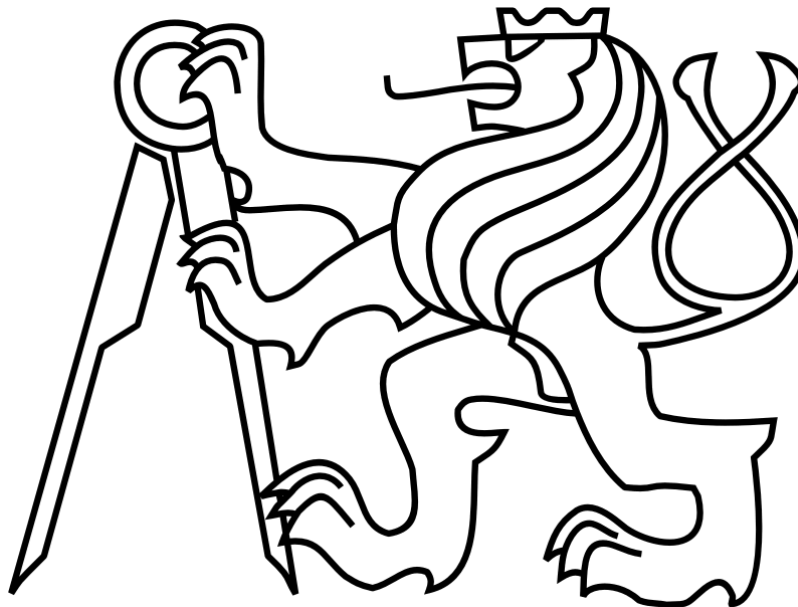


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ
KATEDRA ELEKTRICKÝCH POHONŮ A TRAKCE

ŘÍZENÍ LINEÁRNÍHO MOTORU – LINMOT



STUDIJNÍ PROGRAM: ELEKTROTECHNIKA, ENERGETIKA A MANAGEMENT

OBOR: APLIKOVANÁ ELEKTROTECHNIKA

2015

Vypracoval: Adam Strejcovský
Vedoucí bakalářské práce: Ing. Vít Hlinovský, CSc.

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická

katedra elektrických pohonů a trakce

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student: **Adam Strejcovský**

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management
Obor: Aplikovaná elektrotechnika

Název tématu: **Řízení lineárního motoru - LinMot**

Pokyny pro vypracování:


1. Popište princip lineárního pohonu
2. Určete trajektorii polohy pohyblivé části pohonu
3. Realizujte řízení polohy lineárního pohonu pomocí automatu PLC

Seznam odborné literatury:

- [1] www.linmot.com: LinMot - Release 1.3 , Supplement to V 1.0 User Handbook 2003, NTI LinMot - Technoparkstrasse 1, CH-8005, Zurich
- [2] Hrabovcová, V., Janoušek, L., Rafajdus, P., Ličko, M.: Moderné elektrické stroje; EDIS, Žilina 2001, ISBN 80-7100-809-5
- [3] www.linmot.com: Linear Motors - Application Guide - Dedicated to the Science of Motion - AEROTECH Berkshire RG7 8NN, United Kingdom

Vedoucí: Ing. Vít Hlinovský, CSc.

Platnost zadání: do konce letního semestru 2015/2016


prof. Ing. Jiří Lettl, CSc.
vedoucí katedry




prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.
děkan

V Praze dne 1. 10. 2014

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem svoji bakalářskou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady (literaturu, projekty, SW, apod.) uvedené v příloženém seznamu.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č.121/200 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne 22. 5. 2015

Adam Strejcovský

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu bakalářské práce, Ing. Vítu Hlinovskému, CSc., za pomoc při práci na praktické části. Dále bych chtěl poděkovat katedře elektrických pohonů a trakce za možnost prozkoumat možnosti precizního motoru firmy LinMot.

ABSTRAKT

Tato práce se zabývá řízením synchronního lineárního motoru od firmy LinMot. Je zde uveden princip lineárního motoru, základní rozdělení motorů, porovnání výhod a nevýhod a detailní pohled na motor LinMot *P01-37×240/100×100-P150* a jeho servokontrolér. Tato práce popisuje softwaru pro řízení a správu lineárního motoru LinMot. Je zde také vysvětleno, jak zvolit způsob řízení a jak provést vybraná nastavení motoru. V této práci zde vysvětleno, jak řídit motor přes tento software nebo pomocí hodnot zapsaných editorem CSV souborů. Tato práce se také zabývá realizací řízení pomocí PLC (Programmable logic controller). Je zde popis modelu *Vision PLC V130-33-RA22* použitého v této práci a závislost jezdce motoru na napětí. Je zde i detailní popis žebříčkového schématu řízení pomocí analogového a digitálního výstupního signálu PLC.

KLÍČOVÁ SLOVA

Lineární motor, LinMot, E400, Unitronix, Visilogic, Ladder programming

ABSTRACT

This bachelor thesis focuses on control of the LinMot linear motor. In the thesis, there is a principle of linear motor. There also is comparison of types of motors and LinMot *P01-37×240/100×100-P150* and its servocontroller explained to the detail. The thesis describes software managing the LinMot motor. The way of choosing a control and preferences of the motor is explained here as well. There also is focus on setting up a control via using a PLC (Programmable logic controller) . The thesis offers a *Vision PLC V130-33-RA22* overview and position-voltage characteristic of the motor. Proper description of control ladder scheme for the PLC is also included.

KEYWORDS

Linear motor, LinMot, E400, Unitronix, Visilogic, Ladder programming

OBSAH

1. Úvod.....	9
2. Princip činnosti lineárního motoru.....	10
2.1. Nepřímé lineární motory.....	10
2.2. Přímé lineární motory.....	10
2.2.1. Krokové lineární motory.....	11
2.2.2. Synchronní lineární motory.....	11
2.2.3. Asynchronní Lineární motory.....	12
2.2.4. Piezoelektrické lineární motory.....	12
2.2.5. Dopravní pohony s levitací.....	12
2.2. Lineární motory LinMot.....	13
3. Určení polohy pohyblivé části motoru.....	16
3.1. Prostředí programu LinMot Talk.....	16
3.1.1. ovládání provozního stavu motoru.....	16
3.1.2. určení způsobu řízení a omezujících parametrů.....	16
3.1.2. nástroj pro měření průběhu veličin.....	18
3.2. Určování polohy pomocí LinMot Talk.....	20
3.2.2. Blokové schéma zapojení.....	20
3.2.1. Tvoření křivek pomocí LinMot Talk.....	21
3.2.2. Tvoření křivek v MS Excel.....	22
3.2.3. Dodatečné parametry.....	23
3.2.4. Realizace řízení lineárního motoru pomocí CVS souboru.....	24
4. Realizace řízení pomocí PLC.....	27
4.1. Popis použitého PLC.....	27
4.2. Řízení motoru výstupním napětím digitálně analogového převodníku.....	29
4.2.1. Závislost polohy na výstupním napětí DA převodníku.....	29
4.2.2. Blokové schéma zapojení servokontroléru a PLC.....	30
4.2.3. Popis prostředí programu Visilogic.....	31
4.2.4. Program pro řízení motoru napětím DA převodníku.....	32
4.2.5. Nahrání programu do PLC.....	37
4.3. Realizace řízení pomocí relé.....	38
4.3.1. Blokové schéma zapojení.....	38
4.3.2. Určení trajektorie posuvné části.....	39

4.3.3. Řídící schéma	39
Závěr	42
Citovaná literatura	43
Příloha 1	44
Příloha 2	45

1. ÚVOD

Existuje celá řada pracovních mechanismů, jejichž komponenty vykonávají přímočarý pohyb. V minulosti se lineárního pohybu nejčastěji dosahovalo převodem otáčivého pohybu rotačních elektromotorů. S rozvojem polovodičové techniky se začaly uplatňovat motory vykonávající lineární pohyb interakcí magnetických obvodů pohyblivé části a statoru.

V první části této bakalářské práce je popsán princip činnosti různých druhů lineárních motorů. Je zde také detailněji popsán lineární pohon od švýcarské firmy *LinMot*, který je použit v praktické části práce.

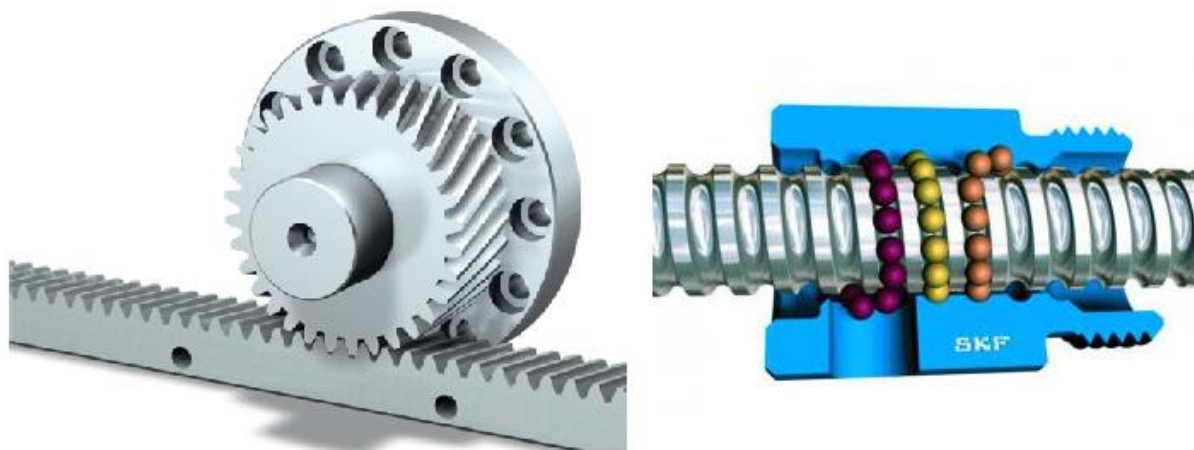
V druhé kapitole jsou popsány způsoby určení polohy jezdce, prostředí programu pro ovládání motoru a jsou zde uvedeny příklady řízení přes tento software, tedy řízení bez vnějších prostředků, jako je např. PLC.

V třetí části je realizace řízení lineárního motoru pomocí PLC. Je zde také popis vytvoření řídicího programu, který simuluje práci razítkovacího automatu. V této části je také uveden způsob řízení uvedeným v závěru individuální projektu navazujícím na tuto práci, který zlepšuje dynamiku pohybu, které dosahovali autoři předchozích prací zabývajících se řízením motoru použitého v praktické části.

2. PRINCIP ČINNOSTI LINEÁRNÍHO MOTORU

2.1. NEPŘÍMÉ LINEÁRNÍ MOTORY

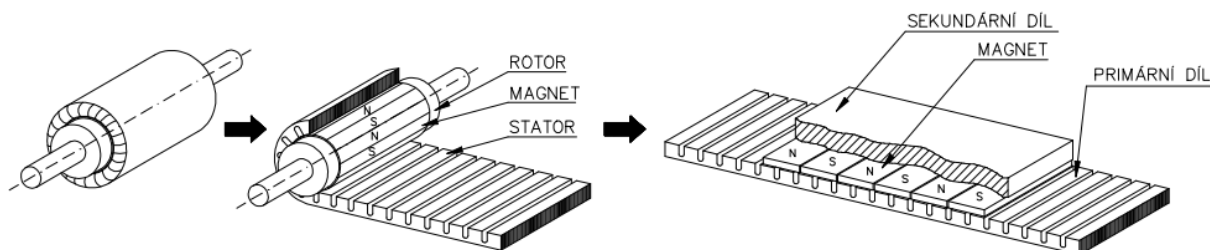
Pohyblivá část magnetického obvodu nepřímých lineárních motorů vykonává rotační pohyb. Převod na lineární pohyb je zajištěn pomocí mechanického komponentu. Takovým komponentem je na nejčastěji hřeben s ozubeným kolem, nebo lichoběžníkový šroub s ložiskem na Obr. 2.1. Výhody nepřímých lineárních motorů jsou nižší cena a schopnost vyvíjet větší sílu. Naopak mezi nevýhody patří malá dynamika pohybu, nižší přesnost a opakovatelnost pohybu. Nepřímé lineární motory jsou také náročnější na údržbu a mají menší účinnost.



OBR. 2.1 - HŘEBENOVÝ PŘEVOD, ŠROUBOVÝ PŘEVOD

2.2. PŘÍMÉ LINEÁRNÍ MOTORY

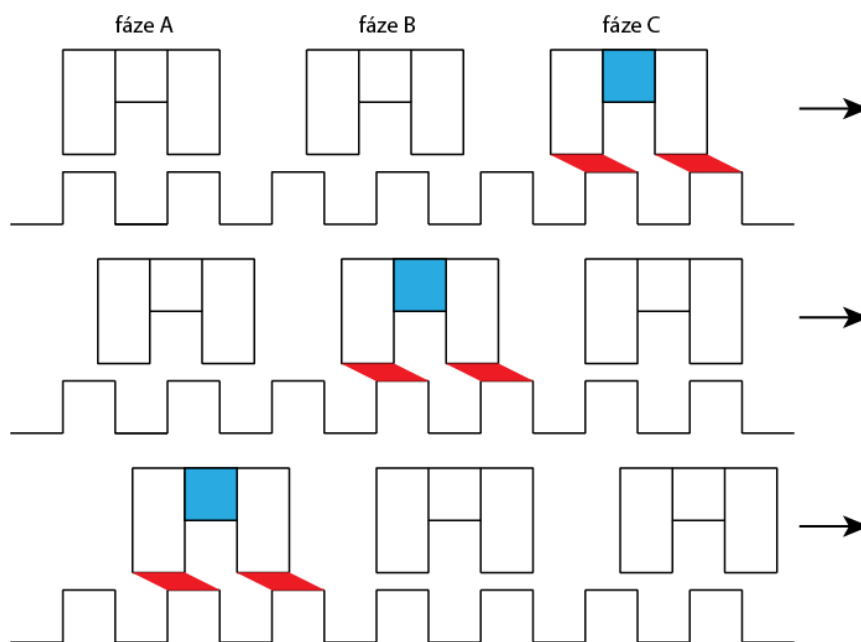
Přímé lineární motory nepoužívají výše zmíněné mechanické prvky, jedná se tedy o motory bezkontaktní. Lineární pohyb vzniká interakcí magnetických obvodů pohyblivé části, která se většinou označuje *jezdec*, a statoru. Princip lineárních motorů je analogický motorům rotačním s rozvinutou konstrukcí podle Obr. 2.2. Z toho důvodu lze na lineární motor aplikovat metody řízení jako pro motory rotační. Lze také vytvořit lineární motor na všech dosud známých principech.



OBR. 2.2 - PRINCIP PŘÍMÉHO LINEÁRNÍHO MOTORU [5]

2.2.1. KROKOVÉ LINEÁRNÍ MOTORY

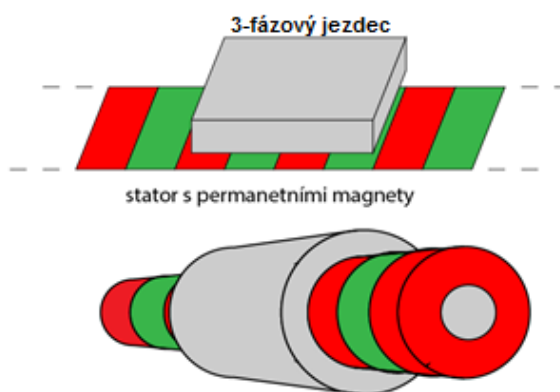
Krokové lineární motory mají nejčastěji 2 nebo 3 fáze vynutí. Princip těchto motorů je založen na přesunu jezdec do pozice, ve které je energie v magnetickém obvodu největší. Stator tvoří drážky bez vinutí. Podle Obr. 2.3 lze uvést jezdec zvoleným sledem spínání fází do pohybu v příslušném směru. Krokové motory nejsou určeny pro velkou zátěž. Kromě pohybu po přímce jsou krokové motory schopny vykonávat planární pohyb, kdy stator tvoří rozlehlá deska s drážkami.



OBR. 2.3 - PRINCIP TŘÍFÁZOVÉHO LINEÁRNÍHO KROKOVÉHO MOTORU

2.2.2. SYNCHRONNÍ LINEÁRNÍ MOTORY

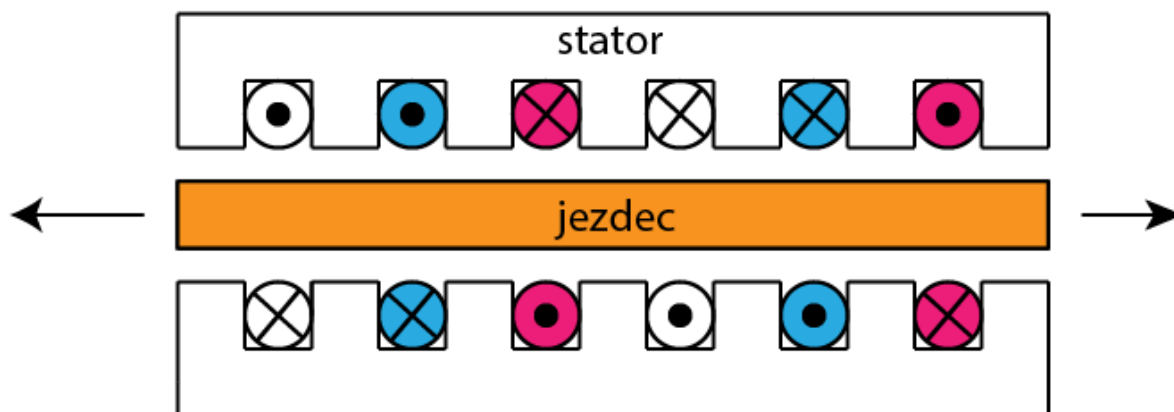
Synchronní lineární motory se skládají z jezdec s třífázovým vynutím napájeného z měniče frekvence a statoru složeného z permanentních magnetů [5]. Tento typ motorů existuje také v tubulárním provedení, ve kterém je stator a jezdec proveden ze sousých válců. Magnetický tok je v případě tubulárního rovnoměrně rozložený a radiální síly působící na jezdec jsou téměř nulové.



OBR. 2.4 - USPOŘÁDÁNÍ SYNCHRONNÍHO MOTORU, TUBULÁRNÍ PŘÍMÉHO

2.2.3. ASYNCHRONNÍ LINEÁRNÍ MOTORY

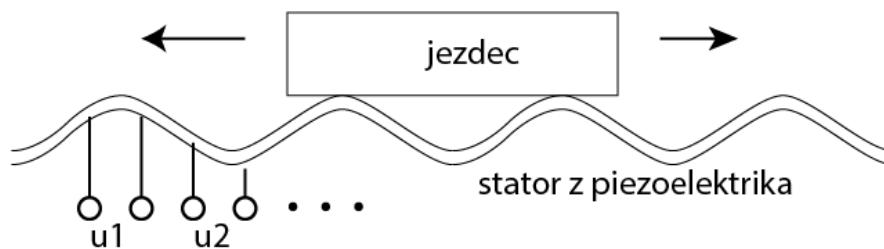
Asynchronní lineární motory se skládají z třífázového systému vinutí. Jezdec je tvořen hliníkovým pásem na ocelové podložce nebo vinutím uloženým v drážkách. Stator je složen z plechů. Výhoda těchto motorů je, že je možné je připojit do sítě bez měniče. Skluz těchto motorů je mnohem vyšší, než pro jejich rotační variantu. [5]



OBR. 2.5 - PRINCIP ASYNCHRONNÍHO LINEÁRNÍHO MOTORU

2.2.4. PIEZOELEKTRICKÉ LINEÁRNÍ MOTORY

Piezelektrické lineární motory jsou malé motorky s velkým poměrem W/kg . Jejich stator je složen z piezelektrické vrstvy. Podle Obr. 2.6 je stator připojen na napětí měniče kmitočtu tak, aby jeho kmitavý pohyb vytvořil např. postupnou vlnu, která uvede jezdec do pohybu [6]



OBR. 2.6 - PRINCIP PIEZOELEKTRICKÉHO LINEÁRNÍHO MOTORU

2.2.5. DOPRAVNÍ POHONY S LEVITACÍ

Tyto atypické typy pohonů se využívají ve vlakové dopravě. Jedná se o pohon se dvěma systémy elektromagnetů. Jedny udržují břemeno v levitaci nad konstrukcí dráhy, druhé tzv. vodící magnety uvádějí břemeno do pohybu.

2.2.LINEÁRNÍ MOTORY LINMOT

Motor použitý v této bakalářské práci vyrobila švýcarská firma *LinMot*. Jedná se o dvoufázový synchronní lineární motor v tubulárním provedení.

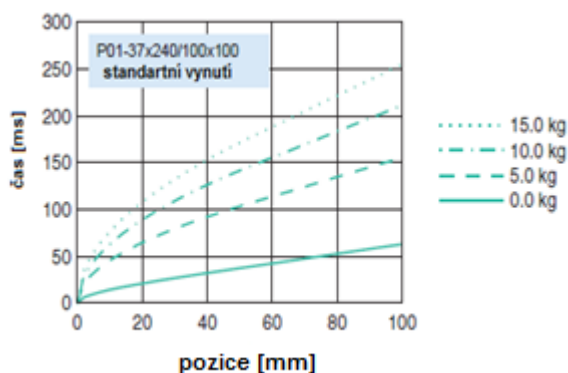


OBR. 2.7 – SYSTÉM ZNAČENÍ MOTORŮ LINMOT, USPOŘÁDÁNÍ MOTORŮ [1]

Názvy jednotlivých produktů firmy *LinMot* v sobě skrývají specifikaci motoru, jak ilustruje Obr. 2.7. V této bakalářské práci byl použit motor *P01-37x240/100x100-P150*. Je to motor se standardním vinutím připojeným 1,5 metrovým kabelem k servokontroléru, stator má průměr 37 milimetrů a jeho aktivní délka je 240 milimetrů, maximální vysunutí je 100 mm. V Tab. 2.1 jsou některé důležité specifikace motoru.

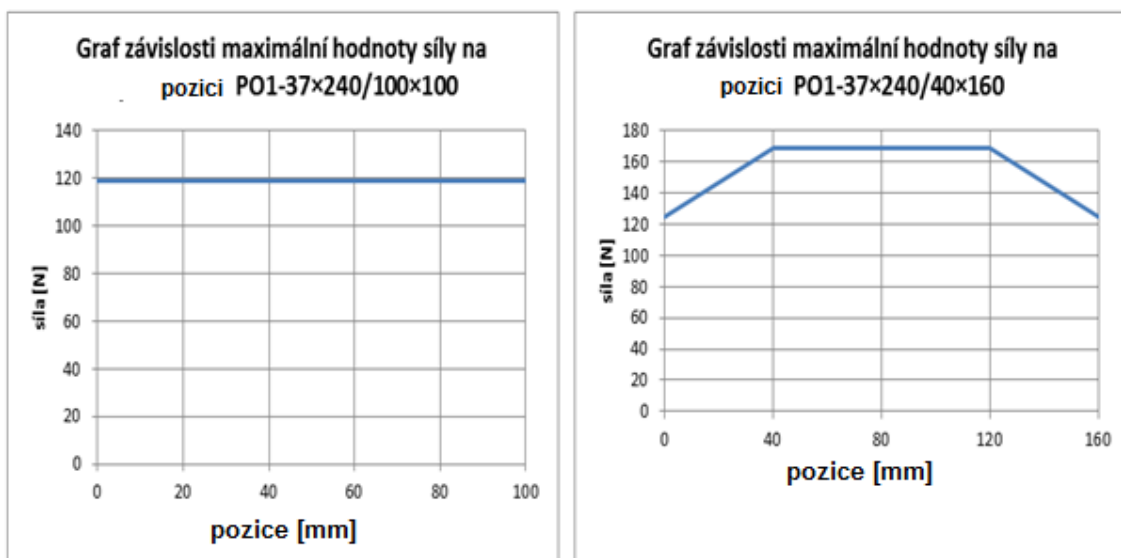
Maximální pozice [mm]	Maximální hodnota síly [N]	Maximální trvalá hodnota síly [N]	Maximální fázový proud při napájení 48V [A]	Převodní konstanta[N/A]
100	119	31	3,3	23,8

TAB. 2.1 – VYBRANÉ SPECIFIKACE MOTORU



OBR. 2.8 – GRAF ZÁVISLOSTI ČAS – POZICE[1]

Na Obr. 2.8 je závislost času potřebného k vysunutí pro různé typy zátěže. Na Obr. 2.9 je vidět maximální možná síla vykonávaná motorem v závislosti na hodnotě vysunutí jezdce. V celém rozsahu vysunutí je tato hodnota konstantní. Pokud však tuto závislost porovnáme se závislostí jiné třídy těchto motorů, není to pro všechny motory stejné.



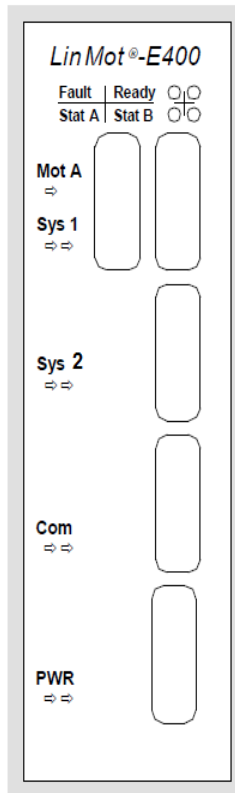
OBR. 2.9 - POROVNÁNÍ ZÁVISLOSTÍ SÍLY NA VYSUNUTÍ

Rozhraní, kterým *P01-37×240/100×100-P150* komunikuje se svým okolím, je již zmiňovaný servokontrolér *E-400*. Zajišťuje spínání fází statoru a ukládání údajů o trajektorii. Také vyhodnocuje logické signály vnější logiky.

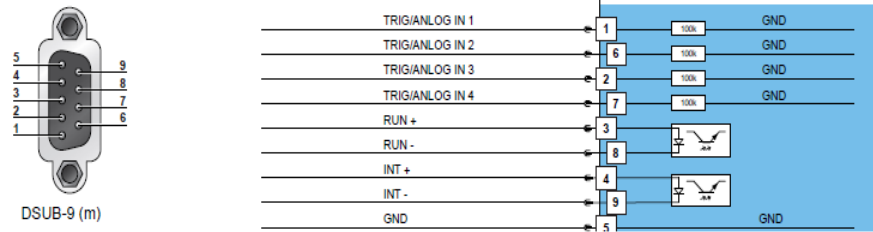
Servokontrolér *E-400* disponuje pěti porty:

- Mot A
- Sys 1
- Sys 2
- Com
- PWR

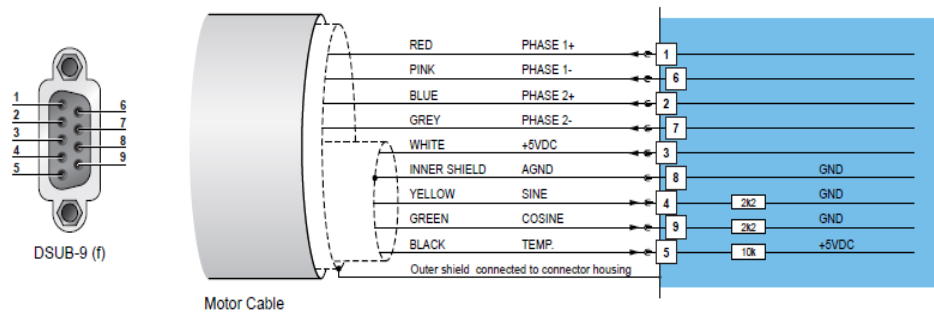
Mot A je výstupní port servokontroléru, jehož piny jsou připojeny k lineárnímu motoru. Popis jednotlivých pinů je na obr. Vpravo je vstupní port *SYS1*. Ten nebyl v této bakalářské práci použit, a proto není blíže popsán. Dále je na obr vstupní port *SYS2*. Na pin 1 a 5 byly připojeny výstupy PLC. Port *Com* zajišťuje obousměrnou komunikaci mezi počítačem a servokontrolérem. Jeho popis není důležitý, protože bylo mezi PC a servokontrolérem použito ještě jedno rozhraní. Port *PWR* je vstupní port napájení ze zdroje 48 VDC.



SYS2 System interface 2



Mot A (B, C, D) Motor connector E100



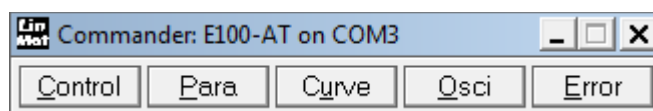
OBR. 2.10 - POPIS PINŮ PORTŮ SERVOKONTROLÉRU [1]

3. URČENÍ POLOHY POHYBLIVÉ ČÁSTI MOTORU

Firma *LinMot* pro své lineární motory vytvořila prostředí *LinMot Talk*, ve kterém se nastavují veškeré parametry pro servokontrolér. Program *LinMot Talk* také nabízí nástroje pro sledování průběhu různých veličin (poloha, rychlost apod.), tvoření trajektorie pohyblivé části motoru atd. Cílem autorů softwaru bylo vytvořit prostředí, ve kterém lze nastavit trajektorii jezdce přímo zadáním hodnoty vysunutí bez potřeby provádět jakékoliv výpočty nebo znalosti principu funkce motoru [2]. Program *LinMot Talk* je určen pro *Microsoft Windows* starší než verzi *Windows 7*. Tato skutečnost může užívání softwaru v dnešní době komplikovat.

3.1. PROSTŘEDÍ PROGRAMU LINMOT TALK

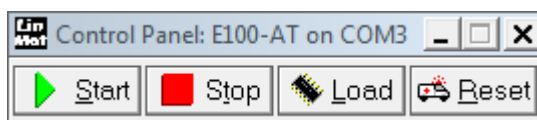
Výchozí menu *LinMot Talk* je lišta na Obr. 3.1. Obsahuje pět záložek, ve kterých probíhá veškeré nastavení parametrů pohybu motoru a sledování zvolených veličin. Pro větší obsáhlost každé záložky nebude probrána celá struktura programu, jeho jednotlivé části budou probrány v kontextu s použitými druhy řízení. V úvodu bude pouze probráno zadávání základních a omezujících parametrů, změny provozních stavů a výběr způsobu určování polohy jezdce.



OBR. 3.1 - VÝCHOZÍ MENU

3.1.1. OVLÁDÁNÍ PROVOZNÍHO STAVU MOTORU

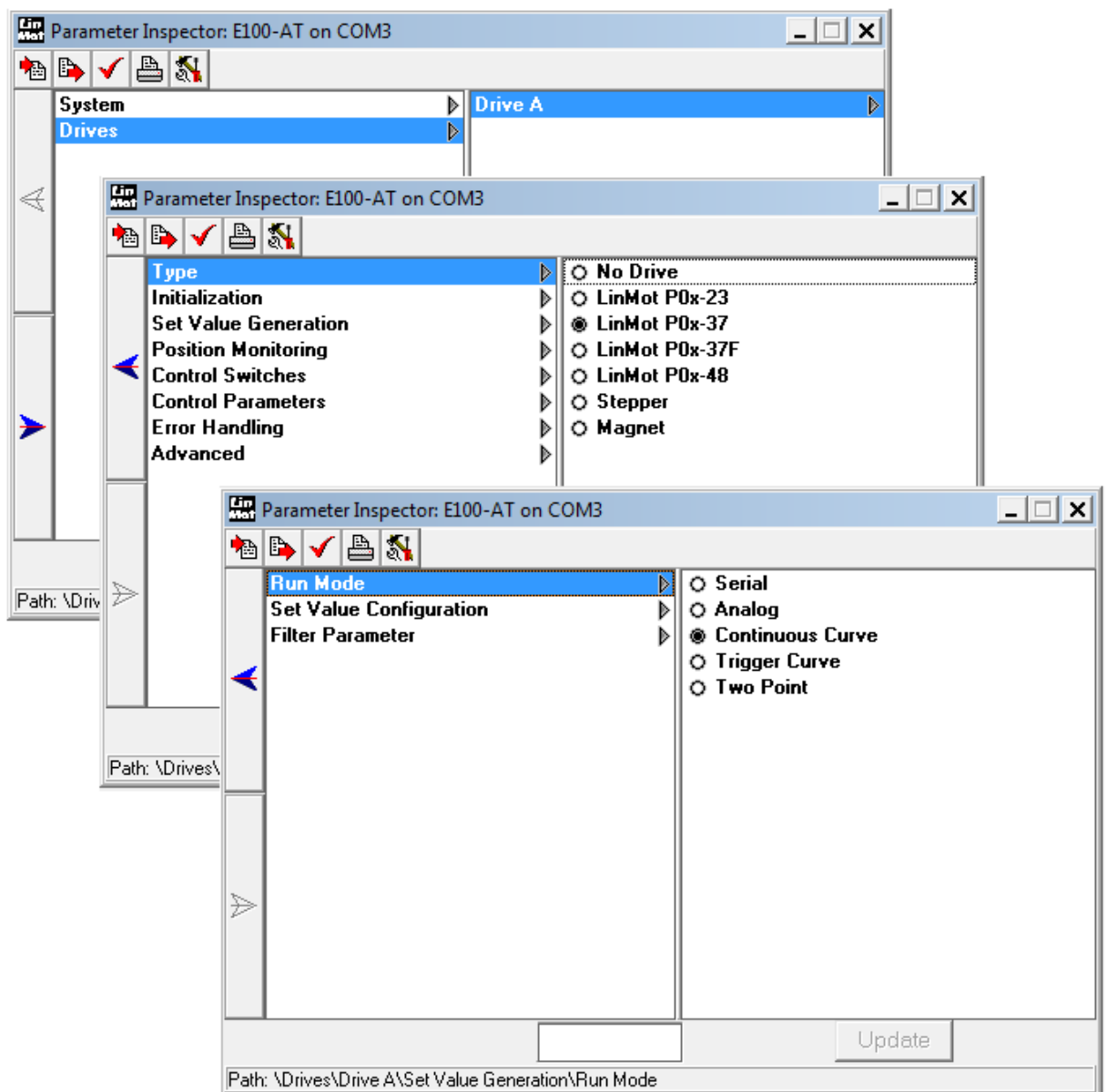
Záložka *Control* na Obr. 3.2 obsahuje panel s ovládacími tlačítky, která slouží k spouštění a zastavení činnosti motoru. Motor resp. Servokontrolér nemusí být v trvalé komunikaci s počítačem, aby vykonával pohyby určené zvoleným způsobem řízení.



OBR. 3.2 - OVLÁDÁNÍ PROVOZNÍCH STAVŮ MOTORU

3.1.2. URČENÍ ZPŮSOBU ŘÍZENÍ A OMEZUJÍCÍCH PARAMETRŮ

Po kliknutí na záložku *Para* se otevře nabídka na Obr. 3.3. Položka *System* obsahuje pro tuto práci nedůležité věci např. informace o softwaru, a proto jí nebude věnována další pozornost. V položce *Drives* je nejdříve nutné vybrat typ pohonu, servokontrolér totiž umožňuje řídit několik připojených motorů najednou. V tomto případě byl připojen pouze jeden motor pod položkou *Drive A*. Poté je třeba zvolit správný typ motoru, tedy *POx-37*.



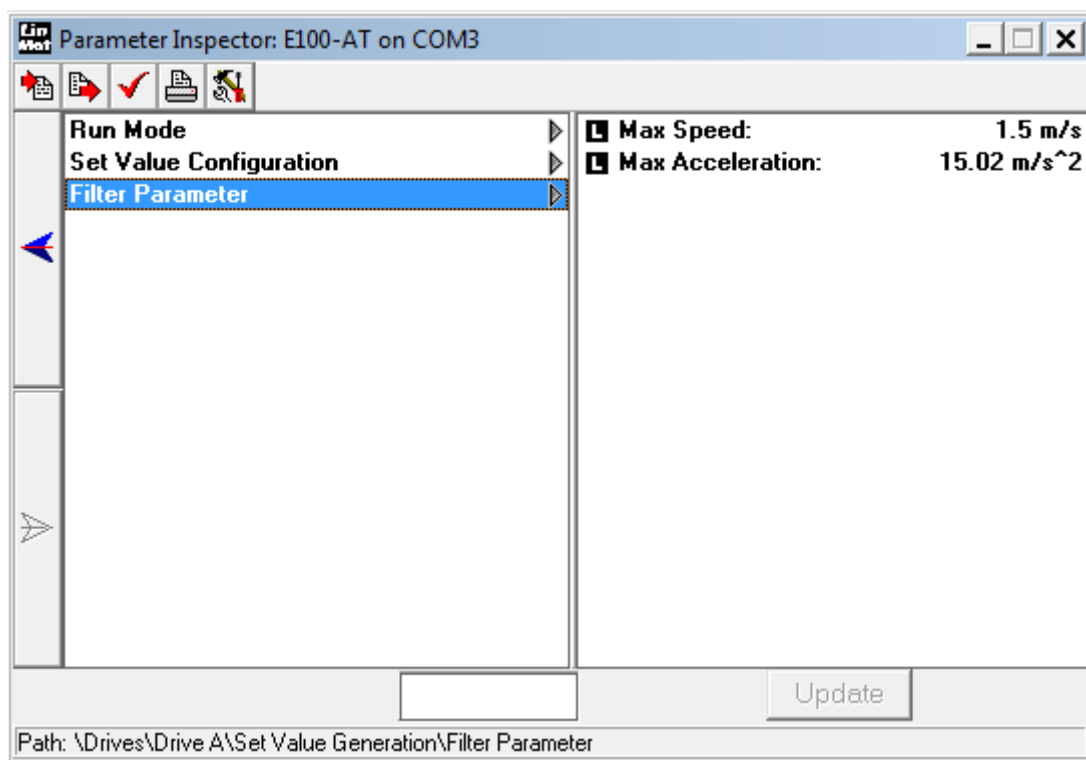
OBR. 3.3 - NABÍDKA ZÁLOŽKY PARA

Dále je třeba zvolit způsob určování polohy. Na výběr je hned z pěti možností:

- Serial
- Analog
- Continous curve
- Trigger curve
- Point to point

Serial je určování polohy přes sériovou linku. V této práci nebyl tento typ komunikace použit a nebude dále rozebírán.

Analog je způsob určování polohy, kdy na pin 1 a 2 portu *SYS2* je přiváděno napětí 0-10 V. Hodnota napětí je převáděna 10bitovým AD převodníkem servokontroléru. V této bakalářské práci je to jeden ze způsobů řízení realizovaných pomocí PLC.



OBR. 3.4 – NASTAVENÍ OMEZUJÍCÍCH PARAMETRŮ

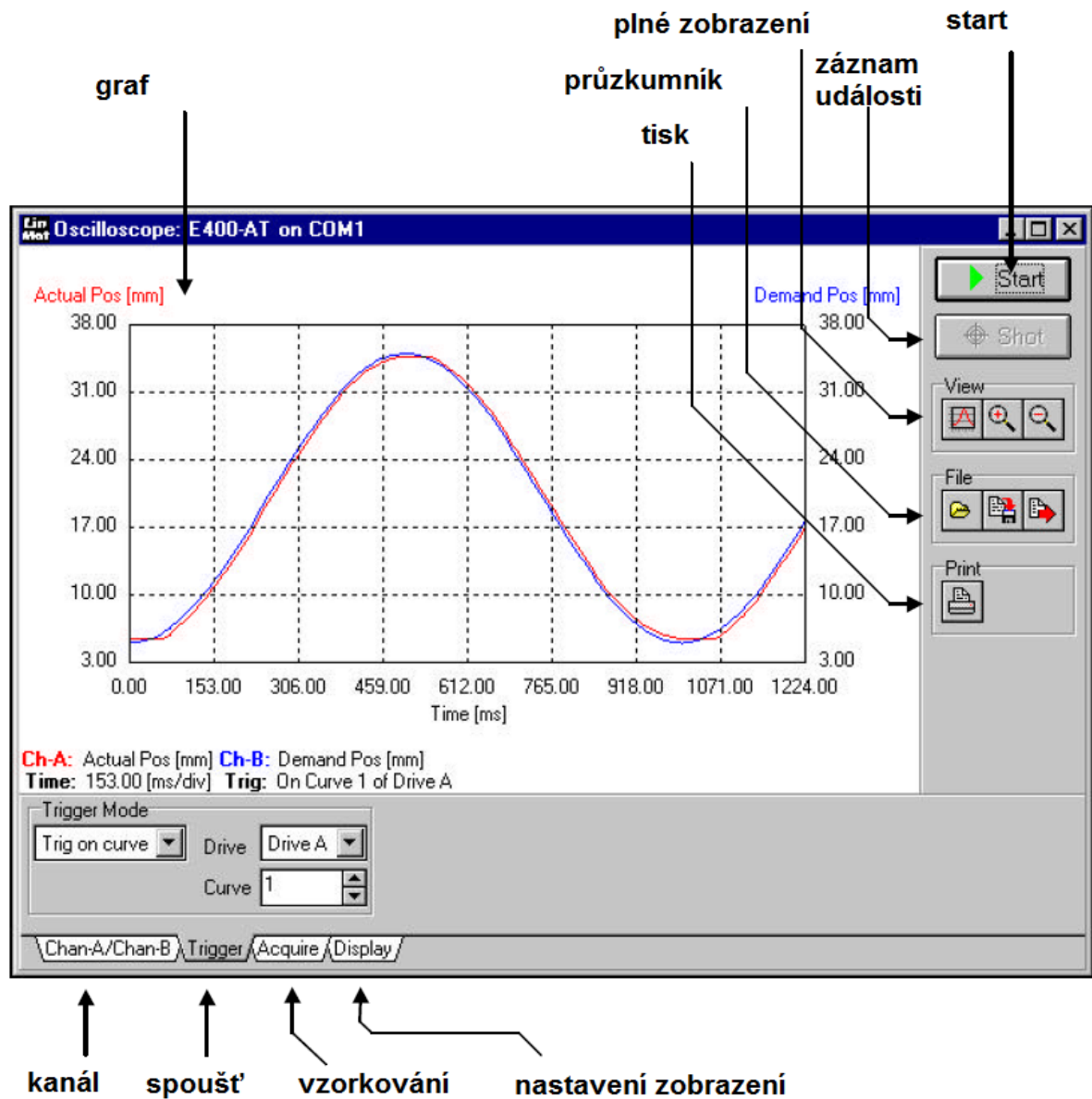
Continous curve je způsob řízení, kdy je poloha posuvné části určena souborem typu CSV buď manuálním zadáváním hodnot v prostředí LinMot Talk nebo pomocí předem připraveného CSV souboru v programu *MS Excel*.

Trigger curve je způsob řízení, kdy motor po detekci náběžné nebo sestupné hrany vnějšího logického signálu na pinech 1 a 2 vykoná pohyb definovaný CSV souborem. Jak bude ukázáno, s dostupnými prostředky pro tuto bakalářskou práci je to nejdokonalejší způsob řízení. *Two point* je způsob řízení, při kterém jezdec vykonává pohyb mezi dvěma zvolenými body. Tento způsob také nebyl využit a nebude podrobněji probrán.

Omezující parametry se nastavují v položce *Filter Parameter* na Obr. 3.4. Zde se nastavuje omezení rychlosti a zrychlení jezdce a jak je ukázáno později, lze tak odstranit některé potíže při analogovém řízení.

3.1.2. NÁSTROJ PRO MĚŘENÍ PRŮBĚHU VELIČIN

Program *LinMot Talk* v záložce *Osci* hlavního panelu obsahuje nástroj pro snímání průběhů vybraných veličin. V nabídce tohoto nástroje lze vybrat několik veličin ke sledování (poloha, rychlost, proud atd.). Lze také nastavit čas sledování, počátek snímání, nastavení zobrazení hodnot. S tímto nástrojem je možné sledovat hned dva průběhy najednou a ty lze uložit do CSV souboru. Tato možnost byla v této práci využita, proto jsou všechny naměřené průběhy graficky znázorněny pomocí *MS Excel*. Na obr je znázorněn nástroj pro sledování průběhu provozních veličin.



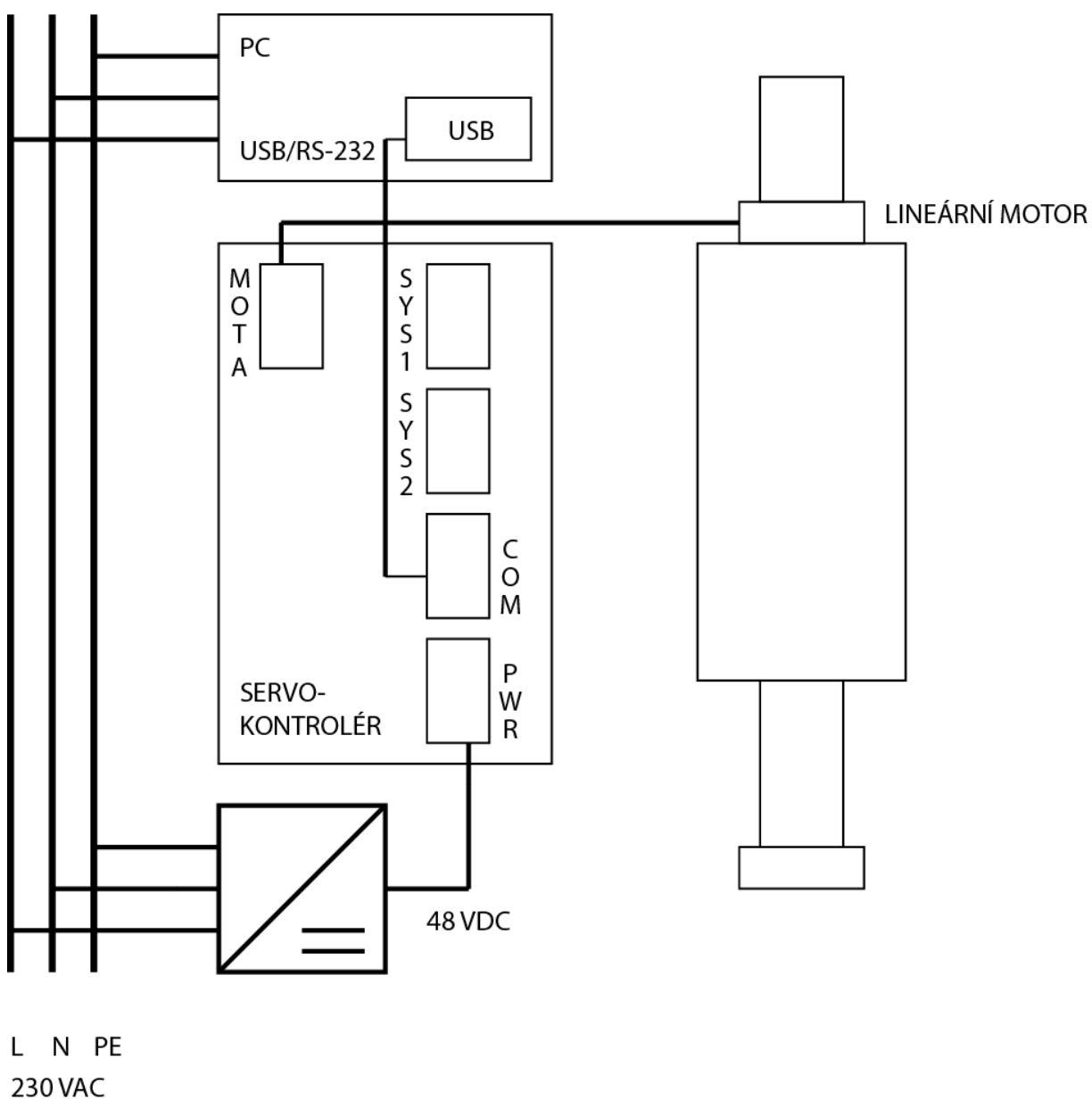
OBR. 3.5 - NÁSTROJ PRO SLEDOVÁNÍ PRŮBĚHU VELIČIN [2]

3.2. URČOVÁNÍ POLOHY POMOCÍ LINMOT TALK

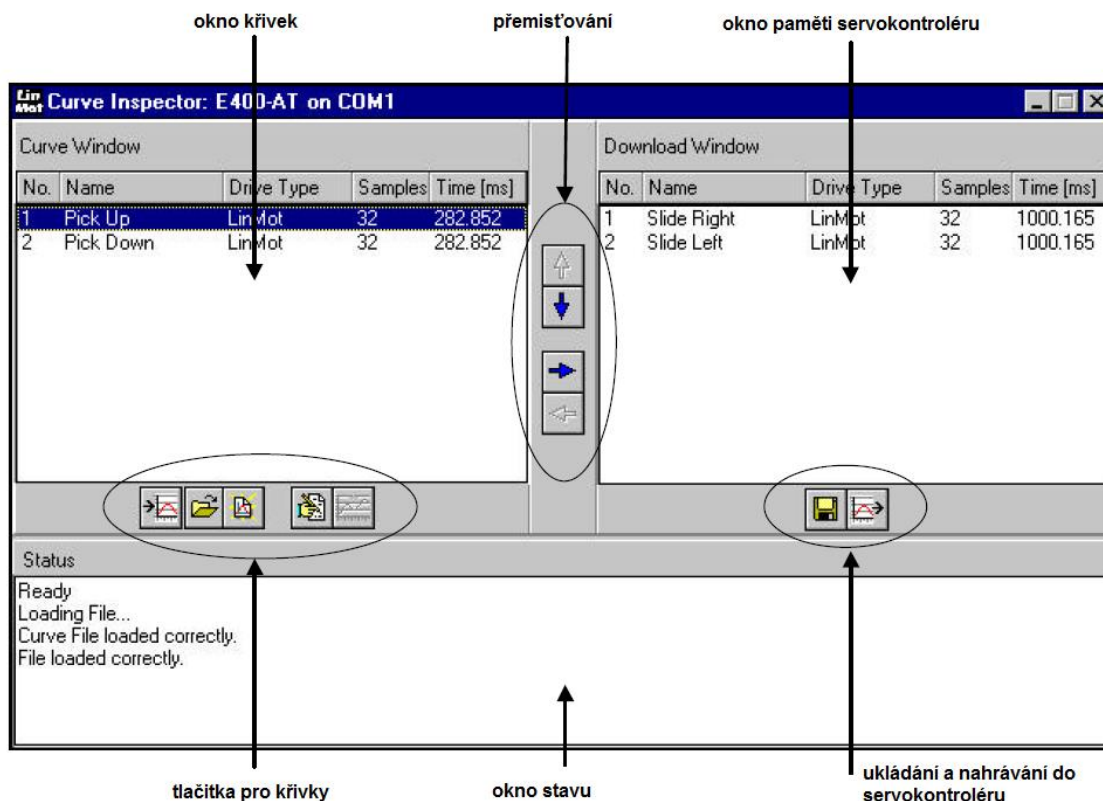
V této kapitole je vysvětleno, jak lze určit polohu jezdce pomocí programu *LinMot Talk* a hodnot zapsaných v CSV souboru. Zvolený režim řízení v položce *Run mode* je tedy *Continuous curve*.

3.2.2. BLOKOVÉ SCHÉMA ZAPOJENÍ

Blokové schéma zapojení přípravku je na Obr. 3.6. V tomto případě je servokontrolér s okolím připojen přes port *Com*. Komunikace tedy probíhá pouze mezi počítačem a servokontrolérem. Po nahrání dat a zvolení provozního stavu motoru lze počítač od servokontroléru odpojit. Motor ve zvoleném stavu zůstane, to znamená, že po odpojení od zdroje a následném připojení motor zaujme dříve zvolený stav. Je-li tento stav *Start*, začne i bez komunikace s počítačem vykonávat pohyby podle dříve nahraných dat.



OBR. 3.6 - BLOKOVÉ SCHÉMA ZAPOJENÍ PŘI ŘÍZENÍ POMOCÍ POČÍTAČE



OBR. 3.7 – NÁSTROJ PRO SPRÁVU KŘIVEK [2]

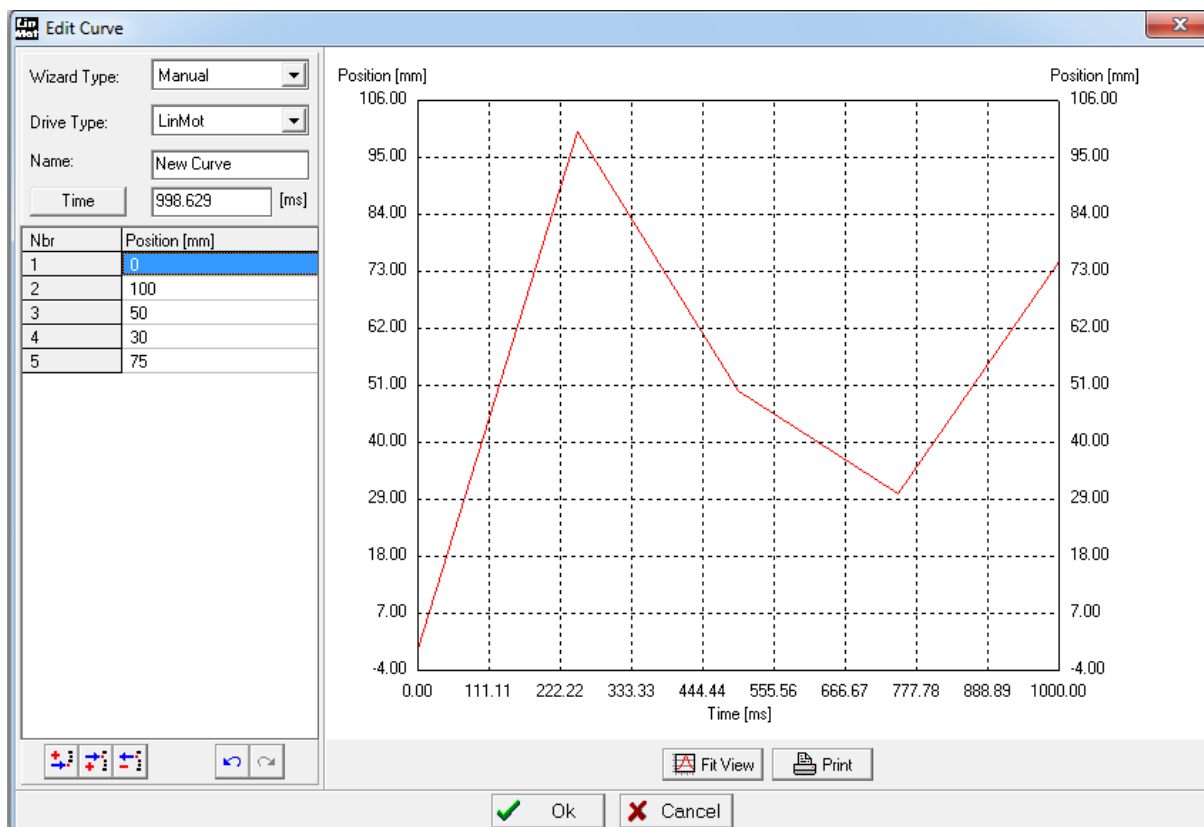
3.2.1. TVOŘENÍ KŘIVEK POMOCÍ LINMOT TALK

Trajektorii jezdce se pro tento způsob řízení nastavuje nástrojem *Curve inspector* pod záložkou *Curve* hlavní nabídky, popsané v kap. 3.1. Po kliknutí na tuto záložku se otevře okno na Obr. 3.7. V tomto okně lze spravovat vytvořené časové závislosti polohy jezdce – křivky. Jde o posloupnosti hodnot vysunutí jezdce v CSV souboru. Křivky lze nahrávat z servokontroléru a lze je vytvářet nebo editovat přímo v *LinMot Talk* bez použití programů jako *MS Excel*.

Po kliknutí na tlačítko editace či vytvoření křivky se otevře editor na Obr. 3.8. Doba trvání pohybu se nastaví v kolonce *Time*. V kolonce *Name* se napíše název pro tvořenou křivku, pod kterým se uloží. V rolovacím seznamu s názvem *Wizard type* lze zvolit jeden z pěti způsobů zadávání hodnot:

- Manual
- Sine
- Limited Jerk
- Minimal Jerk

Volba *Manual* umožňuje zadávat libovolné hodnoty polohy koncového bodu posuvné části v milimetrech. Lze takto sestavit libovolnou křivku. Příklad tohoto zadávání je také na Obr. 3.8. Mezi tyto hodnoty lze vkládat další hodnoty pomocí tlačítek vlevo dole okna pro tvoření křivek. Hodnoty lze pomocí těchto tlačítek libovolně přesouvat atd.



OBR. 3.8 – MANUÁLNÍ ZADÁVÁNÍ HODNOT

Volba *Sine* umožňuje vytvořit část křivky sinus pro určené koncové body. Program podle zvoleného času dopočítá zbytek této křivky.

Volba *Limited Jerk* je podobná volbě *Sine*. Jde o další tvoření křivky mezi dvěma zvolenými body. V tomto případě však volíte omezení pro zrychlování a zpomalování posuvné části zadáváním hodnot v ms^{-2} . Lze tak snížit záškuby při změnách rychlosti.

Volba *Minimal Jerk* se od *Limited Jerk* liší v tom, že program sám určí neoptimálnější hodnotu zrychlení a zpomalování posuvné části.

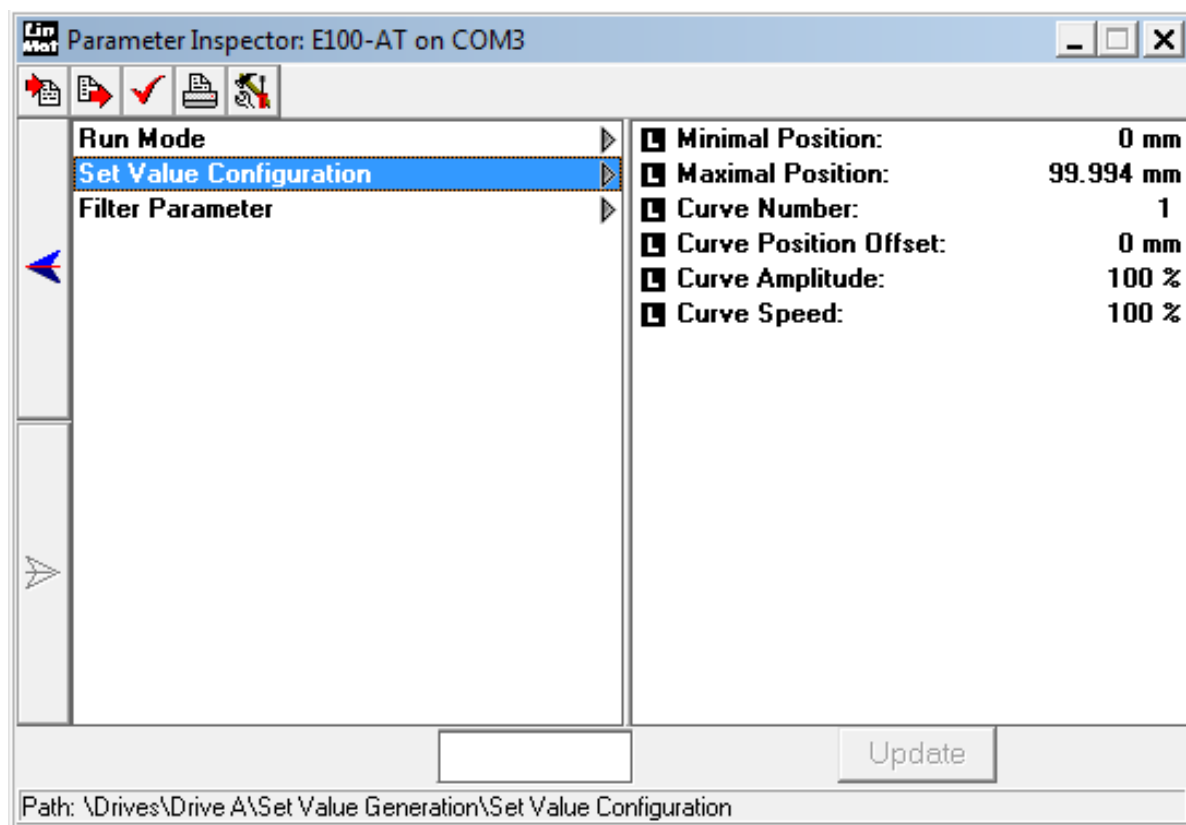
	A	B	C	D
1	\$CURVE,Sine			
2	\$TYPE,LinMot			
3	\$TIME,2000			
4	\$UNIT,SingleStep, 1 Step = 0.01953 [mm]			
5	0			
6	500			
7	1000			
8	\$END			

OBR. 3.9 - VZOR KŘIVKY V MS EXCEL

3.2.2. TVOŘENÍ KŘIVEK V MS EXCEL

Pro pohodlnější určování polohy jezdce je třeba vytvořit křivku v *MS Excel* v souboru typu CSV ve formátu znázorněném v příkladu na Obr. 3.9. Na prvním řádku je název křivky, který bude viditelný v okně *Curve inspector*. Na druhém řádku je typ motoru. Třetí řádek obsahuje celkovou dobu trvání pohybu v milisekundách. Čtvrtý řádek obsahuje informaci o rozlišení zadávaných hodnot

v milimetrech. Vynásobením hodnot v řádcích 5, 6 a 7 tímto rozlišením získáme hodnotu vysunutí posuvné části motoru. Těchto řádků může být libovolné množství, avšak posloupnost těchto hodnot musí být vždy zakončena *\$END*.



OBR. 3.10 – ZADÁVÁNÍ DODATEČNÝCH PARAMETRŮ

Po vytvoření lze křivku vložit do okna *Curve Inspector* a křivku nahrát do servokontroléru

3.2.3. DODATEČNÉ PARAMETRY

V záložce *Set value configuration* na Obr. 3.10 lze nastavit doplňující parametry pro tento druh řízení. Vliv maximální pozice bude předveden v kap 3.2.4. *Curve number* je číslo křivky, podle které se jezdec pohybuje. Lze tak do servokontroléru nahrát hned několik křivek a přepínat mezi nimi bez dalšího nahrávání. *Curve position offset* k hodnotám vysunutí přičte určenou konstantu. *Curve amplitude* a *Curve speed* pouze mění velikost maximální hodnoty polohy a rychlosti pohybu.

3.2.4. REALIZACE ŘÍZENÍ LINEÁRNÍHO MOTORU POMOCÍ CVS SOUBORU

Pro realizaci řízení byly připraveny dvě křivky. První z nich je popsána rov. 3.1.

$$25(1 - \cos(\pi t)) \quad [mm; s] \quad 3.1$$



OBR. 3.11 – GRAF PRŮBĚHU POZICE JEZDCE

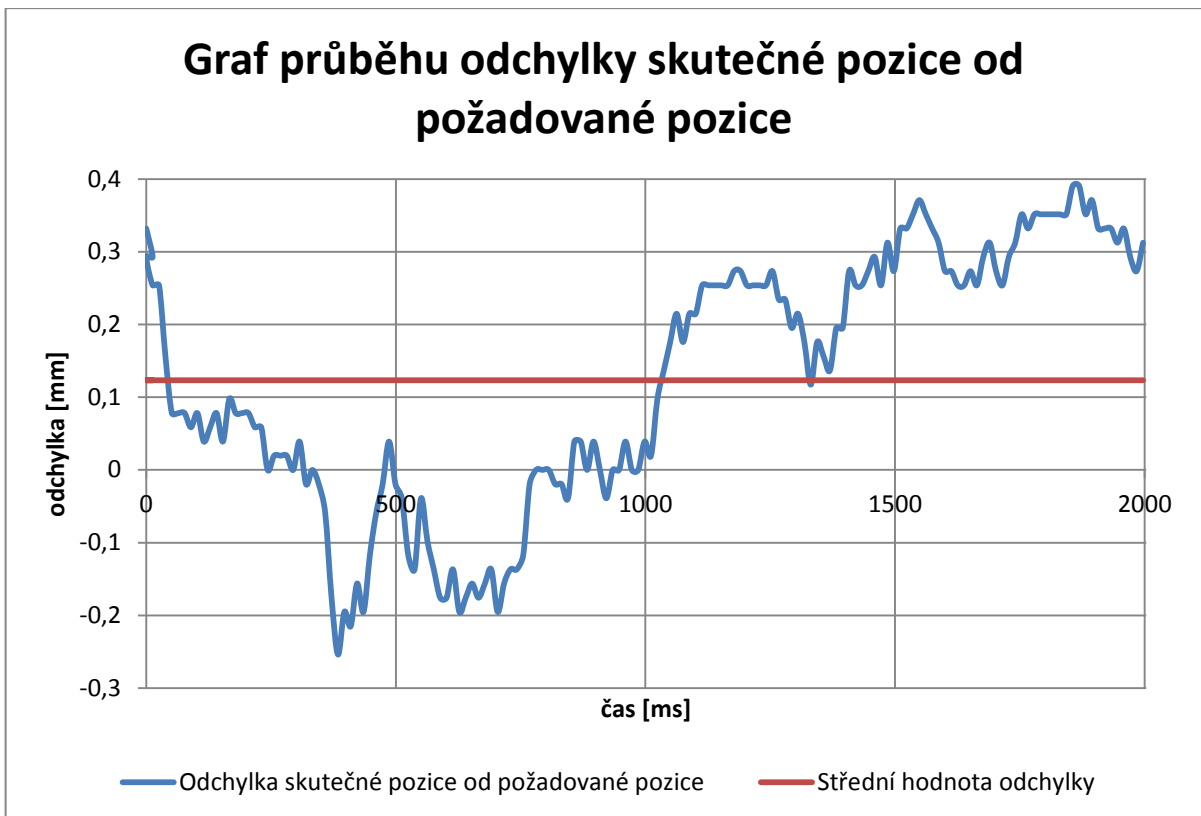
Celý pohyb trvá 2 sekundy a koncový bod se shoduje s počátečním. Pohyb se tedy od kliknutí na tlačítko *Start* na *Control* panelu bude cyklicky opakovat. Omezující parametry byly nastaveny tak, že tento pohyb nijak nelimitují. Na Obr. 3.11 je graf požadované a skutečné pozice. Na Obr. 3.12 je graf průběhu chyby definované rov. 3.2

$$chyba = skutečná\ pozice - požadovaná\ pozice \quad [mm] \quad 3.2$$

Střední hodnota chyby je téměř po celou dobu mnohonásobně vyšší, než rozlišení zadávané hodnoty polohy posuvné části jak dodává Tab. 3.1.

-	[mm]
Střední hodnota chyby	0,12332
Maximální hodnota chyby	0,3906
Rozlišení polohy	0,01953

TAB. 3.1

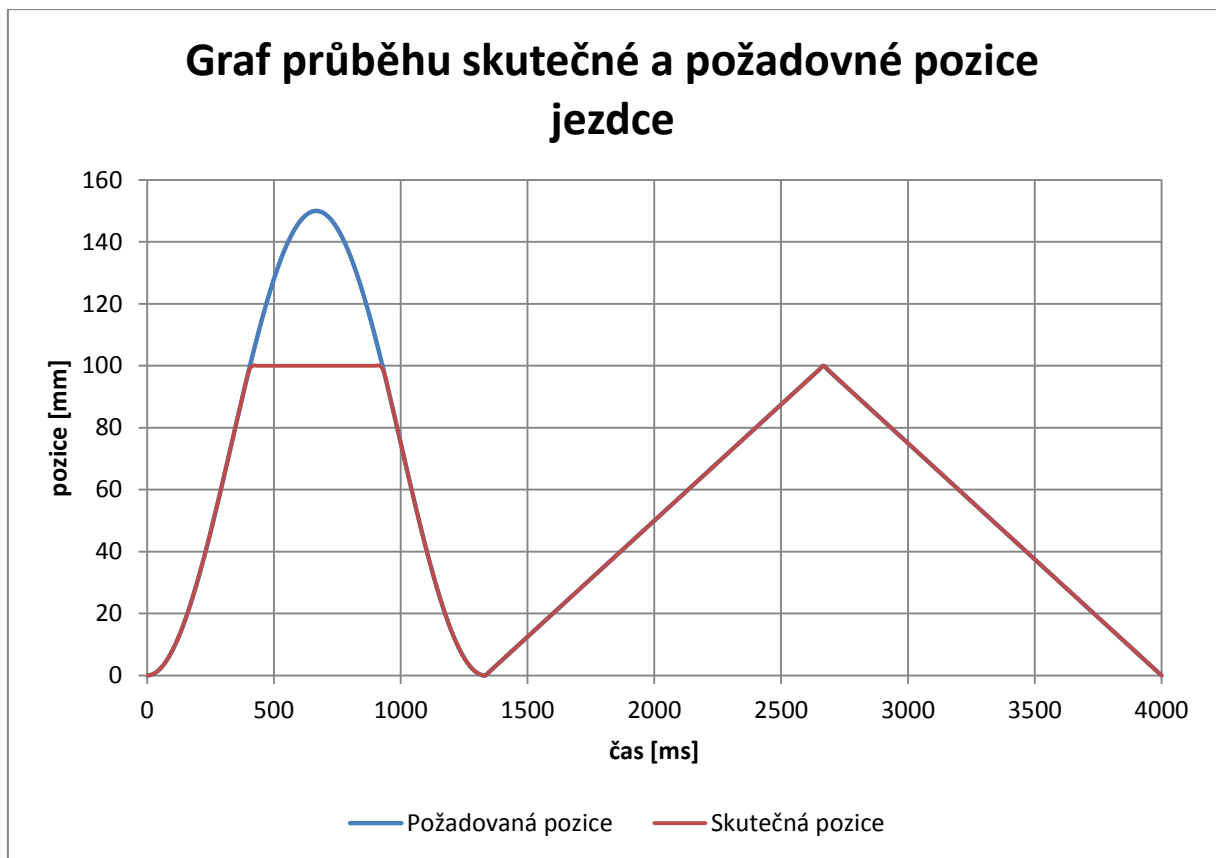


OBR. 3.12 – GRAF PRŮBĚHU ODCHYLKY SKUTEČNÉ POZICE

Druhá křivka je definovaná rov. 3.3.

$$pozice = \begin{cases} 75(1 - \cos(1,54\pi t)), & 0 \leq t < 1,3 \\ (74 \cdot 10^{-3})t, & 1,3 \leq t < 2,65 \text{ [mm; s]} \\ 100 - (74 \cdot 10^{-3})t, & 2,65 \leq t < 4 \end{cases} \quad 3.3$$

Na této křivce je demonstrován vliv nastavení omezujících parametrů a možnost skládání křivek. Vliv omezujících parametrů je vidět na obr.. Maximální hodnota vysunutí posuvné části je nastavená na 100 mm. Požadovaná pozice tuto hodnotu na okamžik překročí. Jak je vidět na Obr. 3.13, skutečná pozice koncového bodu posuvné části zvolenou hodnotu 100 mm nepřesahuje.



OBR. 3.13 – GRAF PRŮBĚHU POZICE JEZDCE

4. REALIZACE ŘÍZENÍ POMOCÍ PLC

4.1. POPIS POUŽITÉHO PLC

Pro realizaci této části bakalářské práce byl použit PLC *V130-33-RA22* od firmy *Unitronics*. Jedná se o PLC vybavené uživatelským rozhraním na Obr. 4.1 obsahující klávesnici a programovatelný displej.



OBR. 4.1 - UŽIVATELSKÉ ROZHRANÍ PLC

Vstupy a výstupy *V130-33-RA22* lze zapojit hned několika způsoby např. pro měření teploty nebo analogová měření proudu a napětí. V této bakalářské práci nebyly použity vstupy PLC v jakémkoliv zapojení. Z výstupů byly použity pouze výstupy relé a výstup napěťového digitálně-analogového převodníku.

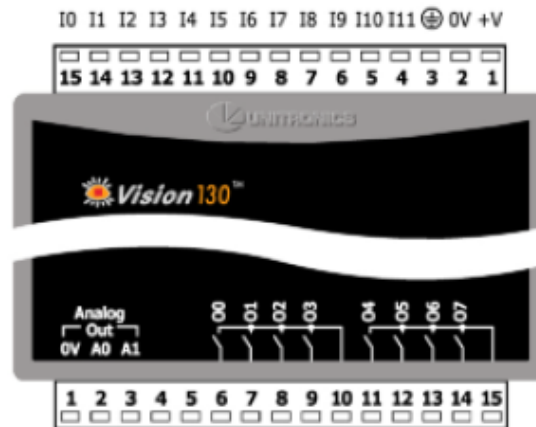
Digitální výstupy (relé)

- 8 relé ve dvou skupinách (24 VDC , 250 VAC)
- Jmenovitý proud jedním relé 3A
- Jmenovitý proud skupinou relé 8A
- 10 ms zpoždění
- 100 000 sepnutí při maximálním zatížení

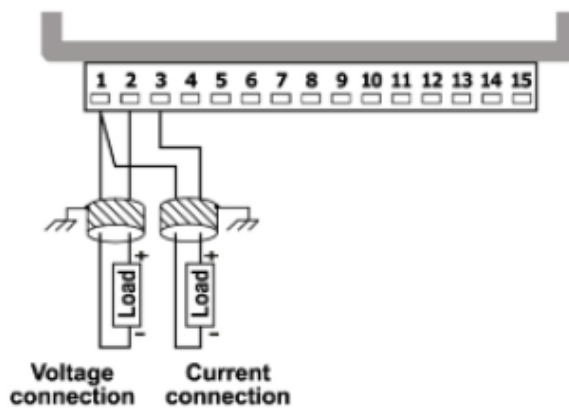
Analogový napěťový výstup (DA převodník)

- 0-10 V, 12-bit
- Minimální hodnota připojeného odporu 1k Ω

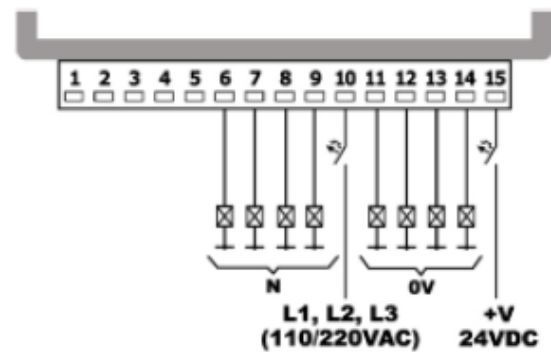
I/O Configuration



Analog Outputs



Relay Outputs

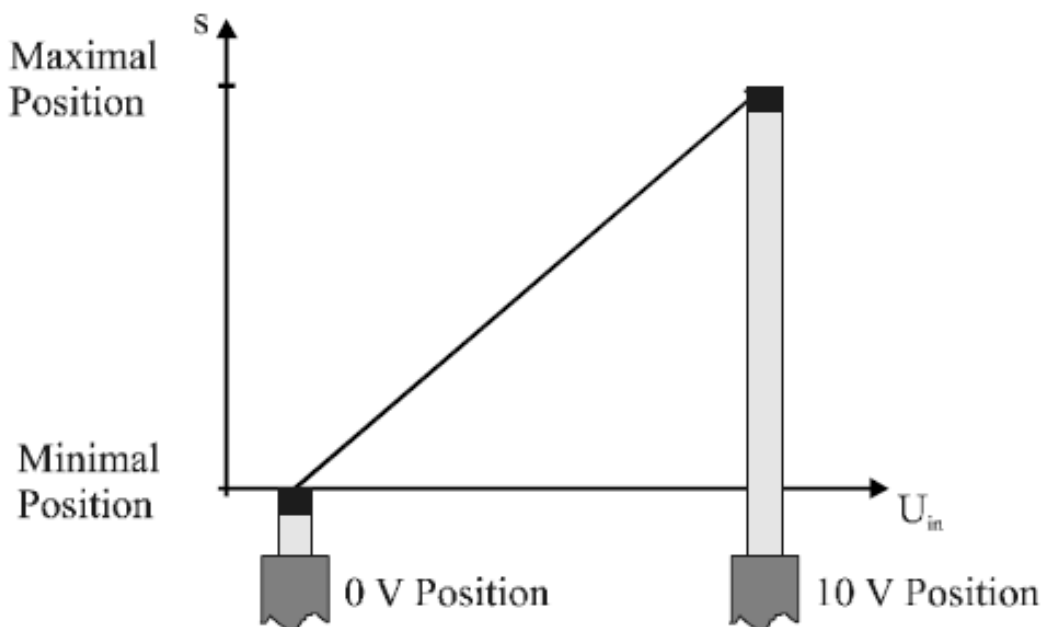


OBR. 4.2 – POUŽITÉ VÝSTUPY PLC [3]

4.2.ŘÍZENÍ MOTORU VÝSTUPNÍM NAPĚTÍM DIGITÁLNĚ ANALOGOVÉHO PŘEVODNÍKU

4.2.1. ZÁVISLOST POLOHY NA VÝSTUPNÍM NAPĚTÍ DA PŘEVODNÍKU

Napětí na výstupu digitálně analogového převodníku slouží jako signál určující polohu jezdce. V tomto případě je zvolený způsob řízení *Analog* podle kap. 3.1.2. Závislost pozice lze vidět na Obr. 4.3.



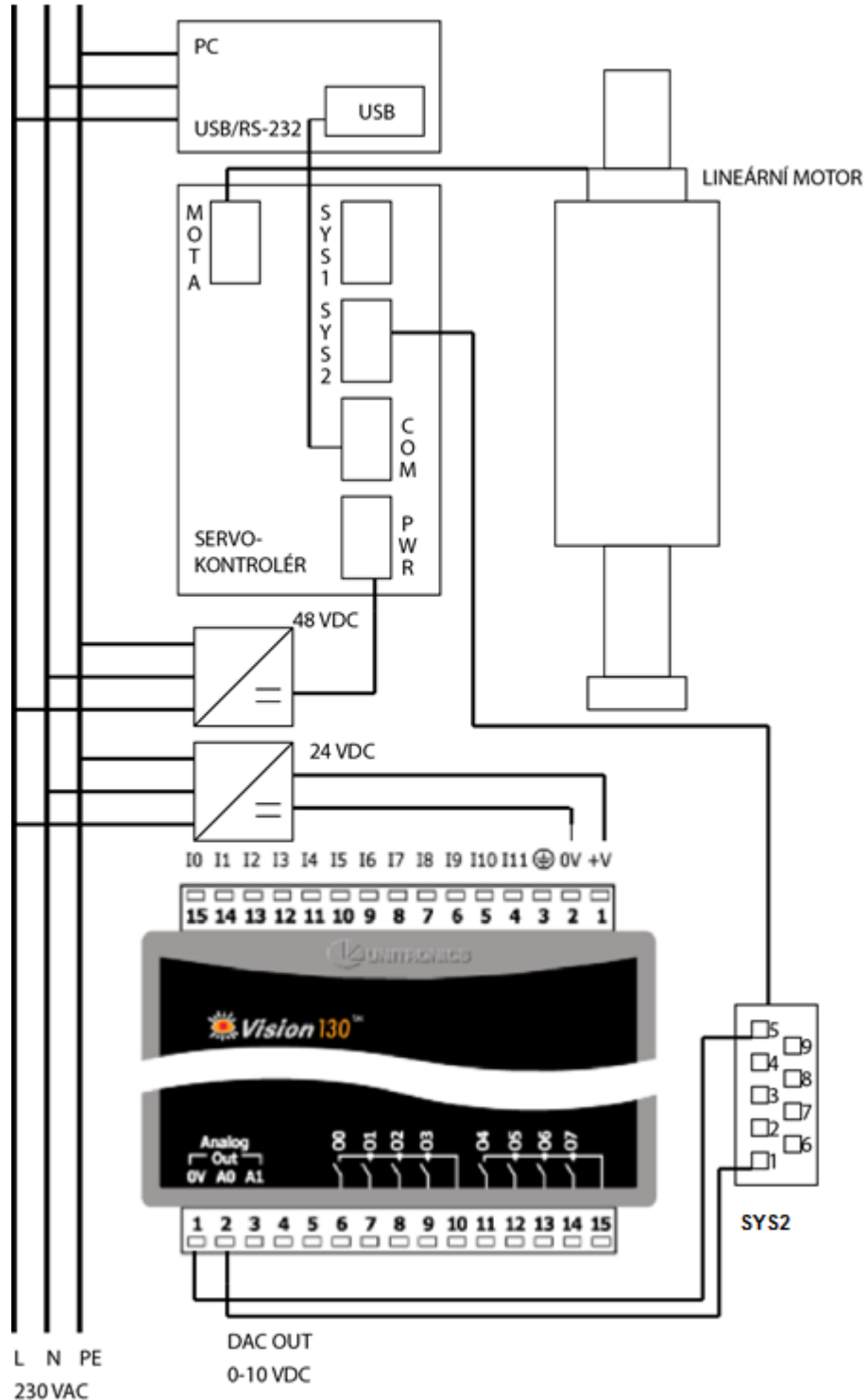
OBR. 4.3 – ZÁVISLOST POZICE JEZDCE NA NAPĚTÍ [2]

DA převodník použitého PLC převádí hodnotu 0-4095 (12-bit) na 0-10 voltů. Rozsah řízení polohy z minimální do maximální hodnoty je splněn. Problém vzniká v inkrementaci nezávislé proměnné času. Nejnižší perioda hodinového signálu, který časovač *V130-33-RA22* nabízí, je 100ms. To znamená, že dosažení plynulého pohybu jezdce bez pozorovatelného cukání vyžaduje velice nízkou rychlost jezdce. Dynamika pohybu je tedy značně omezena.

Použité PLC také neumožňuje načítání jakýchkoliv hodnot bez zásahů do algoritmu programu (SD karty apod.). Nelze tedy vytvořit uživatelsky pohodlný přípravek, který by se v režimu *Analog* blížil způsobu řízení *Curve* podle kap. 3.2. Změny výstupního napětí digitálně analogového převodníku jsou v této práci realizovány jednotkovými skoky. Omezení záškubů posuvné části bude provedeno nastavením maximální rychlosti a zrychlením podle kap. 3.1.2.

4.2.2. BLOKOVÉ SCHÉMA ZAPOJENÍ SERVOKONTROLÉRU A PLC

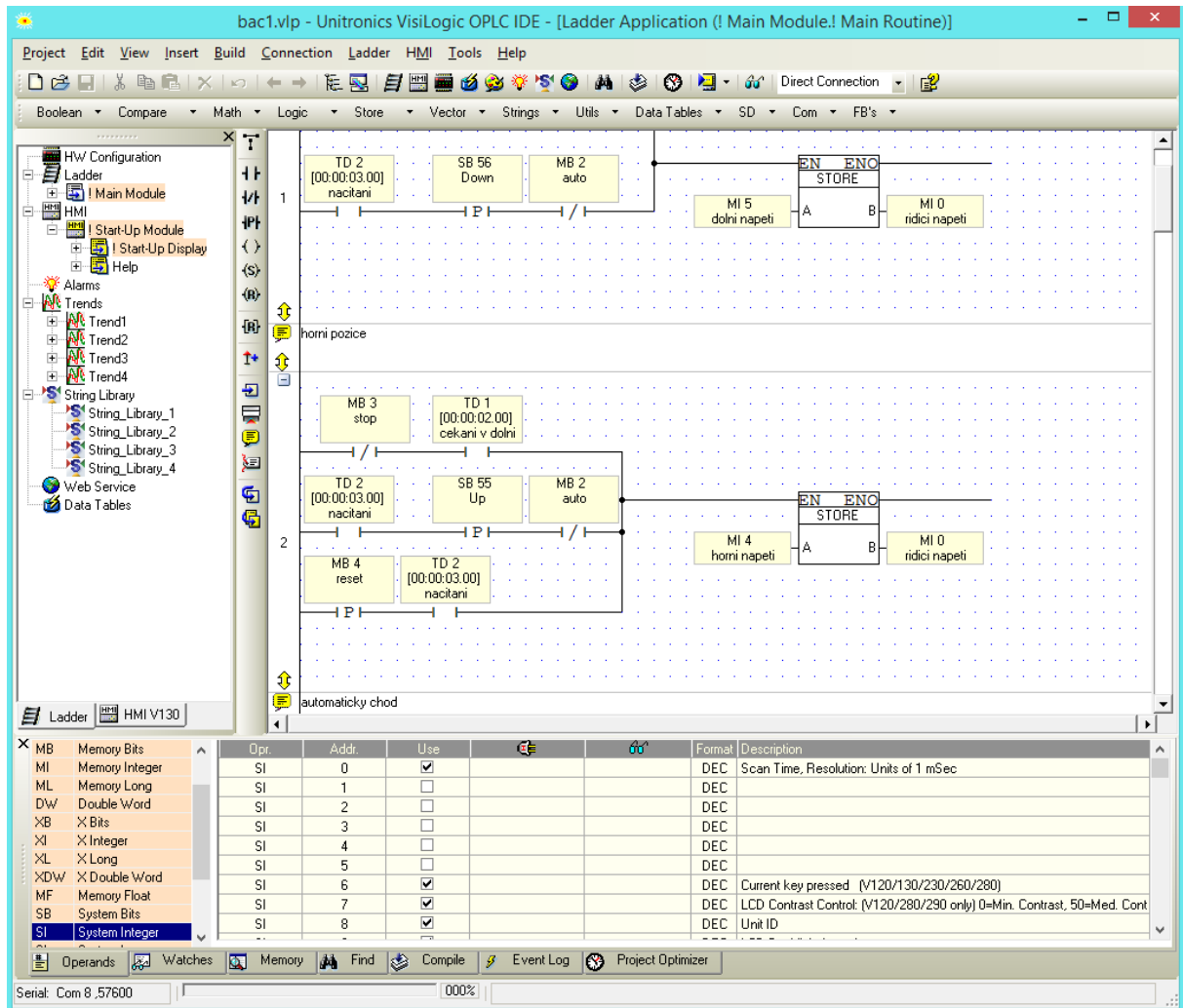
V blokovém schématu z Obr. 3.6 přibyl zdroj stejnosměrného napětí 24 V pro PLC připojený na vstupy 0 a 1. Výstup DA převodníku napětí je připojen na piny 1 a 5 SYS2 portu.



OBR. 4.4 - BLOKOVÉ SCHÉMA ZAPOJENÍ PLC A SERVOKONTROLÉRU

4.2.3. POPIS PROSTŘEDÍ PROGRAMU VISILOGIC

Řídicí algoritmy pro automaty od firmy *Unitronix* lze vytvořit v programu *Visilogic*. *Visilogic* dovoluje PLC kromě logických a matematických operací pracovat s SD kartami, SIM kartami, programovat uživatelské rozhraní apod. Prostředí programu *Visilogic* je zobrazeno na Obr. 4.5.



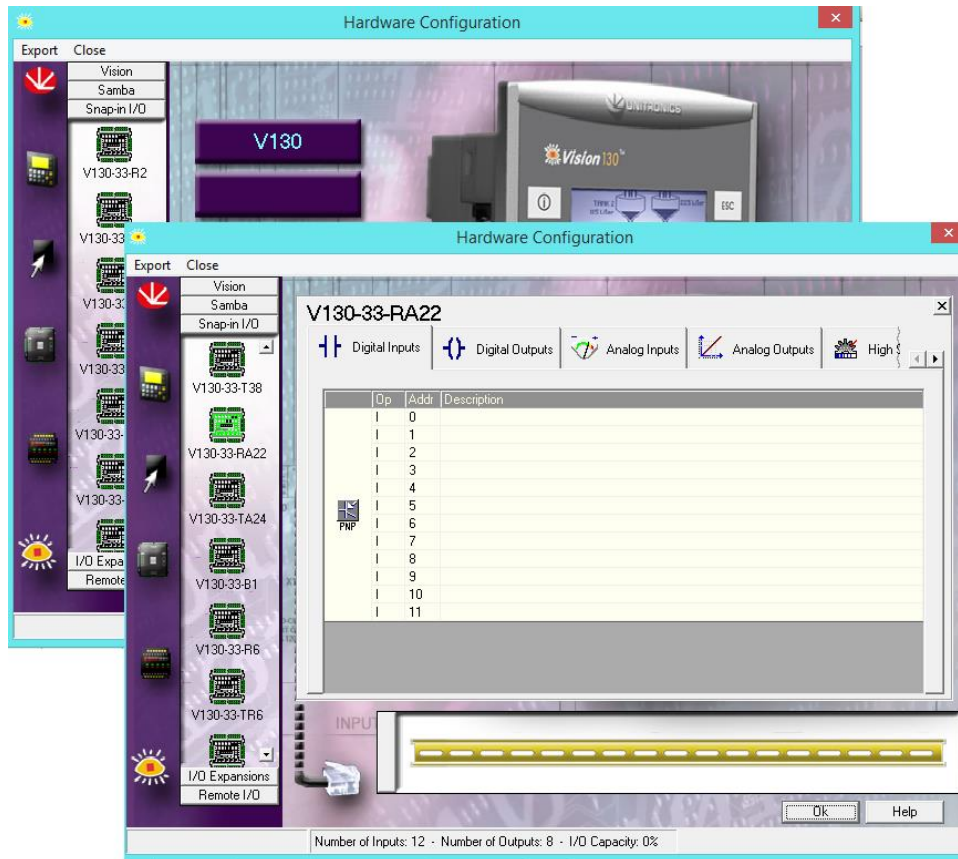
OBR. 4.5 – PROSTŘEDÍ PROGRAMU VISILOGIC

Práce se softwarem *Visilogic* je velice rozsáhlá a je detailně popsána v (literatura), postup vytvoření řídicího programu je následující:

Nový projekt > Výběr typu PLC > Vytvoření programu > Debug a download > Test

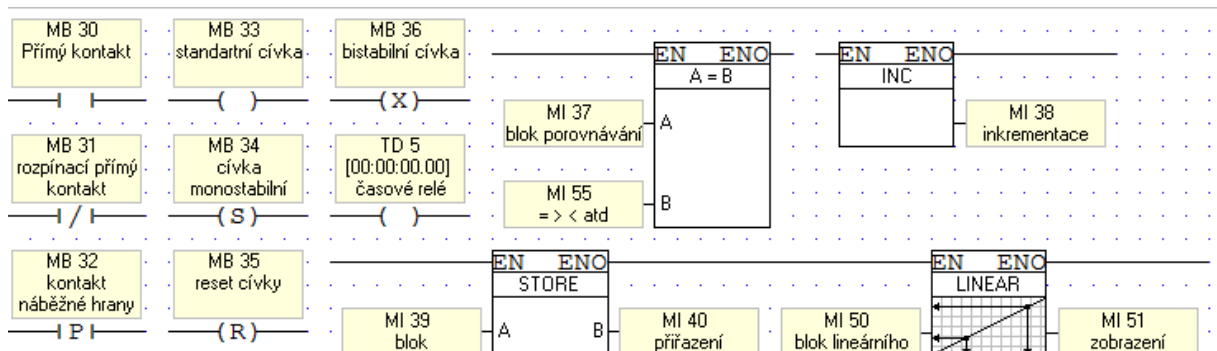
4.2.4. PROGRAM PRO ŘÍZENÍ MOTORU NAPĚTÍM DA PŘEVODNÍKU

Pro vytvoření nového programu je třeba zvolit *New* v záložce *Project*. Otevře se okno na Obr. 4.6. V něm je třeba vybrat typ PLC, v tomto případě *V130-33-RA22*. Pak lze přiřadit čísla a popis pro jednotlivé vstupy a výstupy. Není to nutné, lze to nastavit kdykoliv během vytváření programu nebo určování operandů.



OBR. 4.6 – VOLBA KONFIGURACE PLC

Ve složce *Ladder* v prostředí na Obr. 4.5 lze přidávat jednotlivá žebříčková schémata ovládacího programu. Program v této bakalářské práci není tak složitý, bude tedy vytvořeno pouze jedno žebříčkové schéma. Funkčních bloků, které lze v žebříčkovém schématu použít, je spousta a jsou popsány v [4]. Na Obr. 4.7 je popis použitých bloků v této práci.

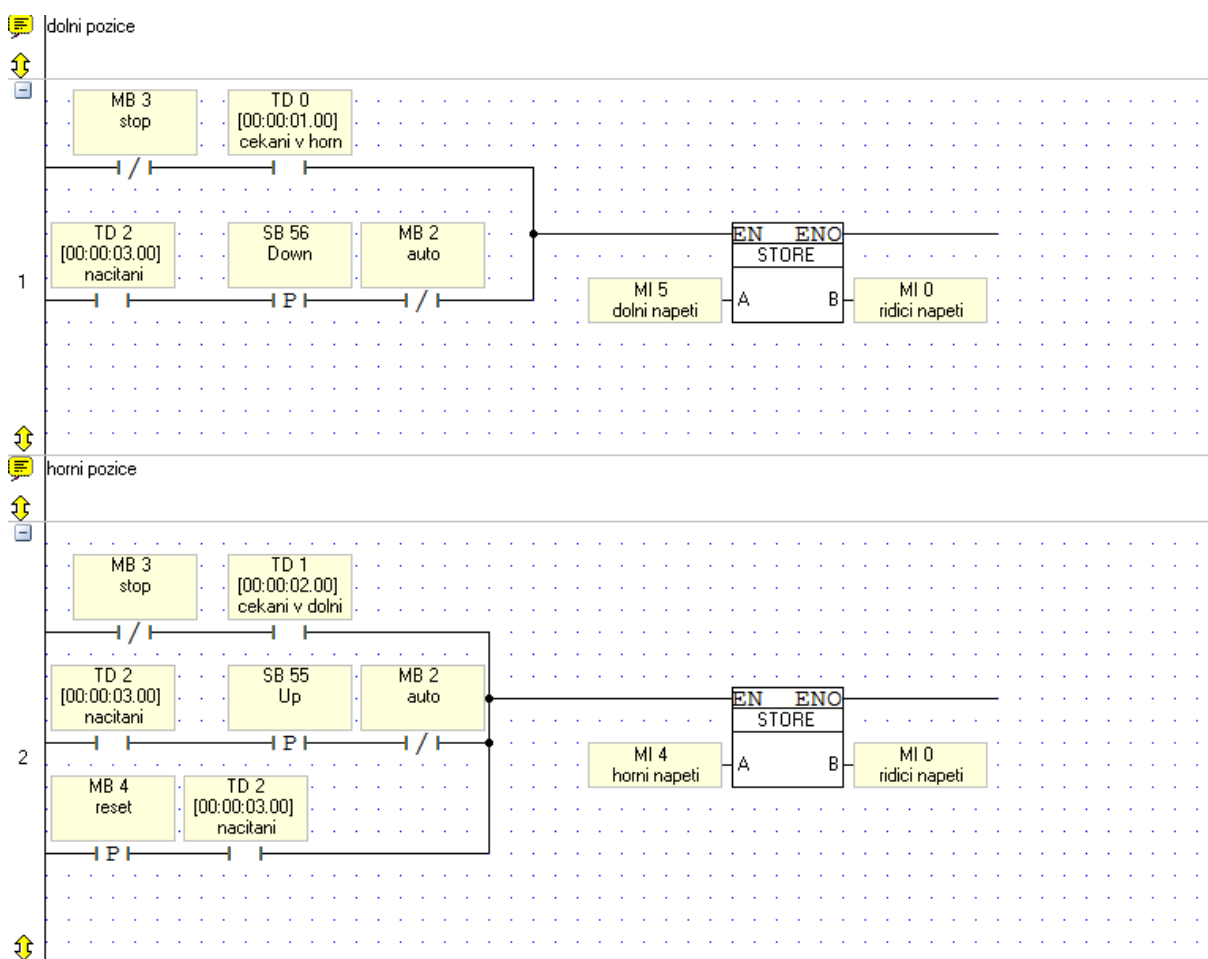


OBR. 4.7 - POPIS POUŽITÝCH FUNKČNÍCH BLOKŮ

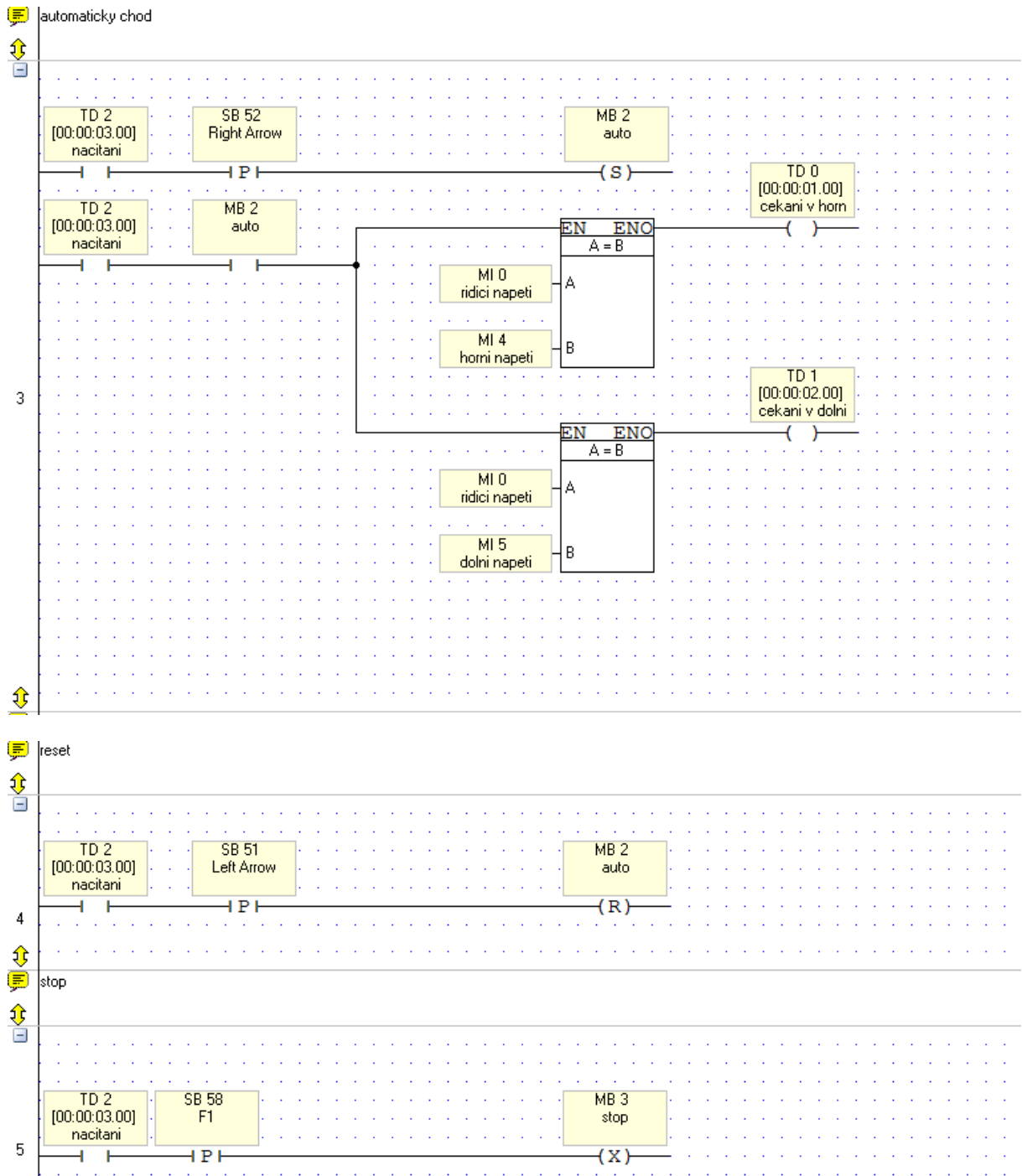
Zadání pro realizaci řízení pomocí PLC bylo simulovat činnost razítkovacího automatu. Pomocí uživatelského rozhraní bude možné uvést lineární motor do následujících provozních stavů:

- Vysunutí do definované maximální hodnoty
- Vysunutí do definované maximální hodnoty
- Automatický chod mezi maximální a minimální hodnotou s definovanou dobou setrvání v dané pozici
- Pozastavení automatického chodu
- Návrat do výchozí pozice s minimálním vysunutím a resetováním automatického chodu

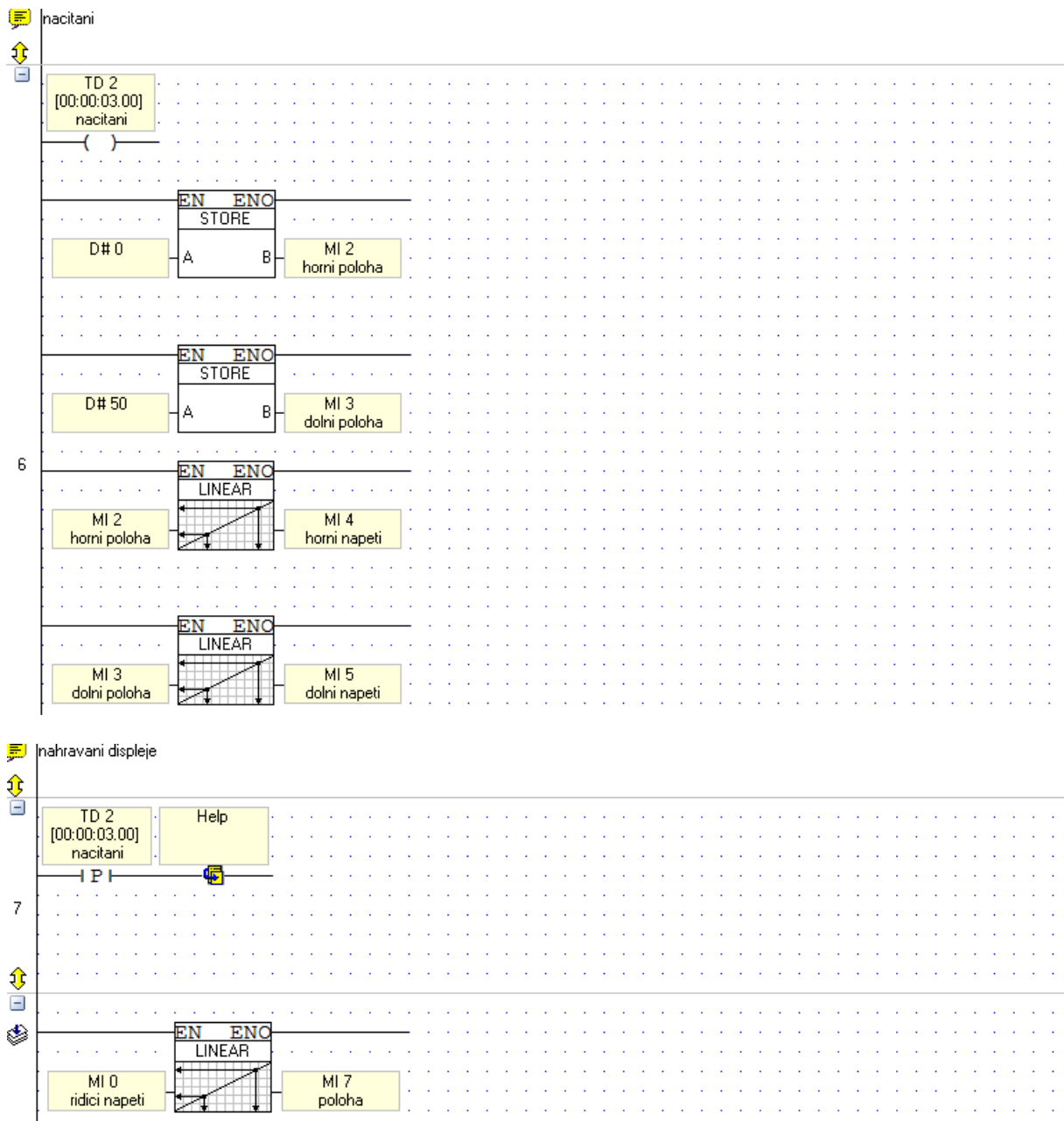
Všechny tyto stavy zajišťuje schéma na Obr. 4.8 – 4.10.



OBR. 4.8 - SCHÉMA ŘÍDÍČÍHO PROGRAMU ČÁST 1.



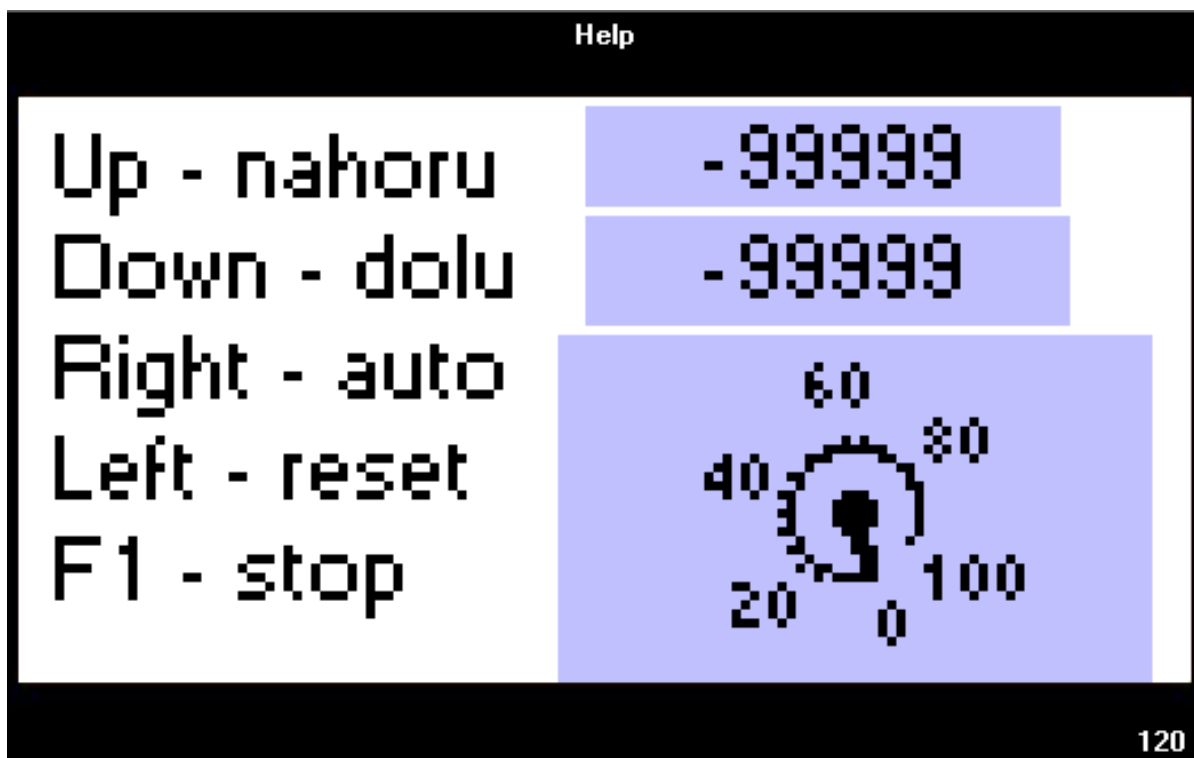
OBR. 4.9 - SCHÉMA ŘÍDÍCÍHO PROGRAMU ČÁST 2.



OBR. 4.10 - SCHÉMA ŘÍDÍČÍHO PROGRAMU ČÁST 3.

Oddíl označený *Dolní pozice* zajišťuje vysunutí do zadané maximální hodnoty. Oddíl je označený jako dolní pozice proto, že je motor umístěn vertikálně jezdcem dolů. Vysunutí do zadané maximální hodnoty lze docílit stisknutím *tlačítka Dolů* na klávesnici PLC po načtení všech zadaných hodnot, pokud není razítkovací automat v automatickém chodu. Přejechod do maximálního vysunutí také blokuje logická proměnná *MB 3*, který je v hodnotě logické jedné, pokud je automatický chod pozastaven.

Oddíl *Horní pozice* je funkčně stejný jako předchozí oddíl. Výjimku tvoří uvedení do minimální hodnoty vysunutí přes logickou proměnnou *MB 4*, která motor resetuje.



OBR. 4.11 - DISPEJ ZOBRAZUJÍCÍ AKTUÁLNÍ POZICI JEZDCE A NÁPOVĚDU

Oddíl *Automatický chod* schématu lze uvést do provozu stisknutím pravé šipky na klávesnici PLC. Tato část schématu střídavě spíná části výše popsané. V momentě, kdy je posuvná část v minimální nebo maximální pozici, tato část schématu zajistí přechod do opačné pozice s nastaveným časovým zpožděním.

Oddíl *Reset* po stisknutí levé šipky na klávesnici nastaví logickou hodnotu *MB3* auto na logickou nulu a tím automatický chod vypne. Také uvede posuvnou část do minimální pozice.

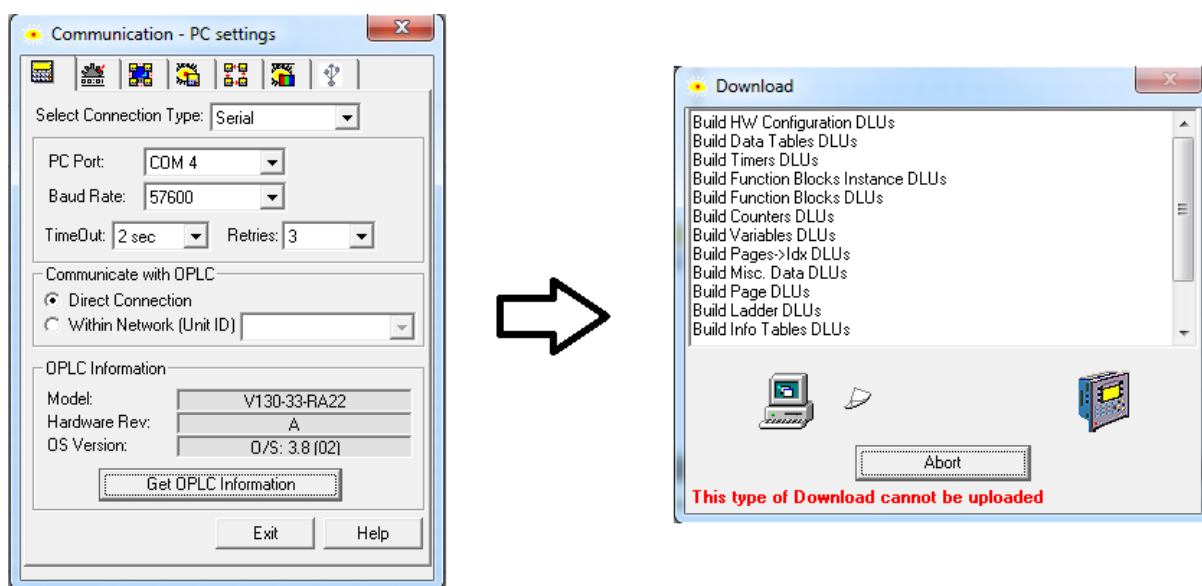
Oddíl *Stop* pozastaví automatický chod. Po stisknutí tlačítka *F1* dojde k blokování funkce prvních dvou oddílů. Opětovným stisknutím tlačítka *F1* se automatický chod uvede opět do provozu.

Oddíl *Načítání* zajišťuje hned několik funkcí. Logická proměnná *TD 2* zajišťuje blokování všech výše popsaných oddílů na zvolenou dobu po spuštění PLC. Dále do proměnných načte hodnoty poloh zvolené uživatelem. Pomocí linearizačních bloků se převedou hodnoty minimálního a maximálního vysunutí na hodnotu 0-4095 a uloží do proměnných *MI 4* a *MI 5*.

Oddíl *Nahrávání displeje* načítá displej s nápovědou pro ovládání a se zobrazením aktuální polohy posuvné části. Je zde i blok linearizace, který převádí aktuální řídicí napětí na výstupu DA převodníku na skutečnou polohu. Tento údaj je zobrazen na displeji na Obr. 4.11.

4.2.5. NAHRÁNÍ PROGRAMU DO PLC

Po dokončení žebříčkového schématu je třeba nahrát ho do PLC. Je dobré program nejdříve kompilovat volbou v záložce *Build* -> *Compile*. Poté je třeba nastavit komunikaci s PLC pomocí *Connection* -> *Communication & OS*. Zde je třeba nastavit správný komunikační port mezi PC a PLC. Poté stačí zvolit *Download* a program se do PLC nahraje podle Obr. 4.12. Lze také na schématu provést *Online test*, což je jakýsi debugg programu. V této práci však bylo pro účely ladění úlohy zvoleno zobrazení hodnot na displej PLC.



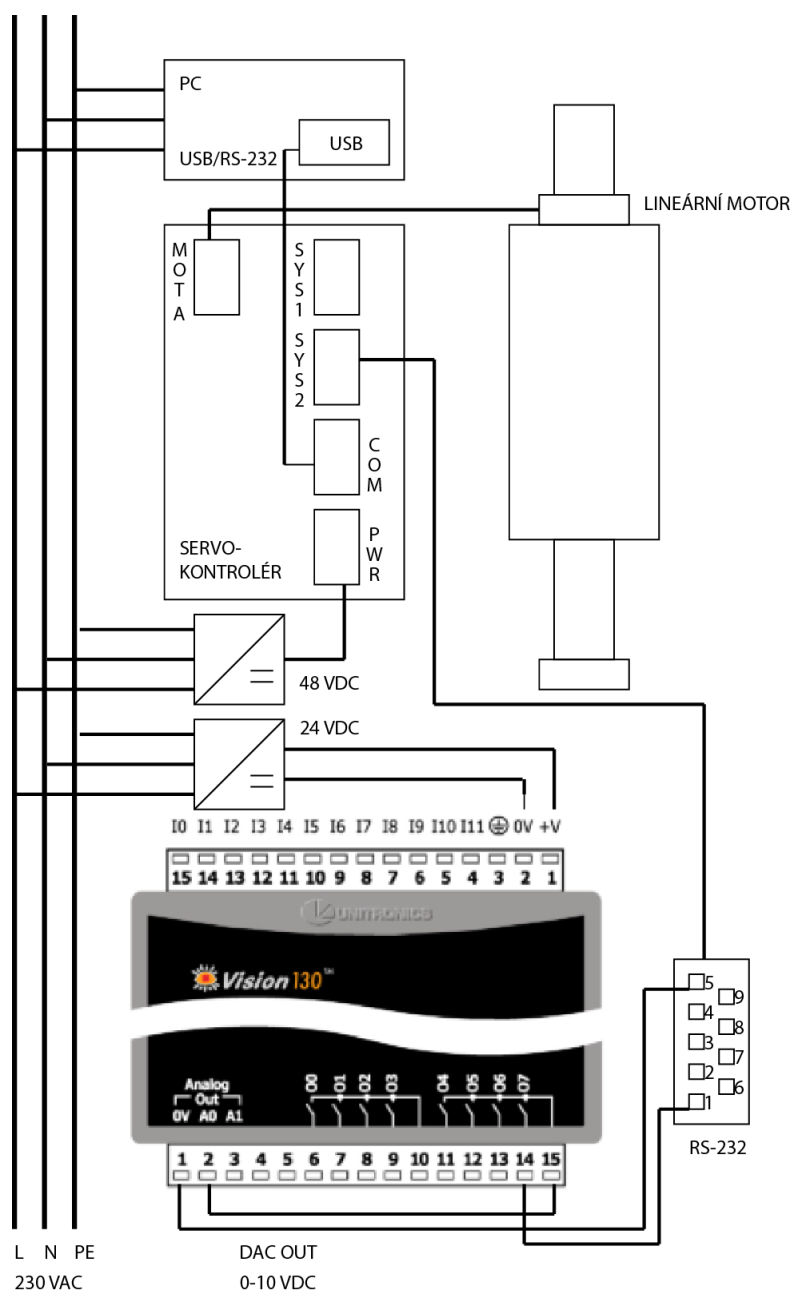
OBR. 4.12 - NAHRÁVÁNÍ PROGRAMU DO PLC

4.3. REALIZACE ŘÍZENÍ POMOCÍ RELÉ

Tento způsob řízení kombinuje výhody přívětivého uživatelského rozhraní PLC a přesnosti digitálního řízení pomocí hodnot pozice posuvné části nadefinovaných v *MS Excel*.

4.3.1. BLOKOVÉ SCHÉMA ZAPOJENÍ

Schéma zapojení je na Obr. 4.13. Oproti předchozímu případu je pin 1 portu *SYS2* připojen na relé *07*. Relé v této skupině jsou určeny pro externí zdroj 0-24 V. Logické úrovně digitálního vstupního signálu jsou určeny TTL logikou, lze tedy jako zdroj napětí využít výstup DA převodníku, který je zapojen na svorku PLC č. 15 a pin 5 portu *SYS*, který slouží jako záporný pól digitálního signálu.



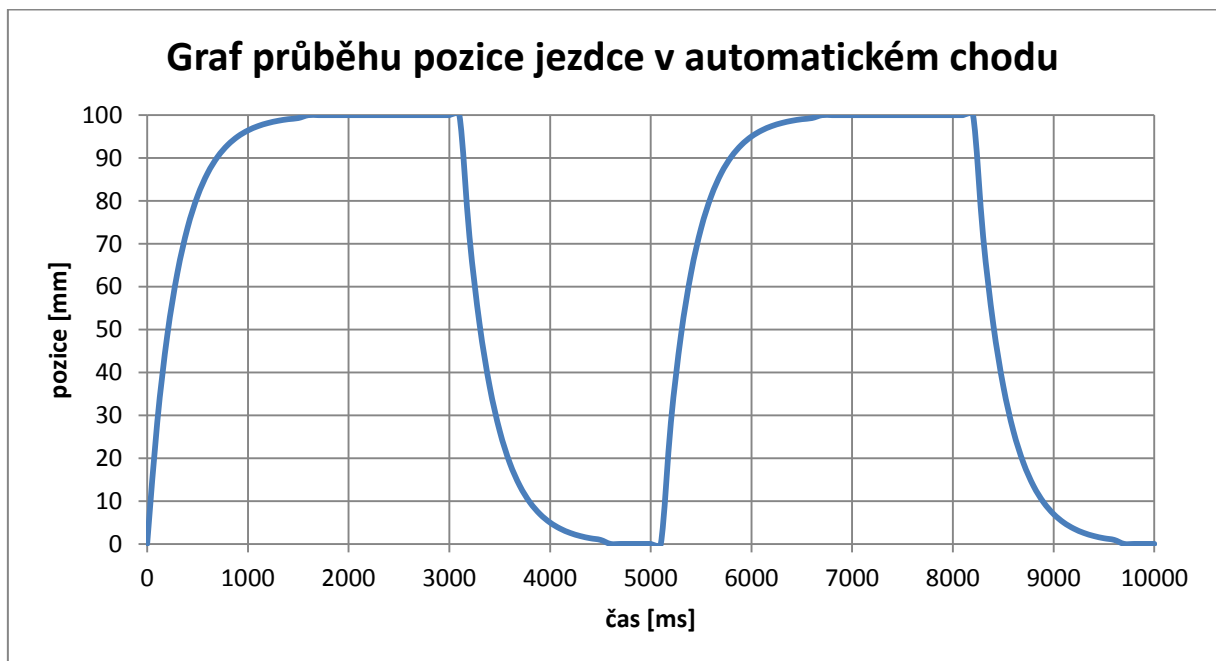
OBR. 4.13 - BLOKOVÉ SCHÉMA ZAPOJENÍ ŘÍZENÍ POMOCÍ RELÉ

4.3.2. URČENÍ TRAJEKTORIE POSUVNÉ ČÁSTI

Průběh pozice jezdce se skládá ze 4 částí. Z hodnot křivek definovaných v *MS Excel*, podle kterých motor vykoná po detekci náběžné a sestupné hrany digitálního signálu pohyb, a konstantních hodnot vysunutí, kdy je logický signál stabilní. Tyto konstantní hodnoty vysunutí určuje poslední hodnota dané definované křivky. Tyto hodnoty se zadávají stejně, jako je tomu v kap 3.2.2. Křivky na sebe nemusejí navazovat a mohou mít libovolný tvar.

Pro demonstraci tohoto způsobu řízení byla vytvořena trajektorie, která se kromě konstantních hodnot vysunutí jezdce v okamžicích viditelných v grafu na Obr. 4.14 skládá ze dvou exponenciálních průběhů podle rov. 3.1.

$$pozice = \begin{cases} 100 \cdot \left(1 - e^{\left(-\frac{t}{0,3}\right)}\right) & 4.1 \\ 100 \cdot e^{\left(-\frac{t}{0,3}\right)} \end{cases}$$



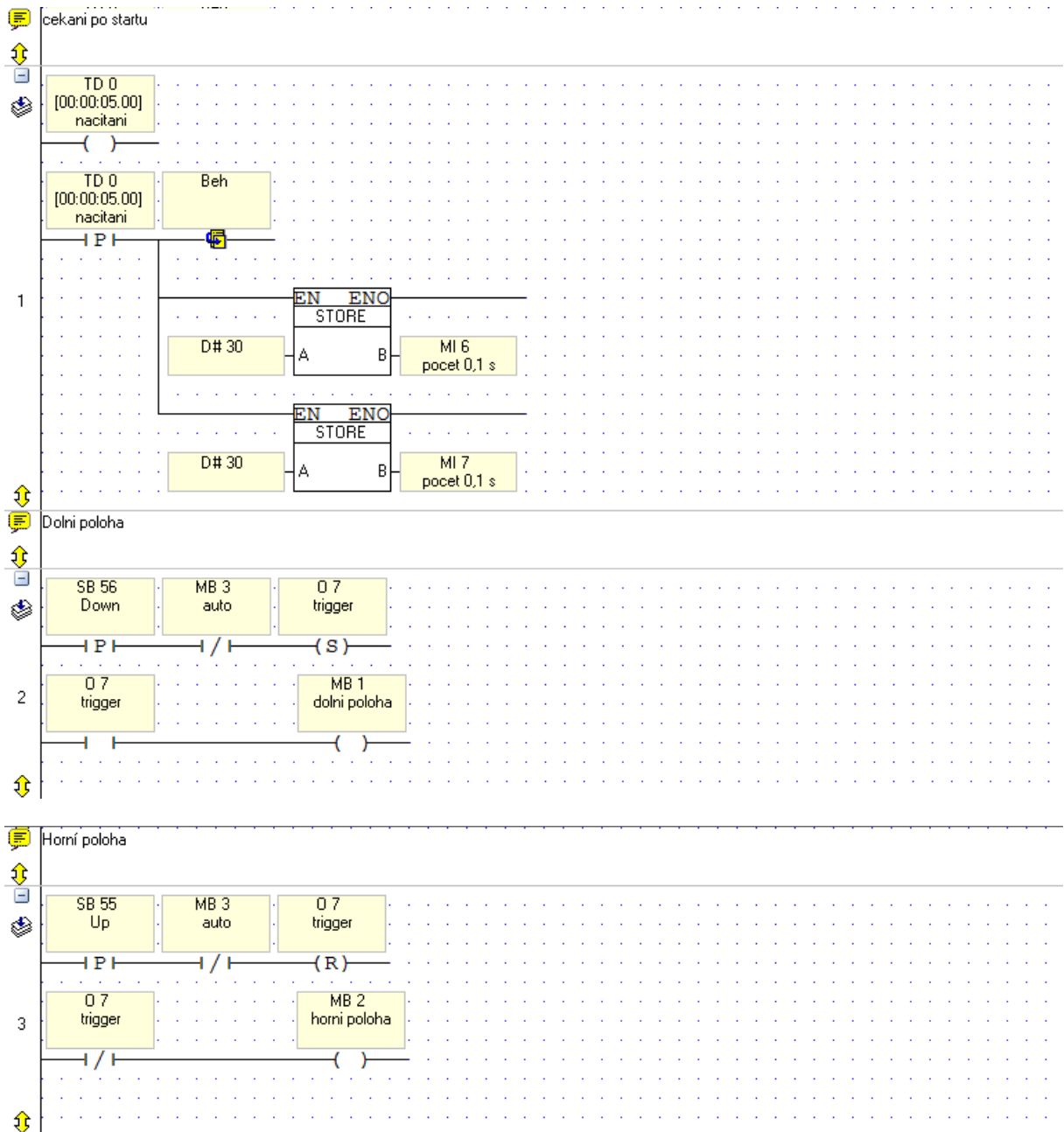
OBR. 4.14 - GRAF PRŮBĚHU POZICE JEZDCEV AUTOMATICKÉM CHODU

Pokud uživatel zvolí pouze přechod do maximální nebo minimální polohy, vykoná se pouze jedna z popsaných křivek.

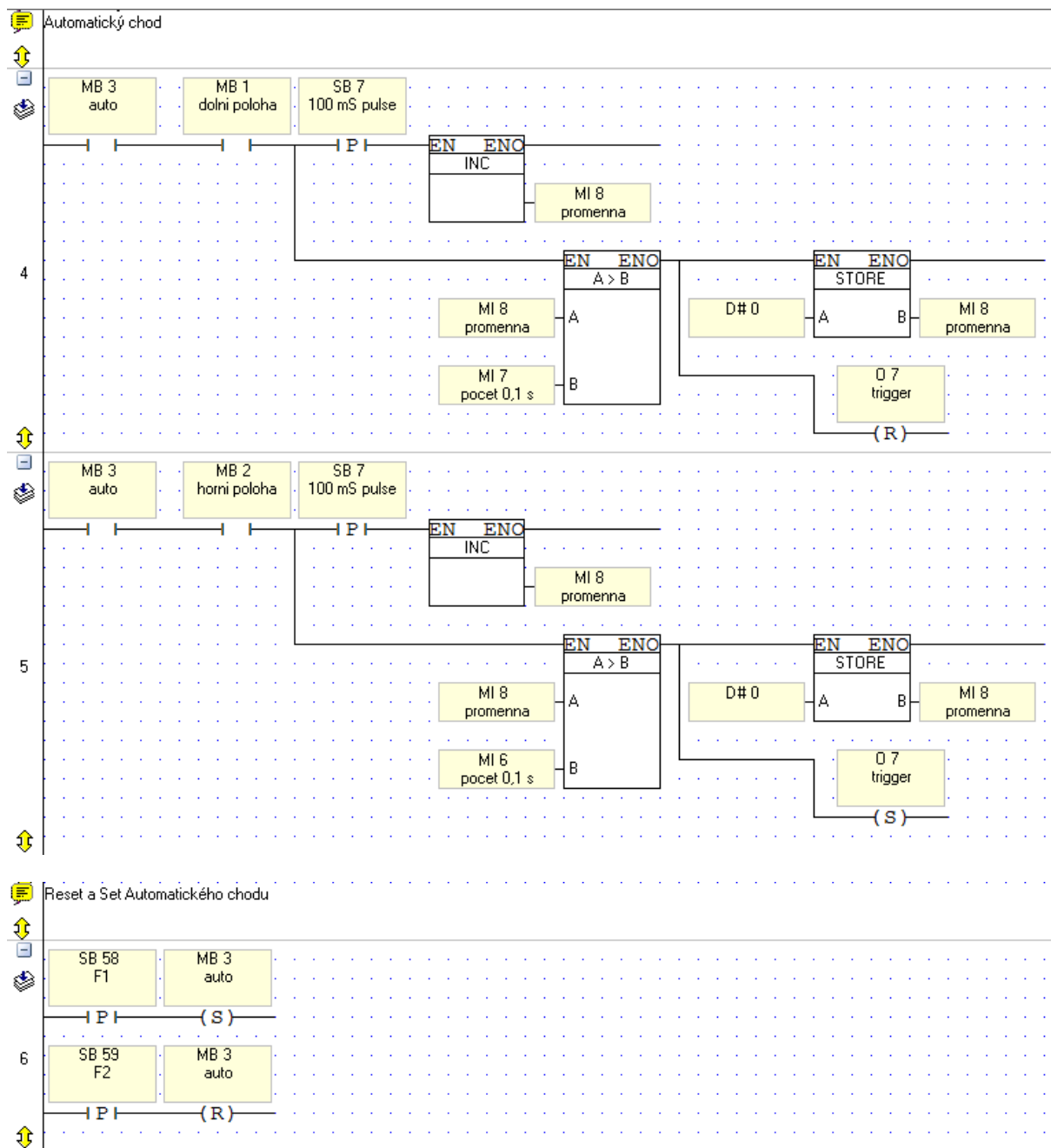
4.3.3. ŘÍDÍCÍ SCHÉMA

Ovládací schéma tohoto způsobu řízení je na obr. Obsahuje pět oddílů:

- Čekání po startu
- Dolní poloha
- Horní poloha
- Automatický chod
- Reset a Set automatického chodu



OBR. 4.15 - SCHÉMA ŘÍDÍČÍHO PROGRAMU ČÁST 1.



OBR. 4.16 - SCHÉMA ŘÍDÍČÍHO PROGRAMU ČÁST 2.

Oddíl *Čekání po startu* načítá hodnoty zadané uživatelem pomocí změny logické proměnné *TD 0* po definované době.

Oddíl *Dolní poloha* spustí pohyb jezdce podle křivky přiřazené k nástupné hraně digitálního signálu, a to sepnutím relé O7.

Oddíl *horní poloha* spustí pohyb jezdce podle křivky přiřazené k sestupné hraně digitálního signálu.

Oddíl *Automatický chod* střídavě vykonává křivky vytvořené v *MX Excel*.

ZÁVĚR

Řízení pomocí PC je dobré pro zjištění provozních veličin. Tento způsob řízení však není ovlivněn žádnou vnější logikou. Pohyb je tedy dán předem danou závislostí a bez uživatele nepřejde motor do jiného provozního stavu.

Řízení pomocí PLC v režimu *Analog*, tedy řízení motoru výstupním napětím digitálně-analogového převodníku má několik problémů. Malá dynamika pohybu nedovoluje jezdcí vykonávat složitější pohyby.

Způsob řízení v režimu *Trigger curve* kombinuje výhody uživatelského rozhraní PLC a přesnost pohybu motoru díky zadaným hodnotám v CSV souboru. Velká výhoda tohoto způsobu je, že provozní stav motoru je ovlivněn logickými hodnotami na vstupu servokontroléru. V tomto způsobu řízení mohl být využit DA převodník jako zdroj digitálního signálu, přesto jsem zvolil relé, abych si ověřil, zda tento způsob zvládne i méně pokročilý PLC.

Způsoby řízení pomocí PLC lze vylepšit. V režimu *Analog* lze využít externího vysokofrekvenčního signálu společně s vestavěným 24-bitovým čítačem použitého modelu PLC. Lze tak dosáhnout frekvence inkrementace vnitřních proměnných, která zaručí vyšší dynamiku pohybu. V obou případech řízení s PLC lze využít klávesnice PLC k zadávání hodnot vnitřních proměnných. V režimu *Trigger curve* lze využít více digitálních signálů pro vykonávání více druhů trajektorií jezdce.

Všechna uvedená zlepšení jsou problematická. V dokumentaci od firem *LinMot* a *Unitronix* se vyskytuje velice málo informací o používání více digitálních signálů, zadávání hodnot pomocí PLC a použití vysokofrekvenčního signálu. Čas potřebný ke zkoušení těchto možností se tak značně prodlužuje. Závěr této práce tedy splňuje úlohu odrazového můstku pro budoucí bakalářské práce a projekty, které se těmito rozšířeními budou zajímat.

Osobní cíl bakalářské práce, nalezení způsobu řízení motoru s lepší dynamikou pohybu, shledávám za splněný. Motor je v režimu řízení *Trigger curve* schopen vykonávat pohyby omezené pouze svými jmenovitými parametry.

CITOVANÁ LITERATURA

- [1] LinMot, e-Catalogue [online]. [cit. 10. 5. 2015]. Dostupné z < http://www.linmot.com/fileadmin//user_upload/Downloads/databooks/LinMot_Data_Book_e_recent.pdf >
- [2] LinMot, User manual [online]. [cit. 11. 5. 2015]. Dostupné z < http://www.linmot.com/fileadmin//user_upload/Downloads/software-firmware/servo-drives/linmot-talk-1-3-x/UserManual_1r3_e_recent.pdf >
- [3] Unitronix, Vision OPLC V130-33-RA22 Instalation guide [online]. [cit. 2. 5. 2015]. Dostupné z < http://www.unitronics.com/Downloads/Support/Technical%20Library/Vision%20Hardware/Vision130%20Installation%20Guides/V130-33-RA22_INSTAL-GUIDE_10-08.pdf >
- [4] Unitronix, Visilogic Software manual [online]. [cit. 4. 5. 2015]. Dostupné z < <http://www.unitronics.com/docs/technical-library/visilogic-ladder.pdf> >
- [5] VUES s.r.o., Lineární motory [online]. [cit. 4. 5. 2015]. Dostupné z < http://www.vues.cz/file/424/CZ_LIN-OBECNE_020909.PDF >
- [6] Ing. Pavel Rydlo, Ph.D., doc. Ing. Aleš Richter, CSc, Současné trendy rozvoje elektrických pohonů napájených z polovodičových měničů [online]. [cit. 3. 5. 2015]. Dostupné z < <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/soucasne-trendy-rozvoje-elektricky-pohonu-napajenych-z-polovodicovych-menicu--15107> >

PŘÍLOHA 1

Obrázek přípravku s lineárním motorem, na kterém byla provedena praktická část práce



PŘÍLOHA 2

CD se soubory obsahující ovládací programy PLC.