

UNIVERZITA PARDUBICE
DOPRAVNÍ FAKULTA JANA PERNERA

DIPLOMOVÁ PRÁCE

UNIVERZITA PARDUBICE
DOPRAVNÍ FAKULTA JANA PERNERA

Testovací přípravek gumových závěsů pro automobilový
a drážní průmysl.

Bc. Martin Moc

Diplomová práce
2012

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Martin Moc**
Osobní číslo: **D10759**
Studijní program: **N3708 Dopravní inženýrství a spoje**
Studijní obor: **Dopravní infrastruktura: Elektrotechnická zařízení v dopravě**
Název tématu: **Testovací přípravek gumových závěsů pro automobilový a drážní průmysl.**
Zadávací katedra: **Katedra elektrotechniky, elektroniky a zabezpečovací techniky v dopravě**

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

1. Navrhněte koncepci zkušebního zařízení po HW stránce a v specifikujte komponenty.
2. Navrhněte a implementujte algoritmy pro řízení.
3. Realizujte zkušební zařízení.
4. Ověřte funkčnost a proveďte vzorová měření.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

1. MAIXNER, Ladislav a kolektiv. Mechatronika učebnice. Brno : Computer Press,a. s., 2006. 280 s. ISBN 80-251-1299-3.
2. PAVELKA, J.; ČEŘOVSKÝ, Z.; JAVŮREK, J. Elektrické pohony, skripta ČVUT Praha, 1996. 221s. ISBN 80-01-01411-8.
3. UHLÍŘ, I. Elektrické stroje a pohony, skripta ČVUT Praha, 2007. 137s. ISBN 978-80-01-03730-0.
4. GÜRTLER, Martin.; KOCICH, Pavel. 1001 Tipů a triků pro VISUAL BASIC. Praha : Computer Press, 2000. 328 s. ISBN 80-7226-368-4.
5. PAVELKA, J. Elektrické pohony, skripta ČVUT Praha, 2007. 222s. ISBN 978-80-01-03588-7.
6. VLACH, Jaroslav. Řízení a vizualizace technologických procesů. Praha : BEN technická literatura, 1999. 159 s. ISBN 80-86056-66-X.
7. BĚLOHOUBEK, P. Elektrické servopohony, jejich řízení a aplikace. Brno : Inženýrské centrum Brno, 1998. 90s. ISBN 80-902175-4-0.

Vedoucí diplomové práce:

prof. Ing. Jaroslav Novák, CSc.

Katedra elektrotechniky, elektroniky a zabezpečovací techniky v dopravě

Datum zadání diplomové práce:

8. prosince 2011

Termín odevzdání diplomové práce:

31. května 2012



prof. Ing. Bohumil Culek, CSc.

děkan

L.S.



doc. Ing. Radovan Doleček, Ph.D.

vedoucí katedry

V Pardubicích dne 22. února 2012

Prohlášení autora

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 10. 5. 2012

Martin Moc

Anotace

Tato práce se zabývá sestavením testovacího přípravku gumových závěsů pro automobilový a drážní průmysl. Obsahuje návrh hardwarových částí, popis a parametry mechanických a řídicích komponent, elektrické schéma silových i ovládacích obvodů. Dále popisuje algoritmy řízení a jejich implementaci v řídicím systému. Součástí práce je mechanická i elektrická realizace přípravku a zkušební měření. Výstupem práce je ověření funkčnosti celého zařízení, vyhodnocení zkušebních měření a posouzení přínosu měřícího přípravku pro zkušebnu výrobce gumových závěsů.

Klíčová slova: testování gumových závěsů, zatěžování vzorků servomotorem po křivce, měření síly v tahu

Annotation

The main theme of this thesis is constructing a rubber hinge tester for automotive and railway industry. It includes the components, wiring diagram of power and control units. Thesis also describes algorithms and their implementation into the control system. And it is realization on the mechanical and electrical tester, including test measurement. The output of thesis is verify of functionality the device, evaluation of test measurement and review of benefits for rubber testing room producer rubber hinges.

Key words: Rubber hinge test, loading the rubber sample along the curve, force measurement dependence in thrust and length of rubber sample.

Obsah

1	TEORETICKÁ ČÁST	- 9 -
1.1	Požadavky na zatěžování vzorků, vstupní a výstupní proměnné	- 9 -
1.2	Návrh hardwarových částí	- 12 -
2	PRAKTICKÁ ČÁST	- 13 -
2.1	Popis PLC	- 13 -
2.2	Popis dotykového panelu	- 15 -
2.3	Popis ovladače servomotoru	- 16 -
2.4	Popis servomotoru	- 18 -
2.5	Popis lineárního pohonu.....	- 19 -
2.6	Popis zdroje napájecího napětí	- 20 -
2.7	Snímání síly s vyhodnocením.....	- 20 -
2.8	Elektrické zapojení	- 21 -
2.9	Mechanické uspořádání	- 21 -
2.10	Bezpečnost.....	- 25 -
3	PROGRAMOVÉ ZPRACOVÁNÍ	- 26 -
3.1	Matematické zpracování zatěžovacích charakteristik.....	- 26 -
3.1.1	Výpočet proměnných charakteristiky trojúhelníku	- 26 -
3.1.2	Výpočet proměnných charakteristiky obdélníku	- 29 -
3.1.3	Výpočet proměnných charakteristiky sinus	- 32 -
3.2	Implementace algoritmů	- 35 -
3.2.1	PLC_homing	- 35 -
3.2.2	PLC_pole_SIN	- 37 -
3.2.3	PLC_Start_Sin	- 38 -
3.2.4	PLC_Start_Obdelnik	- 38 -
3.2.5	PLC_Start_Trojuhelnik.....	- 38 -
3.2.6	PLC_motion	- 42 -
3.2.7	PLC_vzorkovani	- 43 -
3.2.8	PLC_tvorba pole	- 43 -
3.2.9	PLC_ukladani.....	- 43 -
3.2.10	PLC_vytvoreni_souboru.....	- 45 -
4	OBSLUHA A OVLÁDÁNÍ.....	- 47 -
4.1	Mechanické založení vzorku	- 47 -
4.2	Nastavení parametrů zkoušky a spuštění testování	- 48 -
4.3	Vyhodnocení naměřených hodnot.....	- 50 -
5	VÝSLEDKY ZKUŠEBNÍCH MĚŘENÍ	- 52 -
5.1	Zatěžovací charakteristika trojúhelníku	- 53 -
5.2	Zatěžovací charakteristika obdélníku	- 54 -
5.3	Zatěžovací charakteristika sinus	- 55 -
	ZÁVĚR	- 56 -
	SEZNAM LITERATURY	- 57 -
	SEZNAM OBRÁZKŮ	- 60 -
	SEZNAM TABULEK	- 61 -
	SEZNAM PŘÍLOH	- 62 -

ÚVOD

Výběr tématu diplomové práce je směřován do prostředí gumárenského průmyslu a problematiky testování gumových závěsů pro automobilový a drážní průmysl. Hlavním smyslem testování je parametrizace tuhosti vzorků a sledování opakovatelnosti kvality, což současný způsob výroby neumožňuje. Archivace dat ve formě produkčních histogramů dokladuje kvalitu jednotlivých výrobních dávek. Při negativní změně výsledků nedojde k distribuci vadných závěsů a tím se zabrání případným vzniklým škodám u zpracovatele. Výrobce tak může garantovat stálou kvalitu. Zvyšující kvalita a její záruky jsou dnes již ve všech průmyslových odvětvích, zvláště pak v dopravě, prvořadým požadavkem výroby.

Cílem této práce je popsat sestavení měřicího přípravku pro zatěžování gumových závěsů. Jednotlivé závěsy se budou zatěžovat ve vodorovné poloze a v jednom směru. Jedna část bude pevná – měřicí, s využitím tenzometrického snímače. Druhá část bude pohyblivá, a to vozík lineárního pohonu vedený na kuličkových oběžných pouzdrech. Z důvodu různé velikosti a tažnosti vzorku bude měřicí přípravek vybaven různými výměnnými upínacími čelistmi. Způsob zatěžování závěsů, tzn. rychlost zatěžování v závislosti na čase zatížení, musí simulovat reálné podmínky z oblasti použití, a to různými typy zatěžovacích charakteristik. Rychlost zatížení, dráha zatížení a příslušná charakteristika bude proměnná a bude se volit na panelu operátora. Po oživení a odzkoušení přípravku v praxi se počítá s rozšířením o klimatizační komoru. V té bude vzorek kromě mechanického namáhání vystaven i změnám teplot a změnám relativní vlhkosti. Zpracování vazby na klimatizační box není úkolem této práce a bude záviset až na výsledcích testovacího zařízení. Protože současný stav výroby nemá zpětnou vazbu o parametrech tažnosti gumových závěsů, měřicí přípravek a technologie testování je v této oblasti vývojem. Práce se bude zabývat výhradně sestavením tohoto přípravku, technologie testování se bude řešit až na základě funkčních zkoušek. Technologii testování si bude řešit výrobce přípravku sám a není součástí této práce.

Práce popíše stavbu zařízení po mechanické i elektrické stránce. Součástí práce je tedy montáž všech komponent na přístrojové šasi, zpracování schématu elektrické části a zapojení všech napájecích, ovládacích i řídicích obvodů. Dále práce popíše návrh algoritmů řízení v podobě vývojových diagramů, případně jejich matematické odvození, způsob zadávání proměnných a vizualizaci (zviditelnění)

procesu testování, archivaci dat a možný způsob jejich zpracování. Nedílnou součástí této práce bude implementace navržených algoritmů v PLC a v přílohové části výpis jednotlivých programů. Součástí práce bude ověření funkčnosti přípravku, zkušební měření pro všechny charakteristiky a zhodnocení naměřených výsledků.

Závěr práce posoudí sestavené zařízení, jeho využití v praxi a dále přínos celé práce.

1 TEORETICKÁ ČÁST

Teoretickou část tvoří zadání testovacího zařízení gumových závěsů. Tím je především požadavek na zatěžovací charakteristiky a volitelné parametry pohybu, jako je čas periody, dráha periody a počet period.

Dále popíše plánované řešení zařízení, mechanickou a hardwarovou koncepci zařízení a symbolické uspořádání všech komponent.

1.1 Požadavky na zatěžování vzorků, vstupní a výstupní proměnné

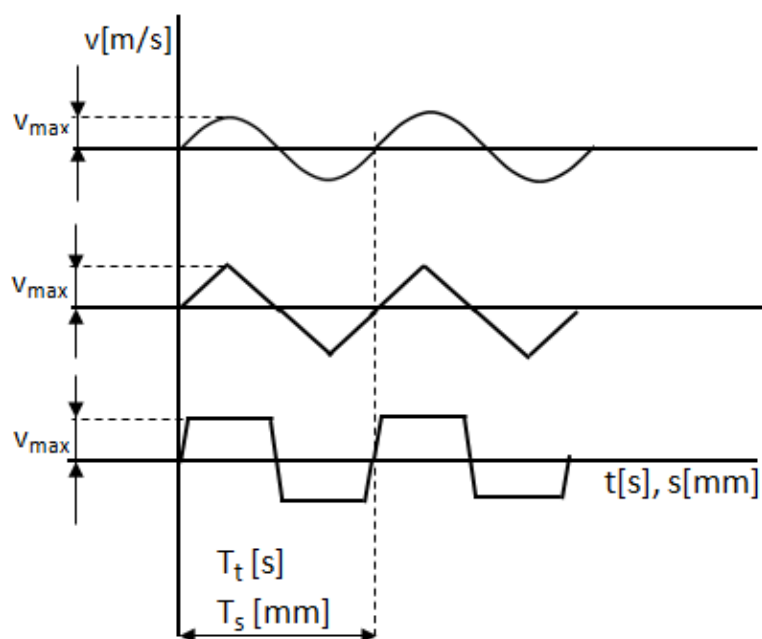
Cílem celé práce je sestavit zařízení, které pomocí jezdce lineárního pohonu bude podle zvolené charakteristiky zatěžovat zkoušený vzorek. Typy možných gumových závěsů jsou na obrázku 1.1.



Obr. 1.1 – Typy možných závěsů

Zatěžovací charakteristika může být ve tvaru sin, trojúhelníku, obdélníku a bude vyjadřovat závislost rychlosti na poloze. Argumentem funkce zatěžovací charakteristiky je čas t , funkční hodnotou rychlost v , vztah (1.1). Předpokládané charakteristiky jsou na obrázku 1.2.

$$V_{(\sin, \text{trojúhelník, obdélník})} = f(t) \quad (1.1)$$



Obr. 1.2 – Charakteristiky požadovaného pohybu

Výsledkem testování bude graf závislosti síly na čase, vztah (1.2), a rychlosti namáhání na čase, vztah (1.3).

$$F_{(sin, trojúhelník, obdélník)} = f(t) \quad (1.2)$$

$$V_{(sin, trojúhelník, obdélník)} = f(t) \quad (1.3)$$

Vstupním parametrem je:

- čas periody T_t v sekundách
- dráha periody T_s v milimetrech
- počet period P_T
- požadovaná charakteristika

Výstupním parametrem je:

- maximální rychlost v_{max}
- pole proměnných [síla; rychlost; čas]
- graf závislosti síly na čase
- graf závislosti rychlosti na čase

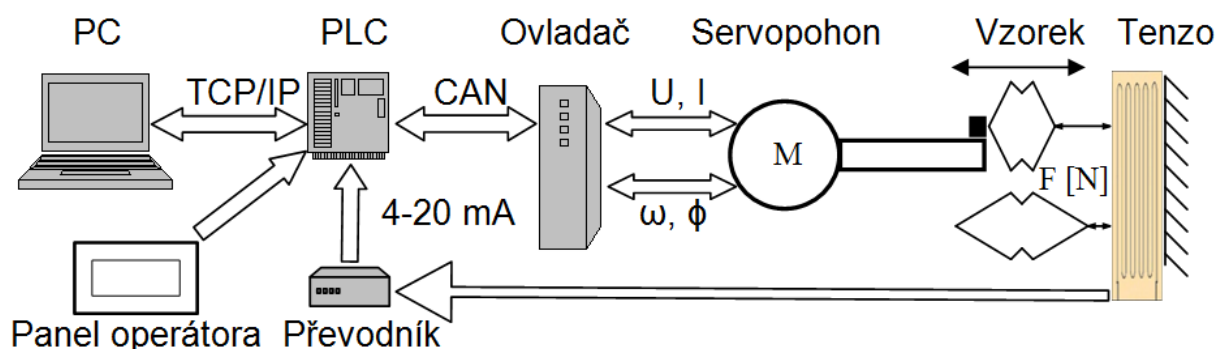
Příklad 1. Zadáním obdélníkové charakteristiky, času periody $T_t = 1$ s, dráhy periody $T_s = 10$ mm, počet period $P_T = 3$ požadujeme, aby se pohon rozjel v nulovém čase maximální rychlostí (což pochopitelně není možné), po dosažení polohy 5 mm (π) změnil směr a vrátil se do počáteční polohy opět maximální rychlostí. Čas jedné periody musí trvat 1 s a vše musí provést třikrát. Během tohoto pohybu se cyklicky odeberou vzorky síly a dráhy zatěžování a následně se z nich sestaví graf požadovaných závislostí.

Příklad 2. V případě charakteristiky tvaru trojúhelníku musí do polohy 2,5 mm ($\pi/2$) rovnoměrně zrychlovat a odtud do polohy 5 mm (π) rovnoměrně zpomalovat. Vrácení zpět po změně směru je opět v první půli pohyb rovnoměrně zrychlený a dojezd pohyb rovnoměrně zpomalený.

Příklad 3. U sinusového průběhu je změna rychlosti dána sinusovým průběhem. Jedna perioda dráhy je pak realizována charakteristikou rychlosti průběhu $\sin(0, 2\pi)$.

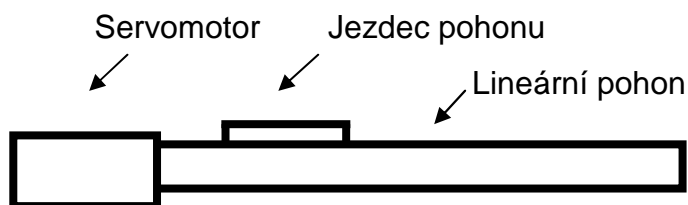
1.2 Návrh hardwarových částí

Symbolický návrh zařízení je na obrázku 1.3. Hlavní řídicí částí bude programovatelný logický automat PLC (Programmable Logic Controller). Zadáání proměnných, čtení provozních stavů, spouštění a zastavování testování bude probíhat přes dotykový panel. Výsledná měření budou uložena v paměti PLC ve formátu csv a budou přístupná po Ethernet TCP/IP z PC. PLC bude prostřednictvím decentralní periférie CAN parametrizovat ovladač servomotoru. Ten tvoří rozhraní mezi řídicí a akční částí sestavy. Zpětnou vazbu o velikosti síly namáhání vzorku zajišťuje tenzometrický můstek s vyhodnocovacím převodníkem s unifikovaným signálem 4-20 mA zavedený do analogového vstupu PLC.



Obr. 1.3 – Symbolický návrh sestavy

Akční část sestává z lineárního pohonu s kuličkovým šroubem poháněného synchronním střídavým servomotorem s integrovaným enkodérem, obrázek 1.4.



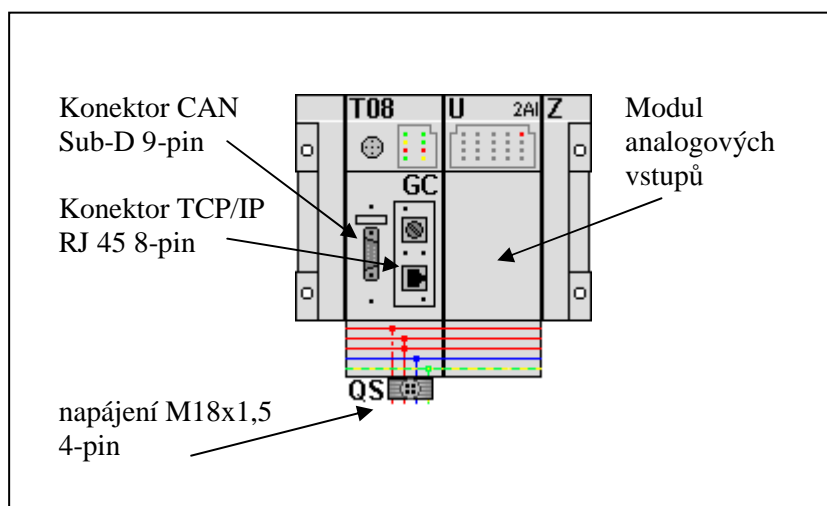
Obr. 1.4 – Akční část, servomotor s lineárním pohonem

2 PRAKTICKÁ ČÁST

Praktickou část tvoří popis a konfigurace jednotlivých částí sestavy, tzn. zdroje stejnosměrného napětí, PLC, ovladače servomotoru, servomotoru, lineárního pohonu, dotykového panelu a tenzometrického snímače s převodníkem. Dále elektrické zapojení obvodu, algoritmy řízení a jejich popis, příklady a grafy nastavených pohybů.

2.1 Popis PLC

Řízení úlohy zajišťuje programovatelný logický automat firmy Festo. Vzhledem k velkému krytí IP67 ho lze přímo umístit na měřicí přípravek, není nutná montáž do rozvaděčové skříně. Obrázek 2.1 popisuje jednotlivé části PLC. V základní části PLC je integrován procesor, připojení průmyslových sítí je v horní části zajištěno jednotlivými konektory. Tento blok je rozšířen modulem analogových vstupů určených ke čtení aktuální síly namáhání vzorku.



Obr. 2.1 – Popis jednotlivých částí PLC

Parametry procesorové části jsou uvedeny v tabulce 2.1, parametry modulu analogových vstupů v tabulce 2.2.

Tab. 2.1 – Parametry procesorové části PLC

Parametr	Hodnoty
diagnóza specifická pro zařízení	diagnostika orientovaná na jednotlivé kanály a moduly - nízké napětí/zkrat na modulech, paměť pro diagnostiku
data CPU	procesor 400 MHz, 32 MB RAM, 32 MB Flash
podpora konfigurace	CoDeSys
přídavné funkce	diagnostické funkce, funkce Softmotion pro elektrické pohony
ovládací prvky	přepínač DIL pro zakončení sítě CAN, otočný spínač pro RUN/Stop
přenosová rychlost	10/100 Bit/s dle IEEE 802.3 (10BaseT) resp. 802.3u (100BaseTx)
jmenovité provozní napětí DC	24 V
programovací jazyk	podle IEC 61131-3, liové schéma (LDR), statement list (STL), strukturovaný text, funkční diagram, diagram s funkčními bloky
programovací paměť	4 MB program uživatele
protokol	CoDeSys Level 2, EasyIP, Modbus TCP, TCP/IP
stupeň krytí	IP65 / IP67
okolní teplota	-5 - 50 °C
Ethernet, rychlost přenosu	10/100 Mbit/s
Ethernet, dostupné protokoly	TCP/IP, EasyIP, Modbus TCP
Ethernet, připojovací konektor	zásuvka RJ45 8 pinů
rozhraní pro síť, technika připojení	konektor Sub-D 9 pinů
rozhraní pro síť	CAN-Bus
sběrnice	RJ 45 (dutinky, 8 pinů)

Tab. 2.2 – Parametry modulu analogových vstupů PLC

počet vstupů	2
diagnostika	- přerušení vodiče jednotl. kanálu - chyba hraničních hodnot jednotlivých kanálů - zkrat vstupního signálu
zobrazení LED	- 1 souhrnná diagnostika
čas vnitřního cyklu	4 ms
opakovatelná přesnost	0,15 % při 25 °C
pojistka (zkrat)	vnitřní elektronická pojistka
rozsah provozního napětí DC	18 - 30 V
oddělení potenciálů - vnitřní sběrnice	ano, bez použití vnitřního napájení čidel
oddělení potenciálů mezi kanály	ne
stupeň krytí	v závislosti na připojovacím bloku
okolní teplota	-5 - 50 °C
formát dat	12 bitů + znaménko lze odstupňovat po 15 bitech
druh signálu	0 - 10 V 0 - 20 mA 4 - 20 mA

2.2 Popis dotykového panelu

Rozhraní mezi obsluhou a zařízením zajišťuje barevný dotykový panel, obr. 2.2. Ten slouží k zadávání proměnných, čtení provozních stavů, spouštění a zastavování testování. Technická data panelu jsou v tabulce 2.3.



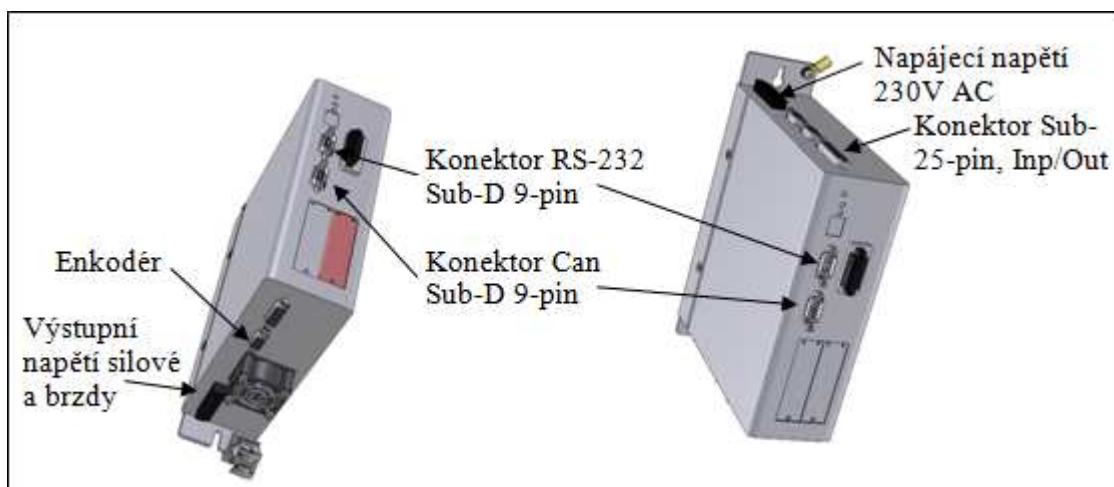
Obr. 2.2 – Obrázek dotykového panelu

Tab. 2.3 – Parametry dotykového panelu

paměť pro uživatele	1 Mbyte
paměť pro recepty	32 kByte
počet barev	256
počet systémových LED	4
zobrazení	barva TFT
schopnost zobrazit	Touchscreen
velikost zobrazení	3,5"
zálohovací baterie	3 V / 270 mA Lithium
rozlišení displeje	1/4 VGA, 320x240 Pixel
jmenovité provozní napětí DC	24 V
příkon při jmenovitém provozním napětí	0,4 A
okolní teplota	0 - 50 °C
rozhraní AUX	Sub-D 9 pinů, zásuvka
PC / PLC rozhraní	RS232, Sub-D 15 pinů, konektor
programovací software	Fed Designer 6.06 a vyšší

2.3 Popis ovladače servomotoru

Ovladač servomotoru umožňuje řízení 3 fázového střídavého bezkartáčového synchronního motoru s permanentními magnety. Komunikuje po síti CAN s nadřazeným systémem. Obsahuje připojovací svorkovnice silového napájecího napětí 230V AC, ovládacího napětí 24V DC, výstupního silového napětí 3 x 270V 0÷1 kHz, výstupního napětí brzdy 24V DC a svorkovnici pro připojení enkodéru. Dále konektory pro připojení komunikační sítě CAN, programovací sítě RS-232 a svorkovnici binárních vstupů a výstupů.



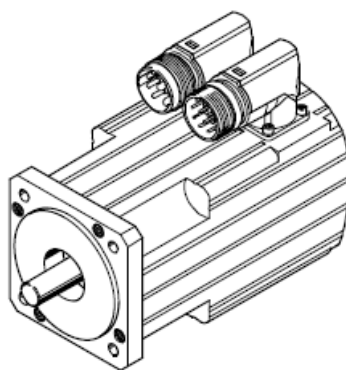
Obr. 2.3 – Popis ovladače servomotoru

Tab. 2.4 – Parametry ovladače servomotoru

síťový filtr	integrováný
frekvence výstupů	0 - 1,000 Hz
rozsah napětí na výstupech AC	0 - 270 V
brzdový odpor	110 Ohm
vlastnosti binárních logických výstupů	galvanicky oddělené
impedance vstupu požadované hodnoty	20 kOhm
max. napětí meziobvodu DC	380 V
jmenovitý výstupní proud	5 A
jmenovité napájecí napětí AC	230 V
jmenovitý výkon automatu	1 000 VA
jmenovité napětí logické části DC	24 V
jmenovitý proud do fáze, efektivní	5 A
frekvence sítě	50 - 60 Hz
sběrnice pro parametry	RS232 (9600...115000 Bits/s)
špičkový výkon	2 000 VA
špičkový proud na fázi, efektivní	10 A
příkon napájení logické části bez brzdy	0.65 A
okolní teplota	0 - 50 °C
počet binárních výstupů 24 V DC	5
počet binárních logických vstupů	10
sběrnice vstupu enkodéru, vlastnosti	3 fázové signály enkodéru
sběrnice výstupu enkodéru, funkce	zpětná informace o skutečné hodnotě prostřednictvím signálů enkodéru v provozu s regulací otáček
připojení sítě	D-Sub 9 pinů, zásuvka
spojení sítě	CANopen, DeviceNet, Ethernet, Profibus DP
max. přenosová rychlost sítě	1 Mbit/s

2.4 Popis servomotoru

Třífázový střídavý synchronní motor s permanentními magnety s integrovaným enkodérem a tepelnou ochranou tvoří akční člen úlohy. Motor je určen výhradně k příslušnému ovladači a je mechanicky kompatibilní s lineárním pohonem. Na jeho těle jsou dva konektory. První slouží pro silové napájení fází, napájení brzdy a k připojení tepelné pojistky. Druhý slouží k připojení enkodéru.



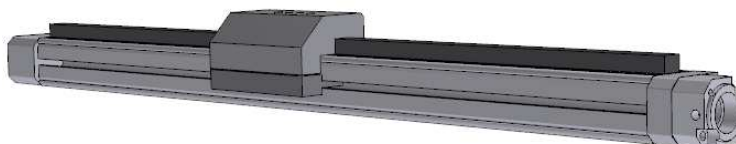
Obr. 2.4 – Servomotor

Tab. 2.5 – Parametry servomotoru

Parametr	Hodnoty
napájecí napětí	325 V
jmenovitý proud	1,4 A
špičkový proud	6,4 A
konstanta motoru	0,457 Nm/A
jmenovité otáčky	6800 ot/min
špičkový moment	2,8 Nm
maximální zatížení hřídele radiálně	150 Nm
maximální zatížení hřídele axiálně	75 Nm
provozní teplota	-10 až +60 °C
napájecí napětí brzdy	24 V DC
příkon brzdy	11W
přidržený moment brzdy	0,9 Nm

2.5 Popis lineárního pohonu

Vlastní pohyb vykonává lineární pohon s vřetenem, obrázek 2.4. Vedení jezdce je v kuličkových oběžných pouzdrech. Mechanické připojení k motoru je kompatibilní s motorem a připojuje se pomocí spojovací sady.



Obr. 2.5 – Lineární pohon

Tab. 2.6 – Parametry lineárního pohonu

Parametr	Hodnoty
zdvih	400 mm
průměr vřetene	8 mm
stoupání vřetene	4 mm/U
vedení	kuličková oběžná pouzdra
konstrukce	elektromechanický přímočarý pohon
druh motoru	servomotor
max. rychlost	0,2 m/s
opakovatelná přesnost	+/-0,02 mm
okolní teplota	0 - 40 °C
max. moment pohonu	0,1 Nm
max. radiální síla na hnací hřídeli	40 N
max. posuvná síla F_x	140 N

2.6 Popis zdroje napájecího napětí

Stejnoseměrné napětí 24V ovládacích částí zajišťuje spínací zdroj, obrázek 2.5. Jeho napájecí napětí je 230V AC, maximální výstupní proud 2,5A.



Obr. 2.6 – Spínaný zdroj 24V DC

Tab. 2.7 – Parametry spínaného zdroje

Parametr	Hodnoty
Vstupní napětí	90...264 V AC
Vstupní proud	1.1 A (115 V AC); 0.6 A (230 V AC)
Frekvence	50/60 Hz
Výstupní napětí	24 V DC (SELV), ± 1 %
Výstupní proud	2,5A
Ochranná opatření	Odolný proti zkratu a přetížení

2.7 Snímání síly s vyhodnocením

Ke snímání síly je použitý tenzometrický můstek Tedeá, model 3510. Jedná se o snímač s rozsahem $0 \div 300$ kg a výstupním napětím 2 mV na 1V napájecího napětí při jmenovitém zatížení.



Obr. 2.7 – Tenzometrický můstek

Výstupní napětí tenzometrického můstku je zpracováno v 16-ti bitovém A/D převodníku DGT4AN. Napájecí napětí převodníku je 24V DC, vstupní proud 150mA. Výstupní signál je $4 \div 20$ mA.



Obr. 2.8 – 16-ti bitový A/D převodník

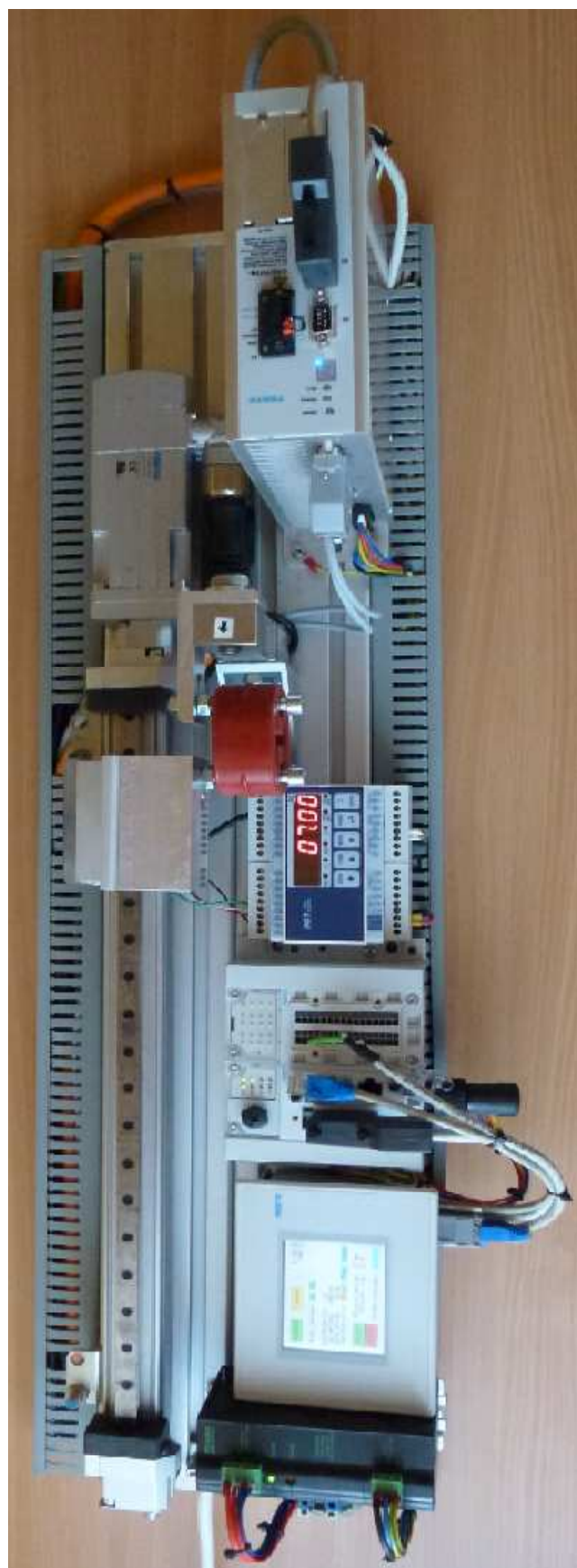
2.8 Elektrické zapojení

Celý systém je napájen ze sítě jednofázovým napětím 1NPE 230V AC / TN-S. Silová část ovladače a spínaný zdroj stejnosměrného napětí je napájen přes jistič z napětí 230V, ovládací část ze zdroje 24V DC. Limitní snímače lineárního pohonu jsou napájeny z vnitřního zdroje ovladače a jsou rozpínací logiky. Napětí pro spínání binárních vstupů je z vnitřního zdroje PLC. Elektrické schéma je na obrázku 2.9 a 2.10.

Zpětnou vazbu o síle namáhání vzorku zajišťuje tenzometrický snímač s vyhodnocením. Jeho výstupem je analogový unifikovaný signál o velikosti $4 \div 20$ mA.

2.9 Mechanické uspořádání

Přípravek je postaven na hliníkovém šasi z průmyslových profilů. Drážky profilů přes montážní kameny umožňují jednoduchou montáž všech částí přípravku, tzn. napájecí svorkovnici, zdroj ss napětí, PLC, dotykový panel, ovladač motoru, lineární pohon s elektromotorem, tenzometrický můstek s vyhodnocením. Vozík lineárního pohonu nese upevňovací čelisti vzorku, druhá část upevňovacích čelistí je na detekční části tenzometru. Změna typu vzorku vyžaduje příslušné upevňovací čelisti. Celý přípravek je na obrázku 2.11.



Obr. 2.11 – Sestavený přípravek

2.10 Bezpečnost

Ochrana základní je řešena krytím a izolací. Ochrana před nepřímým dotykem je provedena krytím a automatickým odpojením živých částí od zdroje.

Mechanická bezpečnost není řešena. Nutno zachovávat bezpečný odstup od pohyblivých částí pohonu během provozu!

Bezpečnost vymezení dráhy lineárního pohonu je dána limitními snímači pozitivní logiky, tzn. nutná logická 1 na výstupu snímače. Při přerušení vedení snímače, nebo při selhání snímače dojde k elektrickému odpojení meziobvodu ovladače od motoru.

3 PROGRAMOVÉ ZPRACOVÁNÍ

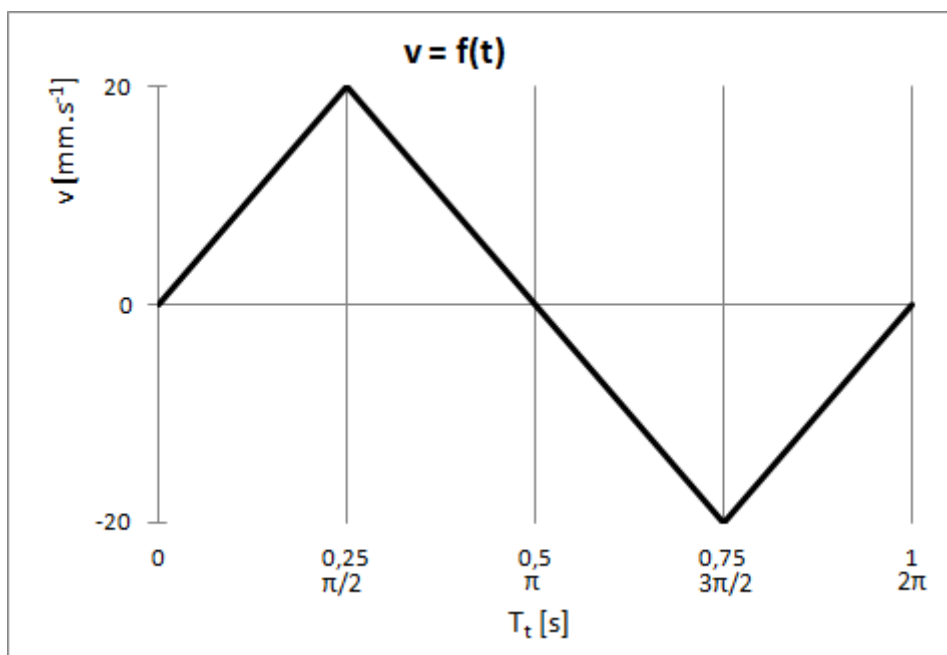
Program řízení celého přípravku je řešen v programu Codesys, za podpory jazyku „ST - Strukturovaný text“ a „CFC – Spojité funkční schéma“. Nastavení poloh, rychlostí, zrychlení je řízeno výhradně z PLC. Ovladač servomotoru nese pouze provozní nastavení o parametrech motoru a zdvihu lineárního pohonu. Parametrizaci zkoušky zajišťuje dotykový panel FED programovatelný pomocí rozhraní Designer 6. Výsledky měření jsou v PLC uloženy do předem zpracovaného formátu Excel a následně uloženy do vnitřní paměti PLC. Uživatel k těmto souborům přistupuje z PC přes rozhraní Ethernetu TCP/IP.

3.1 Matematické zpracování zatěžovacích charakteristik

Před vlastní implementací algoritmů zatěžování je třeba matematicky vyjádřit výpočtové vzorce proměnných. Jedná se hlavně o výpočet rychlosti v , zrychlení a , zpomalení d a změny těchto proměnných v závislosti na poloze. Výpočet těchto proměnných bude různý od zvolené charakteristiky.

3.1.1 Výpočet proměnných charakteristiky trojúhelníku

Na obrázku 4.1 je znázorněn graf požadované rychlosti. Zadané proměnné jsou z příkladu teoretické části, kapitola 1.1. tzn. čas celé periody $T_t = 1$ s, dráha periody $T_s = 10$ mm. Z grafu je patrné, že do dosažení polohy $\pi/2$ (0,25 s) pohon rovnoměrně zrychluje, po dosažení polohy začne zpomalovat až do polohy π (0,5 s). Poté reverzuje a vykoná stejný pohyb do konce periody.



Obr. 3.1 – Graf závislosti rychlosti na čase

Ze vztahu pro výpočet dráhy rovnoměrně zrychleného pohybu (3.1) vyjádříme vzorec pro výpočet zrychlení a (3.2).

$$s = \frac{1}{2}at^2 \quad (3.1)$$

$$a = \frac{2s}{t^2} \quad (3.2)$$

Dráha rovnoměrně zrychleného pohybu s_a a jeho čas t_a je od 0 do $\pi/2$ zadané periody T_t a T_s , vztah (3.3), (3.4).

$$s_a = \frac{T_s}{4} \quad (3.3)$$

$$t_a = \frac{T_t}{4} \quad (3.4)$$

Dosadíme do (3.2) a vyjádříme vztah pro výpočet zrychlení a .

$$a = \frac{2\frac{T_s}{4}}{\left(\frac{T_t}{4}\right)^2} = \frac{8T_s}{T_t^2} \quad (3.5)$$

Výpočet zrychlení ze zadaných hodnot vzorového příkladu podle vzorce (3.5) je $a = 80 \text{ mm/s}^2$. Zpomalení d se rovná a .

Při tvorbě algoritmu výpočtu zrychlení nesmíme zapomenout spočítat rychlost v $\pi/2$, abychom nepřekročili maximální rychlost lineárního pohonu, která je 170 mm/s . Výpočet rychlosti je

$$v_{max} = at_a \quad (3.6)$$

a dosazením hodnot do (3.6) dostaneme maximální rychlost $v_{max} = 20 \text{ mm/s}$.

Výsledkem našeho vzorového příkladu je:

$$a = 80 \text{ mm/s}^2$$

$$v_{max} = 20 \text{ mm/s}$$

Do algoritmu pro řízení pohybu charakteristiky trojúhelníku budeme implementovat tyto proměnné.

1. Zadané:

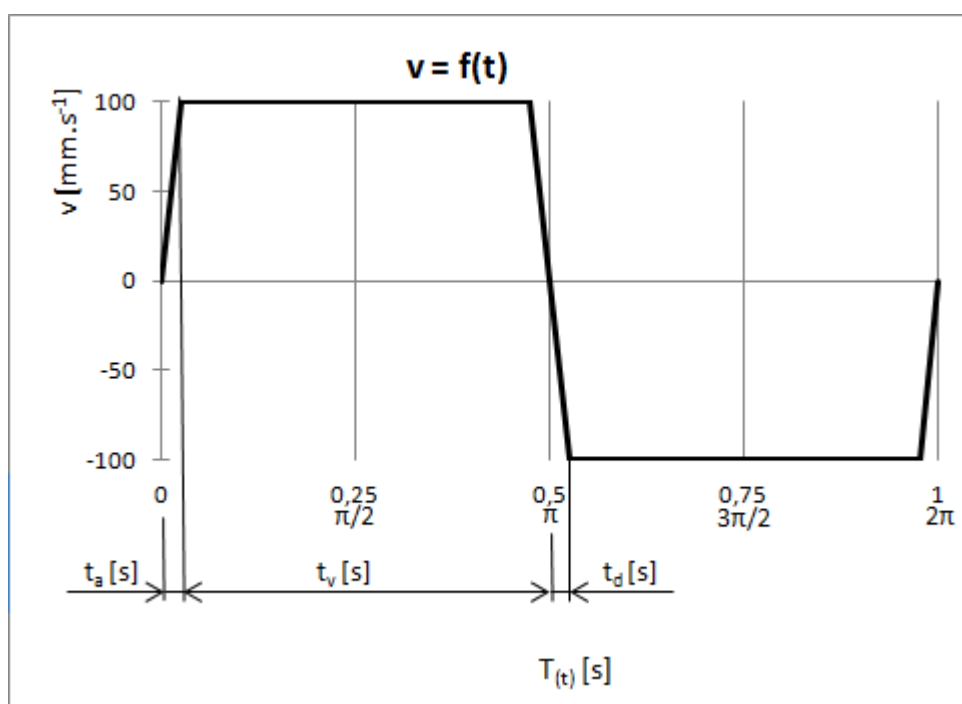
- čas periody
- dráha periody

2. Vypočtené:

- zrychlení (3.5)
- maximální rychlost (3.6)

3.1.2 Výpočet proměnných charakteristiky obdélníku

Na obrázku 3.2 je znázorněn graf požadované rychlosti. Zadané proměnné jsou z příkladu teoretické části, kapitola 1.2. tzn. čas celé periody $T_t = 1$ s, dráha periody $T_s = 10$ mm. Pohyb se v tomto případě skládá ze tří částí. Z pohybu rovnoměrně zrychleného (zrychlení a , dráha s_a , čas t_a), rovnoměrného (rychlost v , dráha s_v , čas t_v) a z pohybu rovnoměrně zpomaleného (zpomalení d , dráha s_d , čas t_d). Poté reverzuje a vykoná stejný pohyb do konce periody.



Obr. 3.2 – Graf závislosti rychlosti na čase

K sestavení algoritmu zadání pohybu budeme potřebovat spočítat tyto proměnné:

- t_a – čas rovnoměrně zrychleného pohybu
- s_a – dráha rovnoměrně zrychleného pohybu
- t_d – čas rovnoměrně zpomaleného pohybu, $t_d = t_a$
- s_d – dráha rovnoměrně zpomaleného pohybu, $s_d = s_a$
- v_v – rychlost rovnoměrného pohybu. Musí být menší než max. povolená rychlost!
- t_v – čas rovnoměrného pohybu

- s_v – dráha rovnoměrného pohybu
- a – zrychlení. Zrychlení $a = 4000 \text{ mm.s}^{-2}$, tj. maximální možné zrychlení.

Výpočet musíme řešit soustavou třech rovnic o třech neznámých (3.7).

$$\begin{aligned}v_v &= at_a \\t &= 2t_a + t_v \\s &= at_a^2 + v_v t_v\end{aligned}\tag{3.7}$$

Řešením soustavy (3.7) je kvadratická rovnice (3.8).

$$at_a^2 - att_a + s = 0\tag{3.8}$$

Vzorec pro výpočet diskriminantu (3.9) musí být kladný, jinak nelze výpočet parametrů určit.

$$D = a^2 t^2 - 4as\tag{3.9}$$

Výpočet kořenů (3.10) má dvě řešení. Nás bude vždy zajímat odpočet diskriminantu, druhé řešení nemá pro výpočet času rozběhu význam.

$$t_a = \frac{at - \sqrt{D}}{2a}\tag{3.10}$$

V algoritmu výpočtu nesmíme zapomenout na výpočet maximální rychlosti (3.11) a porovnání s maximální povolenou rychlostí 170 mm/s.

$$v = at_a\tag{3.11}$$

Výsledkem našeho vzorového příkladu je:

$$t_a = 0,0025 \text{ s}$$

$$s_a = 0,0125 \text{ mm}$$

$$t_v = 0,9449 \text{ s}$$

$$s_v = 9,9748 \text{ mm}$$

$$v_v = 10,0251 \text{ mm/s}$$
 Výsledná rychlost nepřekračuje rychlost maximální.

Do algoritmu pro řízení pohybu charakteristiky trojúhelníku budeme implementovat tyto proměnné.

1. Zadané:

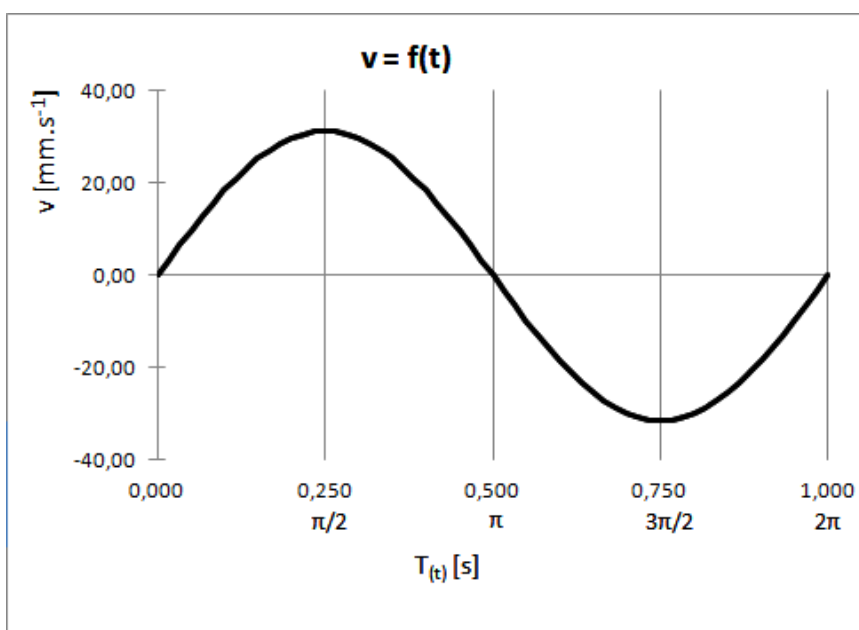
- čas periody
- dráha periody

2. Vypočtené:

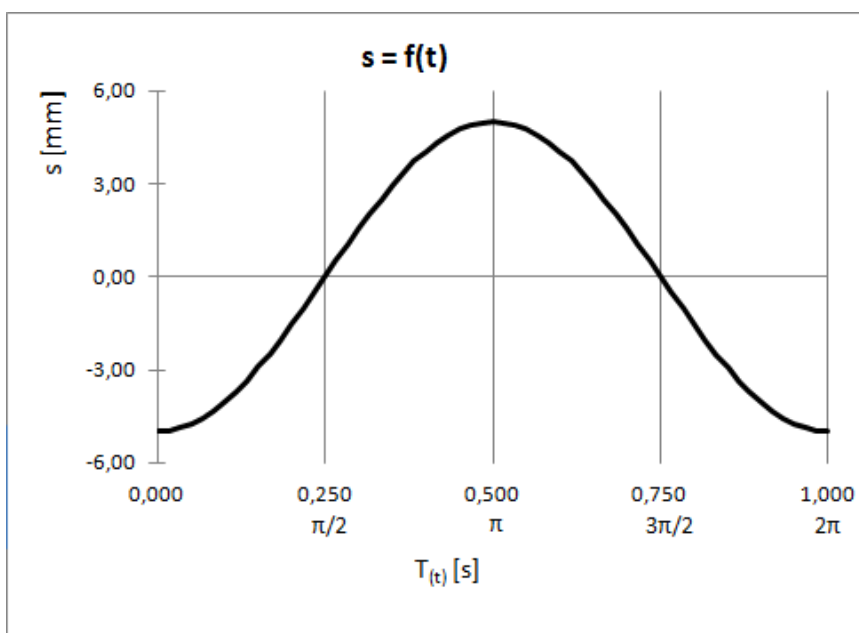
- maximální rychlost (3.11)
- maximální zrychlení a

3.1.3 Výpočet proměnných charakteristiky sinus

Tuto charakteristiku v řízení nelze nastavit funkcí, bude ji tedy nutné složit z jednotlivých částí rychlosti. Zadané proměnné jsou z příkladu teoretické části, kapitola 1.2, tzn. čas celé periody $T_t = 1$ s, dráha periody $T_s = 10$ mm a dále počet částí jedné periody $T_n = 60$. Perioda se rozdělí na 60 částí, tzn. po 6° . Graf závislosti rychlosti na čase je na obrázku 3.3.



Obr. 3.3 – Graf závislosti rychlosti na čase



Obr. 3.4 – Graf závislosti dráhy na čase

Pro výpočet rychlostí v uvažujeme, že rychlost je derivací dráhy podle času. Stačí tedy vyjádřit funkci pro výpočet dráhy (3.13) a hledat její první derivaci (3.14). Abychom dostali po derivaci požadovanou funkci rychlosti \sin , musíme ve výpočtu dráhy použít funkci $-\cos$.

$$s = -\frac{T_s}{2} \cos\left(2\pi \frac{t}{T_t}\right) \quad (3.13)$$

$$(s)' = T_s \frac{\pi}{T_t} \sin\left(2\pi \frac{t}{T_t}\right)$$

$$v = T_s \frac{\pi}{T_t} \sin\left(2\pi \frac{t}{T_t}\right) \quad (3.14)$$

Tab. 3.1 – Tabulka výsledných hodnot vzorového příkladu

n	t [s]	v [mm/s]	s [mm]	n	t [s]	v [mm/s]	s [mm]
0	0,000	0,00	-5,00	30	0,500	0,00	5,00
1	0,017	3,28	-4,97	31	0,517	-3,28	4,97
2	0,033	6,53	-4,89	32	0,533	-6,53	4,89
3	0,050	9,71	-4,76	33	0,550	-9,71	4,76
4	0,067	12,78	-4,57	34	0,567	-12,78	4,57
5	0,083	15,71	-4,33	35	0,583	-15,71	4,33
6	0,100	18,47	-4,05	36	0,600	-18,47	4,05
7	0,117	21,02	-3,72	37	0,617	-21,02	3,72
8	0,133	23,35	-3,35	38	0,633	-23,35	3,35
9	0,150	25,42	-2,94	39	0,650	-25,42	2,94
10	0,167	27,21	-2,50	40	0,667	-27,21	2,50
11	0,183	28,70	-2,03	41	0,683	-28,70	2,03
12	0,200	29,88	-1,55	42	0,700	-29,88	1,55
13	0,217	30,73	-1,04	43	0,717	-30,73	1,04
14	0,233	31,25	-0,52	44	0,733	-31,25	0,52
15	0,250	31,42	0,00	45	0,750	-31,42	0,00
16	0,267	31,25	0,52	46	0,767	-31,25	-0,52
17	0,283	30,73	1,04	47	0,783	-30,73	-1,04
18	0,300	29,88	1,55	48	0,800	-29,88	-1,55
19	0,317	28,70	2,03	49	0,817	-28,70	-2,03
20	0,333	27,21	2,50	50	0,833	-27,21	-2,50
21	0,350	25,42	2,94	51	0,850	-25,42	-2,94
22	0,367	23,35	3,35	52	0,867	-23,35	-3,35
23	0,383	21,02	3,72	53	0,883	-21,02	-3,72
24	0,400	18,47	4,05	54	0,900	-18,47	-4,05
25	0,417	15,71	4,33	55	0,917	-15,71	-4,33
26	0,433	12,78	4,57	56	0,933	-12,78	-4,57
27	0,450	9,71	4,76	57	0,950	-9,71	-4,76
28	0,467	6,53	4,89	58	0,967	-6,53	-4,89
29	0,483	3,28	4,97	59	0,983	-3,28	-4,97
30	0,500	0,00	5,00	60	1,000	0,00	-5,00

V algoritmu výpočtu rychlostí opět nesmíme zapomenout porovnat největší rychlost s rychlostí maximální. Největší rychlost u funkce \sin je v $\pi/2$ a $3\pi/2$, ve vzorovém příkladě to je v čase $t = 0,25$ s a $0,75$ s, rychlost $v_{max} = 31,42$ mm/s.

Do algoritmu pro řízení pohybu charakteristiky sinus budeme implementovat tyto proměnné.

1. Zadané:

- čas periody
- dráha periody

2. Vypočtené:

- pole proměnných, krok $n = 6^\circ$ [čas n; rychlost n; dráha n]

3.2 Implementace algoritmů

Celý projekt sestává z následujících algoritmů:

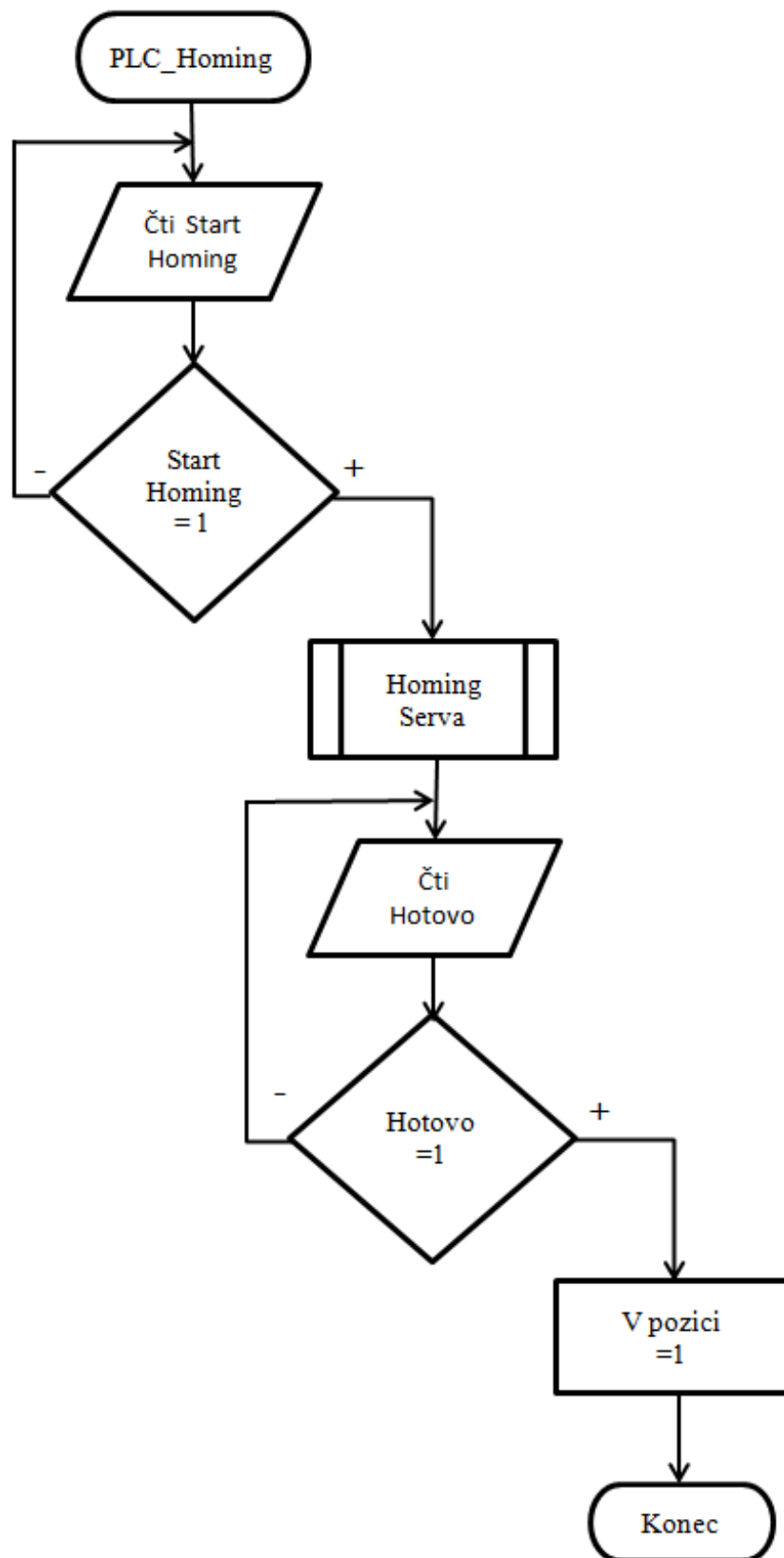
- PLC_homing
- PLC_pole_Sin
- PLC_Start_Obdelnik
- PLC_Start_Trojuhelnik
- PLC_Start_Sin
- PLC_motion
- PLC_vzorkovani
- PLC_tvorba pole
- PLC_ukladani
- PLC_vytvoreni_souboru

3.2.1 PLC_homing

V tomto programu se nastaví jezdec lineárního pohonu do výchozí polohy a zároveň relativní odměřování na počáteční nulu. Provedení homingu (zapozicování) vykoná ovladač servomotoru po spuštění tlačítka *Homing* na panelu operátora a je signalizováno svitem signalizace po úspěšném dokončení povelu. Jednotlivé sekvence homingu jsou:

- Směr pohybu vlevo do okamžiku rozepnutí snímače levé polohy (Limit switch 0, obr. 2.9).
- Reverzace směru pohybu.
- Sepnutí snímače levé polohy (Limit switch 0, obr. 2.9).
- Vypnutí pohybu, nastavení příznaku „*Homing_OK*“ (Zapozicování).

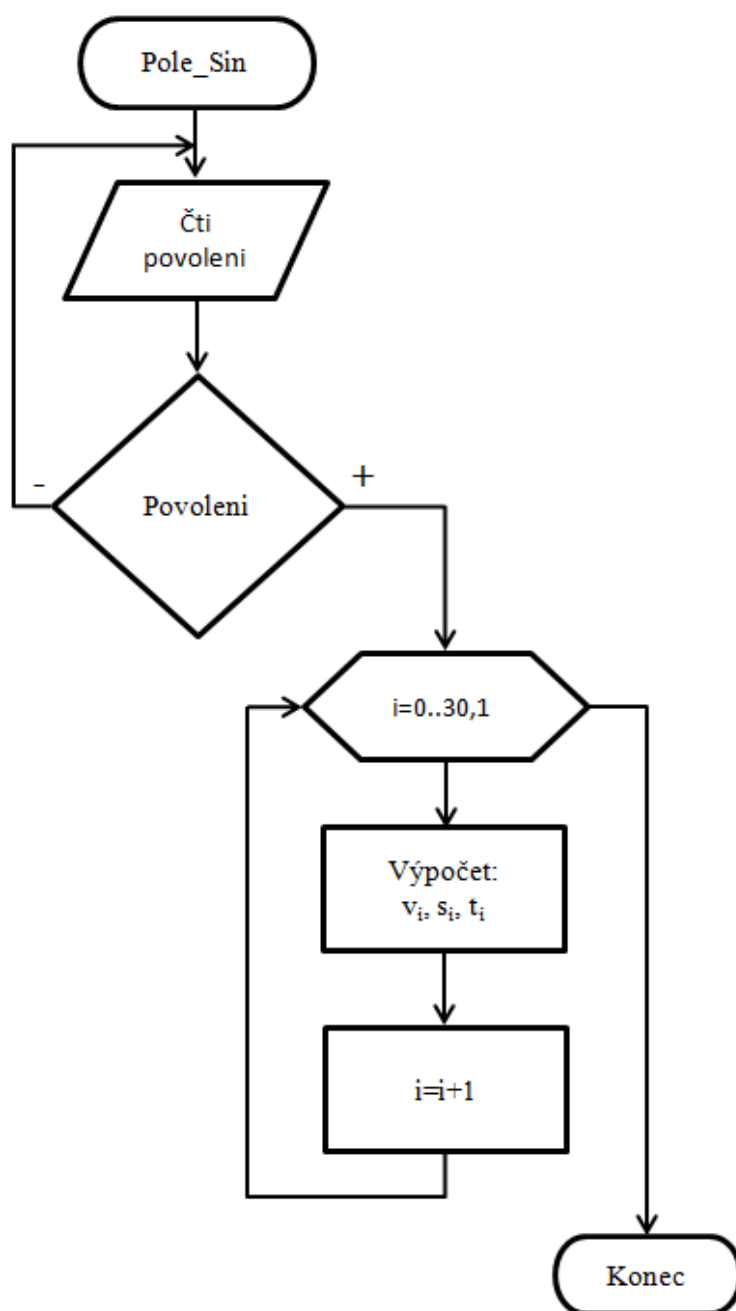
Negativní logika limitních snímačů, tzn. neseprnutý snímač = log 1 je z důvodu bezpečnosti. Při přerušení kabelu snímače nastane stejná logická úroveň jako při dosažení krajní polohy a ovladač zastaví další pohyb příslušným směrem. Vývojový diagram je na obrázku 3.5.



Obr. 3.5 – Vývojový diagram PLC_homing

3.2.2 PLC_pole_SIN

V tomto programu se vytvoří pole proměnných pro charakteristiku sin. Zadáním charakteristiky sin v operátorském panelu se spustí cyklus s 30-ti průchody s krokem 1. V každém kroku se spočítá rychlost, dráha a čas příslušný k jednotlivému úseku a uloží se do pole hodnot. Takto vytvořené pole se využije při zadávání jednotlivých rychlostí k sestavení charakteristiky sin.



Obr. 3.6 – Vývojový diagram PLC_pole_sin

3.2.3 PLC_Start_Sin

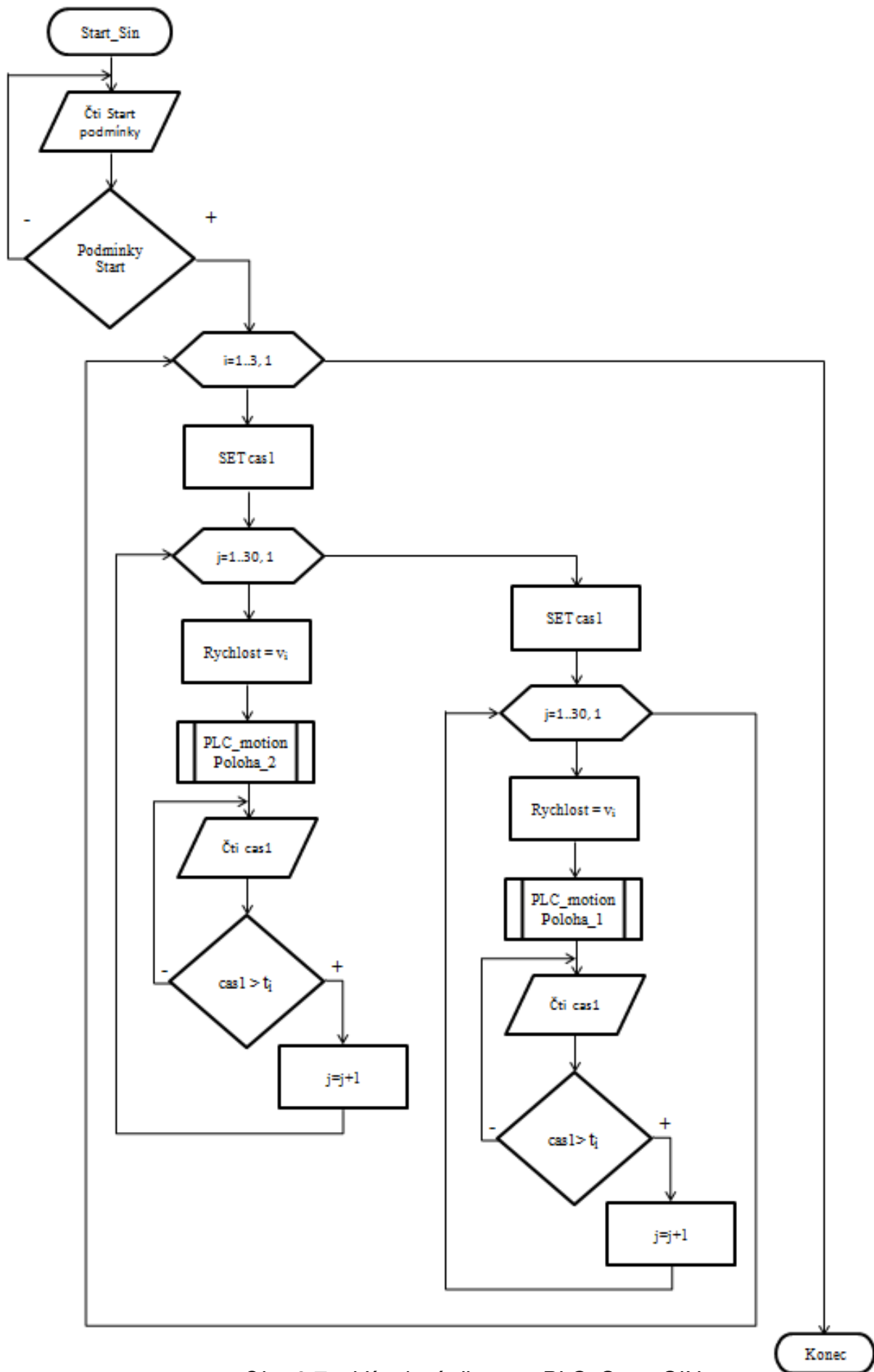
Aktivací tlačítka *Start* s navolenou charakteristikou sin na panelu operátora se spustí cyklus s pevným počtem průchodů, který určuje počet opakování celé periody. Další dva vnořené cykly spouští program PLC_motion, který startuje pohyb pohonu do příslušné polohy s rychlostí danou dříve sestaveným polem s aktuální hodnotou dle proměnného operátoru. Inkrementace proměnného operátoru je na základě splnění nerovnosti aktuálního času a příslušného času vypočteného v poli. Parametry pohybu sinus jsou definovány zadáním proměnných na panelu operátora. Vývojový diagram je na obrázku 3.7.

3.2.4 PLC_Start_Obdelnik

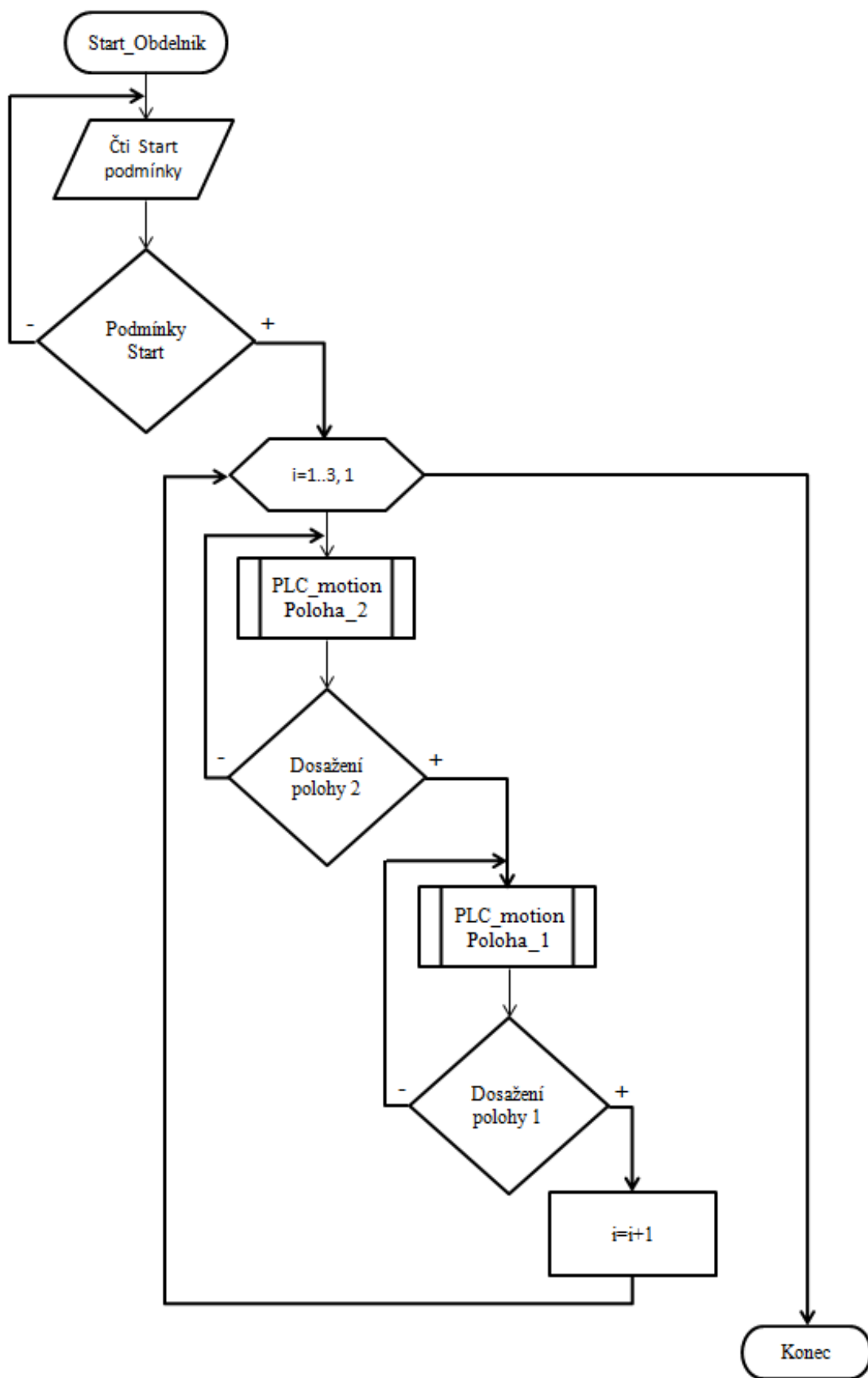
Aktivací tlačítka *Start* s navolenou charakteristikou obdélníku se spustí cyklus s pevným počtem průchodů, který určuje počet opakování. V každém cyklu se spuštěním programu PLC_motion odstartuje pohyb pohonu do polohy 2 a po dosažení této polohy zpět do polohy 1. Parametry pohybu jsou definovány nastavením proměnných na panelu operátora. Vývojový diagram je na obrázku 3.8.

3.2.5 PLC_Start_Trojuhelnik

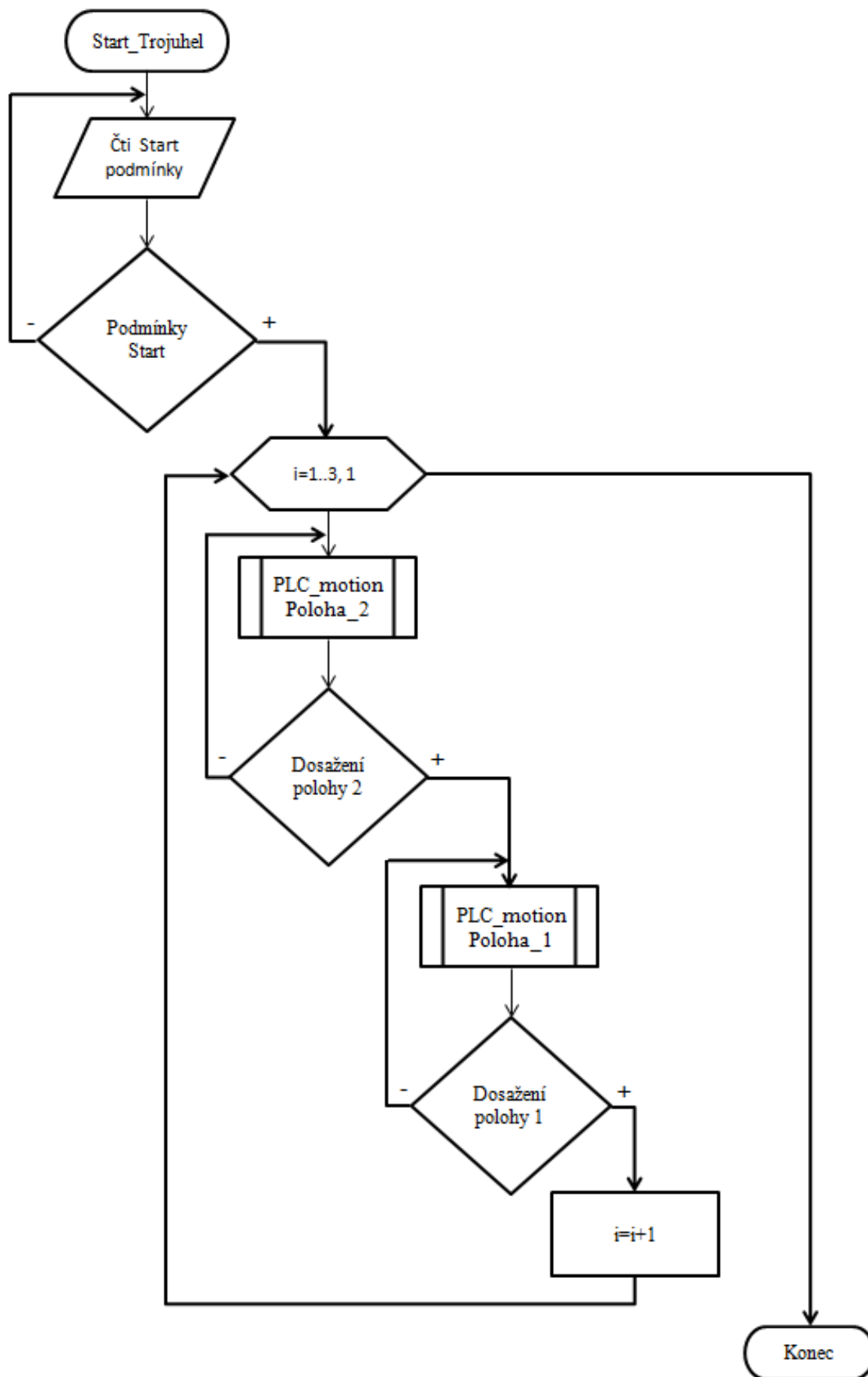
Aktivací tlačítka *Start* s navolenou charakteristikou trojúhelníku se spustí cyklus s pevným počtem průchodů, který určuje počet opakování. V každém cyklu se spuštěním programu PLC_motion odstartuje pohyb pohonu do polohy 2 a po dosažení této polohy zpět do polohy 1. Parametry pohybu jsou definovány nastavením proměnných na panelu operátora. Vývojový diagram je na obrázku 3.9.



Obr. 3.7 – Vývojový diagram PLC_Start_SIN



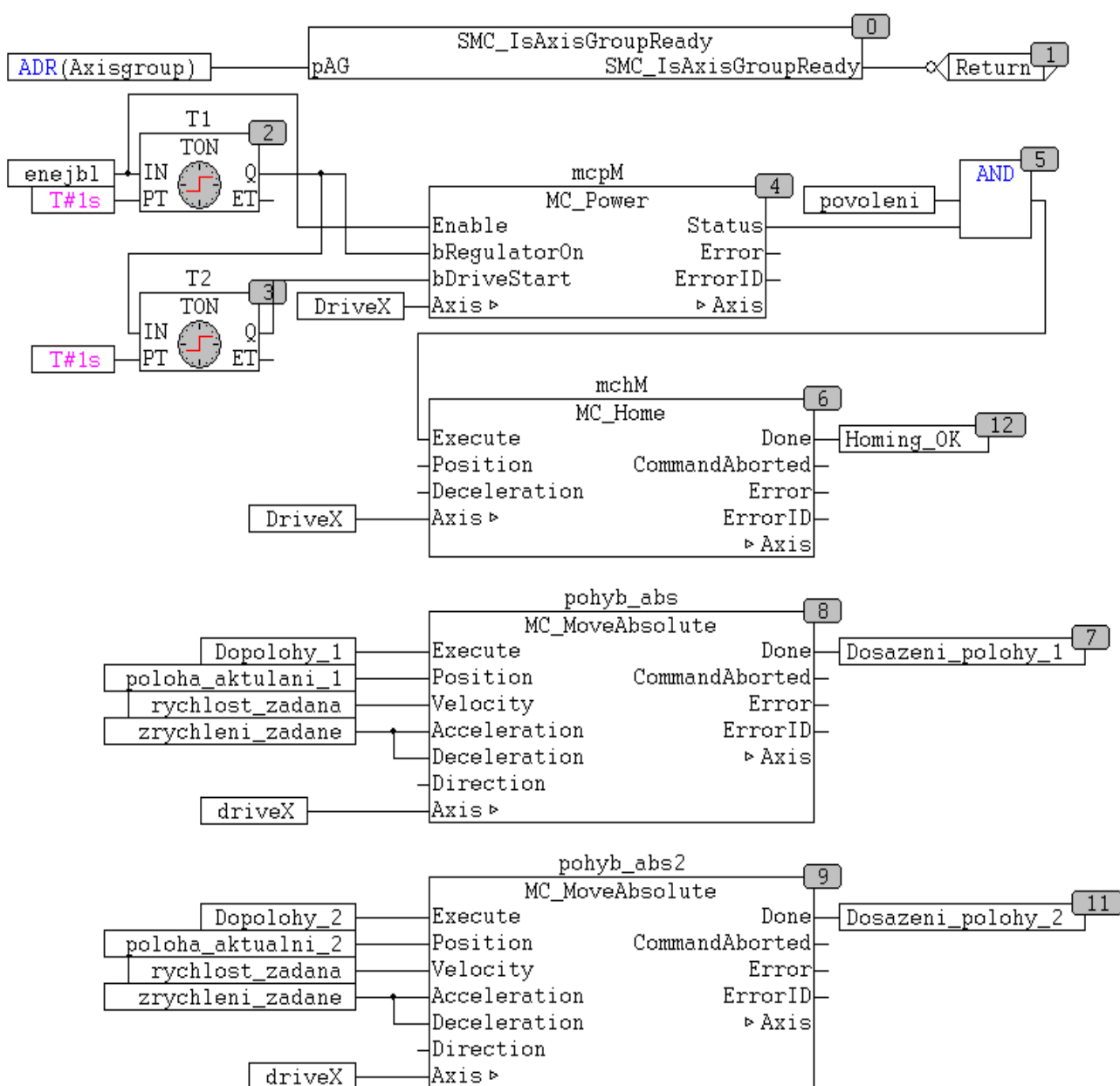
Obr. 3.8 – Vývojový diagram PLC_Start_Obdelnik



Obr. 3.9 – Vývojový diagram PLC_Start_trojehelnik

3.2.6 PLC_motion

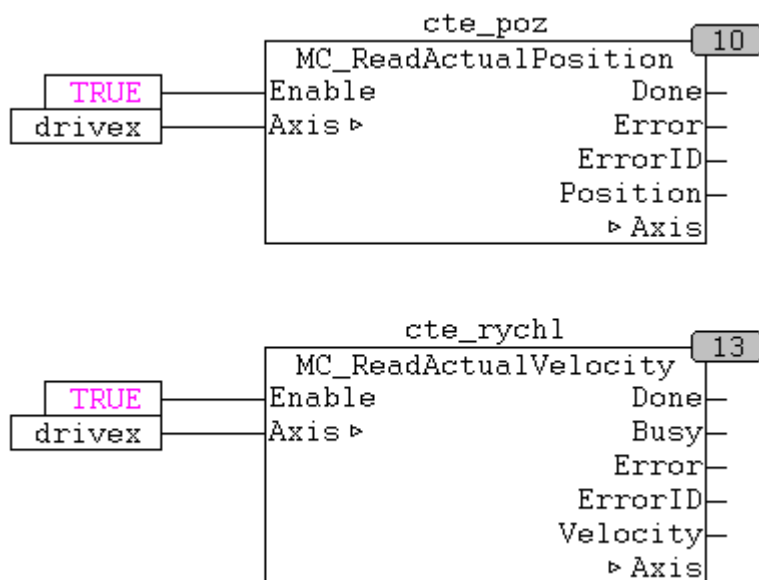
Tento program tvoří softwarové rozhraní mezi PLC a ovladačem servomotoru a je sestaven v editoru spojitého funkčního schématu. Využívá již vytvořené knihovny k ovladači a sdílí proměnné ovladače servomotoru s proměnnými v PLC. Na vstup ovladače se přivádí požadovaná poloha, rychlost, zrychlení a povel k vykonání pohybu. Dosažení polohy pak ovladač signalizuje příslušným výstupním signálem.



Obr. 3.10 – Spojité funkční schéma PLC_motion

3.2.7 PLC_vzorkovani

Tento program využívá v editoru spojitého funkčního schématu modul čtení aktuální pozice a aktuální rychlosti. Tyto proměnné jsou v následujícím programu ukládány do pole naměřených hodnot.



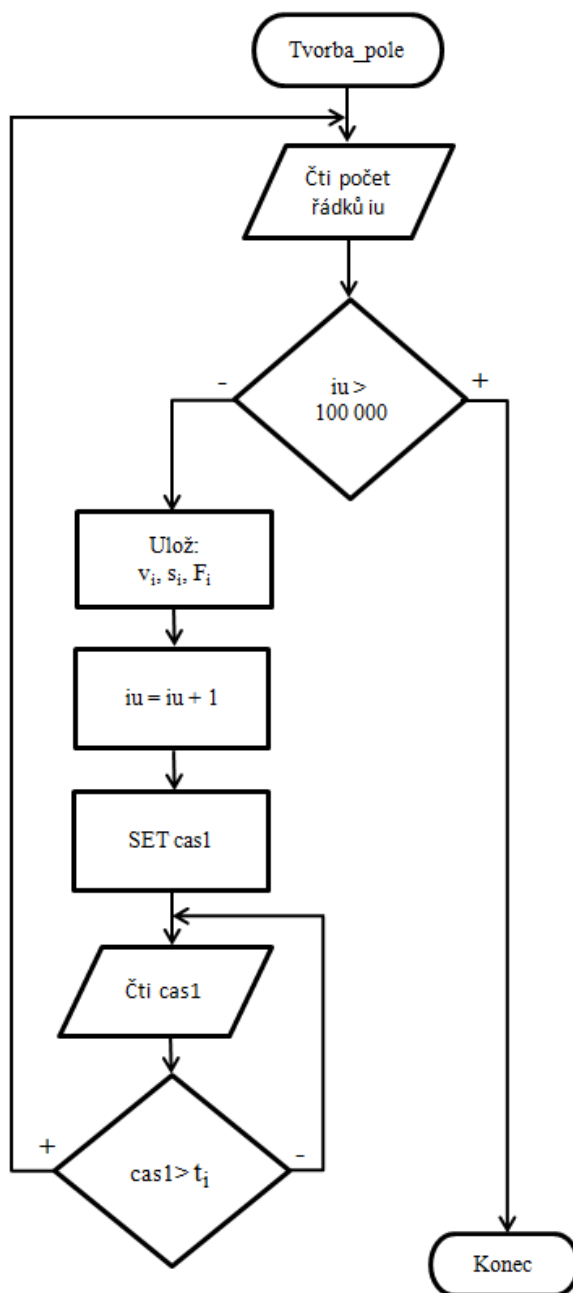
Obr. 3.11 – Spojité funkční schéma PLC_vzorkovani

3.2.8 PLC_tvorba pole

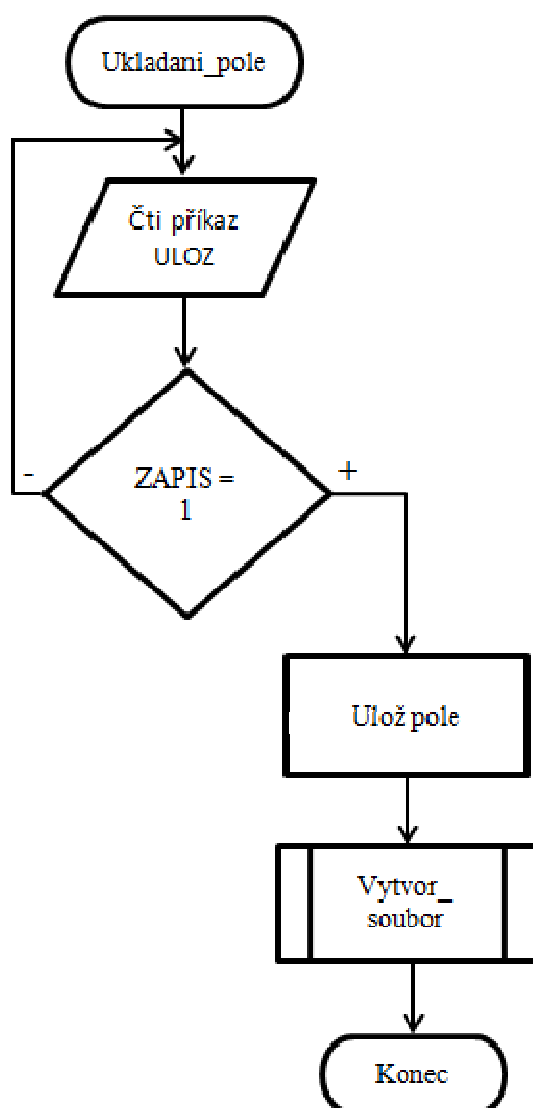
V tomto programu probíhá vzorkování naměřených hodnot. V cyklu s pevnou časovou periodou 5 ms se jednotlivé proměnné načítají a ukládají do pole hodnot. Pole je omezeno na 100 000 řádků. Vývojový diagram je na obrázku 3.12.

3.2.9 PLC_ukladani

Na základě příkazu o ukončení měření se pole hodnot vzorků převede do textového souboru s oddělenými položkami. Algoritmus je popsán vývojovým diagramem na obrázku 3.13.



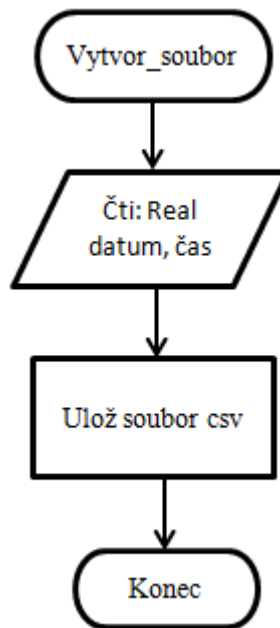
Obr. 3.12 – Vývojový diagram PLC_Tvorba pole



Obr. 3.13 – Vývojový diagram PLC_Ukladani_pole

3.2.10 PLC_vytvoreni_souboru

Tento program ukládá dříve vygenerovaný textový soubor s oddělenými položkami do formátu csv, přiřazuje název souboru a vybírá paměťové místo pro uložení. Název souboru se generuje z reálného data a času. Čímž jsou všechna měření uložena chronologicky.



Obr. 3.14 – Vývojový diagram PLC_ Vytvoření souboru



4 OBSLUHA A OVLÁDÁNÍ



Vlastní zkouška probíhá ve třech krocích.

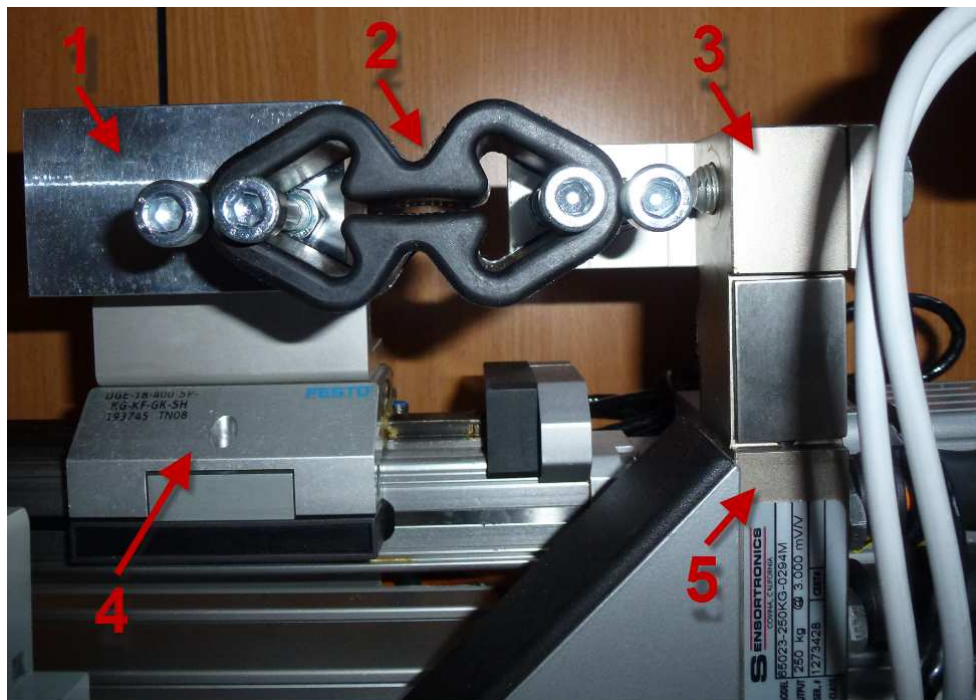
- Mechanické založení vzorku.
- Nastavení parametrů zkoušky a spuštění testování.
- Vyhodnocení naměřených hodnot.

4.1 Mechanické založení vzorku

Připojením k napájecímu napětí se aktivují veškeré elektrické obvody přípravku. Z důvodu relativního odměřování lineárního pohonu je před zahájením měření nutné referovat odměřování, tzn. nastavit výchozí polohu pohonu, který bez napájecího napětí tuto informaci ztratil. Referenční pohyb se spouští na dotykovém panelu tlačítkem **HOMING** a zapozicování je signalizováno svitem signalizace **V pozici**. Ovládací tlačítka jsou na obrázku 4.2.

Před upnutím je nutné ke zvolenému typu vzorku nasadit příslušnou upínací čelist, 1. a 3. pozice obrázku 4.1. Pomocí tlačítek *Posun zakládání*  /  nastavit vozík do upínací polohy a založit testovaný vzorek. Maximální zdvih pohonu je 400 mm, délka vzorku l_n po natažení nesmí překročit tuto délku.

Zkušební předpis výrobce bude definován až na základě provedených zkoušek. Je tedy možné, že po založení vzorku bude ještě požadováno předpětí vzorku. To je možné nastavit pomocí stejných tlačítek *Posun zakládání*  / , aktuální hodnota síly v tahu je zobrazena na panelu operátora. Zobrazení všech ovládacích a signalizačních návěstí je na obrázku 4.2.



Obr. 4.1 – Pohled na upnutý vzorek

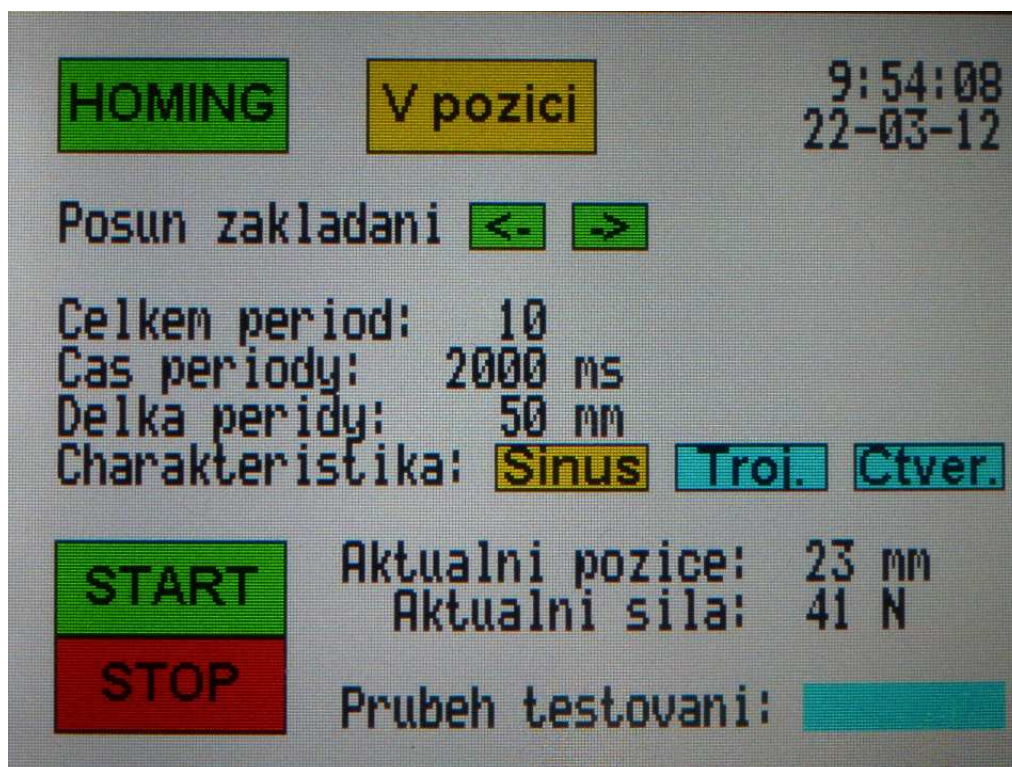
- 1 – upínací čelist pohyblivé části
- 2 – upnutý testovaný vzorek
- 3 – upínací čelist statické části (pohyblivá část tenzometru)
- 4 – vozík lineárního pohonu
- 5 – měřící tenzometr (pevná část)

4.2 Nastavení parametrů zkoušky a spuštění testování

Po mechanickém založení vzorku se na panelu nastaví všechny parametry zkoušky, tj.:

- délka periody v milimetrech
- čas periody v sekundách
- počet period
- volba charakteristiky

Spuštění zkoušky je tlačítkem **START**, k případnému přerušení zkoušky (např. přetržení vzorku, uvolnění vzorku z čelisti, jiná provozní závada) slouží tlačítko **STOP**.



Obr. 4.2 – Ovládací panel operátora

Význam všech ovládacích a signalizačních návěstí je následující:

HOMING - Tlačítko k nastavení reálné nuly odměřování, viz. kapitola 4.1.

V pozici – Signalizace dokončeného nastavení odměřování, viz. kapitola 4.1.

Datum a čas – Reálný datum a čas. Synchronizován s PLC.

Posun zakladani <- -> - Tlačítka ručního posunu pohyblivé čelisti, viz. kapitola 4.1.

Celkem period: XXX – Nastavení počtu period zkoušky. Po stisku nastaveného čísla se otevře numerická klávesnice k nastavení nové hodnoty. Rozsah nastavení 1 ÷ 999 period.

Cas periody – Nastavení času jedné periody. Po stisku nastaveného čísla se otevře numerická klávesnice k nastavení nové hodnoty. Rozsah nastavení času 1 000 ÷ 20 000 ms.

Delka periody - Nastavení délky jedné periody. Po stisku nastaveného čísla se otevře numerická klávesnice k nastavení nové hodnoty. Rozsah nastavení je $5 \div 300$ mm.


Charakteristika – Výběr charakteristiky stiskem příslušného tlačítka **Sinus** **Troj.** **Ctver.** V modrém poli nabídka, ve žlutém poli aktuální volba, např. **Troj.**

START – Tlačítko ke spuštění zkoušky.

STOP – Tlačítko k přerušení zkoušky.

Aktuální pozice: XXX mm – Aktuální hodnota pozice od krajní nuly.

Aktuální síla: XXX N – Aktuální hodnota síly.

Průběh testování:  - Bargraf znázorňující procentuální míru průběhu zkoušky. Plné pole, 100% výplň = začátek zkoušky, prázdné pole, 0% = konec zkoušky.

4.3 Vyhodnocení naměřených hodnot

Ukončením zkoušky se v PLC automaticky vygeneruje soubor ve formátu csv. Zde je uloženo pole naměřených hodnot. Pole obsahuje sloupce:

- Čas. Celkový čas od začátku zkoušky.
- Dráha. Aktuální pozice upínací pohyblivé čelisti.
- Rychlost. Aktuální rychlost upínací čelisti.
- Síla. Aktuální hodnota síly namáhání vzorku.

Způsob měření a zpracování výsledných hodnot je plně na výrobci gumových závěsů. V tuto chvíli výrobce nemá žádný prováděcí předpis, ani není předepsána žádná norma, či metodika k technologii zkoušení. Způsob zpracování a vyhodnocování naměřených hodnot bude zpracován až na základě zkoušek u výrobce závěsů. Právě vývoj popsaného měřicího zařízení by měl přinést nové možnosti při hodnocení výroby a při sledování opakovatelnosti kvality.

V další kapitole bude ukázka naměřených hodnot a možnosti jejich zpracování. Předmětem práce není technologický rozbor naměřených hodnot, nýbrž prokázání funkčnosti zařízení a ukázka náhodně odebraného vzorku jedné periody pro všechny tři zatěžovací charakteristiky. Zkoušený závěs A73 byl zapůjčen výrobcem.

Výsledky měření nejsou certifikovány a za jejich správnost výrobce nenesou žádnou odpovědnost.

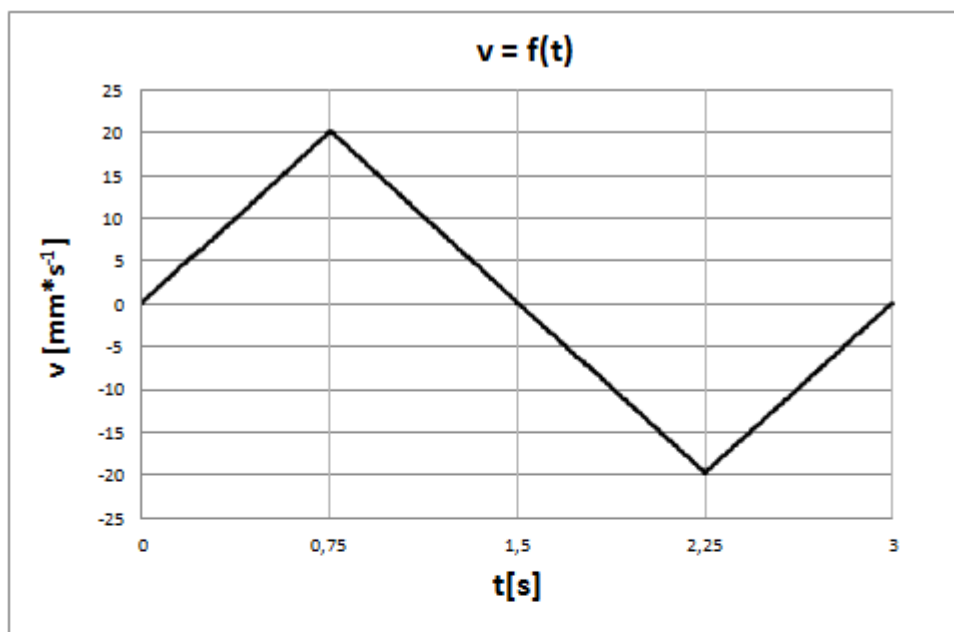
5 VÝSLEDKY ZKUŠEBNÍCH MĚŘENÍ

Parametry zkoušky pro daný výrobek jsou:

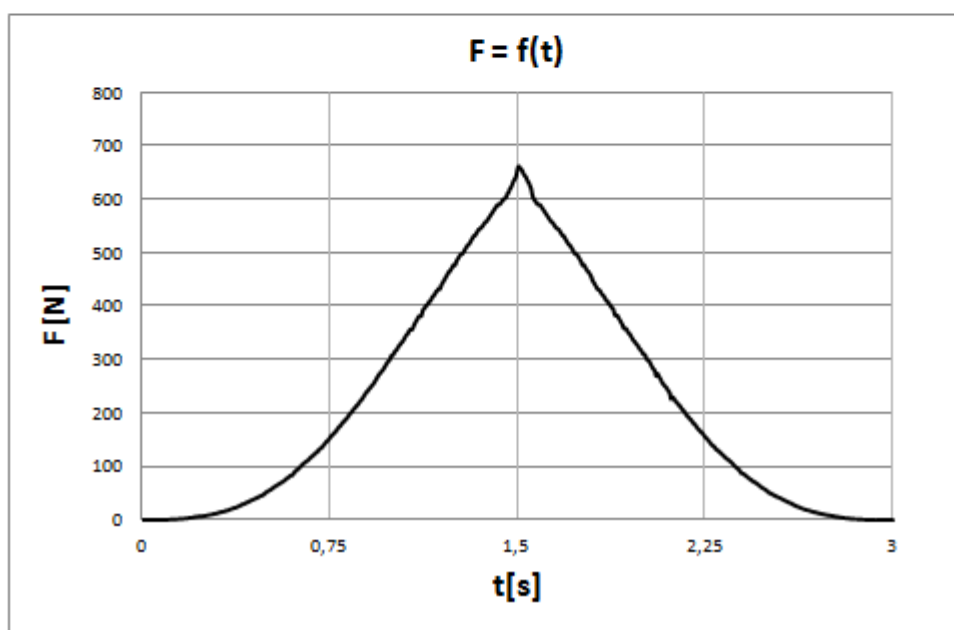
- čas periody $T_t = 3s$
- dráha periody $T_s = 30mm$
- počet period $P_T = 9$ (odebraný vzorek je 5. perioda)
- požadovaná charakteristika trojúhelník, obdélník, sinus

Následující grafy znázorní závislost rychlosti na čase a závislost síly na čase zkoušeného vzorku charakteristikami trojúhelníku, obdélníku a sinu.

5.1 Zatěžovací charakteristika trojúhelníku

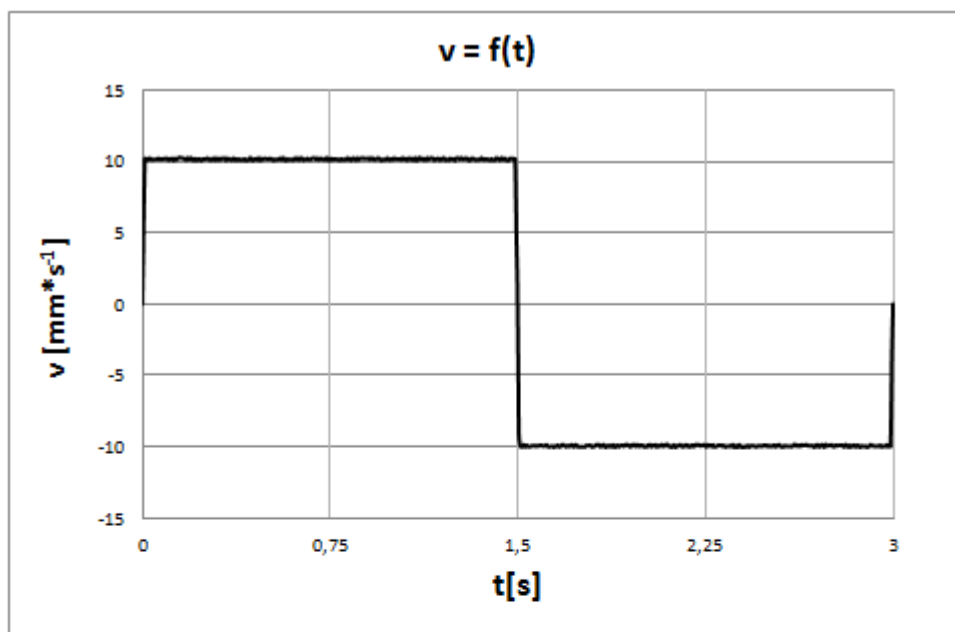


Obr. 5.1 – Graf závislosti rychlosti na čase

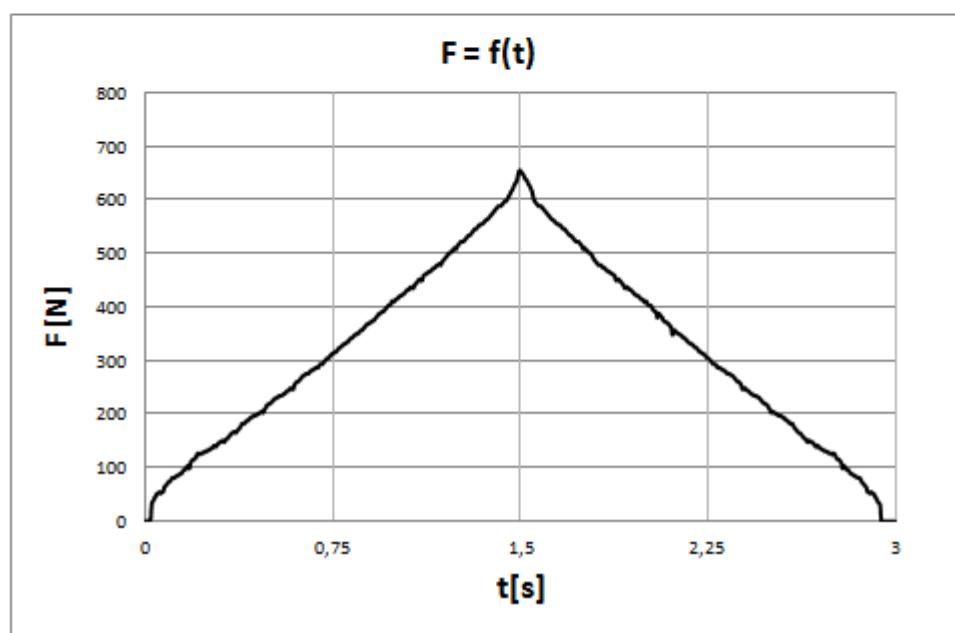


Obr. 5.2 – Graf závislosti síly na čase

5.2 Zatěžovací charakteristika obdélníku

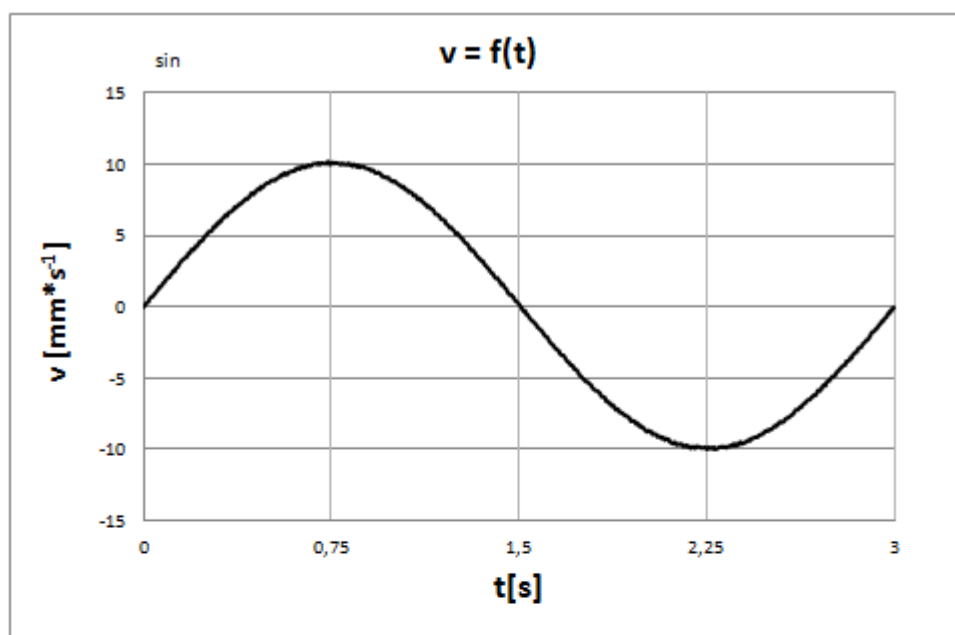


Obr. 5.3 – Graf závislosti rychlosti na čase

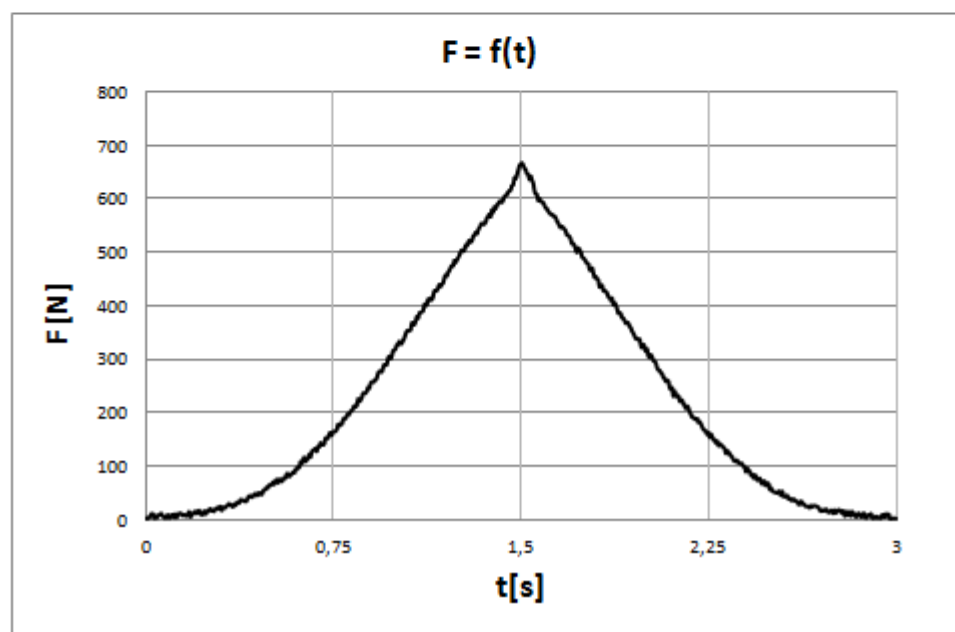


Obr. 5.4 – Graf závislosti síly na čase

5.3 Zatěžovací charakteristika sinus



Obr. 5.5 – Graf závislosti rychlosti na čase



Obr. 5.6 – Graf závislosti síly na čase

ZÁVĚR

Úkolem této práce bylo navrhnout a realizovat zkušební přípravek pro testování gumových závěsů.

Práce se v teoretické části zabývala požadavky na testování gumových závěsů, popisem zadávacích dat, vysvětlením zatěžovacích charakteristik a koncepcí přípravku.

V praktické části je popis všech hardwarových částí měřicího přípravku, jejich nejdůležitější parametry a vysvětlení jejich použití v přípravku. V této části je dále popsáno elektrické zapojení přípravku a jeho mechanické uspořádání. Nedílnou součástí je obsluha zařízení a vysvětlení ovládacích a signalizačních návěstí. Závěr praktické části se zabývá bezpečností přípravku.

Před sestavením řídicích programů bylo nutné zpracovat matematický rozbor zatěžovacích charakteristik, na jejich základě sestavit návrh algoritmů a vývojové diagramy a dále sestavit algoritmy ovládní a zápisu naměřených dat. Následně byly tyto algoritmy implementovány do PLC, odzkoušeny a byla odladěna funkčnost přípravku.

Na takto sestaveném přípravku bylo realizováno zkušební měření všemi požadovanými charakteristikami a z naměřených dat sestaveny grafy. Z grafů lze odvodit správné zatěžování vzorku podle zadání, přípravek je tedy plně funkční. Správnost naměřených sil a průtažností vzorků je na technologii výrobce závěsů. To bude předmětem zkušebny výrobce, která bude jednotlivé výsledky zpracovávat. Právě tyto výsledky budou hlavním cílem zkušebny při aplikaci zařízení v praxi.

Hlavní přínos práce spatřuji v praktickém řešení reálné problematiky. Jedná se o vývoj v technologii testování gumových závěsů. Bez sestaveného přípravku nelze porovnávat parametry závěsů z jednotlivých výrobních dávek. Tato měření nejen zaručí opakovatelnost a tím kvalitu výroby, ale můžou být i zpětnou vazbou při změně výrobních postupů. Právě technologické změny můžou přinést zvýšení užitných vlastností finálního výrobku nebo úspory ve výrobě, např. v podobě šetření energetických nebo materiálových vstupů.

Dále vidím přínos práce jako příklad propojení několika samostatných zařízení (PLC → PC → Servoovladač → Panel operátora → PC) do většího technického celku a jejich vzájemnou komunikaci pomocí decentrálních periférií. Práce je tak ukázkou využití moderních technologií a jejich aplikací v průmyslu.

SEZNAM LITERATURY

- [1] VLACH, Jaroslav. *Řízení a vizualizace technologických procesů*. Praha : BEN technická literatura, 1999. 159 s. ISBN 80-86056-66-X.
- [2] *xDKI digitální katalog Festo*. Praha 2010. Neautorizováno.
- [3] MOC, Martin. *Počítačem řízené experimenty*. Hradec Králové : Univerzita Hradec Králové, Bakalářská práce, 2010. 44 s.
- [4] PAVELKA, J. *Elektrické pohony*. Skripta ČVUT Praha, 2007. 222s. ISBN 978-80-01-03588-7.
- [5] PAVELKA, J.; ČEŘOVSKÝ, Z.; JAVŮREK, J. *Elektrické pohony*. Skripta ČVUT Praha, 1996. 221s. ISBN 80-01-01411-8.
- [6] UHLÍŘ, I. *Elektrické stroje a pohony*. Skripta ČVUT Praha, 2007. 137s. ISBN 978-80-01-03730-0.
- [7] GÜRTLER, Martin.; KOCICH, Pavel. *1001 Tipů a triků pro VISUAL BASIC*. Praha : Computer Press, 2000. 328 s. ISBN 80-7226-368-4.
- [8] MAIXNER, Ladislav a kolektiv. *Mechatronika učebnice*. Brno : Computer Press, a. s., 2006. 280 s. ISBN 80-251-1299-3.
- [9] BĚLOHOUBEK, P. *Elektrické servopohony, jejich řízení a aplikace*. Brno : Inženýrské centrum Brno, 1998. 90s. ISBN 80-902175-4-0.
- [10] Elektronický katalog Blumenbecker. *Výběr ze sortimentu napájecích zdrojů*. [online]. 2012. [cit. 16. 4. 2012]. Dostupné z WWW: http://img.blumenbecker.cz/pdf/Zdroje_MURR-ps.pdf.

- [11] Wikipedia. CSV (Comma-separated values). [online]. 2. 10. 2011. [cit. 21. 4. 2012]. Dostupné z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/CSV>>.
- [12] SMUTNÝ, Pavel. *E-AUTOMATIZACE*. [online]. 12. 9. 2009. [cit. 21. 4. 2012]. Dostupné z WWW: <<http://www.e-automatizace.cz/encyklopedie.asp?Hledat=vse>>.
- [13] KOCINA, Aleš. *Inovace řídicího systému výukového a demonstračního robota Festík*. [online]. Praha, 52 s. [cit. 15. 12. 2006.] Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze. Dostupné z WWW: <http://iat.fs.cvut.cz/109/files/DP/Festik_DP2006_Kocina/DP_2006_Ales_Kocina.pdf>.
- [14] TALÁCKO, Jaroslav. *Projektování automatizovaných systémů*. Praha : ČVUT, 1996. 124 s. ISBN 80-01-01441-X.
- [15] DLABOLA, František; STARÝ, Jaroslav. *Systémy s mikroprocesory a přenos dat*. Praha : Nakladatelství dopravy a spojů, 1986. 521 s.
- [16] PINL, Libor. *Vybrané kapitoly z automatizace*. Plzeň : Západočeská univerzita v Plzni, 2001. 73 s. ISBN 80-7082-847-1.
- [17] CHVÁLA, Břetislav a kol. *Automatizace*. Praha : Státní nakladatelství technické literatury, 1985. 603 s.
- [18] ŠVEC, Jan. *Příručka automatizační a výpočetní techniky*. Praha : Státní nakladatelství technické literatury, 1974. 906 s.
- [19] TŮMA, Jan. *Automatizace a kybernetika*. 2. upravené vydání. Praha : Státní pedagogické nakladatelství, 1971. 193 s.

- [20] CHVÁLA, Břetislav; MATIČKA, Robert; TALÁCKO, Jaroslav. *Průmyslové roboty a manipulátory*. Praha : SNTL - Nakladatelství technické literatury, n. p., 1990. 280 s.
- [21] RUMÍŠEK, P.: *Automatizace výrobních procesů*, VUT Brno, 1988
- [22] RUMÍŠEK, P.: *Automatizace výrobních procesů II*, VUT Brno, 1990
- [23] MOC, Martin. *Testování podtlakových regulačních ventilů turbodmychadel*. Pardubice : Univerzita Pardubice, Ročníkový projekt I., 2011. 23 s.
- [24] MOC, Martin. *Ovládání lineárního pohonu servomotorem po křivce*. Pardubice : Univerzita Pardubice, Ročníkový projekt II., 2012. 41 s.
- [25] *Citace*. [online]. 2. 10. 2004. [cit. 1. 3. 2012]. Dostupné na: <www.citace.com>.
- [26] JALOVÝ, M.; JALOVÁ, M.; ANDRLÍK, V.: *Průmyslové roboty a manipulátory*, ČVUT, Praha, 2005

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1.1 – Typy možných závěsů	- 9 -
Obr. 1.2 – Charakteristiky požadovaného pohybu.....	- 10 -
Obr. 1.3 – Symbolický návrh sestavy	- 12 -
Obr. 1.4 – Akční část, servomotor s lineárním pohonem.....	- 12 -
Obr. 2.1 – Popis jednotlivých částí PLC	- 13 -
Obr. 2.2 – Obrázek dotykového panelu.....	- 15 -
Obr. 2.3 – Popis ovladače servomotoru	- 16 -
Obr. 2.4 – Servomotor.....	- 18 -
Obr. 2.5 – Lineární pohon	- 19 -
Obr. 2.6 – Spínaný zdroj 24V DC.....	- 20 -
Obr. 2.7 – Tenzometrický můstek.....	- 20 -
Obr. 2.8 – 16-ti bitový A/D převodník	- 21 -
Obr. 2.9 – Elektrické schéma zapojení, list 1.....	- 22 -
Obr. 2.10 – Elektrické schéma zapojení, list 2.....	- 23 -
Obr. 2.11 – Sestavený přípravek.....	- 24 -
Obr. 3.1 – Graf závislosti rychlosti na čase	- 27 -
Obr. 3.2 – Graf závislosti rychlosti na čase	- 29 -
Obr. 3.3 – Graf závislosti rychlosti na čase	- 32 -
Obr. 3.4 – Graf závislosti dráhy na čase	- 32 -
Obr. 3.5 – Vývojový diagram PLC_homing.....	- 36 -
Obr. 3.6 – Vývojový diagram PLC_pole_sin.....	- 37 -
Obr. 3.7 – Vývojový diagram PLC_Start_SIN.....	- 39 -
Obr. 3.8 – Vývojový diagram PLC_Start_Obdelnik.....	- 40 -
Obr. 3.9 – Vývojový diagram PLC_Start_trojuhelnik	- 41 -
Obr. 3.10 – Spojité funkční schéma PLC_motion.....	- 42 -
Obr. 3.11 – Spojité funkční schéma PLC_vzorkovani	- 43 -
Obr. 3.12 – Vývojový diagram PLC_Tvorba pole	- 44 -
Obr. 3.13 – Vývojový diagram PLC_Ukladani pole.....	- 45 -
Obr. 3.14 – Vývojový diagram PLC_Vytvoření souboru	- 46 -
Obr. 4.1 – Pohled na upnutý vzorek.....	- 48 -
Obr. 4.2 – Ovládací panel operátora	- 49 -
Obr. 5.1 – Graf závislosti rychlosti na čase	- 53 -
Obr. 5.2 – Graf závislosti síly na čase.....	- 53 -
Obr. 5.3 – Graf závislosti rychlosti na čase	- 54 -
Obr. 5.4 – Graf závislosti síly na čase.....	- 54 -
Obr. 5.5 – Graf závislosti rychlosti na čase	- 55 -
Obr. 5.6 – Graf závislosti síly na čase.....	- 55 -

SEZNAM TABULEK

Tab. 2.1 – Parametry procesorové části PLC.....	- 14 -
Tab. 2.2 – Parametry modulu analogových vstupů PLC	- 15 -
Tab. 2.3 – Parametry dotykového panelu.....	- 16 -
Tab. 2.4 – Parametry ovladače servomotoru.....	- 17 -
Tab. 2.5 – Parametry servomotoru.....	- 18 -
Tab. 2.6 – Parametry lineárního pohonu	- 19 -
Tab. 2.7 – Parametry spínaného zdroje	- 20 -
Tab. 3.1 – Tabulka výsledných hodnot vzorového příkladu.....	- 33 -

SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA 1

Výpis programu PLC_homing

Výpis programu PLC_pole_Sin

Výpis programu PLC_Start_Obdelnik

Výpis programu PLC_Start_Trojuhelnik

Výpis programu PLC_Start_Sin

Výpis programu PLC_motion

Výpis programu PLC_vzorkovani

Výpis programu PLC_tvorba pole

Výpis programu PLC_ukladani

Výpis programu PLC_vytvoreni_souboru

Program PLC_homing

(* Prgm slouží k homingu serva před spouštěním = nalezení nulové polohy*)

```
IF homing_Start THEN
enejbl:=TRUE;          (* Odblokování regulátoru*)
povoleni:=TRUE;      (* Spuštění homingu*)
END_IF
```

Program PLC_pole_SIN

(* Prgm vypočítá pole proměnných ke křivce sin. *)

```
(*   ix:INT;1 - rychlost
      iy:INT;2 - dráha
      iz:INT; 3 - čas*)
```

```
CASE krok OF
```

```
0:IF povoleni THEN
```

```
ix:=0;
krok:=10;
END_IF
```

```
10:IF povoleni THEN
```

```
pole_sin[ix,1]:=(poloha_zadana/2) - (poloha_zadana/2)*COS(6*0.017453292*ix);
pole_sin[ix,2]:=(20*3.141592654*poloha_zadana/cas_polohy)*SIN(6*0.017453292*ix
);
pole_sin[ix,3]:=(cas_polohy*ix/60);
ix:=ix+1;
krok:=10;
END_IF
ELSE
krok:=0;
END_CASE
```

Příloha 1

Program PLC_Start_Obdelnik

(* Prgm řídí vlastní pohyb po křivce Obdelník.*)

(* Vstup zadávacích parametrů je z přepínače Hexswitch Prgm PLC_switch*)

CASE krok OF

0:

IF start AND Homing_OK THEN

pocet_cyklu:=0;

Dopolohy_2:=TRUE; (* Poloha 1 je výchoz, tzn. 0mm.*)

krok:=10;

END_IF

10:

IF Dosazeni_polohy_2 THEN

Dopolohy_2:=FALSE;

Dopolohy_1:=TRUE;

krok:=20;

END_IF

20:

IF Dosazeni_polohy_1 THEN

dopolohy_1:=FALSE;

pocet_cyklu:=pocet_cyklu +1;

krok:=30;

END_IF

30:

IF pocet_cyklu < 3 THEN

dopolohy_2:=TRUE;

krok:=10;

```
ELSE  
krok:=0;  
END_IF  
END_CASE
```

Program PLC_Start_trojuhelnik

(* Prgm řídí vlastní pohyb po křivce Obdélník.*)

(* Vstup zadávacích parametrů je z přepínače Hexswitch Prgm PLC_switch*)

```
CASE krok OF
```

```
0:
```

```
IF start AND Homing_OK THEN
```

```
pocet_cyklu:=0;
```

```
Dopolohy_2:=TRUE;      (* Poloha 1 je výchoz, tzn. 0mm.*)
```

```
krok:=10;
```

```
END_IF
```

```
10:
```

```
IF Dosazeni_polohy_2 THEN
```

```
Dopolohy_2:=FALSE;
```

```
Dopolohy_1:=TRUE;
```

```
krok:=20;
```

```
END_IF
```

```
20:
```

```
IF Dosazeni_polohy_1 THEN
```

```
dopolohy_1:=FALSE;
```

```
pocet_cyklu:=pocet_cyklu +1;
```

```
krok:=30;
```

```
END_IF
```

30:

IF pocet_cyklu < 3 THEN

dopolohy_2:=TRUE;

krok:=10;

ELSE

krok:=0;

END_IF

END_CASE

Program PLC_Start_SIN

Prgm řídí vlastní pohyb po křivce Sin. Pole proměnných rychlosti, času a dráhy je tvořeno v Prgm PLC_pole_Sin*)

(* ix:INT;1 - rychlost

ix:INT;2 - dráha

ix:INT; 3 - čas*)

CASE krok OF

0:IF (Hexswitch > 9) AND start AND Homing_OK THEN

pocet_cyklu:=0;

krok:=10;

END_IF

10:i:=1;

set_cas1:=FALSE;

krok:=20;

20: set_cas1:=TRUE;

rychlost_zadana:= pole_sin[i,1];

dopolohy_2:=TRUE;

cas2(IN:=FALSE,PT:=T#4ms);

krok:=30;

Příloha 1

```
30:IF TIME_TO_REAL (cas1.ET) > (pole_sin[i,3] ) THEN
dopolohy_2:=FALSE;
i:=i+1;
krok:=40;
END_IF
```

```
40: cas2(IN:=TRUE,PT:=T#4ms);
IF cas2.Q AND i < 31 THEN
krok:=20;
END_IF
```

```
IF i =31 THEN
krok:=100;
END_IF
```

```
100:i:=1;
set_cas1:=FALSE;
krok:=110;
```

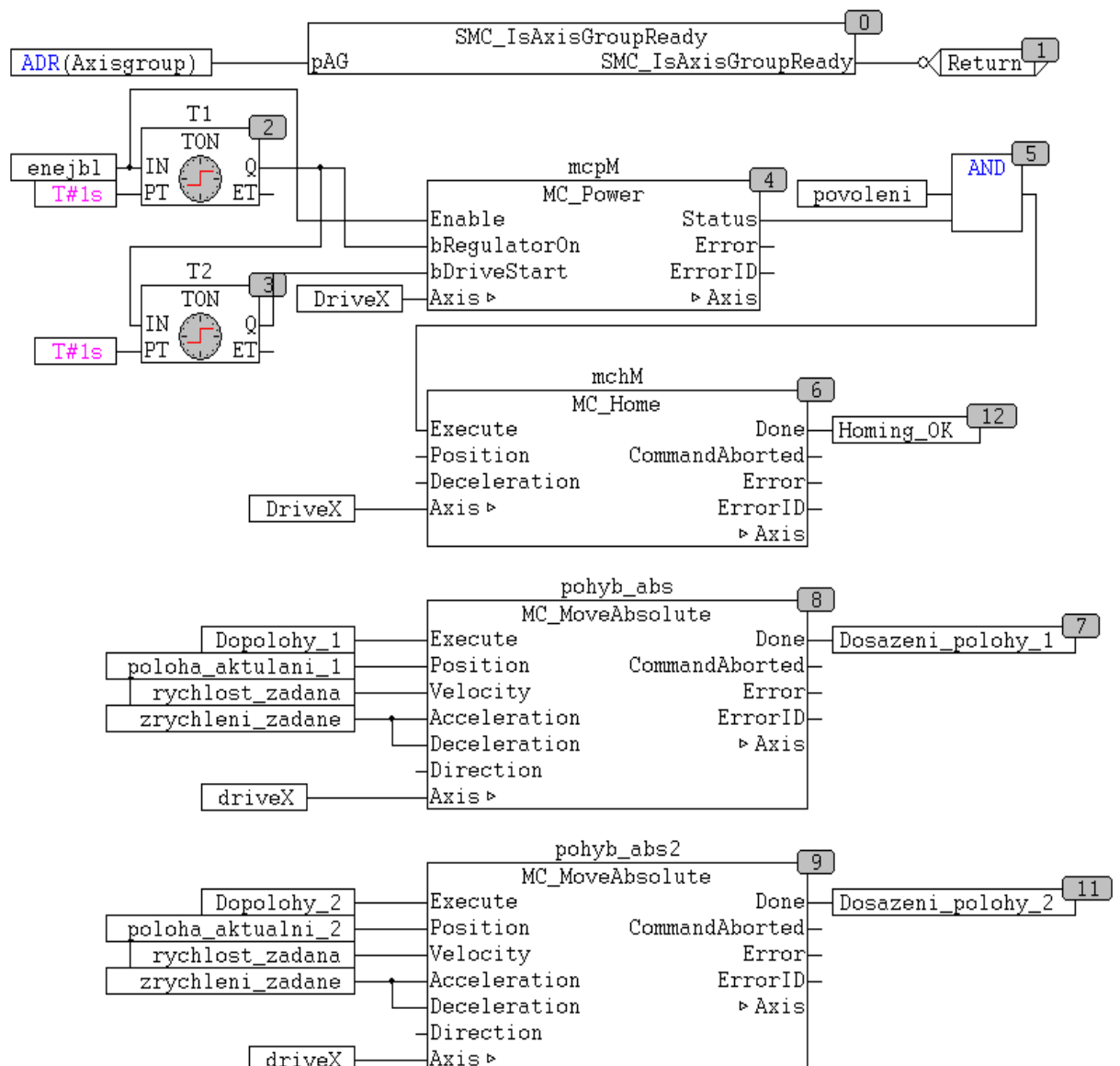
```
110: set_cas1:=TRUE;
rychlost_zadana:= pole_sin[i,1];
dopolohy_1:=TRUE;
cas2(IN:=FALSE,PT:=T#5ms);
krok:=120;
```

```
120:IF TIME_TO_REAL (cas1.ET) > (pole_sin[i,3] ) THEN
dopolohy_1:=FALSE;
i:=i+1;
krok:=130;
END_IF
```

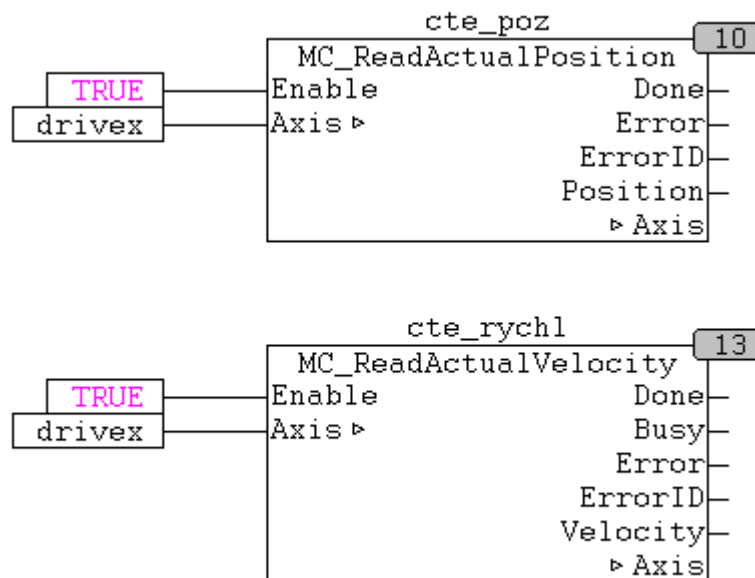
```

130: cas2(IN:=TRUE,PT:=T#5ms);
IF cas2.Q AND i < 31 THEN
krok:=100;
END_IF
IF i= 31 THEN
pocet_cyklu:=pocet_cyklu +1;
krok:=0;
END_IF
END_CASE
    
```

Program PLC_motion



Program PLC_vzorkovani



Program PLC_tvorba_pole

```
IF ukladej THEN
```

```
cas_celkem(in:=TRUE, pt:=t#200s);
```

```
ELSE
```

```
cas_celkem(in:=FALSE, pt:=t#200s);
```

```
END_IF
```

```
CASE krok OF
```

```
0:IF ukladej THEN
```

```
iu_x:=1;
```

```
krok:=10;
```

```
END_IF
```

```
10:cas_ulozeni(in:=TRUE, pt:=t#5ms);
```

```
IF cas_ulozeni.Q THEN
```

```
pole_k_ulozeni[iu_x,1]:=TIME_TO_REAL(cas_celkem.et);
```

Příloha 1

```
pole_k_ulozeni[iu_x,2]:=cte_poz.Position;  
pole_k_ulozeni[iu_x,3]:=cte_rychl.Velocity;  
krok:=20;  
END_IF
```

```
20: IF ukladej AND iu_x<5001 THEN  
iu_x:=iu_x+1;  
cas_ulozeni(in:=FALSE, pt:=t#5ms);  
krok:=10;  
END_IF
```

```
IF NOT ukladej THEN  
cas_ulozeni(in:=FALSE, pt:=t#5ms);  
krok:=0;  
END_IF  
END_CASE  
(*  
FOR iu_x := 1 TO 500 DO  
END_FOR*)
```

Program PLC_ukladani

```
(*Init*)  
IF xRun AND NOT xStarted THEN  
    xBusy              :=TRUE;  
    xStartwrite       :=TRUE;  
    xStarted          :=TRUE;  
    dwFilePointer     :=0;  
    dwByteCount       :=0;  
END_IF
```

```
(*Reset Busy after operation*)  
IF NOT xStartwrite THEN
```

Příloha 1

```
xBusy:=FALSE;
END_IF
(*Reset marker rising edge*)
IF NOT xRun AND NOT xBusy THEN
xStarted:=FALSE;
END_IF
IF xStartWrite THEN (*Open file or create a new one and start writing
from the beginning*)
    dwFilePointer:= SysFileOpen ( FileName:=sFileName,
    (*Function call "SysFileOpen" store return value to "dwFilePointer"*)
    Mode:='w' );
    (*Parameter "W" open in append-mode*)

sText:=CONCAT(REAL_TO_STRING(pole_k_ulozeni[1,1]),';');
ix_pole:=1;
iy_pole:=1;
IF dwFilePointer>0 THEN (*when file is opened then read one string in
the first line*)
FOR i := 1 TO iArraySize DO
dwByteCount:= SysFileWrite ( File:=dwFilePointer,(*Parameter handle of
file*)
Buffer:= ADR(sText), (*Parameter adress of stringvariable*)
Size:=LEN(sText)); (*Parameter size of stringvariable*)

iy_pole:=iy_pole+1;
IF iy_pole=3 THEN
sText:=CONCAT(REAL_TO_STRING(pole_k_ulozeni[ix_pole,iy_pole]),'$R$N');(*app
end LineFeed $R$N*)
IF sText=CONCAT(REAL_TO_STRING(pole_k_ulozeni[ix_pole,iy_pole]),'$R$N')
THEN
ix_pole:=ix_pole+1;iy_pole:=0;
END_IF
```

Příloha 1

```
ELSE
sText:=CONCAT(REAL_TO_STRING(pole_k_ulozeni[ix_pole,iy_pole]),',');
END_IF
END_FOR
SysFileClose(File:=dwFilePointer); (*close file after
appending*)
xStartWrite:=FALSE; (*Reset
xStart*)
END_IF
END_IF
```

Program PLC_vytvoreni_souboru

```
datum:=SysRtcGetTime(dummy:=TRUE);
```

```
CASE krok OF
```

```
0:IF udelej_soubor THEN
```

```
zapisuju:=TRUE;
```

```
datum_string:=DT_TO_STRING(datum);
```

```
smena:='C';
```

```
krok:=10;
```

```
END_IF
```

```
10: do_nazvu := MID (datum_string,6,9); (*pocet znaku 8, od pozice 9*)
```

```
krok:=15;
```

```
15: do_nazvu:=CONCAT (do_nazvu,smena);
```

```
krok:=20;
```

```
20: do_nazvu:=CONCAT (do_nazvu,'.csv');
```

Příloha 1

krok:=30;

30:PLC_ukladani.sFileName:=do_nazvu>(*CONCAT('ffx',);*)

krok:=40;

40:PLC_ukladani.xRun:=TRUE;

IF NOT PLC_ukladani.xBusy AND PLC_ukladani.xStarted THEN

krok:=50;

END_IF

50: PLC_ukladani.xRun:=FALSE;

zapisuju:=FALSE;

udelej_soubor:=FALSE;

krok:=0;

END_CASE