

Positive Moving Direction: Reversed

↔ Symbol for positive moving direction

Obrázek 5.1: Konfigurace FM - 1. část

- Ve druhé části byl nastaven brzdňý rezistor viz obr. 5.2.

Regeneration Resistor:
 Type:

Obrázek 5.2: Konfigurace FM - 2. část

- Ve třetí části je nutno nastavit typ přívodního kabelu K05 s délkou 4 metry viz obr. 5.3.

First Extension Cable Segment
 Type:
 Length: m

Obrázek 5.3: Konfigurace FM - 3. část

- Ve čtvrté části mohou být nastaveny přídavné snímače polohy. Tato možnost nebyla nastavena, protože v modelu lineárního pohonu nejsou využity.
- V páté části se konfiguruje orientace a vnější vlivy motoru. Motor má v této práci vertikální polohu a hmotnost jehelní tyče společně s vedením čítá 3270 g. V této části se dají nastavit i ostatní vlivy vnějších sil viz obr. 5.4.

Mechanical Layout
 Moving Part of Motor:
 Orientation Angle (-90°..+90°): °

Moving Mass
 Slider: g
 Additional Load Mass: g

Friction Forces
 Dry Friction: N
 Viscous Friction: N/(m/s)

MagSpring (or other constant force)
 External Constant Force: N
 Force Direction:

Diagram: -90° ↓, 0° ↔, +90° ↑

Obrázek 5.4: Konfigurace FM - 5. část

- V šesté části se nastavují parametry PID regulátoru. Ty program umožňuje upravovat parametrů pro účel ladění regulačních smyček i bez nutnosti opětovné konfigurace pohonu.

PID Position Controller Setting			
P Gain:	<input type="text" value="13.5"/>	A/mm	<input type="button" value="Set Soft"/> (P=2, D=4, I=0)
D Gain:	<input type="text" value="12"/>	A/(m/s)	<input type="button" value="Set To Default"/> (P=2.5, D=6.3, I=0)
I Gain:	<input type="text" value="6"/>	A/(mm*s)	<input type="button" value="Set Stiff"/> (P=5, D=10, I=0)
D Filter Time:	<input type="text" value="600"/>	us	

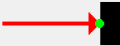
Obrázek 5.5: Konfigurace FM - 6. část

- V sedmé části se nastavuje, jakým způsobem si pohon najde jeho výchozí (referenční) pozici. Nejprve byl nastaven frekvenční měnič tak, aby se sám uvedl motor do referenční pozice viz obr. 5.7. Při následném použití řízení přes příkazy Motion Control pomocí SDC interface je nutno zvolit „nehledat pozici“ viz obr. 5.6. Hledání referenční pozice je řešeno příkazy z PLC. Konfigurační soubor viz A.1 obsahuje konfiguraci v režimu SDC a nastaveným PID regulátorem.

Home Position Search Move	
Speed:	<input type="text" value="0.01"/> m/s
Mode:	<input type="text" value="No Drive Homing"/>

Obrázek 5.6: Konfigurace FM - 7.1. část

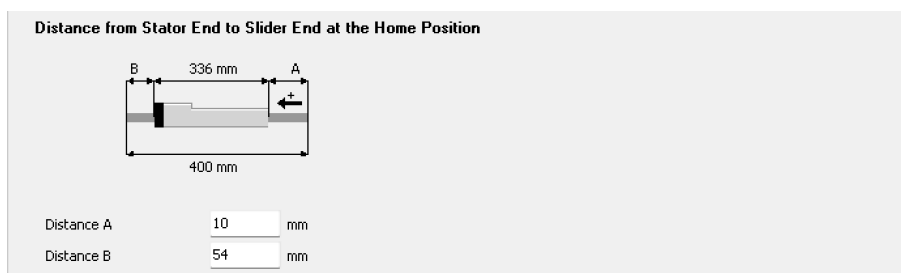
Home Position Search Move	
Speed:	<input type="text" value="0.01"/> m/s
Mode:	<input type="text" value="Mechanical Stop Negative Search"/>



The motor moves in negative direction until a mechanical stop is reached. This position is assumed to be the Home Position.

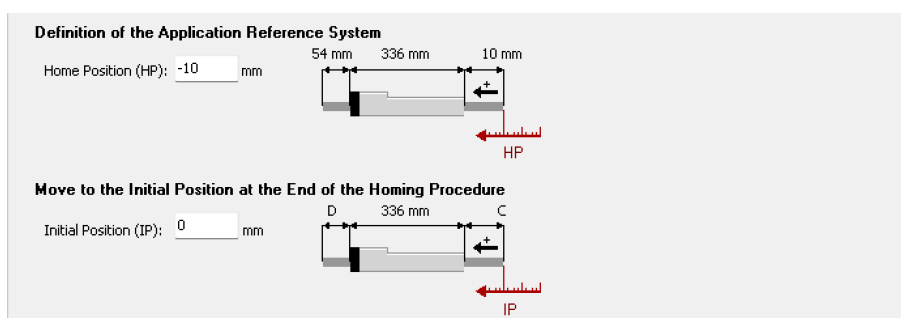
Obrázek 5.7: Konfigurace FM - 7.2. část

- V osmé části se nastavují vzdálenosti, které bude mít rotor vůči statoru ve výchozí pozici. Pro řízení v SDC interface byly vzdálenosti nastaveny dle obr. 5.8. Pro regulaci bez řízení SDC příkazy byly nastaveny obráceně.



Obrázek 5.8: Konfigurace FM - 8. část

- V deváté části se nastavuje parametrem (Definition of the Application Reference System) hodnota polohy motoru v referenční pozici. Parametrem (Move to Initial Position at the End of the Homing Procedure) se nastavuje poloha, na kterou se motor po nalezení referenční pozice přesune viz obr. 5.9. Toto nastavení má vliv pouze pokud je FM nastaven tak, aby si referenční pozici LM našel sám.

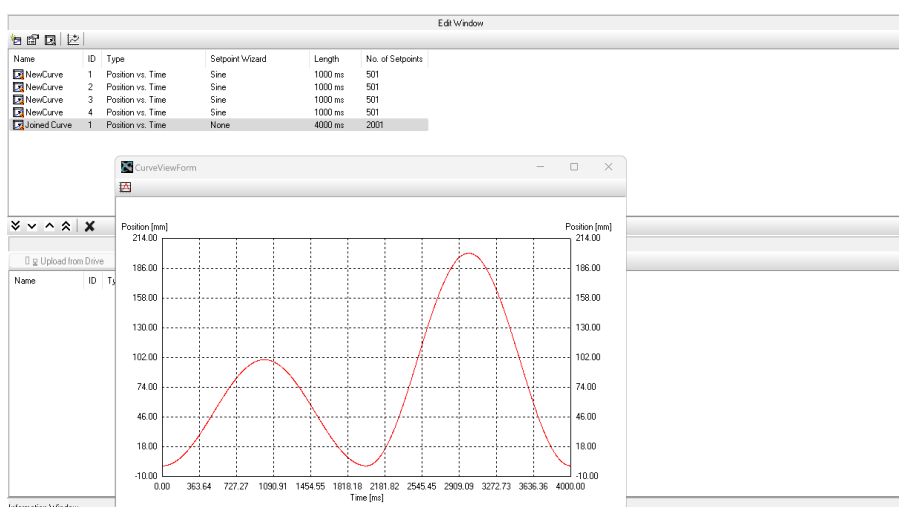


Obrázek 5.9: Konfigurace FM - 9. část

5.2 Základní pohybové příkazy v prostředí LinMot Talk

LM se dá z prostředí LinMot ovládat pomocí příkazů, které se zadávají jeden po druhém ručně. Je zde možnost využít i tzv. *Command Table*, která umožňuje vytvořit „složitější“ sekvence příkazů. V sekvenci se dají dělat logické smyčky, využívat podmíněné příkazy a sekvenční logiku viz [14] „kapitola 2.10“.

Pro pohyb se dají využít příkazy, u kterých se definuje kam má motor dojet, jakou rychlostí a s jakou akcelerací. Pro tvorbu pohybů po křivce slouží například funkce *Curves* viz [14] „kapitola 2.7“ s nastavením *Position/Time*, které dovolí zadat začátek a konec trajektorie s časem, za který má motor vykonat danou dráhu (křivku). Jednotlivé křivky lze spojit do jedné složitější křivky viz obr. 5.10. Složitější možnosti nastavení jsou popsány v manuálu k programu [14].



Obrázek 5.10: Křivka vytvořená v programu LinMot

5.3 Propojení frekvenčního měniče a PLC

PLC a frekvenční měnič (FM) spolu komunikují prostřednictvím sběrnice Powerlink. Pro fungování komunikace mezi zařízeními bylo nutné nastavit IP adresu zařízení tak, aby byly ve stejné síti. Pro PLC byla nastavena na 192.168.1.2 a pro FM 192.168.1.3. Maska podsítě byla nastavena na 255.255.255.0.

Dále bylo zapotřebí u FM nastavit tzv. Node ID, kterým se v síti Powerlink zařízení identifikuje a PLC s ním pak následně dokáže komunikovat. Podle manuálu [15] se u FM nastavuje hexadecimální hodnota, PLC ale vyžaduje hodnotu decimální. Na FM byla nastavena hodnota 02 HEX, v PLC tedy bylo nutno v konfiguraci měniče nastavit NODE ID na 2 DEC.

Dle manuálu [15] přiloženému k FM je nutno v programu Automation Studio nastavit komunikační kanály Powerlink a přiřadit je pak k proměnným z knihovny FM pro správnou komunikaci.

5.4 Základní pohybové příkazy pomocí PLC

LM je možno dle návodu [15] přiloženému k frekvenčnímu měniči ovládat třemi způsoby. Prvním způsobem je Linmot interface, který je dále rozepsán v podkapitole 5.4. Druhý způsob využívá tzv. SDC rozhraní (interface), který převádí frekvenční měnič tak, že tváří jako zařízení od firmy B&R. Komunikace se provádí pomocí standartních motion control příkazů, jeho využití bylo po neúspěchu s konfigurací Linmot interface využito pro jeho jednoduchost po složitější konfiguraci. Třetím způsobem je konfigurace s CiA402 využívající NC Motion příkazy. Tato metoda byla vyřazena kvůli její nekompatibilitě s FM.

Ovládání při základní konfiguraci

FM je nutno pro tuto metodu ovládání nakonfigurovat dle manuálu přiloženému k FM [15] „v kapitole 6“. Tato konfigurace využívá příkazy z knihovny LinMot, které jsou podobné příkazům Motion Control dle normy IEC 61131-3 [16]. LM se při této konfiguraci ovládá pomocí definovaných příkazů stejně jako z prostředí LinMot Talk.

Ovládání při konfiguraci SDC interface

Pro tuto metodu je nutno nakonfigurovat PLC dle manuálu [15] „v kapitole 16“. Následně je nutné nahrát ke knihovně Linmot ještě knihovnu Linmot SDC. Oproti manuálu je potřeba správně nastavit limity motoru a režim referencování pohonu. Při této konfiguraci se FM pro PLC jeví jako FM typu Acopos10 (typové číslo 8V1010.001-2) od značky B&R. Tato konfigurace umožňuje využívání příkazů Motion control a následné provedení simulace pohybu jehelní tyče. Motion Control příkazy jsou definovány normou IEC 61131-3 [16]. Tato norma určuje, jakým způsobem se definují jednotlivé parametry a komunikaci mezi zařízeními.

6 Realizace pohybu jehelní tyče

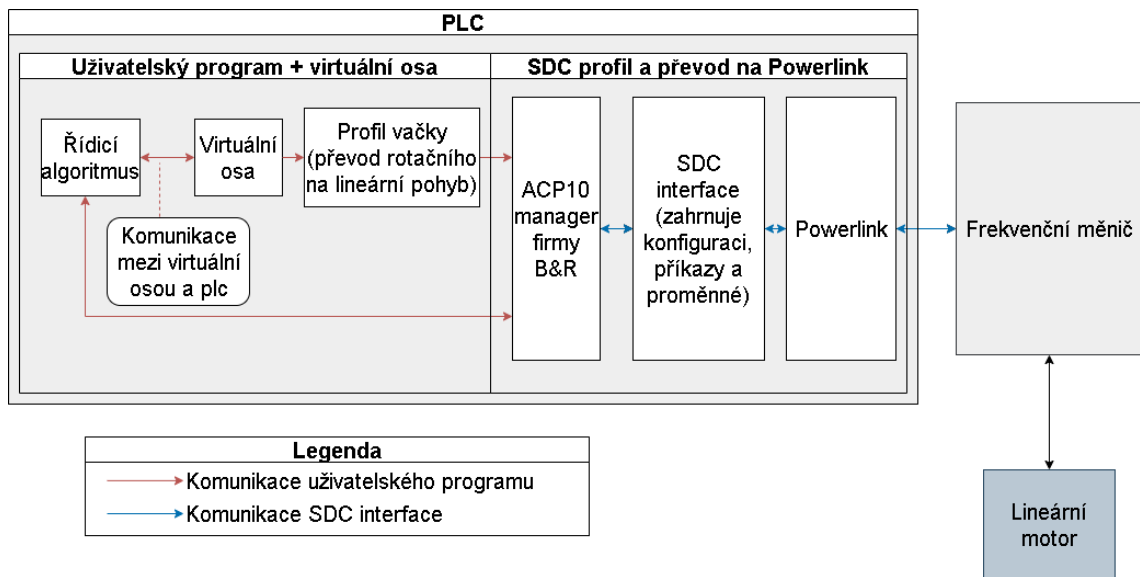
6.1 Master/Slave ovládání pomocí SDC interface

Metoda Master/Slave řízení umožňuje z [17] pomocí jedné master osy řídit jednu nebo více slave os. V případě této práce je master osa virtuální rotační osou a slave osa lineárním motorem. Tuto metodu lze popsat také jako synchronizovaný stav dvou nebo více os.

Osy jsou spolu synchronizovány skrze CAM profil (vačkový profil), který převádí rotační pohyb virtuální osy na přímočarý pohyb lineárního motoru. Při použití Motion Control příkazů se pak tento stav nazývá *Synchronized Motion*.

Převedení rotačního pohybu vačky na lineární pohon LM se dá provést více způsoby. Jedním způsobem je vačku nahrát do reálné osy, a pak odečítat hodnoty této osy. Tato metoda je náročnější na provedení, protože by bylo nutno do rozvaděče přidat další FM a zapojit do něj osu, kterou bychom pak ovládali. Druhým způsobem je vytvoření virtuálního FM a osy vnitřně v PLC. Tento způsob ušetří peníze a zároveň čas, který by vyžadovala první metoda. Dále je možné z osy odečítat její polohu, která je v této aplikaci potřebná bez nutnosti fyzického zapojení. Třetí způsob se dá využít možnosti simulace virtuální osy přímo ve frekvenčním měniči. Tuto metodu ale nelze využít, protože frekvenční měnič použitý v práci neobsahuje zmíněnou funkci.

PLC si pak předává s frekvenčním měničem informace přes několik programových vrstev. Tyto vrstvy lze vidět na obr. 6.1, kdy PLC posílá a přijímá informace a příkazy do vrstvy ACP 10 Manager, která pak pošle data přes SDC interface. Zde se data upraví a pošlou se pomocí Powerlink sběrnice frekvenčnímu měniči. B&R produkty přeskočí SDC interface a komunikují přes ACP10 manager přímo s připojenými frekvenčními měniči. Více informací o SDC interface obsahuje help prostředí v programu Automation Studio [18].



Obrázek 6.1: Diagram přenosu dat při využití SDC interface

6.2 Realizace virtuální vačky a její propojení s LM

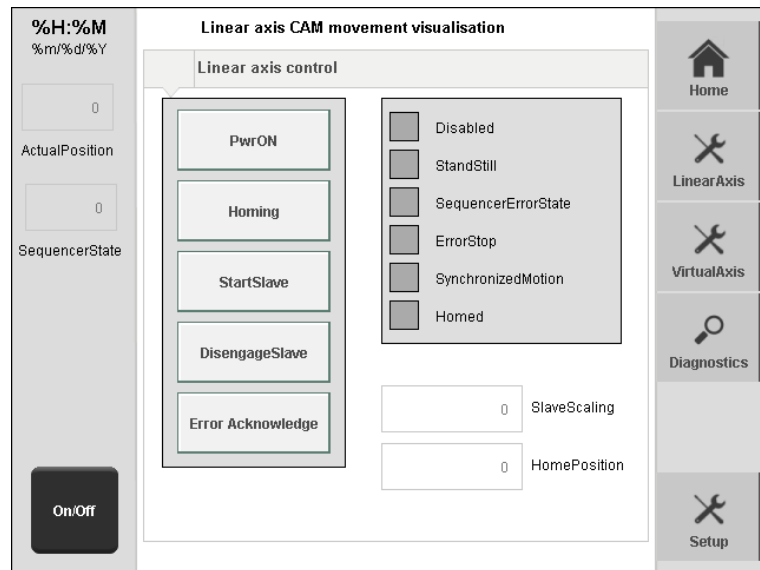
Před zahájením provozu a převodu na LM je nutno nejprve udělat referenci na virtuální ose a také LM. Po provedení reference obou os lze přes CAM Motion Control příkazy vytvořit CAM vazbu pohyb virtuální osy s LM.

Tvorba vizualizace a obslužného programu

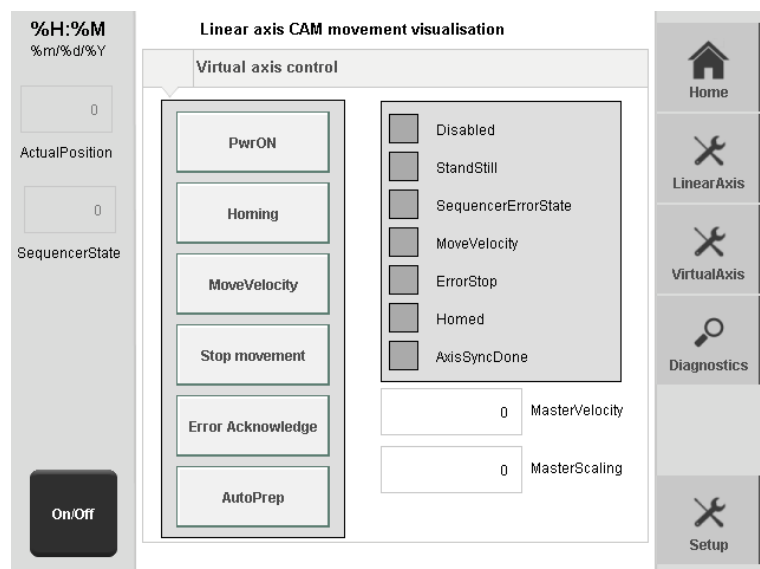
Ke zjednodušení obsluhy a nastavování parametrů lineárního motoru byla vytvořena vizualizace na HMI panelu viz obr. 6.2 a obr. 6.3. Pomocí HMI panelu lze ovládat LM společně s virtuální osou bez nutnosti využití přímého připojení k PLC a programovacího prostředí. HMI panel byl nakonfigurován na IP adresu 192.168.1.4.

Z důvodu zdlouhavosti manuálního referencování a propojení os do stavu *Synchronized Motion* pomocí tlačítek na HMI panelu byl vytvořen obslužný stavový automat viz A.1. Ten tyto kroky po zmáčknutí tlačítka *AutoPrep* na panelu provádí automaticky. Jeho výstupem je připravené zařízení k uvedení do pohybu v režimu CAM master/slave viz kap. 6.1.

Tlačítka na dveřích rozvaděčové skříně viz obr. 4.3 jsou registrovány samostatným programem. Pohyb virtuální osy lze ovládat pomocí zeleného (START) a červeného (STOP) tlačítka. Chybný stav programu indikuje blikající bílá kontrolka. Svítící bílá kontrolka značí aktivní pohyb jedné z os. Svítící modré tlačítko znázorňuje nezapojený okruh pro napájení LM.



Obrázek 6.2: Vizualizace pro ovládání lineární osy



Obrázek 6.3: Vizualizace pro ovládání virtuální osy

6.3 Ladění regulace lineárního pohonu

Dle [3] je žádoucí naladit dynamiku motoru tak, aby vykonával 500 úvratí rozsahu zdvihu za minutu neboli 500 stehů za minutu (*spm*).

Pokud je známa hodnota *spm*, tak dopočítání požadované periody pohybu (t_p) bylo provedeno následujícího vztahu:

$$t_p = spm/60 \text{ [s]} \quad (6.1)$$

$$t_p = 500/60 = 8.\overline{33} \text{ s} \quad (6.2)$$

$$t_p = 1000/8.\overline{33} = 120 \text{ ms} \quad (6.3)$$

Perioda jednoho cyklu motoru musí být 120 ms, aby bylo dosaženo rychlosti 500 *spm*.

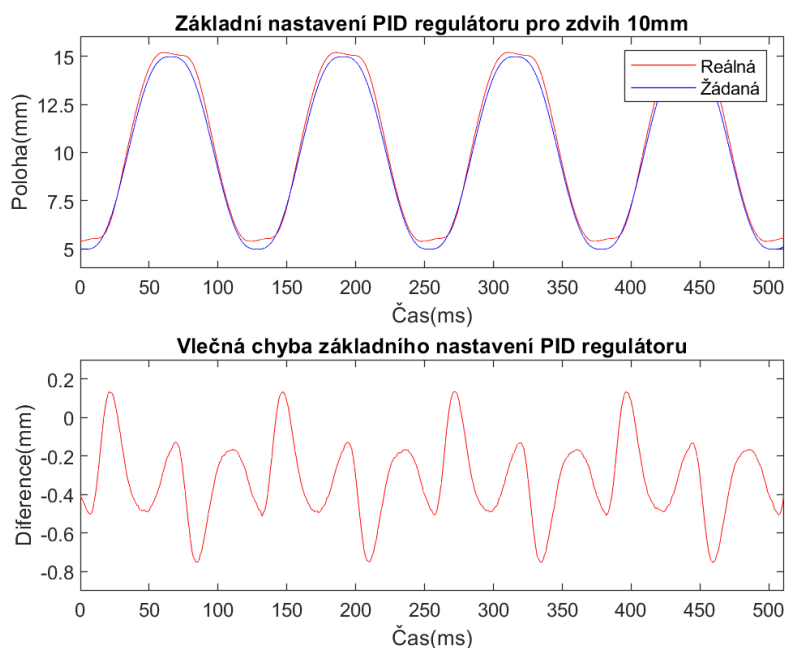
Ladění regulačních smyček lineárního pohonu bylo nejprve provedeno bez přípravku jehelní tyče, z důvodu jejího možného poškození při ladění rychlostí a dynamiky pohonu. Dále bylo toto nastavení otestováno s přípravkem a upraveno s cílem co nejpřesnějšího sledování žádané polohy a co největší rychlost pohybu LM.

Samotné ladění přípravku bylo ověřováno a měřeno prostřednictvím vizualizace na HMI panelu a programu LinMot Talk. Tento program umožňuje nastavovat parametry PID regulátoru bez nutnosti přehrávání konfigurace a také má funkci osciloskopu, kterým lze zaznamenávat průběhy jednotlivých veličin, se kterými FM pracuje.

Při ladění bylo vycházeno ze základních znalostí PID regulátoru [19]. Kdy P (proporcionální) složka zkracuje dobu náběhu a zmenšuje regulační odchylku. Při příliš vysoké hodnotě hrozí, že se systém stane nestabilním. I (integrační) složka také napomáhá k eliminaci regulační odchylky, s větší hodnotou může systém oscilovat. D (derivační) složka zmenšuje překmit, přidává do regulace šum, který může napomáhat k nestabilitě systému.

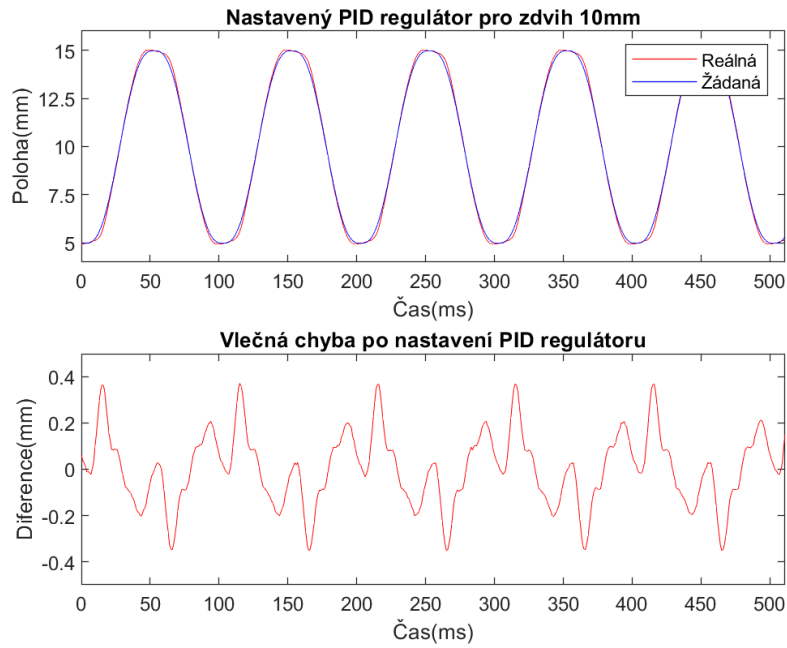
Ladění bez přípravku se sinusovým průběhem vačky

Ladění bylo nejdříve prováděno se základním profilem průběhu vačky viz obr. 6.1. Dle základního nastavení byl experimentálním způsobem ověřován vliv jednotlivých složek PID regulátoru na výsledek odchylky požadované a aktuální polohy pohonu. Z obr. 6.1 lze vidět, že při vyšších rychlostech pohon nedokáže sledovat požadovanou dráhu, a při změnách pohybu z kladného směru do záporného nestačí regulátor zareagovat dost rychle a navést motor dle požadované hodnoty polohy.



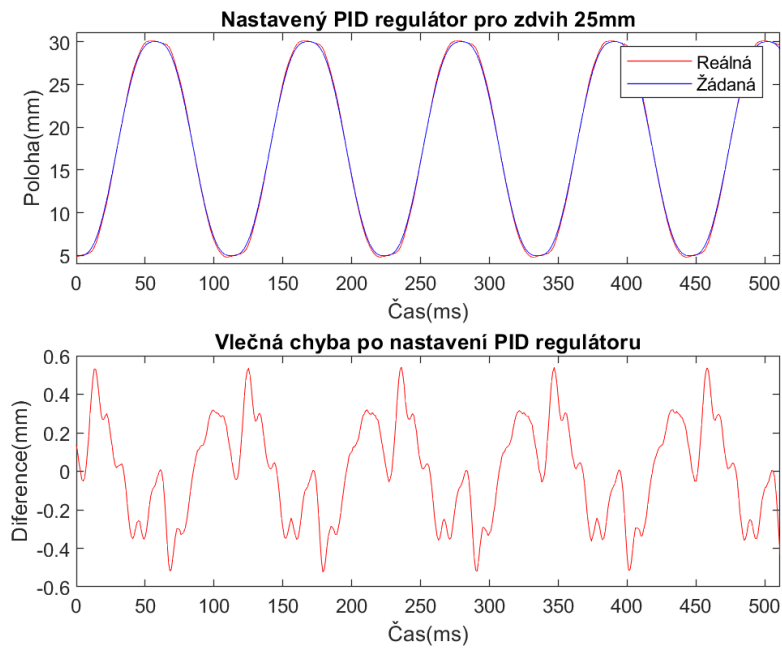
Graf 6.1: Základní nastavení PID regulátoru

Po naladění regulátoru na nižší odchylky mezi požadovanou a aktuální polohou bylo možné zvýšit rychlost pohybu, a dále upravovat regulátor k dosažení minimální odchylky od požadované polohy. Výsledek prvotního nastavení při zdvihu pohonu 10 mm je vidět na obr. 6.2. Při tomto nastavení PID regulátoru bylo možné nastavit rychlost pohybu motoru dobu jedné periody 90 ms tzn. 667 zdvihů za minutu viz 6.1.



Graf 6.2: Nastavený PID regulátor pro zdvih 10 mm

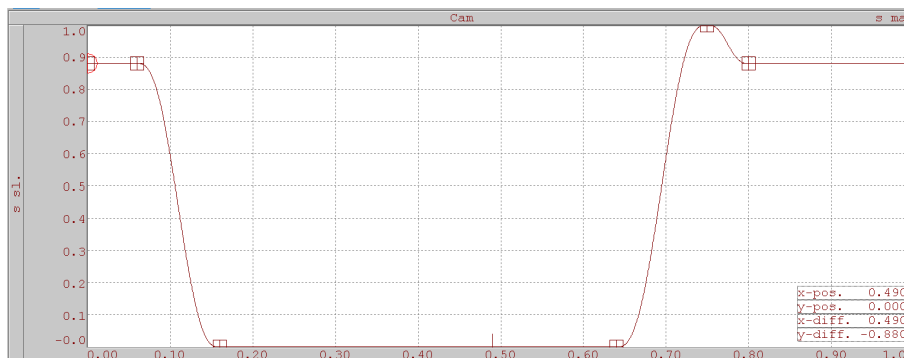
Dále pak bylo prováděno ladění pro zdvih 25 mm viz obr. 6.3. Po doladění regulátoru bylo dosaženo doby jedné periody 110 ms, což vyhovovalo požadovaným 500 zdvihům za minutu viz 6.3.



Graf 6.3: Nastavený PID regulátor pro zdvih 25 mm

Ladění reálným průběhem vačky

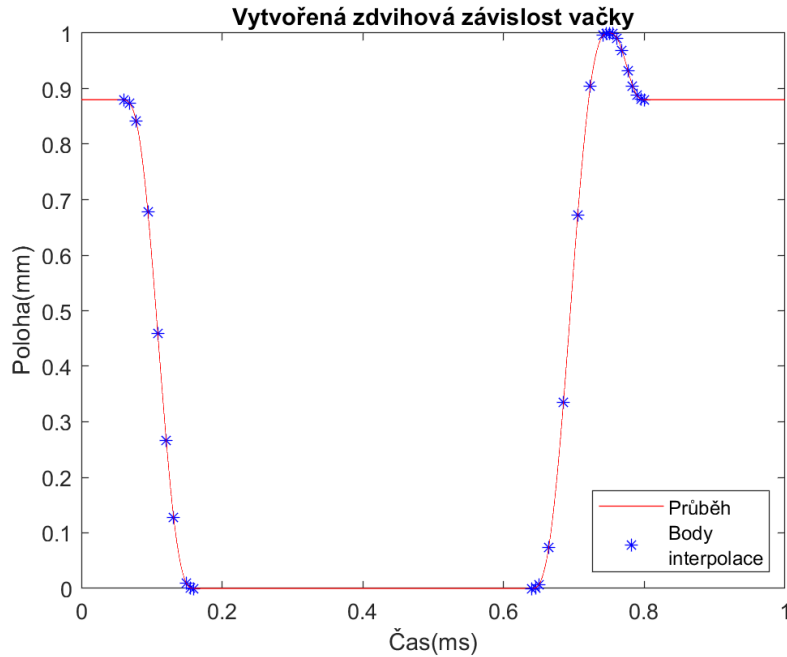
Pro účely dalšího měření byl vytvořen profil průběhu virtuální vačky simulující vačku v šicím stroji popsanou v [3] kapitole 2.5.2. Reálná zdvihová závislost byla převedena na jednotkovou osu viz obr. 6.4 a nahrána do PLC. Ze strmosti zdvihu vytvořené závislosti a tabulky ve zmíněné kapitole vyplývá, že motor bude muset vyvíjet při pohybu zrychlení $348,73 \text{ m/s}^2$. To může při nesprávném nastavení regulačních smyček tvořit velkou vlečnou chybu. Měřítko reálné osy bylo nastaveno dle [3] na 36,2mm. Tato zdvihová závislost odpovídá reálným šicím strojům s mechanismem jehelního podávání.



Graf 6.4: Zdvihová závislost vačky v prostředí Automation Studio

Pro lepší orientaci v periodě jednoho zdvihu byla reálná poloha LM a natočení virtuální osy měřeny v programu Automation Studio. Pro měření se využila funkce vykreslení hodnot do grafu. Naměřená data byla následně zpracována v programu Matlab. Z důvodu nemožnosti měřit požadovanou hodnotu polohy se musela zdvihová závislost vačky vytvořit v programu Matlab pro následné zpracování. Na tvorbu závislosti byla využita interpolace křivek [20].

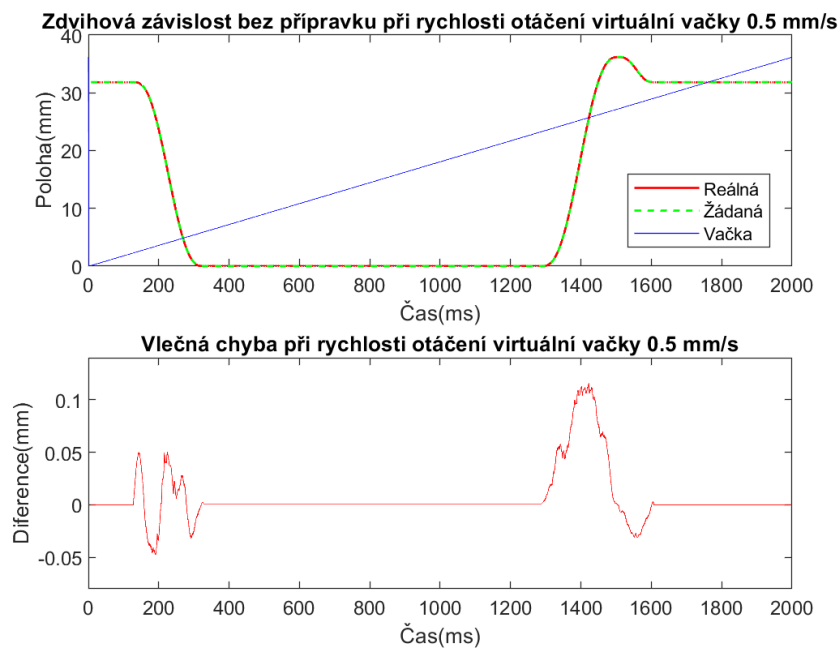
Body využitě v interpolaci byly vyčteny z křivky, kterou vygeneroval program Automation Studio. Po nahrání naměřených hodnot bylo zjištěno, že vygenerovaná křivka viz obr. 6.5 pomocí interpolace nemá stejný počet prvků. Proto bylo nutné interpolovat navíc ještě naměřená data pro následné počítání rozdílové hodnoty reálného a požadovaného průběhu. Z důvodu těchto operací se výsledný průběh rozdílových hodnot může vzdalovat od reality. Vzniklá data po interpolaci nemusí být zcela přesná a odpovídat křivce, která je uložena v paměti PLC.



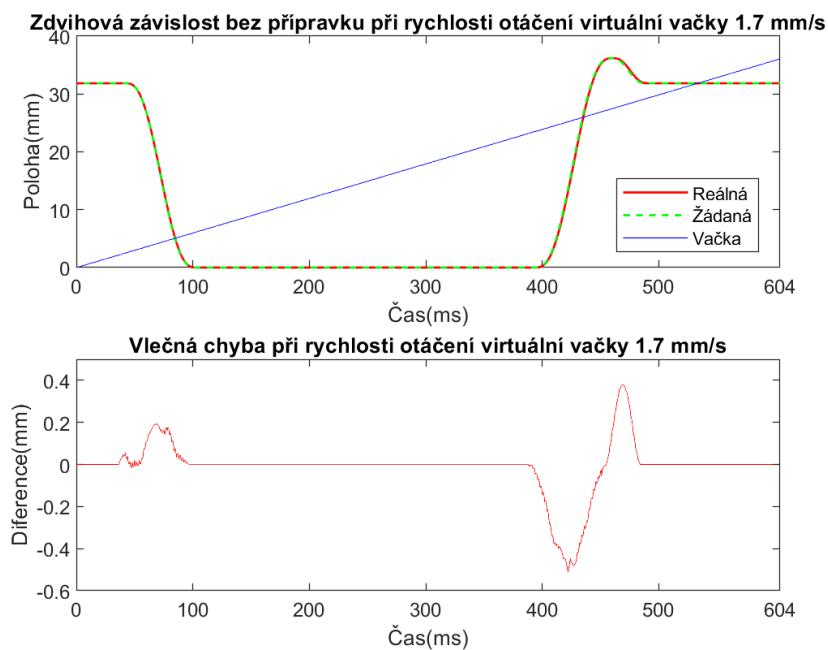
Graf 6.5: Průběh zdvihové závislosti vytvořené v programu Matlab

Na obr. 6.6 je znázorněna křivka při využití rychlosti 0.5 m/s otáčení virtuální vačky. Výsledná křivka společně s grafem vlečné chyby ukazuje, že pomocí nastavení PID regulátoru dle kap. 6.3 motor dokáže sledovat požadovanou hodnotu polohy. Při vyšších rychlostech lze na obr. 6.7 pozorovat rostoucí vlečnou chybu motoru. Tato vlečná chyba již nebyla možná regulovat manuálním nastavením regulátoru.

Pro optimální nastavení dynamiky zdvihové závislosti by bylo nutné využít pokročilejší metody nastavování PID regulátoru, například využití parametrů FF (dopředné vazby). Tato metoda by vyžadovala velké množství času, proto tyto metody nebyly využity, jelikož zcela optimální nastavení regulace není obsahem této bakalářské práce. S aktuálním nastavením bylo dosaženo periody jednoho zdvihu $t_p = 604 \text{ ms}$, při využití vzorce 6.1 a výpočtu z kapitoly 6.3 byla vypočtena rychlost 99.3 *spm*.



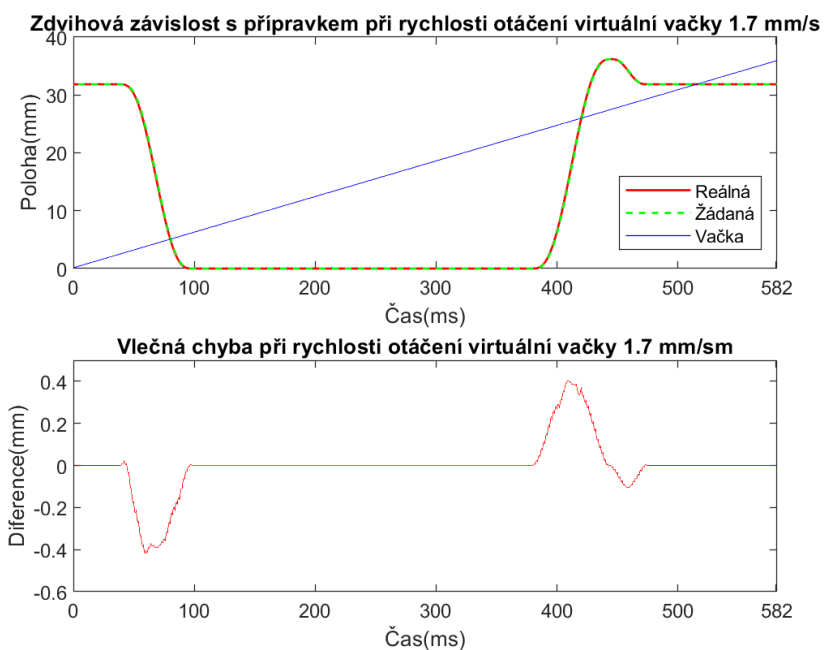
Graf 6.6: Zdvihová závislost bez přípravku při rychlosti otáčení virtuální vačky 0.5 mm/s



Graf 6.7: Zdvihová závislost bez přípravku při rychlosti otáčení virtuální vačky 1.7 mm/s

Ladění s přípravkem

Pro ladění zařízení s přípravkem bylo nutno upravit parametry referenční pozice, aby vyhovovala konstrukčnímu řešení přípravku viz [3]. Také nastavit konfiguraci motoru ve frekvenčním měniči tak, aby řídicí algoritmy frekvenčního měniče započítávaly vliv hmotnosti jehelní tyče. Po nastavení všech parametrů pohonu byl připojen LM k přípravku a ověřena dynamika stroje viz obr. 6.8. Po naměření a vykreslení hodnot byla naměřena délka jedné periody $t_p = 582\text{ms}$. Za pomoci vzorce 6.1 byl následně vypočtena rychlost 103.1spm .



Graf 6.8: Zdvihová závislost s přípravkem při rychlosti otáčení virtuální vačky 1.7 mm/s

Závěr

Cílem bakalářské práce bylo navrhnout a vypracovat elektronické zapojení, které bude následně zpracováno do podoby dokumentace. Po navržnutí zapojení bylo cílem vypracovat také základní řídicí systém, aby bylo možné na zařízení provádět další výzkum.

Po prostudování dokumentace byla vypracována dokumentace elektrotechnického zařízení a následně byla realizována jako zapojení rozvodnice. Hardware se povedlo sestavit z dílů, které měla univerzita k dispozici na skladě, takže nebyla nutnost žádný díl objednávat.

Algoritmus řídicího systému byl naprogramován a nahrán do PLC značky B&R Automation s využitím programovacího jazyka Structured text v programu Automation Studio. K samotnému řídicímu programu byla následně vytvořena i vizualizace pro snadnější testování a ovládání zařízení. Při tvorbě programu byly využívány komentáře, aby byla zaručena udržitelnost a čitelnost kódu.

Při testování a měření charakteristik motoru po nahrání reálné zdvihové závislosti byl následně upravován řídicí algoritmus pro správnou funkčnost při ovládání zařízení v různých sekvencích povelů. Po pokusech o měření reálné zdvihové závislosti bylo zjištěno, že při konfiguraci zařízení nebyla započítávána hmotnost vodících tyčí s upínací koncovkou LM, takže bylo nutné celé měření a nastavování PID regulátoru provést znovu. Po opětovném nastavení regulace byly hodnoty porovnány a jednotlivé složky regulace vyšly velice podobně. Pouze se motor dokázal pohybovat vyššími rychlostmi a to z 1.4 mm/s na 1.7 mm/s otáčení virtuální osy, takže se výsledná rychlost šití zvýšila z 82 spm na 103 spm.

Všechny body zadání byly splněny. Nad rámec zadání bylo základní naladění regulace LM pro přiblížení se reálným hodnotám šití, jako tomu je u průmyslových šicích strojů s jehelním podáváním.

Pro dosažení požadované dynamiky LM by bylo zapotřebí nalézt vhodnější nastavení regulačních smyček pomocí pokročilejších metod pro nastavování regulace, například vytvořením simulačního modelu a následné ověření vytvořeného modelu na reálném zařízení.

Dále je zde možnost upravit programovou část pro jednoduchou úpravu a nahrávání nových zdvihových závislostí bez nutnosti použití programu na úpravu kódu PLC. Nabízí se zde možnost vytvořit stránku vizualizace, jelikož základní verze pro ovládání je již vytvořena. HMI panel by pak mohl obsahovat možnost nahrát profil skrze USB disk a následný výběr z nahraných závislostí na panelu.

Použitá literatura

- [1] VITEROVÁ, Marika. *Speciální programovatelné šicí stroje a jejich automatizační prvky*. Liberec, 2010. Bakalářská. Technická Univerzita v Liberci.
- [2] DLOUHÁ, Milena. *Analýza vlivu jehelního a nit'ového mechanismu a jeho vyvážení*. 2006. Dis. pr. Technická Univerzita v Liberci.
- [3] KOMÁREK, Jiří. *Mechanismus jehelních tyčí šicího stroje*. 2018. Dis. pr. Technická Univerzita v Liberci.
- [4] BARBORÁK, Oto. *Oděvnictví II, Šijacie stroje v odevnej výrobe*. Trenčianská univerzita A. Dubčeka v Trenčíně: Trenčín, Slovakia, 2002.
- [5] *Lineární motory* [online]. Brno: Moog, c2021 [cit. 2022-11-28]. Dostupné z: http://www.moogbrno.cz/mt-content/uploads/2017/09/cz_lin-obecne_020909.pdf.
- [6] BOLDEA, Ion a Syed A NASAR. *Linear motion electromagnetic devices*. Taylor & Francis, 1997.
- [7] GIERAS, Jacek, Zbigniew PIECH a Bronislaw TOMCZUK. *Linear Synchronous Motors*. 2012. ISBN 978-1-4398-4221-8.
- [8] ČECH, Jan. *Návrh lineárního motoru s permanentními magnety* [online]. Brno, 2018 [cit. 2022-11-27]. Dostupné z: https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=175447. Bakalářská. VUT.
- [9] NGUYEN, Hong et al. A sensorless approach for tracking control problem of tubular linear synchronous motor. *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*. 2022, roč. 12, s. 2393–2404. Dostupné z DOI: [10.11591/ijece.v12i3.pp2393-2404](https://doi.org/10.11591/ijece.v12i3.pp2393-2404).
- [10] ŠINDELÁŘ, Michal. *Kalibrace snímačů úhlu* [online]. Brno, 2017 [cit. 2022-11-27]. Dostupné z: https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=146178. Diplomová. VUT.
- [11] *LINEAR MOTORS P01-37x240F* [online]. Švýcarsko: Linmot, [2018] [cit. 2022-12-05]. Dostupné z: https://shop.linmot.com/data/import/Dokumente/0185-0050-E_1V0_DS_Linear_Motors_P01-37x240F.pdf.
- [12] KRPEŠ, Petr. *Návrh systému předávání jehly u šicího stroje DECO 2000*. 2010. Dis. pr. Technická Univerzita v Liberci.
- [13] *LinMot* [online]. Švýcarsko: Linmot, b.r. [Cit. 2023-05-05]. Dostupné z: <https://shop.linmot.com>.

- [14] *LinMot-Talk 6 Configuration Software: Manual* [online]. Švýcarsko: Linmot, c2000-2023 [cit. 2023-03-20]. Dostupné z: https://linmot.com/fileadmin/user_upload/Downloads/software-firmware/servo-drives/linmot-talk-6/0185-1059-E_6V16_MA_LinMotTalk.pdf.
- [15] *PLC Commissioning of LinMot Servo Drives: Application Note / How-to* [online]. Švýcarsko: Linmot, [2018] [cit. 2023-03-20]. Dostupné z: https://shop.linmot.com/data/import/Software/0185-1120-E_1V10_AN_PLC_Commissioning.pdf.
- [16] TIEGELKAMP, Michael a Karl-Heinz JOHN. *IEC 61131-3: Programming industrial automation systems*. Sv. 166. Springer, 2010.
- [17] *Function blocks for motion control - Part 1* [online]. Nizozemsko: PLCopen, 2011 [cit. 2023-05-11]. Dostupné z: https://plcopen.org/system/files/downloads/plcopen_motion_control_part_1_version_2.0.pdf.
- [18] *Automation Studio: B&R Help Explorer*. 4.2.0.25288. vyd. Rakousko, c2023. \Motion control\ACP10\ARNC0\Reference manual\ACP10SDC\SDC overview.
- [19] CHALUPA, Adam. *Optimální nastavení PID regulátorů*. Praha, 2008. Dostupné také z: https://wiki.control.fel.cvut.cz/mediawiki/images/e/e3/Bp_2008_chalupa_adam.pdf. Bakalářská. ČVUT.
- [20] *1-D data interpolation: interp1* [online]. USA: MathWorks, c2023 [cit. 2023-05-11]. Dostupné z: https://www.mathworks.com/help/matlab/ref/interp1.html?s_tid=srchtitle_interp_1.

A Přílohy

A.1 Zdrojové kódy

- Program PLC
- Konfigurační soubor frekvenčního měniče

A.2 Elektronická dokumentace zařízení

- Částečná elektrotechnická dokumentace vypracovaná v programu Eplan. Podrobná dokumentace je přiložena v souborech práce.



Technická univerzita v Liberci

Tel.

Firma / zákazník
 Popis projektu
 Číslo projektu
 Komise

Návrh elektrotechnického zapojení řídicího pohonu jehelní tyče
 0001
 Bakalářská práce

Výrobce (firma)

Technická univerzita v Liberci

Sloupec
 Název projektu
 Výrobek

Řídicí pohon jehelní tyče
 Řídicí pohon jehelní tyče

Typ
 Místo instalace
 Osoba odpovědná za projekt
 Zvláštnost dílu

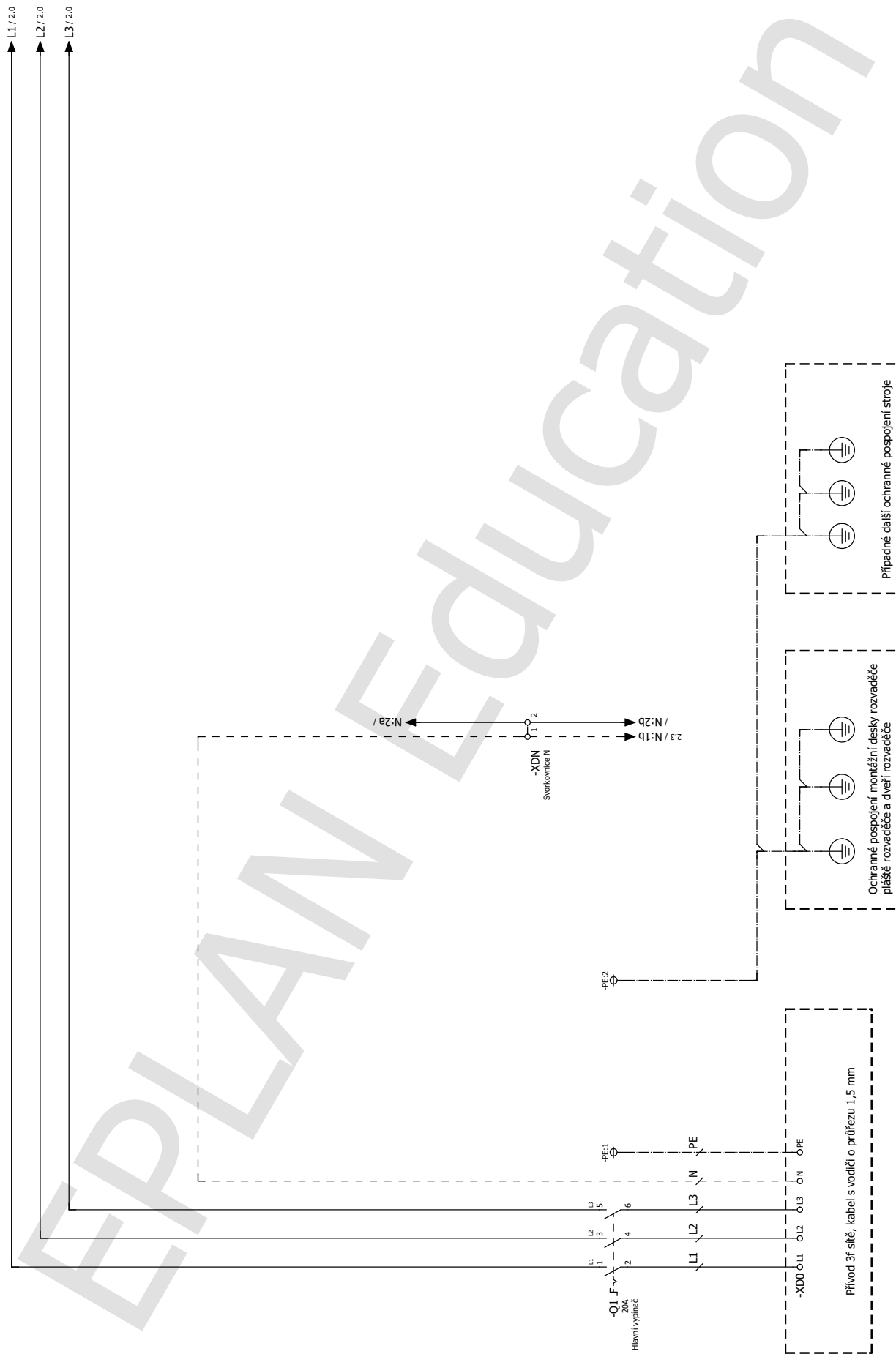
Vytvořeno dne
 Zpracováno dne

30.10.2022
 20.05.2023

Počet stran
 od (zkratka) Štěpán

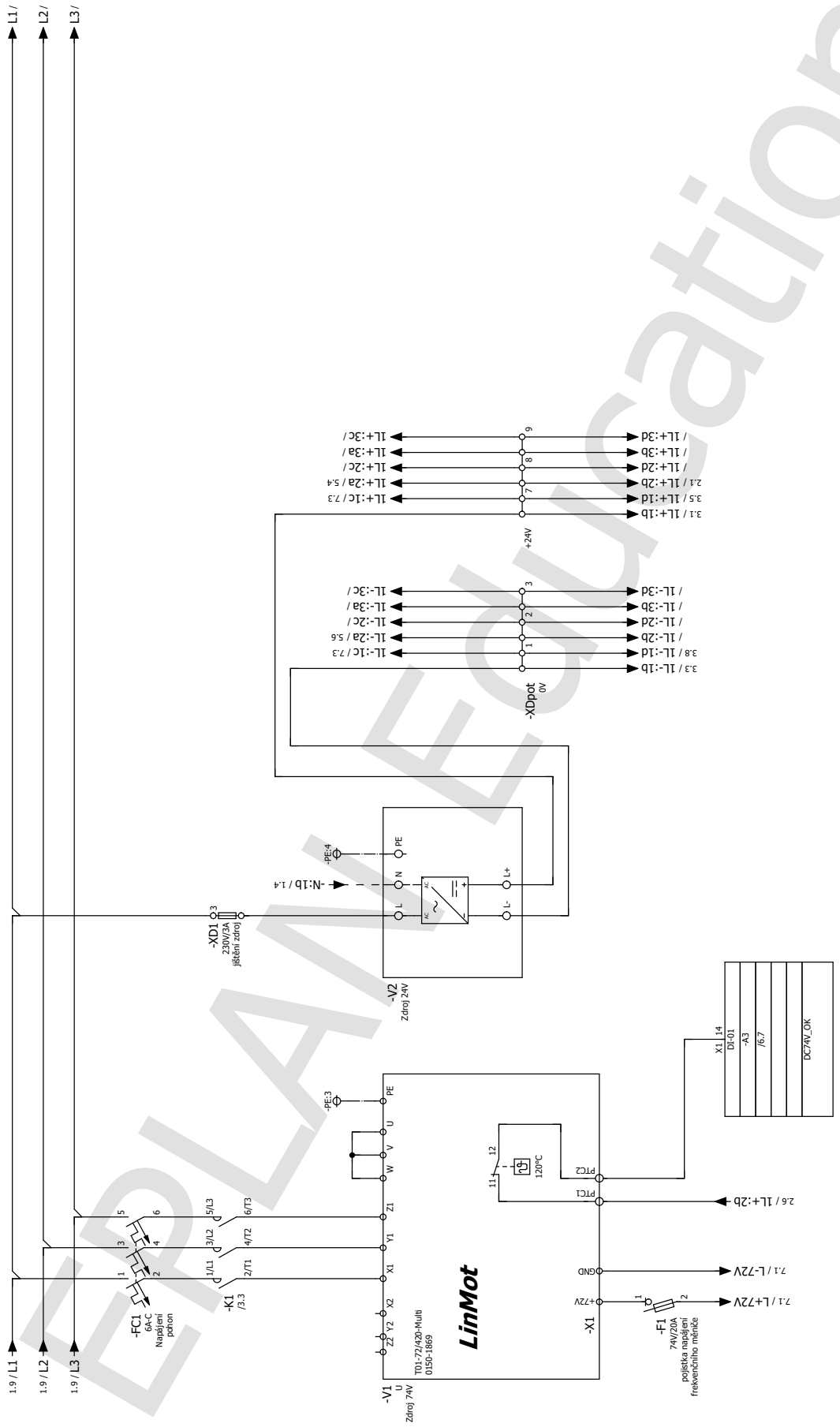
19

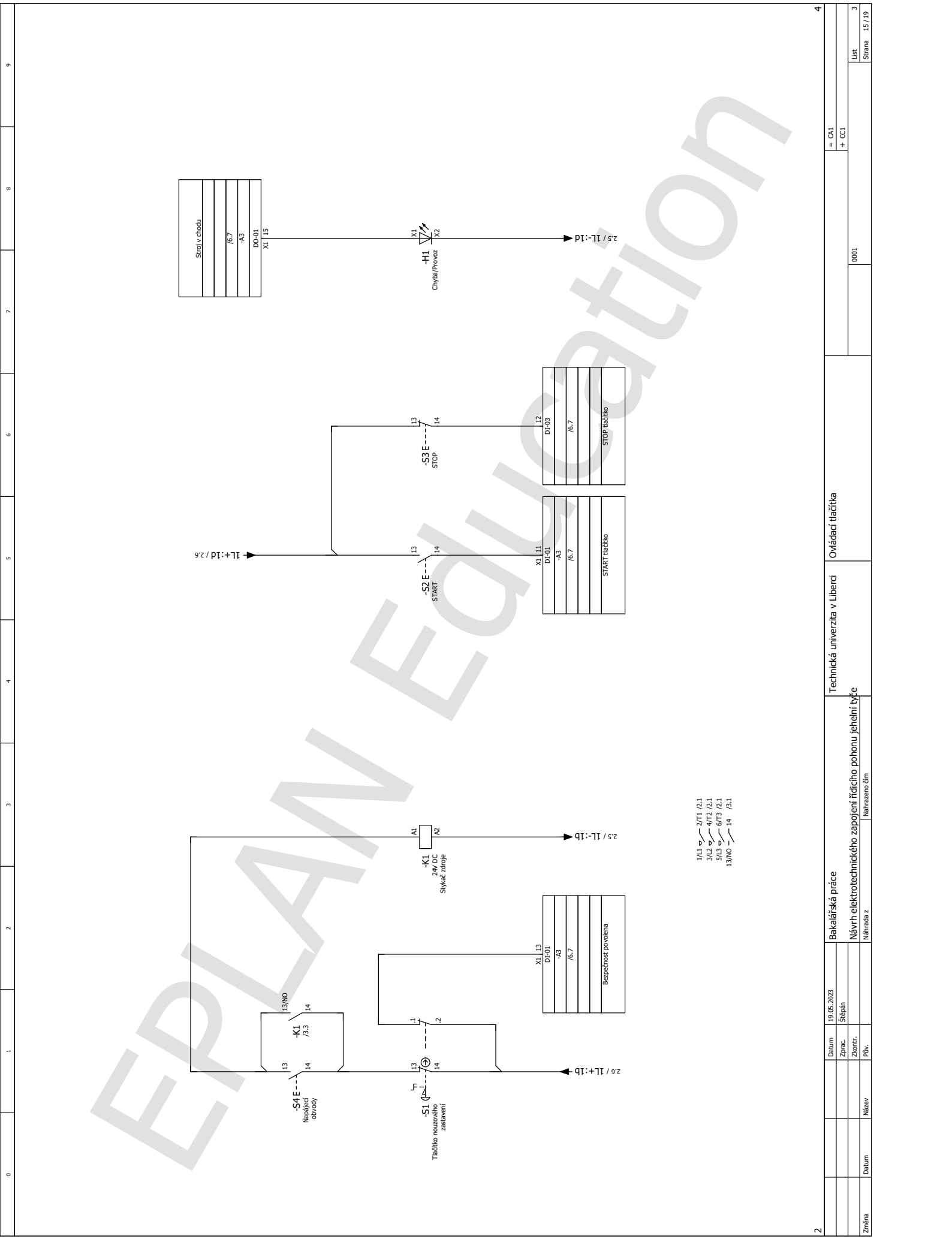
				8EPA1/1	
				=	
				+	
				0001	
				List 1	
				Strana 1 / 19	
		Bakalářská práce		Titulní strana	
		Návrh elektrotechnického zapojení řídicího pohonu jehelní tyče		Technická univerzita v Liberci	
		Návrh z		Návrh z	
Datum		30.10.2022			
Zprac.		Štěpán			
Zkontr.					
Přev.					
Název					



=+&ETC:1/5

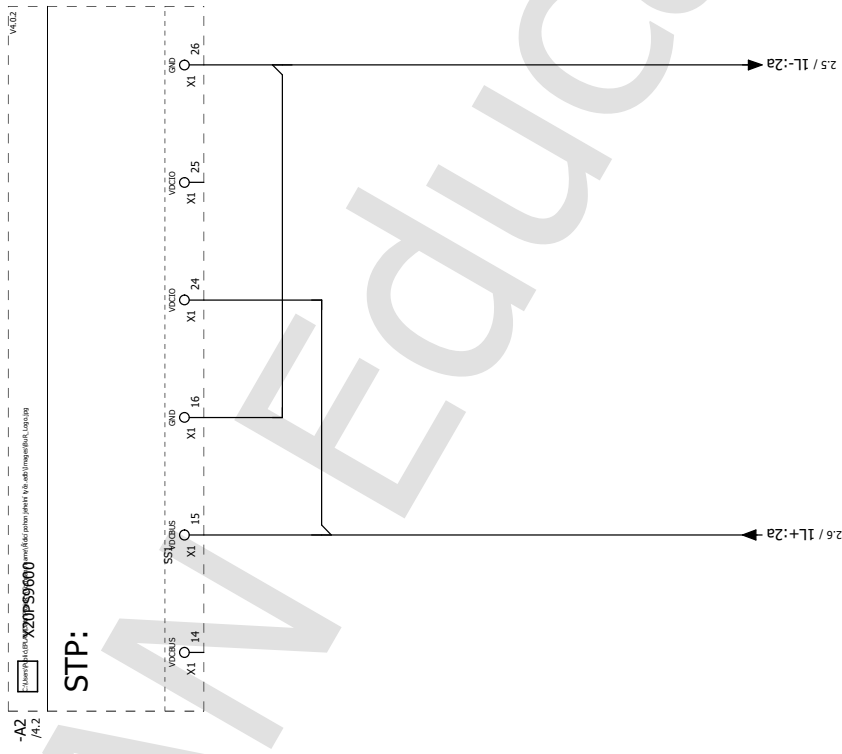
Datum		19.05.2023		Bakalářská práce		Technická univerzita v Liberci		Hlavní přívod	
Zprac.		Štěpán		Návrh elektrotechnického zapojení řídicího pohonu jeřabní tyče		0001		= CA1 + CC1	
Zkontr.				Návrh z					
Přív.				Návrh zám					
Datum				Název					
Změna				Název					
List		1		Strana		13 / 19			





0	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
<p>X20CP0484</p>			<p>Bakalářská práce</p>			<p>Technická univerzita v Liberci</p>			<p>PLC přehled uspořádání</p>		
<p>X20CP0484</p>			<p>Návrh elektrotechnického zapojení řídicího pohonu jeřabní tyče</p>			<p>Náhrada z</p>			<p>0001</p>		
<p>X20PS9600</p>			<p>Návrh elektrotechnického zapojení řídicího pohonu jeřabní tyče</p>			<p>Náhrada z</p>			<p>0001</p>		
<p>X20M9324</p>			<p>Návrh elektrotechnického zapojení řídicího pohonu jeřabní tyče</p>			<p>Náhrada z</p>			<p>0001</p>		
<p>A3 /6,6</p>			<p>Návrh elektrotechnického zapojení řídicího pohonu jeřabní tyče</p>			<p>Náhrada z</p>			<p>0001</p>		
<p>A2 /5,3</p>			<p>Návrh elektrotechnického zapojení řídicího pohonu jeřabní tyče</p>			<p>Náhrada z</p>			<p>0001</p>		
<p>A1 /6,2</p>			<p>Návrh elektrotechnického zapojení řídicího pohonu jeřabní tyče</p>			<p>Náhrada z</p>			<p>0001</p>		
<p>19.05.2023</p>			<p>Návrh elektrotechnického zapojení řídicího pohonu jeřabní tyče</p>			<p>Náhrada z</p>			<p>0001</p>		
<p>Štěpán</p>			<p>Návrh elektrotechnického zapojení řídicího pohonu jeřabní tyče</p>			<p>Náhrada z</p>			<p>0001</p>		
<p>Zprac.</p>			<p>Návrh elektrotechnického zapojení řídicího pohonu jeřabní tyče</p>			<p>Náhrada z</p>			<p>0001</p>		
<p>Zkontr.</p>			<p>Návrh elektrotechnického zapojení řídicího pohonu jeřabní tyče</p>			<p>Náhrada z</p>			<p>0001</p>		
<p>Řlv.</p>			<p>Návrh elektrotechnického zapojení řídicího pohonu jeřabní tyče</p>			<p>Náhrada z</p>			<p>0001</p>		
<p>Název</p>			<p>Návrh elektrotechnického zapojení řídicího pohonu jeřabní tyče</p>			<p>Náhrada z</p>			<p>0001</p>		
<p>Datum</p>			<p>Návrh elektrotechnického zapojení řídicího pohonu jeřabní tyče</p>			<p>Náhrada z</p>			<p>0001</p>		
<p>Změna</p>			<p>Návrh elektrotechnického zapojení řídicího pohonu jeřabní tyče</p>			<p>Náhrada z</p>			<p>0001</p>		
<p>5</p>			<p>Návrh elektrotechnického zapojení řídicího pohonu jeřabní tyče</p>			<p>Náhrada z</p>			<p>0001</p>		
<p>= CA1 + CC1</p>			<p>Návrh elektrotechnického zapojení řídicího pohonu jeřabní tyče</p>			<p>Náhrada z</p>			<p>0001</p>		
<p>List</p>			<p>Návrh elektrotechnického zapojení řídicího pohonu jeřabní tyče</p>			<p>Náhrada z</p>			<p>0001</p>		
<p>Strana</p>			<p>Návrh elektrotechnického zapojení řídicího pohonu jeřabní tyče</p>			<p>Náhrada z</p>			<p>0001</p>		
<p>16 / 19</p>			<p>Návrh elektrotechnického zapojení řídicího pohonu jeřabní tyče</p>			<p>Náhrada z</p>			<p>0001</p>		

EPLIN Education



STP:

-A2 / A.2

XS20PS600

V002

4			Datum Zprac. Zkontr. Přev.	20.05.2023 Stěpan	Bakalářská práce Návrh elektrotechnického zapojení řídicího pohonu jehelní tyče Náhrada z	Technická univerzita v Liberci	PLC napájení	= CA1 + CC1	6
Znění	Datum	Název					0001		5
									17 / 19
									List Strana

