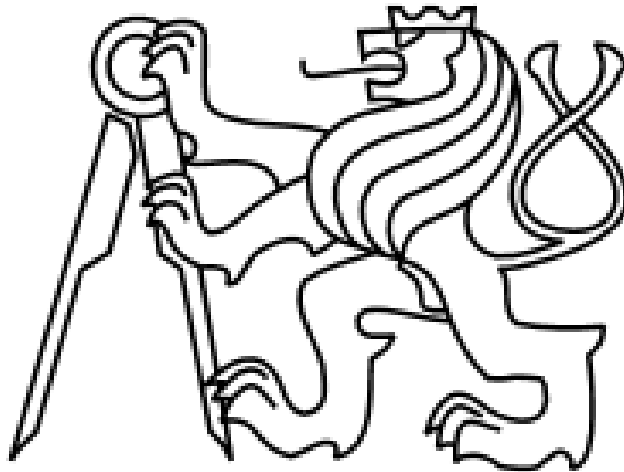


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ
ÚSTAV PŘÍSTROJOVÉ A ŘÍDICÍ TECHNIKY



DIPLOMOVÁ PRÁCE
Řídicí systém pro kladkový stav se železničním podvozkem

2016

Bc. Radek Fuksa

Vysoká škola: ČVUT v Praze

Pracoviště: Ústav přístrojové a řídicí techniky

Fakulta: strojní

Akademický rok: 2016/2017

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

posl: **Bc. Radek FUKSA**

obor: Přístrojová a řídicí technika

Název tématu:

Řídicí systém pro kladkový stav se železničním podvozkem

Název anglicky:

Control System for Roller Stand with Railway Chassis

Zásady pro zpracování

1. Seznamte se s konstrukcí kladkového stavu
2. Specifikujte HW pro výkonovou a řídicí část řídicího systému a navrhnete koncepci zapojení HW
3. Navrhnete a realizujete SW pro řízení kladkového stavu
4. Ověřte funkci řídicího systému

Rozsah grafických prací: dle pokynů vedoucího DP

Rozsah přívodní zprávy: min. 50 stran + přílohy

Seznam odborné literatury:

Javůrek, J.: Reglace moderních elektrických pohonů, Grada, Praha 2003, ISSN 80-247-0507-9

Firemní literatura Lenze

Vedoucí diplomové práce: prof. Ing. Jaroslav Novák, CSc.

Data zaslání diplomové práce: 26. 10. 2016

Termín odevzdání diplomové práce: 6. 1. 2017



doc. Ing. Jan Chyský, CSc.
vedoucí ústavu



prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
děkan fakulty

V Praze dne: 24. 10. 2016

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady (literaturu, projekty, SW atd.) uvedené v příloženém seznamu. Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne

.....

podpis

Poděkování

Děkuji prof. Ing Jaroslavu Novákovi CSc. a Ing. Janu Kalivodovi PhD za odborné a organizační vedení při zpracování této práce. Také děkuji svým blízkým, rodině a přátelům za podporu a trpělivost v průběhu celého studia.

Anotace

Tato diplomová práce se zabývá návrhem řídicího SW a HW pro kladkový stav se železničním podvozkem sloužící k výuce a výzkumu na Ústavu automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel FS ČVUT v Praze. Pro realizaci pohonu byla vybrána sestava servopohonů, invertorů a řídicího systému společnosti LENZE, v jehož programovém prostředí byla také celá aplikace realizovaná. Jako programové prostředí pro PLC slouží PLC Designer verze 3.12 a jako vizualizační prostředí WisiWinNET smart, ve kterém byla realizovaná část programu pro HMI (Human Machine Interface). Účelem kladkového stavu je simulovat nekonečnou kolejovou trať na základě regulace čtyř nezávisle ovládaných kladek, které jsou připojeny přes asynchronní motory s planetovou převodovkou k servo střídačům. Sestava střídačů je pak řízena přes aplikaci naprogramovanou v PLC. Nastavení trati se provádí uživatelem prostřednictvím HMI obrazovky buď ručně zadáváním parametrů otáček a převodového poměru po jednotlivých krocích nebo zadáním automatické sekvence.

Klíčová slova: Regulace, otáčky, osa, střídač

Annotation

This master thesis describes the design of the control software and hardware for roller chassis with a railway bogie used to teach at the Institute of Railways vehicles of FS CVUT. For the realization of the drive was chosen set of actuators, inverters and control system Lenze, in the programming environment has also implemented the entire application. As a programming environment for the implementation of the PLC program serves PLC Designer version 3.12 and visualization environment as WisiWinNET smart, which have been implemented part of the program for the HMI. The purpose of the roller condition is to simulate an infinite rail track under the control of four independently operated pulleys that are connected through asynchronous motors with planetary gearbox for servo inverters. Set of inverters is then controlled through the application programmed in the PLC. Setting of the track is performed by the user via the HMI screen, either manually entering the parameters of speed and gear ratio stepwise or entering an automatic sequence.

Keywords: Regulation, speed, axis, inverter



1 OBSAH:

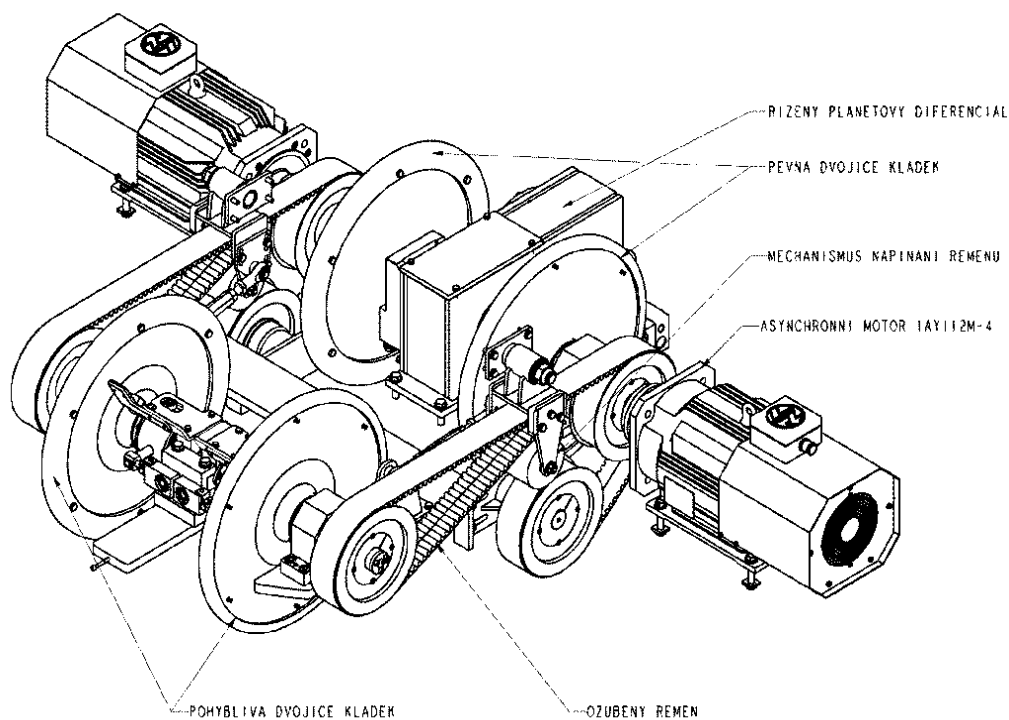
1	OBSAH:	9
2	ÚVODNÍ INFORMACE	10
2.1	ZADÁNÍ OBRAZOVKY HMI A NÁROKY NA OBSLUHU	11
3	POPIS NAHRAZUJÍCÍHO ZAŘÍZENÍ	13
3.1	MECHANICKÁ PODOBA NOVÉHO ZAŘÍZENÍ.....	16
3.2	BLOKOVÉ SCHEMA ZAŘÍZENÍ.....	17
3.3	ELEKTRICKÉ SCHEMA A SPECIFIKACE ROZVADĚČE PRO VÝROBU	17
3.4	POUŽITÝ SOFTWARE	24
4	APLIKAČNÍ SW	25
4.1	PLC DESIGNER	26
4.2	VISIWINNET.....	41
5	ZPROVOZNĚNÍ KLADKOVÉHO STAVU A MĚŘENÍ PRO OVĚŘENÍ NÁVRHOVÝCH PARAMETRŮ	43
5.1	MĚŘENÍ KLADKOVÉHO STAVU S INSTALOVANÝMI KLADKAMI	44
5.2	MĚŘENÍ KLADKOVÉHO STAVU S INSTALOVANÝMI KLADKAMI A ZKUŠEBNÍM PODVOZKEM.....	49
6	ZÁVĚR	52
7	SEZNAM POUŽITÝCH VELIČIN, ZKRATEK A SYMBOLŮ	53
8	SEZNAM ZDROJŮ A LITERATURY	53
9	SEZNAM OBRÁZKŮ	53
10	SEZNAM TABULEK	54



2 ÚVODNÍ INFORMACE

Cílem této práce bylo po automatizační a elektrické stránce nahradit kvýuce a výzkumu využívaný nevyhovující kladkový stav na Ústavu automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel FS ČVUT v Praze, za modernizovaný a kompletně přezbrojený stav s náhradou pohonného ústrojí a regulační části. Kladkový stav ČVUT v Praze slouží k simulaci jízdy kolejového vozidla v laboratorních podmínkách. Skládá se ze 4 ocelových kladek o průměru 0,5m na kterých je uložen v podélném směru upoutaný dvounápravový podvozek.

V současném uspořádání je pohon kladek zajištěn dvěma asynchronními motory. Točivý moment je mezi kladkami přenášen ozubeným řemenem.



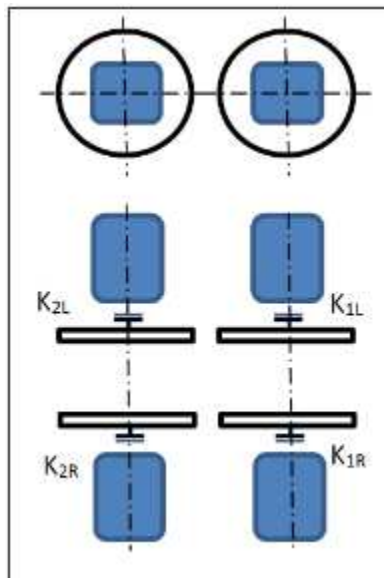
Obr. [1.] Pohon původních kladek Zdroj (2)

Kladkový stav po rekonstrukci má odstraněný řemenový převod, řemenice a dva asynchronní motory. Na místo stávajícího pohonu jsou instalovány na každou kladku individuální pohony asynchronních servomotorů spojených s čelní planetovou převodovkou. Pohon nových kladek je zobrazený na přiloženém schématu. Otáčky kladek odpovídají simulované rychlosti jízdy. Moment zátěže kladek není konstantní, ale mění se vlivem pohybu zkoušeného podvozku a změn skluzových sil v kontaktu mezi koly podvozku a kladkami. Cílem práce byl také návrh a výběr vhodného systému, jeho elektrické zapojení,



vyzkoušení a realizace. Tato část byla součástí semestrálních projektů, ve kterých se nejprve udělala rešerše dostupných systémů na trhu, (Zdroj [3.]R. Fuksa - D. Poklop, Projekt II. Systém pro přesnou regulaci rychlosti pro měření železničního podvozku) a vyžádaly nabídky jednotlivých dodavatelů, a potom se projektoval a realizoval elektrický rozvaděč společně s objednávkou sestavy střídačů a pohonů vítězného dodavatele, (Zdroj [4.]R. Fuksa - D. Poklop, Projekt III. Systém pro přesnou regulaci rychlosti pro měření železničního podvozku)

Z hlediska prováděných experimentů je třeba řídit otáčky kladek dvěma způsoby:



1. Simulace přímé trati – je třeba zajistit shodné otáčky všech 4 kladek s přesností **0,01%** v rozsahu **50 až 700 min⁻¹**.
2. Simulace trati v oblouku - je třeba zajistit shodné otáčky kladek na jedné straně podvozku (K_{1L} a K_{2L} / K_{1R} a K_{2R}) v rozsahu 50 až 700 min⁻¹. Rozdíl otáček kladek na pravé a levé straně podvozku je třeba zajistit v rozsahu **0,05 až 5 min⁻¹** s přesností **1%**.

Parametry pohonu kladyky:

Trvalý výkon motoru jedné kladyky	4 kW
Maximální moment	60 Nm
Maximální otáčky	750 min ⁻¹

Obr. [2.] Pohon kladek schematicky Zdroj (2)

2.1 ZADÁNÍ OBRAZOVKY HMI A NÁROKY NA OBSLUHU

Možnost volby režimu zadání vstupních parametrů bude provedena dvěma způsoby:

- „ruční“ tj. zadání požadovaných otáček pohonu a vzájemného poměru otáček levé a pravé strany
- „tabulka“ tj. zadání parametrů trati tabulkou

Zobrazované veličiny na úvodní stránce budou obsahovat skutečné otáčky každého z pohonů číselnou hodnotou a také formou grafu otáčky v závislosti na času

2.1.1 RUČNÍ REŽIM ZADÁVÁNÍ - PRVNÍ OBRAZOVKA

Bude umožňovat zadání požadované hodnoty otáček **N** a směru jízdy.

Bude umožňovat zadávat převodový poměr **i** dvěma způsoby



-
- a. zlomek čítec – levá strana kladek, jmenovatel – pravá strana kladek
 - b. poloměr simulovaného oblouku **R**

$$i = \frac{R + 0.75 / 3.5}{R - 0.75 / 3.5} \quad (1.2)$$

Na základě těchto vstupů pak otáčky kladek budou:

$$\text{levá strana } N_{LH} = N + \Delta \quad (2.2)$$

$$\text{pravá strana } N_{RH} = N - \Delta \quad (3.2)$$

$$\text{kde odchylka otáček od požadované hodnoty } \Delta = N \frac{i-1}{i+1} \quad (4.2)$$

2.1.2 ZADÁVÁNÍ TABULKOU - DRUHÁ OBRAZOVKA

Bude umožňovat zadání požadované hodnoty otáček kladek pro každý úsek.

V každém úseku bude možnost definovat, zda koleje budou ubíhat přímo či budou do zatáčky.

Zadávání zatáčky bude možné dvěma způsoby

- a. zlomek čítec – levá strana kladek, jmenovatel – pravá strana kladek
- b. poloměr simulovaného oblouku **R**

$$i = \frac{R + 0.75 / 3.5}{R - 0.75 / 3.5} \quad (5.2)$$

Zadání počtu úseků bude definované počtem vyplněných řádků.

Zobrazení zadané trati bude možné sledovat graficky průběhem měřených otáček kladek v závislosti na čase. Parametry zadané sekvence je potřeba uchovávat v paměti PLC pro příští spuštění nebo ukládat do parametrových souborů, které bude možnost načítat z archivu.



3 POPIS NAHRAZUJÍCÍHO ZAŘÍZENÍ



Obr. [3.] Průmyslový systém Lenze Zdroj (1)

Jako náhrada stávajícího zařízení pro pohon a regulaci kladkového stavu byla vybrána technologie firmy Lenze. (Zdroj [3.]

Jako pohonná jednotka kladek slouží spojení asynchronního motoru a převodovky s poměrem $i=3,5$. Výstupní otáčky převodovky jsou maximálně 1000 min^{-1} , $M = 70 \text{ Nm}$. Pro zpětnou vazbu je použito resolveru.

Servomotory jsou zapojené do dvojice střídačů i700, z nich každá jednotka umožňuje připojit vždy dvojici pohonů. To znamená, že jedna jednotka měniče bude ovládat vždy dva pohony na jedné straně podvozku.

PLC p500 (dotykový 15" panel s integrovaným PLC) + rozšiřující I/O (8x digitální vstup, 8x digitální výstup, 1x RS-232) slouží jako řídicí systém celé technologie pro možnost konfigurace zkušební sekvence pohonů a komunikačního rozhraní s operátorem.

Všechny pohony budou řízeny v úhlovém souběhu, což znamená, že se budou točit všechny úhlově stejně. Kolísání úhlové odchylky lze předpokládat přibližně $\pm 10^\circ$ na motoru, tedy $\pm 3,5^\circ$ za převodovkou (na kladce). Při pohybu jedním směrem se předpokládá vymezení vůle (cca $\pm 8^\circ$) v převodech převodovky. Poměr vzájemných rychlostí dvojic pohonů bude možné nastavovat přes panel poměrovým číslem s krokem odpovídajícím zlomku s 16-bit rozlišením, tj. $32767/32766 = 1,00003$. Pro otáčky 50 min^{-1} bude možné volit poloměr „zatačky“ kolejí vpravo / vlevo s krokem $0,04 \text{ min}^{-1}$.

Servomotor

Asynchronní motor optimalizovaný pro měnič frekvence
trvalý / špičkový moment:
max. otáčky:

MFFMARS100-32C1C

20,3 / 48,3 Nm
 $3,515 \text{ min}^{-1}$



jmenovitý výkon:	7,5 kW
jmenovitý napětí:	375 V
jmenovitý proud:	15,9 A
jmenovitá frekvence:	120 Hz
účinník:	0,82
rozměry motoru:	195 x 195 x 491 mm
hmotnost:	50 kg
Encoder:	Resolver RS1 (65535 ppr) – 16bit
Stupeň krytí:	IP54

<u>Integrovaná převodovka</u>	GST07-1M VBR100C32
jednostupňová, převodový poměr	3,5
trvalý / špičkový moment:	70 / 138,8 Nm
max. výstupní otáčky	1.004 min ⁻¹

<u>Servo střídač I700</u>	E70ACMSE0324SA2ETR
Provedení	Double invertor
Vstupní napětí:	565 VDC
Trvalý výstupní proud:	16 / 16 A
Maximální výstupní proud:	32 / 32 A
Komunikace:	EtherCAT
Zpětná vazba:	Resolver
Stupeň krytí:	IP20
Hmotnost:	5,2 kg

<u>Napájecí modul I700</u>	E70ACPSE0604S
Provedení	---
Vstupní napětí:	400 V, 50Hz
Trvalý výstupní proud:	60 A
Maximální výstupní proud:	120 A
Stupeň krytí:	IP20
Hmotnost:	5,3 kg

<u>Síťový filtr</u>	E94AZMP0824
Vstupní napětí:	400 V, 50Hz
Jmenovitý proud:	82 A
Induktivita:	0,25 mH
Stupeň krytí:	IP20
Hmotnost:	29 kg

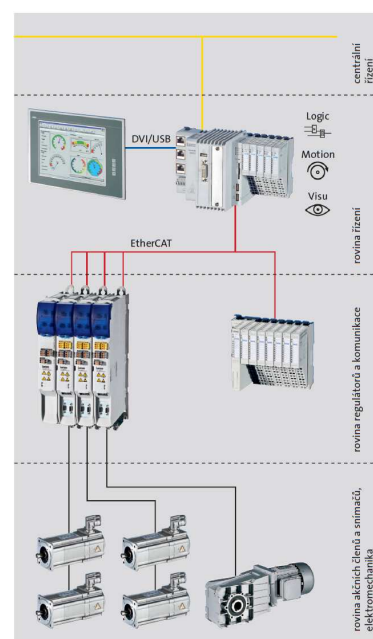
<u>Řídicí systém na bázi PLC</u>	p500GAP60300C4G0XXX
Displej/rozlišení:	15" TFT/1024*768
Procesor:	Intel Atom 1,6GHz
Operační paměť:	1024 MB



Komunikace:	EtherCAT
Periferie:	LAN, USB, SD card
Vstupní napětí:	24 VDC
Stupeň krytí:	IP20
Hmotnost:	2,7 kg

Topologie řízení systému LENZE je navržena následovně:

- 1) řídicí PC - komunikace s vizualizací PLC přes VNC server
- 2) PLC a operátorský panel včetně vizualizace s dotykovým ovládacím panelem
- 3) rozšiřující vstupy/výstupy PLC přes EtherCAT: 8x digitální vstup, 8x digitální výstup, 1x RS-232 (I/O nejsou nutné, nýbrž vhodné pro případ spínání stykačů, relé či snímání koncových snímačů nebo elektromechanických ovládacích prvků)
- 4) 4x frekvenční servoměnič řízený z PLC přes EtherCAT + 4x asynchronní motor s resolverem řízený v servosmyčce



Obr. [4.] Topologie řízení systému Lenze

Zdroj (1)

Výstupní parametry systému jsou následující:

Trvalý výkon motoru jedné kladky	7,5 kW
Maximální moment	80 Nm
Maximální otáčky	1.000 min ⁻¹
Krok nastavení otáček	0,015 min ⁻¹ (rozlišení regulátoru 16-bit)

Tyto parametry vyhovují požadavkům zadání s nepatrně horší přesností regulace 0,015 % v celém rozsahu 50-700 min⁻¹.

Prokázání mechanické stability pohonu provedeme výpočtem faktoru setrvačných hmot K_j .

Uvažovaná zátěž kladek a podvozku	$J = 10.000 \text{ kg.cm}^2$
Převodový poměr převodovky	$i = 3,5$
Moment setrvačnosti rotoru	$J_m = 61 \text{ kg.cm}^2$
Moment setrvačnosti převodovky	$J_p = 2,69 \text{ kg.cm}^2$



Moment setrvačnosti zátěže přepočtený na hřídel motoru

$$J_z = J/i^2 + J_p = 10000/3,5^2 + 2,69 = 819 \text{ kg.cm}^2 \quad (1.3)$$

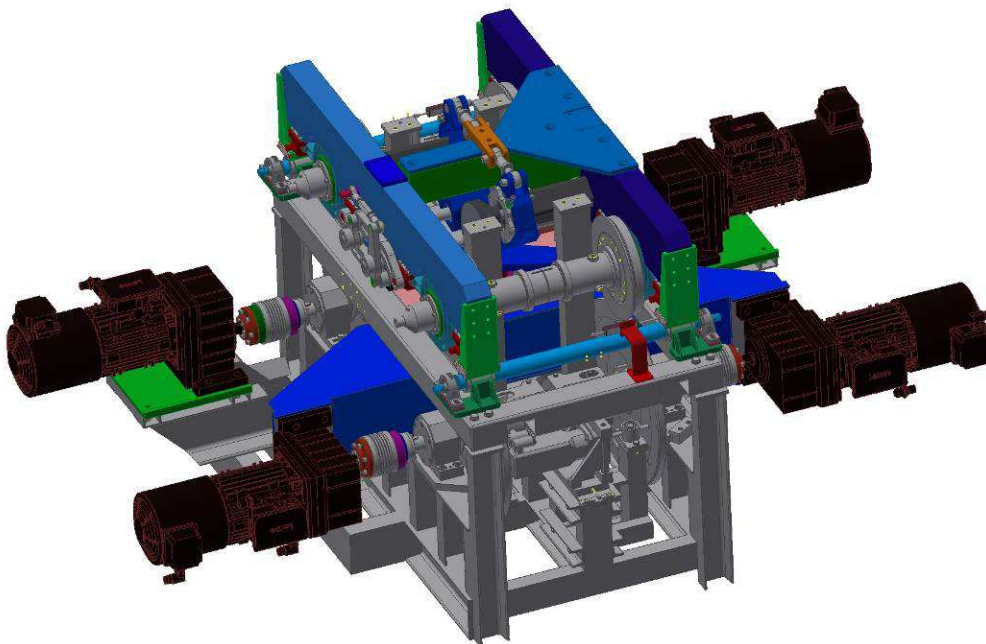
Faktor setrvačných hmot

$$K_j = J_z/J_m = 1228 / 61 = 13,43 - \text{VYHOVUJE} \quad (2.3)$$

- pro rozsah hodnoty daný výrobcem pohonu v mezi 0-20 pro dynamicky velmi namáhané pohony.

3.1 MECHANICKÁ PODOBA NOVÉHO ZAŘÍZENÍ

Po výměně hlavních komponent celého systému regulace kolejového podvozku bude zapotřebí upevnění těchto komponent na stávající konstrukci. Vizualizace nové konstrukce, kterou zpracovává Ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel FS ČVUT je uvedena níže.



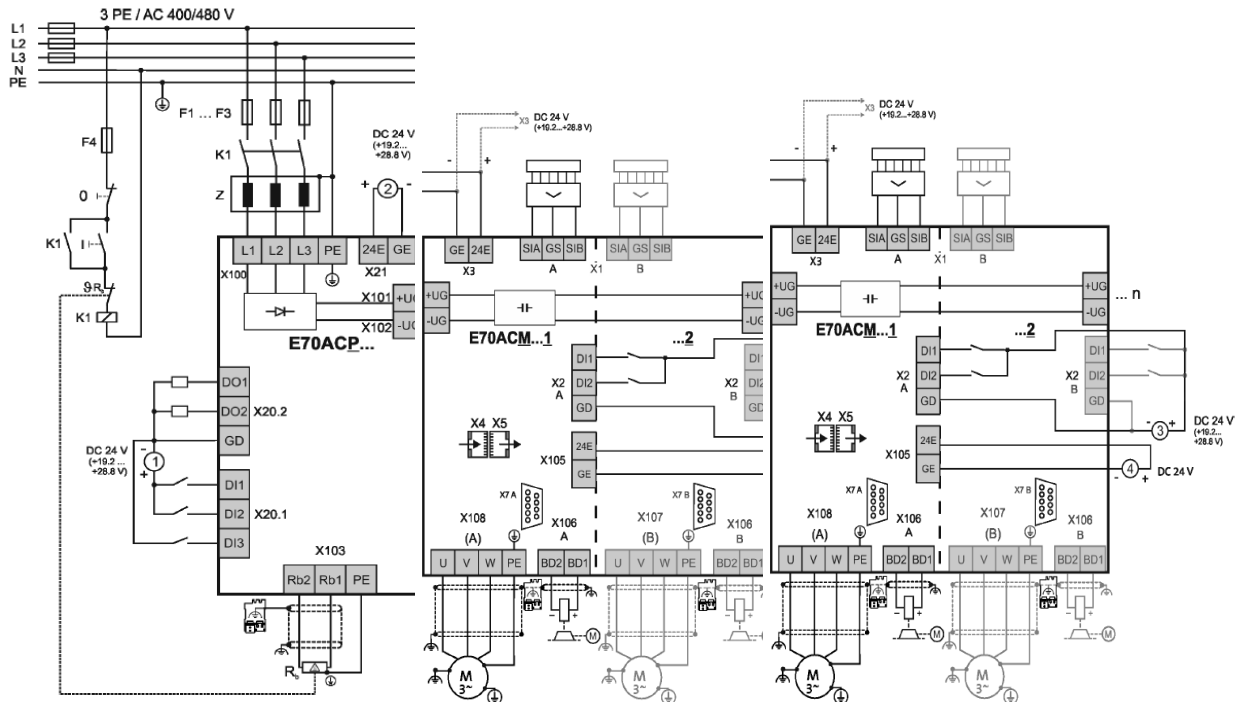
Obr. [5.]3-D model nového zařízení se systémem Lenze

Zdroj(2)



3.2 BLOKOVÉ SCHEMA ZAŘÍZENÍ

Na základě objednaného zařízení je níže uvedeno blokové schéma zapojení střídačů, každá z os je stejné velikosti a to včetně napájecího zdroje stejnosměrného napětí a umožňuje tak paralelní propojení propojek v jejich vrchní části, ty pak tvoří společnou sběrnici, na kterou se jednotlivá zařízení připojují.



Obr. [6.] Blokové schéma zapojení servoinvertorů Lenze Zdroj (1)

3.3 ELEKTRICKÉ SCHEMA A SPECIFIKACE ROZVADĚČE PRO VÝROBU

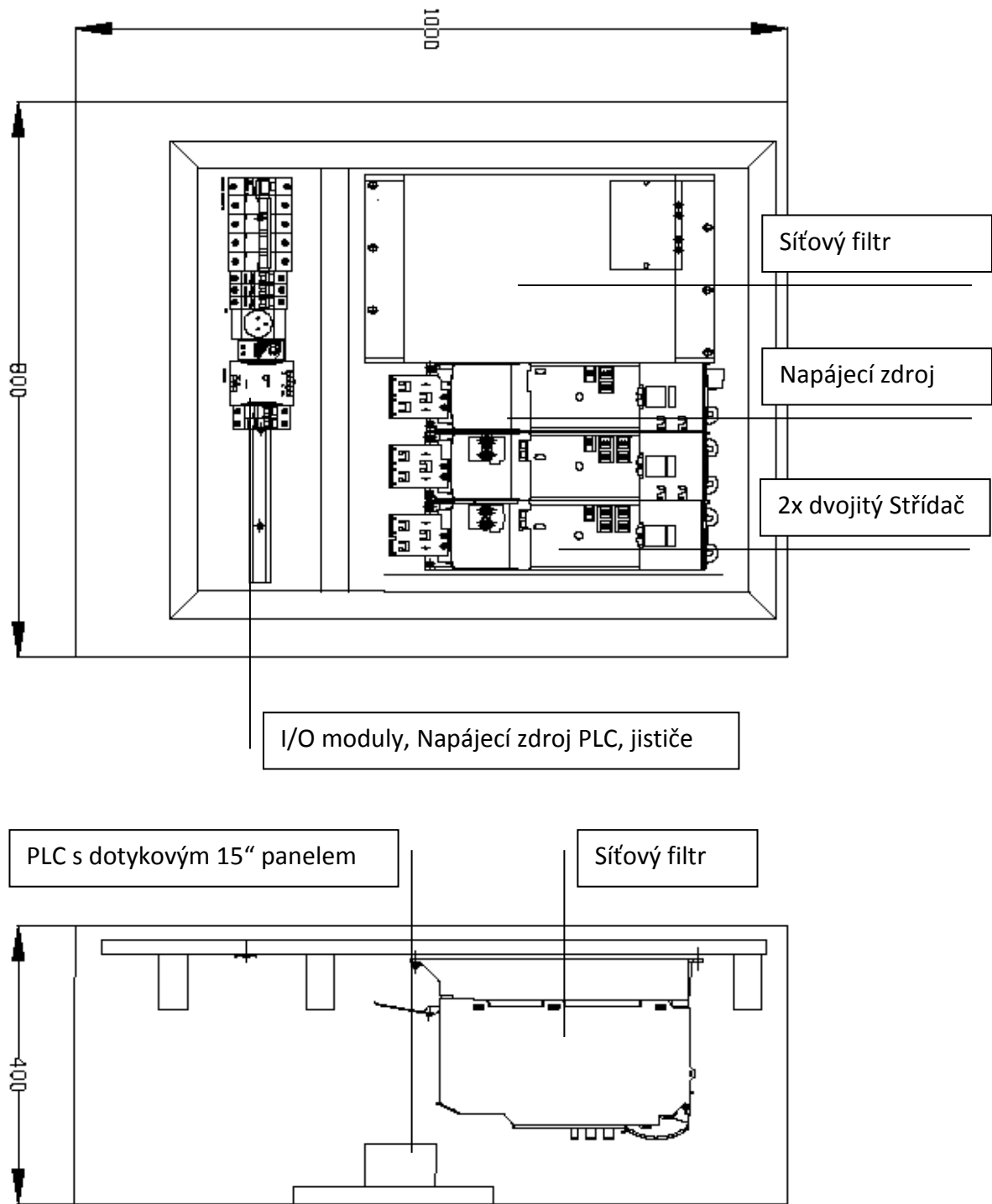
V následujících odstavcích je popsáno zařízení v rozvaděči řízení a jeho zapojení, které bylo provedeno pro kompletaci celého systému a jeho zprovoznění. Návrh elektrického rozvaděče, jeho zapojení a specifikace materiálu byl řešený v rámci semestrálního projektu (Zdroj [4.]). Jako elektrický rozvaděč je použita nástěnná, celokovová skříň opatřená základním nátěrem a finálním nátěrem práškovou barvou v odstínu RAL7032.

Uvnitř rozvaděče je instalováno veškeré elektrické zařízení potřebné pro provoz střídačů a řídicího systému LENZE.

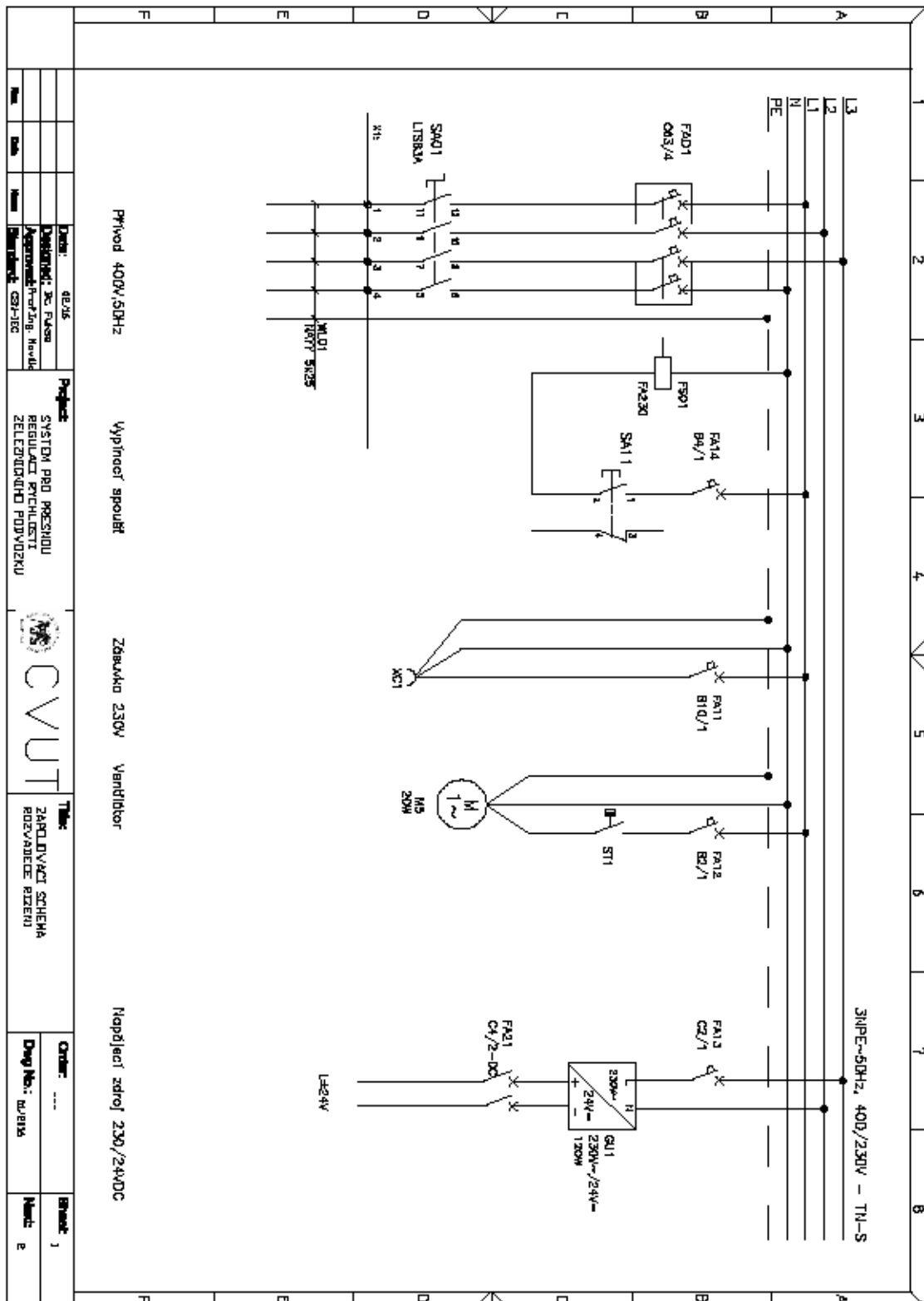
Jedná se zejména o následující komponenty patrné ze specifikace a zapojovacího schéma:

Síťový filtr, Napájecí zdroj invertorů, 2ks servo střídačů, napájecí zdroj 230V-50Hz/24VDC, jističe a pomocné ovladače, hlavní vypínač, ventilátor, na dveřích rozvaděče potom bude umístěn panel HMI s procesorovou jednotkou.

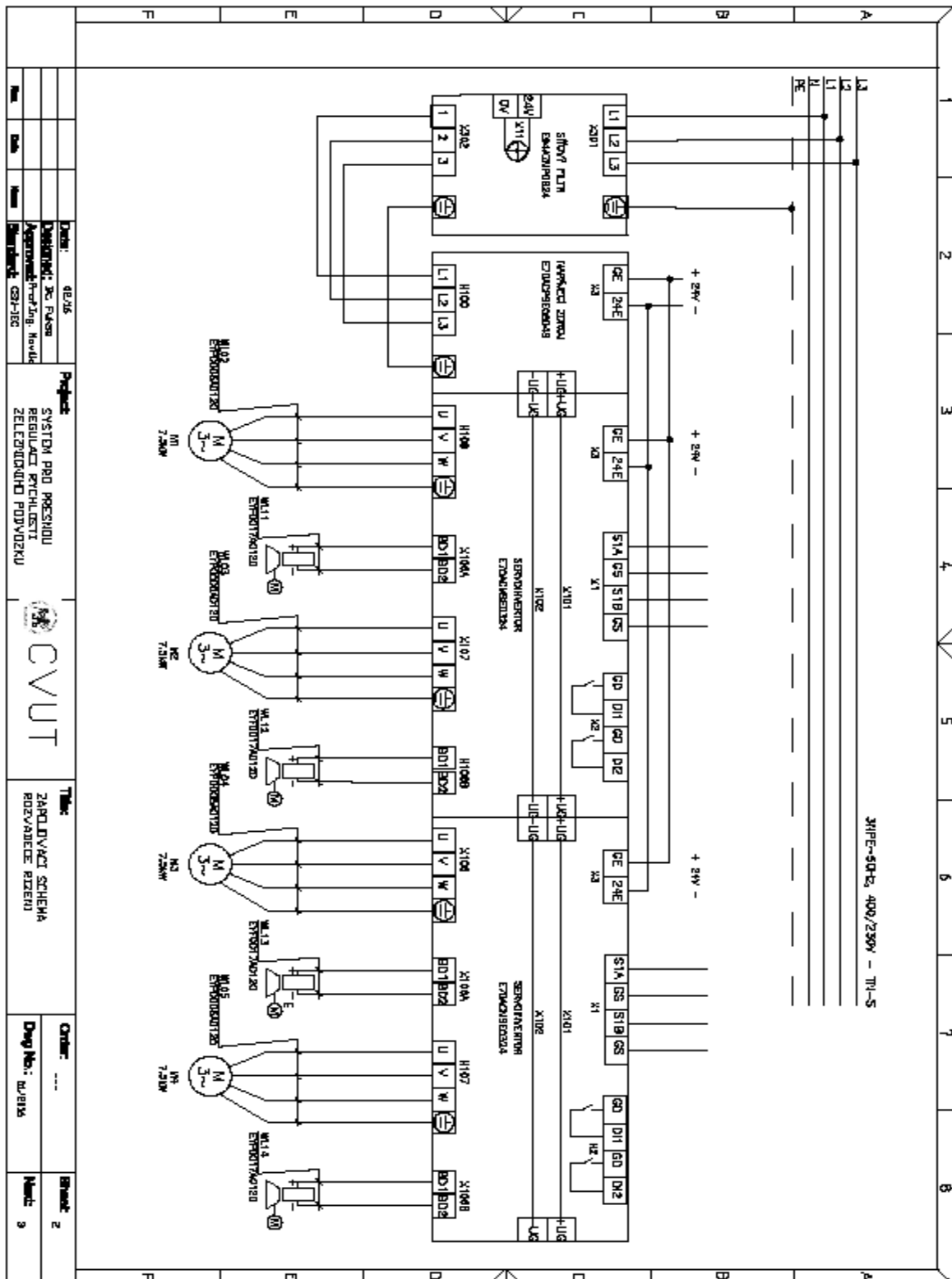
Uspořádání jednotlivých prvků v rozvaděči je vidět na následujícím obrázku:



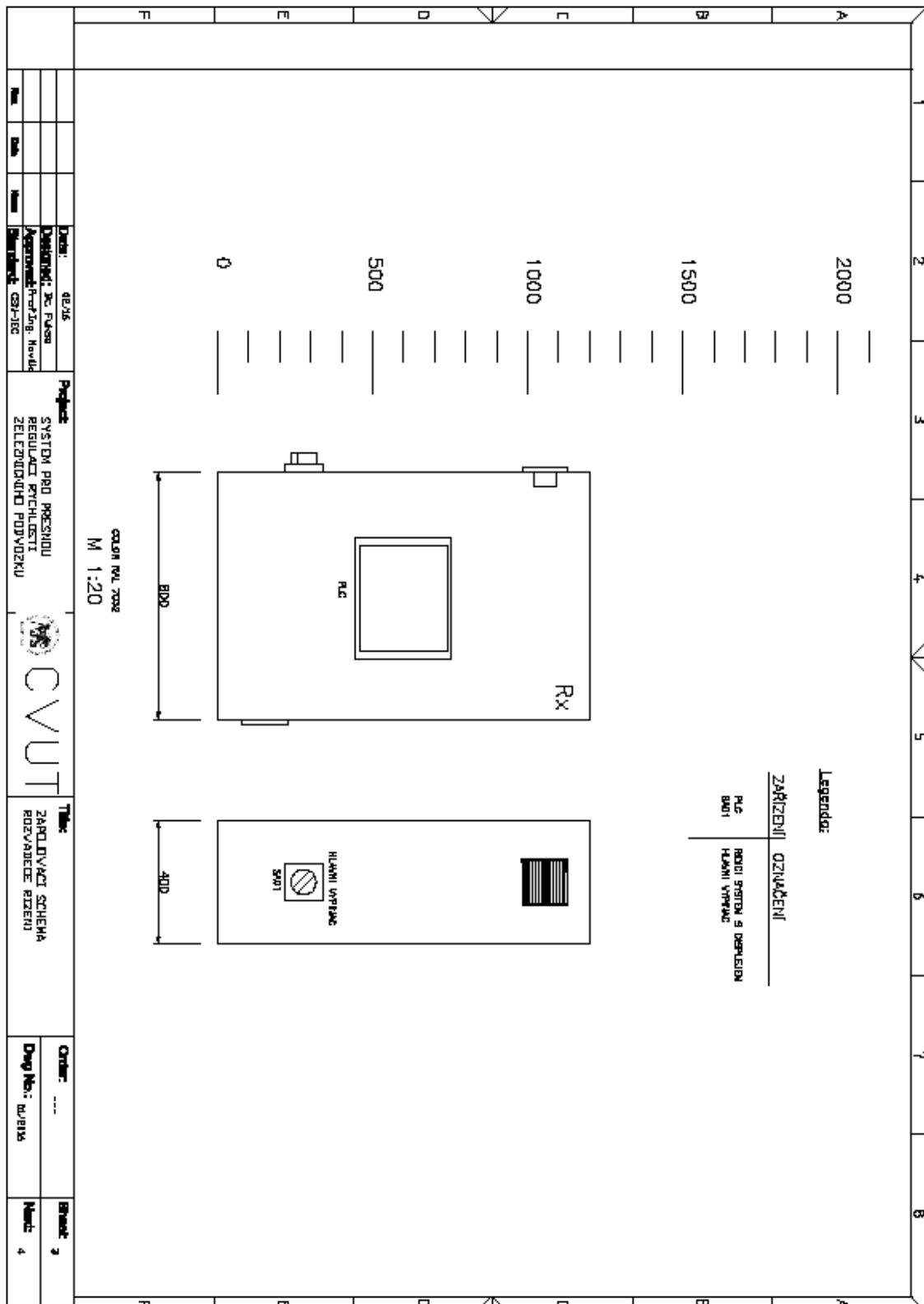
Obr. [7.] Uspořádání jednotlivých prvků v rozvaděči



Obr. [8.] Detailní zapojovací schéma pomocných obvodů



Obr. [9.] Detailní zapojovací schéma střídačů



Obr. [10.] Pohledový výkres rozvaděče



Detailní specifikace materiálu:

Popis	typ	Obj. číslo	Výrobce	Označení
Rozvaděč Rx				
1 ks Kompaktní nástěnný celokovový rozvaděč rozměru (vxšxh) - 1000x800x400mm, zaměnitelné čelní dveře, finální nátěr RAL 7037	WS 1000x800x400 s montážním panelem	9004840374728	Schrack	
1 ks 4-pólový jistič, AC charakteristika C, Un=400VAC, In=63A, Icn=25kA	BR578630		Schrack	FA01
1 ks Vypínací spoušť pro jistič BR, typ BR-FA 230, Un=230VAC, In=3,7A max.	BR900003	9004840267242	Schrack	FS01
1 ks 1-pólový jistič, AC charakteristika B, Un=400VAC, In=10A, Icn=10kA	BM617463	9004840392760	Schrack	FA11
1 ks 1-pólový jistič, AC charakteristika B, Un=400VAC, In=2A, Icn=10kA	BM018102	9004840392739	Schrack	FA12
1 ks 1-pólový jistič, AC charakteristika C, Un=400VAC, In=2A, Icn=10kA	BM017102	9004840391695	Schrack	FA13
1 ks 1-pólový jistič, AC charakteristika B, Un=400VAC, In=4A, Icn=10kA	BM018104	9004840392746	Schrack	FA14
1 ks 2-pólový jistič, DC charakteristika C, Un=400V, In=4A, Icn=10kA	BMS0-DC	9004840533378	Schrack	FA21
1 ks Nouzové STOP tlačítko MM, ø37mm, s aretací spínací kontakt NO rozpínací kontakt NC adaptér MM	MM216720 MM216376 MM216378 MM216374	9004840175677 9004840176254 9004840176261 9004840176247	Schrack	SA11
1 ks Hlavní vypínač nouzový, 4-pólový, 63A, 400V, 50Hz, IP 54,	MM216720	9004840459678	Schrack	SA01
1 ks Ventilátor 20W, 60m ³ /h, 230V, 50Hz, IP 54, 145x145mm, výřez 125x125mm	PF 22000	9004840545838	Schrack	M5
1 ks Vstupní mřížka ventilace s filtrem	PFA2000	9004840545838	Schrack	-
1 ks Termostat ventilátoru, 230VAC, 0-60°C	FLZ530/1Z	9004840461619	Schrack	ST1
1 ks Zásuvka DIN lišta, 230VAC, 10A	BZ325001-A	9004840198614	Schrack	XC1
1 ks Napájecí zdroj SPD24120, 230V,50Hz/24VDC, 5A, 120W, DIN lišta	LP749120	9004840526158	Schrack	GU1

Tab. [1.] Specifikace elektro rozvaděče



Obr. [11.] Fyzická podoba realizovaného rozvaděče



3.4 POUŽITÝ SOFTWARE

Základem programového prostředí celé sestavy, ve kterém se programují servo střídače, PLC i vstupně výstupní jednotky je L-FORCE PLC designer verze 3.12

Programování a zprovoznování - PLC Designer pro snadné programování a uvedení do provozu podle IEC 61131-3, Se šesti editory, debuggerem, monitorováním a dalšími funkcemi. Umožňuje následující funkce:

- tvorba vlastních programů
- programování Logic & Motion podle IEC 61131-3 (AWL, KOP, FUP, ST, AS a CFC Editor), na bázi CoDeSys V3
- certifikované moduly podle PLCopen Motion Control a Coordinated Motion
- grafický Cam Editor pro kotoučové vačky
- integrovaná vizualizace pro snadné znázornění procesů
- při uvádění do provozu jsou všechny důležité informace pohromadě

Základním prostředkem pro programování dotykového panelu je VisiWinNET.

VisiWinNET je procesní vizualizační systém výrobce INOSOFT GmbH z Hiddenhausenu. Je rozšířený v průmyslovém prostředí, používá se jako vizualizační nástroj na úrovni HMI systému jednotlivých strojů a stejně tak jako vizualizační software SCADA systému instalovaný na průmyslovém velínu celého závodu nebo výrobní linky. Řada produktů VisiWinNET je uváděna na trh v Německu od roku 1995, aktuální verze VisiWinNET je k dispozici od roku 2013.

Jako většina vizualizačních programů je VisiWinNET distribuován jako vývojové prostředí pro programátory a runtime licence pro instalace k běžícím aplikacím. Zvláštností VisiWinNET je integrace vývojového systému Microsoft Visual Studio. Mezi podporované programovací jazyky patří Visual Basic.NET a C-Sharp. VisiWinNET poskytuje ovládací prvky a knihovny třídy. Programy pro podobné aplikace mají obvykle vývojový systém soběstačný s možností uložení skriptů v proprietární syntaxi. Další zvláštností je podpora WPF grafiky s Microsoft Expression. Běžové prostředí Systém VisiWinNET je určen pro použití jako aplikace stand-alone a klient-server a také jej lze aplikovat na vestavěné systémy. Systém je založen na rozhraní NET Framework pro celé platformě PC s operačním systémem Microsoft Windows a NET Compact Framework pro Windows CE. Pro připojení k ovládání stroje a zpřístupnění dat poskytuje systém standardní průmyslovou OPC podporu.



4 APLIKAČNÍ SW

Účelem této diplomové práce bylo hlavně navrhnout a realizovat program pro řízení HW pro kladkový stav se železničním podvozkem sloužící k výuce a výzkumu na Ústavu automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel FS ČVUT v Praze. Pro realizaci pohonu byla vybrána sestava servo pohonů, střídačů a řídicího systému společnosti LENZE, v jehož programovém prostředí byla také celá aplikace realizovaná. Jako programové prostředí pro PLC slouží PLC Designer verze 3.12 a jako vizualizační prostředí WisiWinNET smart, ve kterém byla realizovaná část programu pro HMI. Účelem kladkového stavu je simulovat nekonečnou kolejovou trať na základě regulace čtyř nezávisle ovládaných kladek, které jsou připojeny přes asynchronní motory s planetovou převodovkou k servo střídačům. Sestava pohonů je pak řízena přes aplikaci naprogramovanou v PLC. Nastavení trati se provádí uživatelem prostřednictvím HMI obrazovky buď ručně zadáváním parametrů otáček a převodového poměru po jednotlivých krocích nebo zadáním automatické sekvence.

Základní požadavky na aplikační SW jsou následující:

- Simulace přímé trati – provoz všech 4 kladek stejnými otáčkami s přesností 0,01% v rozsahu 50 až 700 min^{-1} .
- Simulace trati v oblouku - provoz 2 kladek na jedné straně podvozku (K_{1L} a K_{2L} / K_{1R} a K_{2R}) stejnými otáčkami v rozsahu 50 až 700 min^{-1} . Rozdíl otáček kladek pravé a levé strany podvozku je třeba zajistit v rozsahu 0,05 až 5 min^{-1} s přesností 1%.
- Možnost volby režimu zadání vstupních parametrů „ruční“ tj. zadání požadovaných otáček pohonu a vzájemného poměru levé a pravé strany
- Zobrazované veličiny na úvodní stránce budou obsahovat skutečné otáčky každého z pohonů číselnou hodnotou a také formou grafu otáčky v závislosti na času
- Bude umožňovat zadání požadované hodnoty otáček N a směru jízdy
- Bude umožňovat zadávat převodový poměr zlomkem čísel – levá strana kladek, jmenovatel – pravá strana kladek
- Bude umožňovat zadávat převodový poměr poloměrem simulovaného oblouku R
Možnost volby režimu zadání vstupních parametrů „tabulkou“ tj. zadání parametrů trati pro automatickou sekvenci, kde každý z úseků bude mít jeden řádek se zadáním parametrů otáčky, délka úseku, poměr levé a pravé strany a poloměr simulovaného oblouku R



4.1 PLC DESIGNER

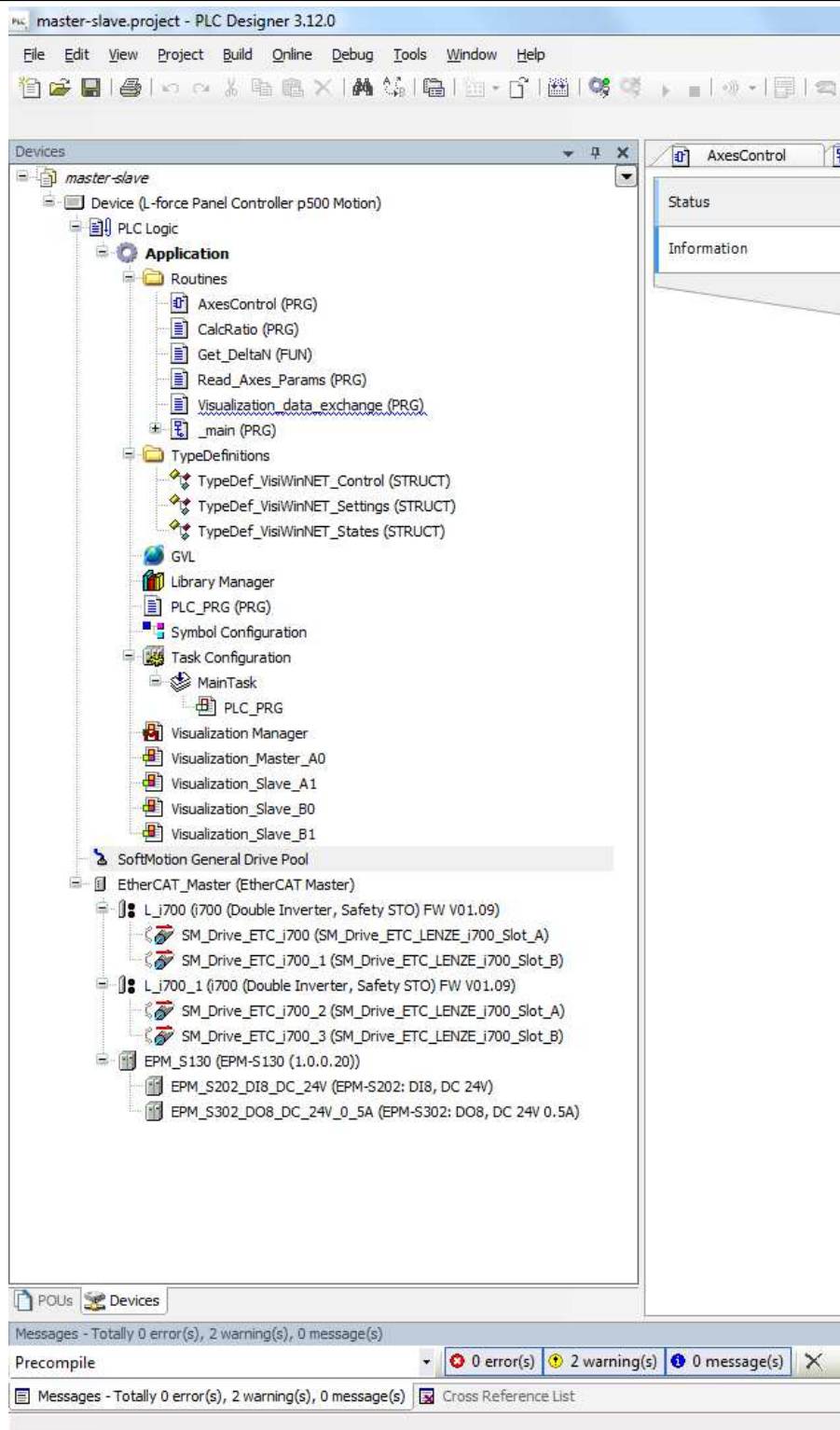
Kostra programu PLC je tvořená z několika základních částí, ze kterých se pak vchází do detailů hlavního programu a podprogramů.

Struktura je složená z následujících základních prvků:

- ETHERCAT MASTER** - Obsahuje veškeré periferie připojené k procesorové jednotce pomocí protokolu ETHERCAT, tzn. jednotku I/O modulů EPM a dvojici střídačů Lenze i700 a jedná se vlastně o firmware společnosti LENZE, který je potřeba vhodným způsobem iniciovat a nastavit, aby jednotlivá zařízení spolu správně komunikovala a reagovala (nastavení regulátoru atd.)
- APPLICATION** - Obsahuje veškeré struktury nutné k vytváření programu programátorem, obsahuje dialogové okno ke psaní programu, definice typů proměnných, globální seznam proměnných, definice cyklu programu a vizualizační nástroj panelu (v této aplikaci je vzhledem k nejvyšší řadě panelu P500 Motion využito samostatné programové prostředí HMI), tyto struktury obsahují již čistě program psaný programátorem v dostupných jazycích dle IEC 61131-3 a jsou výhradní prací programátora

Součástí APPLICATION struktury je následující skupina prvků umožňující vytváření programu:

- PLC_PRG** - definice hlavního programu PLC
- Routine** - definice a logika os střídačů, definice parametrů vyčítaných, řídicích a vizualizovaných, definice podprogramů PLC
- Type definitions** - inicializační nastavení proměnných, definice vnitřních, vstupních a výstupních proměnných
- GVL** - list globálních proměnných
- Task Config** - definice cyklu programu
- Vizualization Manager** - sada prvků pro tvorbu vizualizace přímo v PLC designeru (nevyužitelné pro panel P500 s vlastním vývojovým prostředím)



Obr. [12.] Struktura programového prostředí PLC designer



4.1.1 ETHERCAT MASTER STRUKTURY

Součástí ETHERCAT MASTER struktury je skupina prvků mající vazby na hlavní program přes sběrnici ETHERCAT.

Jedná se o prvky z nabídky produktů Lenze, které lze do systému připojit a využívat HW a SW podporu výrobce. Každý takový prvek se vybere z databáze výrobků Lenze pomocí zadání výrobního čísla nebo postupným průchodem přes výběrové menu až na požadovaný typ zařízení, každé takové zařízení má výrobcem definovanou strukturu parametrů pro řízení, regulaci a monitoring uživatelských parametrů.

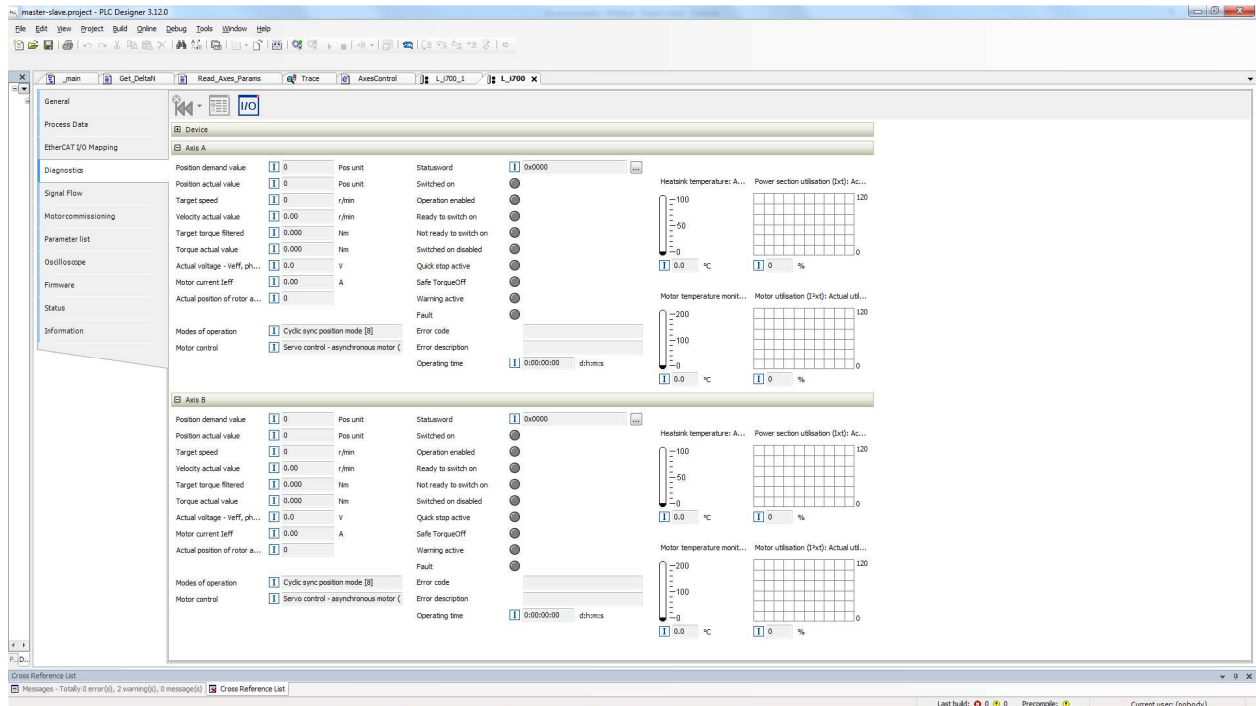
V našem případě se jedná o po sběrnici připojené vzdálené I/O a hlavně o servo střídače, přes které se řídí jednotlivé osy pohonu kladkového stavu. Tyto střídače mají výrobcem připravené nastavovací a monitorovací nástroje v podobě připravených oken, která se objeví po rozkliknutí bloku příslušného invertoru.

Úvodní obrazovka umožňuje zadání správného typu pohonu několika způsoby, podle katalogového čísla pohonu, podle zadání parametrů ručním způsobem z výrobního štítku motoru, a třetím způsobem je funkce bez parametrů tzv. „Autotuning“ při které si systém motor identifikuje a stanoví optimální nastavení pro jeho správný provoz.

Obr. [13.] Okno parametrizace servo střídače

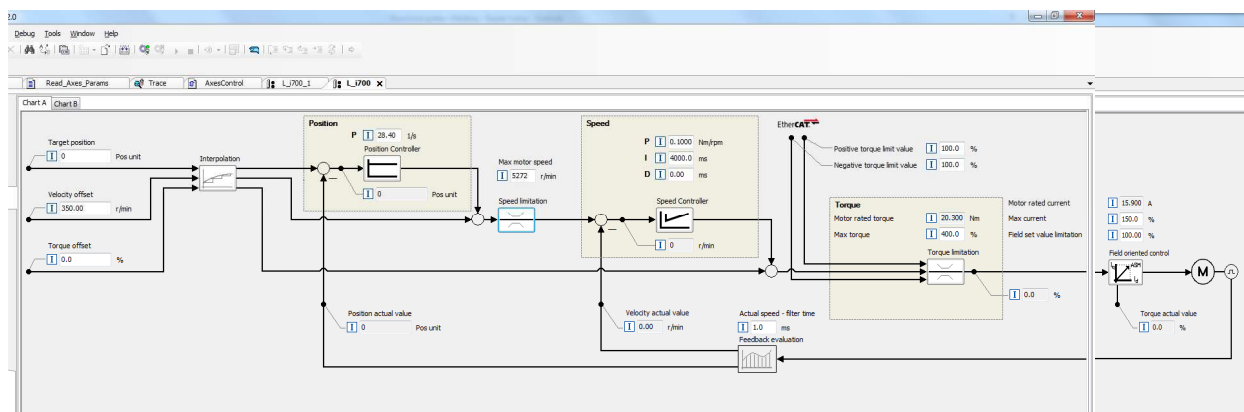


Jeden z hlavních nástrojů umožňuje například diagnostiku provozu pohonu a hlavní parametry motoru jako teplotu, otáčky, moment na hřídeli a elektrické parametry jako napětí, proud a výkon motoru.



Obr. [14.] Okno diagnostiky servo střídače

Další z nástrojů umožňuje například měnit nastavení regulačních konstant pohonu a ověřovat za provozu správnost nastavení regulační smyčky. Tyto nástroje jsou užitečné zejména pro ladění a diagnostiku pohonů při zprovoznění aplikace.



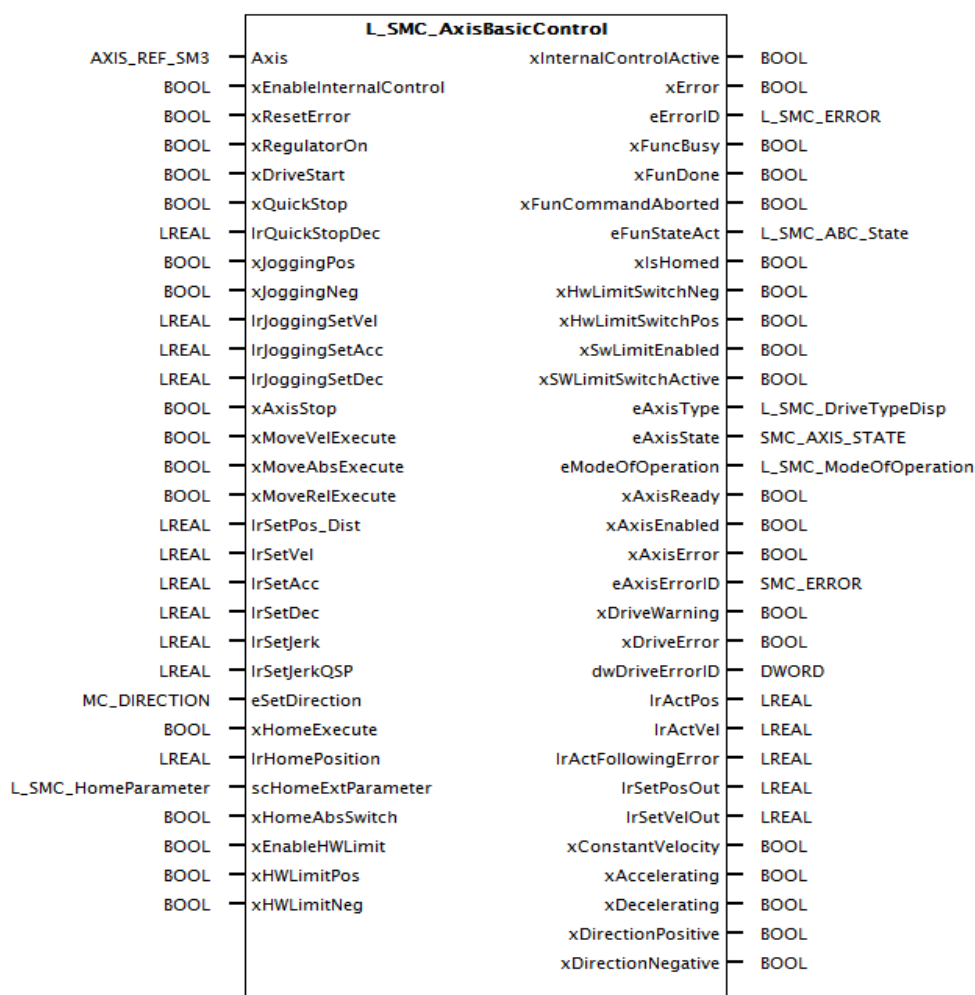
Obr. [15.] Okno diagnostiky regulační smyčky



4.1.2 APLICACION STRUKTURU

Aplikační část SW se pak skládá ze samotné struktury programu programátora, která je kombinací Visual Basic komponent a SFC diagramu.

Základním kamenem skladby celého programu jsou bloky pro ovládání jednotlivých střídačů. Regulátor a celá regulační smyčka je interní součástí střídače a v samotném programu se k ní nepřístupuje. Přístup k regulátoru se provádí přes diagnostické okno ETHERCAT struktury dle předchozí kapitoly. Tyto bloky mají pevně definované vstupy a výstupy, pomocí kterých se řídí jednotlivé osy. Umožňuje provoz pohonu v relativních nebo absolutních souřadnicích s možností definovat rozjezdové a vypínací rampy každého pohonu. Blok je přizpůsobený na v průmyslu nejčastěji používané servomotory pracovní stolice nebo výrobní linky. Záleží pouze na programátorovi, jakým způsobem tento blok obsluží a zahrne do struktury svého programu. Zobrazení prvku L_SMC_AxisBasicControl reprezentujícího v programu osu střídače je na obrázku níže.



Obr. [16.] Blok ovládání střídače i700 Zdroj (1)

Základní funkce VSTUP a VÝSTUP tohoto bloku jsou uvedeny v následující tabulce:



Jméno Datový typ	VSTUPY – akce/možné nastavení		Jméno Datový typ	VÝSTUPY – akce/možné nastavení	
xEnableInternalControl BOOL	TRUE	Interní ovládání osy	xInternalControlActive BOOL	TRUE	Aktivace přes remote
xResetError BOOL	TRUE	Reset HW nebo SW poruchy osy	xError BOOL	TRUE	Porucha
xRegulatorOn BOOL	TRUE	Uvolnění osy k ovládání	eErrorID L_SMC_Error	ID	xError = TRUE, následují hlášky: 570 – vnitřní chyba MC_MoveVelocity 571 - vnitřní chyba MC_MoveAbsolute 572 - vnitřní chyba MC_MoveRelative 573 - vnitřní chyba MC_Stop 574 – nevalidní hodnota zadání otáček 575 - nevalidní hodnota zadání směru otáček
xDriveStart BOOL	TRUE	Start osy	xFuncBusy BOOL	TRUE	Aktivace běží
xQuickStop BOOL	TRUE	Vypne osu s decelací podle rampy via IrQuickStopDec.	xFunDone BOOL	TRUE	Aktivace hotovo
IrQuickStopDec LREAL	[unit/s ²]	Nastavení rampy rychlé decelerace	xFunCommandAborted BOOL	TRUE	Aktivace přerušena FB
xJoggingPos BOOL	TRUE	Manuální posun v dopředném směru	eFunStateAct L_SMC_ABC_State	0-9	Standby Stop Výchozí poloha Manuální posun Posun absolutní Posun relativní Externí Porucha
xJoggingNeg BOOL	TRUE	Manuální posun v zpětném směru	xisHomed BOOL	TRUE	Osa výchozí poloha
IrJoggingSetVel LREAL	[unit/s]	Manuální posun nastavení otáček	xHwLimitSwitchNeg BOOL	TRUE	Negativní koncový spínač aktivní
IrJoggingSetAcc LREAL	[unit/s ²]	Nastavení akcelerace v manuálním posunu	xHwLimitSwitchPos BOOL	TRUE	Pozitivní koncový spínač aktivní
IrJoggingSetDec LREAL	[unit/s ²]	Nastavení decelerace v manuálním posunu	xSwLimitEnabled BOOL	TRUE	SW limitní pozice aktivní
xAxisStop BOOL	TRUE	Vypne osu s decelací podle rampy via IrSetDec.	xSWLimitSwitchActive BOOL	TRUE	SW limitní pozice aktivní.
xMoveVelExecute BOOL	TRUE	Otáčky relativní start	eAxisType L_SMC_DriveTypeDisp	0-4	Virtuální osa 9400 HighLine CiA402 1700 Encoder ECSxM
xMoveAbsExecute BOOL	TRUE	Otáčky absolutní start	eAxisState SMC_AXIS_STATE	0-7	Power off Porucha Odstavování Připravenost



					Absolutní otáčky Synchronní otáčky Relativní otáčky Výchozí
xMoveRelExecute BOOL	TRUE	Relativní otáčky start	eModeOfOperation L_SMC_ModeOfOperation	0-11	ProfilePositionMode VelocityMode ProfileVelocityMode TorqueMode Reserved_05 HomingMode InterpolatedPositionMode CyclSyncPosMode CyclSyncVelMode CyclSyncTorMode
IrSetPos_Dist LREAL	[unit]	Nastavení pozice/vzdálenost pro relativní/absolutní otáčky	xAxisReady BOOL	TRUE	Osa připravena
IrSetVel LREAL	[unit/s ²]	Nastavení zrychlení pro změnu otáček	xAxisEnabled BOOL	TRUE	Osa uvolněna
IrSetAcc LREAL	[unit/s ²]	Nastavení akcelerace startu	xAxisError BOOL	TRUE	HW porucha invertoru/ SW Chyba bloku
IrSetDec LREAL	[unit/s ²]	Nastavení decelerace stopu	eAxisErrorID SMC_ERROR	TRUE	ID Poruchy
IrSetJerk LREAL	[unit/s ³]	Maximum zrychlení	xDriveWarning BOOL	TRUE	Alarm
IrSetJerkQSP LREAL	[unit/s ³]	Maximum zrychlení při QSP	xDriveError BOOL	TRUE	Porucha pohonu
eSetDirection MC_DIRECTION		Volba směru	dwDriveErrorID DWORD		ID Poruchy pohonu
xHomeExecute BOOL	TRUE	Start výchozí poloha	IrActPos LREAL	[unit]	Aktuální pozice
IrHomePosition LREAL	[unit]	Výchozí poloha	IrActVel LREAL	[unit/s]	Aktuální otáčky
scHomeExtParameter L_SMC_HomeParameter		Výchozí parametry	IrActFollowingError LREAL	[unit]	Aktuální porucha
			IrSetPosOut LREAL	[unit]	Aktuální nastavené otáčky
			IrSetVelOut LREAL	[unit/s]	Aktuální setpoint otáčky
			xConstantVelocity BOOL	TRUE	status: Pohyb konstantními otáčkami
			xAccelerating BOOL	TRUE	status: Zrychlený pohyb
			xDecelerating BOOL	TRUE	status: Brzdění
			xDirectionPositive BOOL	TRUE	status: Dopředný pohyb
			xDirectionNegative BOOL	TRUE	status: Zpětný pohyb

Tab. [2.] Blok ovládání střídače i700 – popis I/O Zdroj (1)

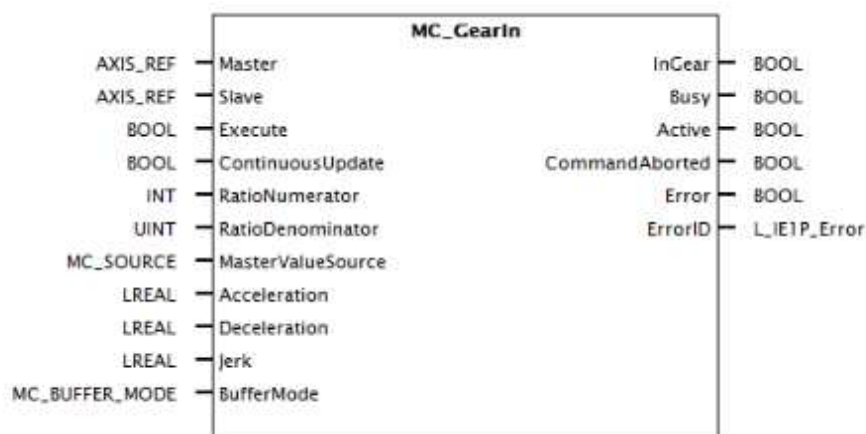
V realizovaném programu mám tedy celkem čtyři bloky L_SMC_AxisBasicControl (každý pro jednu osu) propojené vhodnými vazbami s danou sekvencí. Nastavení bloků je provedeno



takovým způsobem, že levý přední střídač K1L(A0) je inicializační a vedený jako MASTER a ostatní osy (A1, B0, B1) si přebírají jeho parametry v závislosti na požadavku operátora, jakým směrem budou koleje ubíhat. Index „A“ platí pro pohony na levé straně a index „B“ pro pohony na straně pravé, „0“ je přední osa a „1“ je osa zadní.

Každá osa má zapojené minimální vstupní parametry nutné pro aktivaci pohonů, pro zadání parametrů požadovaných otáček, převodového poměru mezi levou a pravou stranou stavu je nejdříve nutné aktivovat „enable“ všech čtyř pohonů a spojit vazbu, která zajišťuje jejich vzájemné stále stejné vektorové posunutí. Bez zapojené vazby by se mohly pohony sice pouze nepatrně rozcházet v otáčkách, pro potřebu splnění zadání a přesnosti otáček všech kol 0,01% je toto ale nežádoucí.

Realizace vektorové vazby mezi MASTER invertorem A0 a invertory A1, B0, B1 je provedena pomocí bloku MC_GearIn. Tento blok slouží k vytvoření synchronizační vazby pro SLAVE osy a pouze tyto osy se pohybují dle nastavení tohoto bloku, nelze ho použít pro osu MASTER. Při spojené vazbě je tak zaručeno, že SLAVE osy vektorově kopírují MASTER osu při jejím pohybu a nemělo by docházet k různým otáčkám jednotlivých pohonů. Toto samozřejmě neplatí v případě, že je požadován pohyb v zatáčce, kdy jsou pohony levé a pravé strany provozovány různými otáčkami.



Obr. [17.] Blok vektorové vazby střídače i700

Základní funkce VSTUP a VÝSTUP tohoto bloku jsou uvedeny v následující tabulce:

Jméno Datový typ	VSTUPY – akce/možné nastavení	Jméno Datový typ	VÝSTUPY – akce/možné nastavení	
Master AXIS_REF	Přenos dat osy do MASTER osy	InGear BOOL	TRUE	SLAVE osa spojená s MASTER osou synchronně s převodem
Slave AXIS_REF	Přenos dat osy do SLAVE osy	Busy BOOL	TRUE	Proces aktivní
Execute BOOL	FALSE→TRUE	Active BOOL	TRUE	Příkaz „BufferMode“ aktivní
ContinuousUpdate BOOL	Parametry aktivní nepřetržitě	CommandAborted BOOL	TRUE	Příkaz „BufferMode“ přerušeno jiným příkazem



	FALSE	Error BOOL	Error BOOL	TRUE	Porucha, detaily viz. <i>ErrorID</i> .
	TRUE		ErrorID L IE1P Error		If <i>Error</i> = TRUE: Error number
RatioNumerator INT	Převodový poměr (numerator/denominator) mezi SLAVE a MASTER osou				
RatioDenominator UINT					
MasterValueSource MC_SOURCE	Zdroj dat pro osu MASTER: <i>mcSetValue</i> : Zadaná hodnota <i>mcActualValue</i> : Měřená hodnota zpětné vazby				
Acceleration LREAL	Maximální akcelerace in [unit/s ²]				
Deceleration LREAL	Maximální decelerace in [unit/s ²]				
Jerk LREAL	Maximální smyk in [unit/s ³]				
BufferMode MC_BUFFER_MODE	Režim pro zpracování po sobě jdoucích příkazů				

Tab. [3.] Blok vektorové vazby střídače i700 – popis I/O

Zdroj (1)

Tento blok umožňuje aktivovat nebo rozepínat vazbu pomocí vstupu „Execute“, pomocí vstupů „RatioNumerator“ a „RatioDenominator“ zase umožňuje zadávat poměrové číslo pro převod mezi Master a Slave pohonem. V připraveném programu mám tedy A1 pohon jako Slave na stejné straně podvozku s převodem vždy 1:1 a je tak zajištěno, že se bude otáčet vždy stejně jako Master. Pravá strana podvozku s pohony B0 a B1 je řízena přes vnitřní proměnné, které se zadávají přes panel operátora a umožňují zadávat poměrové číslo velikosti Integeru, tzn. 1÷32767 ku 1÷32767. Dají se tak operátorem nasimulovat zatáčky kolejí v širokém rozpětí poloměrů od minimálního až po poloměry přes 10km s krokem poloměru 0,15m, což vyhovuje způsobu využití kladkového stavu a provozním požadavkům.

Na následujícím obrázku jsou vidět bloky střídače a jeho vazby společně s navázáním proměnných.

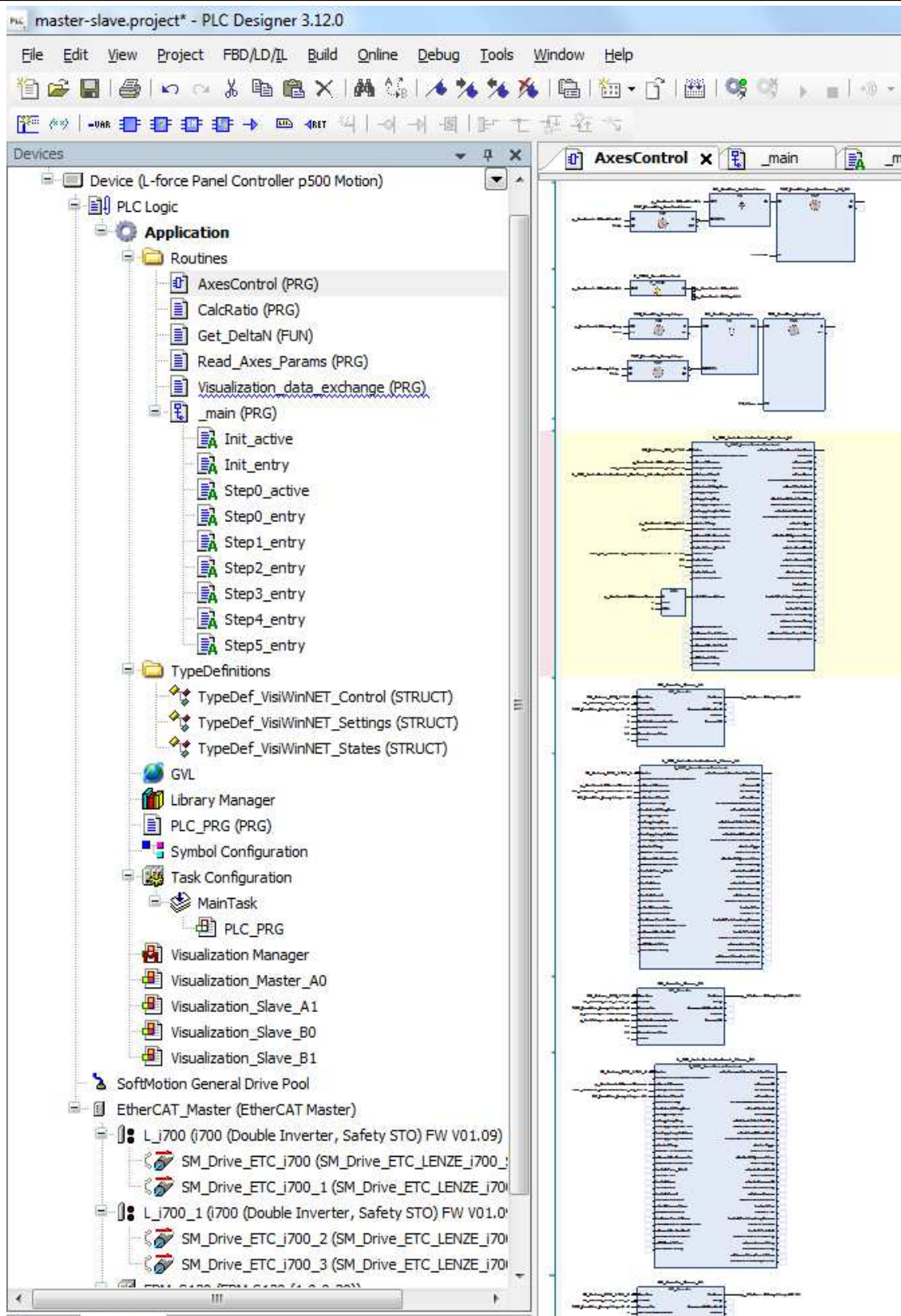


Symbol	POU	Variable	Access	Type	Address	Location	Object	Comment
Messages - Totally 0 error(s), 2 warning(s), 0 message(s) Cross Reference List								

Obr. [18.] Blok ovládání a vektorové vazby střídače i700

Další části programu na úrovni APPLICATION jsou uvedené v následující struktuře

Routine(Axes control) - obsahuje 4 bloky střídačů, 3 bloky Slave vazeb a logická propojení mezi nimi, je zde provedena základní logika vazeb, časovače pro najetí a odstavení pohonů, způsob zadávání otáček, povely ke startu, stopu a enable všech pohonů, zároveň se zde zpracovává poruchová signalizace pohonů, která vychází z chybových signálů bloku střídače i700.



Obr. [19.] Routine(axes control) struktura programu



Routine(Calc Ratio)

- obsahuje podprogram pro výpočet optimálního poměru pro zadaný poloměr zatáčky. Aby bylo možné najít optimální poměr rychlosti levé a pravé strany pro ujetí stejné dráhy při zadaném poloměru zatáčky, je z důvodu omezené velikosti poměrového čísla daného proměnnou panelu (INTEGER) omezení zpracovat i čísla s desetinnými místy (LREAL). Za tímto účelem jsem vytvořil program, který vygeneruje optimální číslo čitatele a jmenovatele pro dosažení požadovaného poloměru zatáčky kolejové trati definované operátorem. Tento podprogram se ručně aktivuje tlačítkem „start ratio calc“ po vyplnění tabulky jednotlivých úseků trati.

```
R_TRIG_StartCalc(CLK:=g_Control.bCalcStart);
IF (R_TRIG_StartCalc.Q) THEN
    FOR wCounter:=0 TO 19 DO alrMinError[wCounter] := 1000000; END_FOR
    wNum_test := 1;
END_IF
IF (g_Control.bCalcStart) THEN
    FOR wCounter:=0 TO 19 DO
        IF ((g_Settings.alrUserProgram_Radius[wCounter] > 0) AND (lrD > 0)) THEN
            lrI := (g_Settings.alrUserProgram_Radius[wCounter] +
                lrD)/(g_Settings.alrUserProgram_Radius[wCounter] - lrD);
            wDen_test := LREAL_TO_WORD(wNum_test / lrI);
            lrError := ABS(lrI - WORD_TO_LREAL(wNum_test)/WORD_TO_LREAL(wDen_test));
            IF (lrError < alrMinError[wCounter]) THEN
                alrMinError[wCounter] := lrError;
                g_Settings.anUserProgram_RatioNum[wCounter] :=
                    WORD_TO_INT(wNum_test);
                g_Settings.awUserProgram_RatioDen[wCounter] := wDen_test;
            END_IF
        END_IF
    END_FOR
    g_States.byCalcProgress_percent := LREAL_TO_BYTE(100*WORD_TO_LREAL(wNum_test)/32767);
    wNum_test := wNum_test + 1;
    IF (wNum_test = 32768) THEN g_Control.bCalcStart := FALSE; END_IF
ELSE
    g_States.byCalcProgress_percent := 0;
END_IF
```

Routine(Get_DeltaN)

- obsahuje podprogram pro výpočet střední dráhy úseku v zatáčce. Tento podprogram počítá otáčky levé a pravé strany kolejové dráhy na základě požadované střední rychlosti podvozku a z ní pak i ujetou dráhu, kterou potřebujeme znát pro přechod do dalšího úseku v režimu automatické sekvence provozu podvozku

```
lrI := INT_TO_LREAL(nNum)/WORD_TO_LREAL(wDen);
Get_DeltaN := LREAL_TO_int(WORD_TO_LREAL(wNominalN)*(lrI - 1)/(lrI + 1));
```

Routine(Read_Axes_Params)

- obsahuje převod výstupních otáček invertorů z hodnoty zpracovávané bloky střídačů (s^{-1}) na výstupní hřídel kladky za převodovkou a do min^{-1}

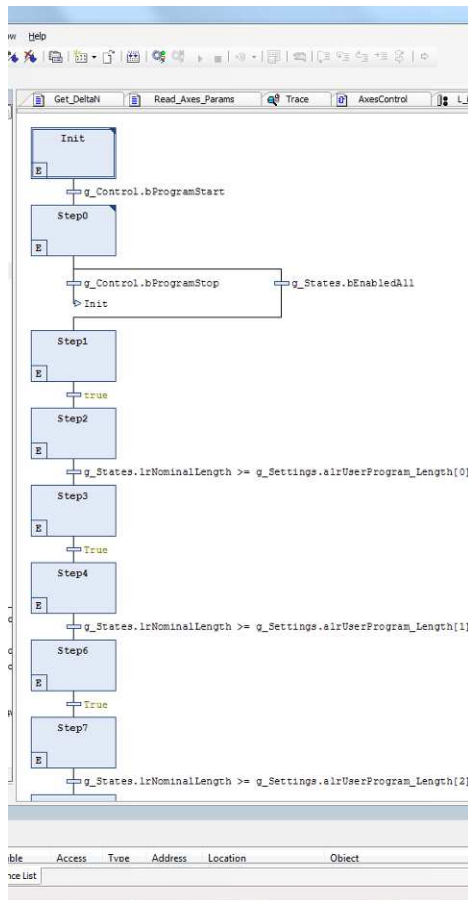


```
g_States.dnAxisSpeed_u[0] := REAL_TO_DINT(DINT_TO_REAL(SM_Drive_ETC_i700.diActVelocity)/2147483648*137143);  
  
g_States.nAxisTorque_per[0] := DINT_TO_INT(SM_Drive_ETC_i700.diActTorque)/10;  
g_States.dnAxisSpeed_u[1] := REAL_TO_DINT(DINT_TO_REAL(SM_Drive_ETC_i700_1.diActVelocity)/2147483648*137143);  
g_States.nAxisTorque_per[1] := DINT_TO_INT(SM_Drive_ETC_i700_1.diActTorque)/10;  
g_States.dnAxisSpeed_u[2] := REAL_TO_DINT(DINT_TO_REAL(SM_Drive_ETC_i700_2.diActVelocity)/2147483648*137143);  
g_States.nAxisTorque_per[2] := DINT_TO_INT(SM_Drive_ETC_i700_2.diActTorque)/10;  
g_States.dnAxisSpeed_u[3] := REAL_TO_DINT(DINT_TO_REAL(SM_Drive_ETC_i700_3.diActVelocity)/2147483648*137143);  
g_States.nAxisTorque_per[3] := DINT_TO_INT(SM_Drive_ETC_i700_3.diActTorque)/10;
```

Routine(Visualization data exchange) - obsahuje definici výstupních signálů invertorů pro HMI - Error Enable, Ready.

```
g_abDO;  
g_abDI;  
g_States.bError := AxesControl.L_SMC_AxisBasicControl_Master_A0.xAxisError OR  
                  AxesControl.L_SMC_AxisBasicControl_Slave_A1.xAxisError OR  
                  AxesControl.L_SMC_AxisBasicControl_Slave_B0.xAxisError OR  
                  AxesControl.L_SMC_AxisBasicControl_Slave_B1.xAxisError;  
g_States.bReadyAll := AxesControl.L_SMC_AxisBasicControl_Master_A0.xAxisReady OR  
                    AxesControl.L_SMC_AxisBasicControl_Slave_A1.xAxisReady OR  
                    AxesControl.L_SMC_AxisBasicControl_Slave_B0.xAxisReady OR  
                    AxesControl.L_SMC_AxisBasicControl_Slave_B1.xAxisReady;  
g_States.bEnabledAll := AxesControl.L_SMC_AxisBasicControl_Master_A0.xAxisEnabled and  
                      AxesControl.L_SMC_AxisBasicControl_Slave_A1.xAxisEnabled AND  
                      AxesControl.L_SMC_AxisBasicControl_Slave_B0.xAxisEnabled AND  
                      AxesControl.L_SMC_AxisBasicControl_Slave_B1.xAxisEnabled;
```

Routine(main PRG) - obsahuje sekvenční podprogram pro automatické vykonání definované trati uživatelem, spouští se tlačítkem „Program Start“, jednotlivé vstupní podmínky každého kroku (E) jsou vypsány vedle SFC diagramu. Jedná se pouze o část podprogramu, má celkem 40 kroků a je uvedený v příloze diplomové práce. Krok INIT se spouští s aktivací aplikace, STEP0 aktivuje střídače a vazby mezi nimi a uvádí pohony do klidu, STEP1 načítá parametry otáček jednotlivých pohonů v závislosti na zadaném poměrovém čísle a resetuje integrátor pro výpočet ujeté vzdálenosti, STEP2 spouští pohony, STEP3 porovnává skutečně ujetou dráhu se zadanou a pokud nastane shoda, rozpojuje vazby a načítá parametry dalšího řádku tabulky - otáčky jednotlivých pohonů, poměrová čísla a resetuje integrátor pro výpočet ujeté vzdálenosti, STEP4 spojuje vazby a spouští pohony další sekvence. Tato sekvence kroků 3 a 4 se opakuje pro všechny řádky tabulky, v případě potřeby lze sekvenci dočasně přerušit tlačítkem „Program Stop“ nebo úplně přerušit tlačítkem „Stop“ na první obrazovce. V posledním kroku sekvence se uvádí do klidu všechny pohony a zařízení čeká na další povely operátora



STEP0

```
g_Control.bEnableAll := TRUE;  
g_Control.bCoupling := TRUE;  
g_Control.bProgramStop := FALSE;  
g_Control.bProgramStart := FALSE;
```

STEP1

```
g_Settings.nNSet := (g_Settings.anUserProgram_Speed[0] +  
Get_DeltaN(wNominalN:=  
INT_TO_WORD(g_Settings.anUserProgram_Speed[0]),nNum :=  
g_Settings.anUserProgram_RatioNum[0], wDen :=  
g_Settings.awUserProgram_RatioDen[0]);  
g_Settings.nRatioNum := g_Settings.anUserProgram_RatioNum[0];  
g_Settings.wRatioDen := g_Settings.awUserProgram_RatioDen[0];  
g_Control.bResetIntegrator := true;
```

STEP2

```
g_Control.bCoupling := TRUE;  
g_Control.bRunAll := TRUE;  
g_Control.bEnableAll := TRUE;  
g_Control.bResetIntegrator := FALSE;
```

STEP3

```
g_Settings.nNSet := (g_Settings.anUserProgram_Speed[1] +  
Get_DeltaN(wNominalN:= INT_TO_WORD(g_Settings.anUserProgram_Speed[1]),  
nNum := g_Settings.anUserProgram_RatioNum[1], wDen :=  
g_Settings.awUserProgram_RatioDen[1]);  
g_Settings.nRatioNum := g_Settings.anUserProgram_RatioNum[1];  
g_Settings.wRatioDen := g_Settings.awUserProgram_RatioDen[1];  
g_Control.bResetIntegrator := true;
```

STEP4

```
g_Control.bCoupling := TRUE;  
g_Control.bRunAll := TRUE;  
g_Control.bEnableAll := TRUE;  
g_Control.bResetIntegrator := FALSE;
```

STEP5

```
g_Control.bStopAll := TRUE;
```

TypeDefinitions(CONTROL) - obsahuje deklarace všech proměnných typu „Boolean“ použitých ve struktuře „CONTROL“ – tyto proměnné jsou určeny k ovládání střídačů a jsou navázané na tlačítka HMI a na blok ovládání střídačů

TYPE TypeDef_VisiWinNET_Control :
STRUCT

```
bEnableAll : BOOL;  
bRunAll : BOOL;  
bStopAll : BOOL;  
bResetError : BOOL;  
bCoupling : BOOL;  
bDirection : BOOL;  
bResetIntegrator : bool;  
bProgramStart : BOOL;  
bProgramStop : BOOL;  
bProgramPause : BOOL;  
bManualStart_Master_A0 : BOOL;  
bManualStop_Master_A0 : BOOL;  
bManualStart_Slave_A1 : BOOL;  
bManualStop_Slave_A1 : BOOL;  
bManualStart_Slave_B0 : BOOL;  
bManualStop_Slave_B0 : BOOL;  
bManualStart_Slave_B1 : BOOL;  
bManualStop_Slave_B1 : BOOL;  
bCalcStart : BOOL;
```

END_STRUCT
END_TYPE



TypeDefinitions(SETTINGS) - obsahuje deklarace všech analogových proměnných použitých ve struktuře „SETTINGS“ – tyto proměnné jsou určeny k nastavení hlavních parametrů po spuštění aplikace jako např. poměrová čísla, otáčky, poloměr oblouku trati a definuje pole proměnných pro tabulku automatické sekvence

```
TYPE TypeDef_VisiWinNET_Settings :  
STRUCT  
  
    nRatioNum: INT := 1;  
    wRatioDen: UINT := 1;  
    nNSet : INT := 60;  
    nRadius : LREAL := 100;  
  
    anUserProgram_Speed : ARRAY[0..19] OF INT;  
    anUserProgram_Duration : ARRAY[0..19] OF TIME;  
    anUserProgram_RatioNum : ARRAY[0..19] OF INT;  
    awUserProgram_RatioDen : ARRAY[0..19] OF UINT;  
    alrUserProgram_Length : ARRAY[0..19] OF LREAL;  
    alrUserProgram_Radius : ARRAY[0..19] OF LREAL;  
  
END_STRUCT  
END_TYPE
```

TypeDefinitions(STATES) - obsahuje deklarace všech proměnných použitých ve struktuře „STATES“ – výstupní proměnné určené k zobrazení stavů systému, hlavně jednotlivé provozní stavy střídačů, otáčky, točivý moment, ujetá dráha

```
TYPE TypeDef_VisiWinNET_States :  
STRUCT  
  
    bError : BOOL;  
    bReadyAll : BOOL;  
    bEnabledAll : BOOL;  
    bCouplingsOK : ARRAY[0..2] OF BOOL;  
    dnAxisSpeed_u : ARRAY[0..3] OF DINT;  
    nAxisTorque_per : ARRAY[0..3] OF INT;  
    lrNominalLength : LREAL;  
    byCalcProgress_percent : BYTE;  
  
END_STRUCT  
END_TYPE
```

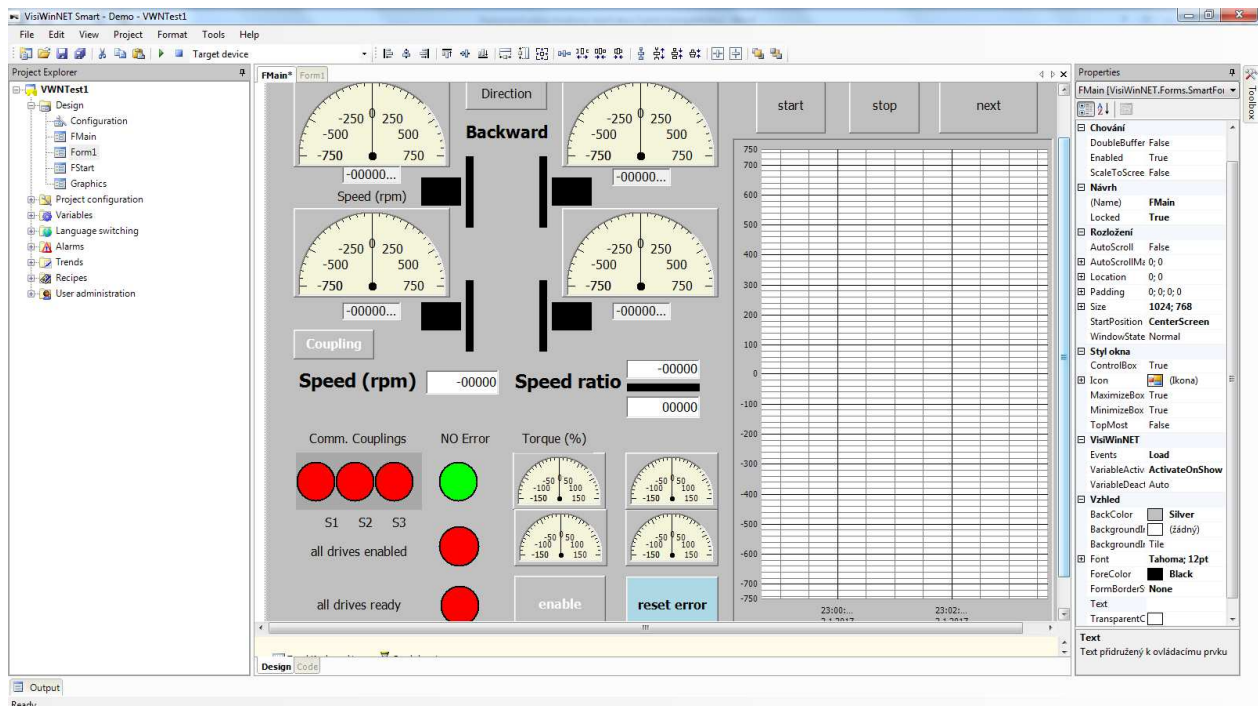



4.2 VisiWINNET

Vizualizační aplikace v prostředí VisiWinNET je určena pro programování vizualizačního rozhraní mezi strojem (PLC) a obsluhou kladkového stavu, jednak se přes něj zadávají parametry a povely do programu PLC a zároveň se pomocí panelu zobrazují důležité stavy systému. Panel PLC, který slouží jako HMI uživatele, se skládá ze dvou základních obrazovek:

- OBRAZOVKA 1 - ruční zadávání požadovaných parametrů tratě
- OBRAZOVKA 2 - automatická sekvence požadovaných parametrů tratě

Úvodní obrazovka HMI je uvedena níže. Jsou na ní zobrazené nejdůležitější parametry ovládání a monitorování kladkového stavu. V levém horním rohu je naznačená podoba podvozku s grafickými ukazateli otáček jednotlivých pohonů, v pravém horním rohu základní ovládací tlačítka „Start“, „Stop“ a „Next“ tlačítka pro přepínání na další obrazovku, v levém dolním rohu jsou potom umístěné ovládací prvky invertorů. Na pravé straně je dále přidán velký graf otáček všech os v závislosti na času.



Obr. [20.] Obrazovka 1 – ruční zadávání parametrů

Nejdůležitější údaje pro zadávání a tlačítka jsou popsány níže. Všechny tyto ovládací prvky slouží k řízení kladkového stavu v ručním režimu bez automatické sekvence.

- Speed (rpm) - Střední otáčky kladkového stavu [min^{-1}]
- Speed ratio - Poměrové číslo pro zadávání otáček levé a pravé strany podvozku, čísel / jmenovatel []
- Enable - Uvolnění invertorů ke startu

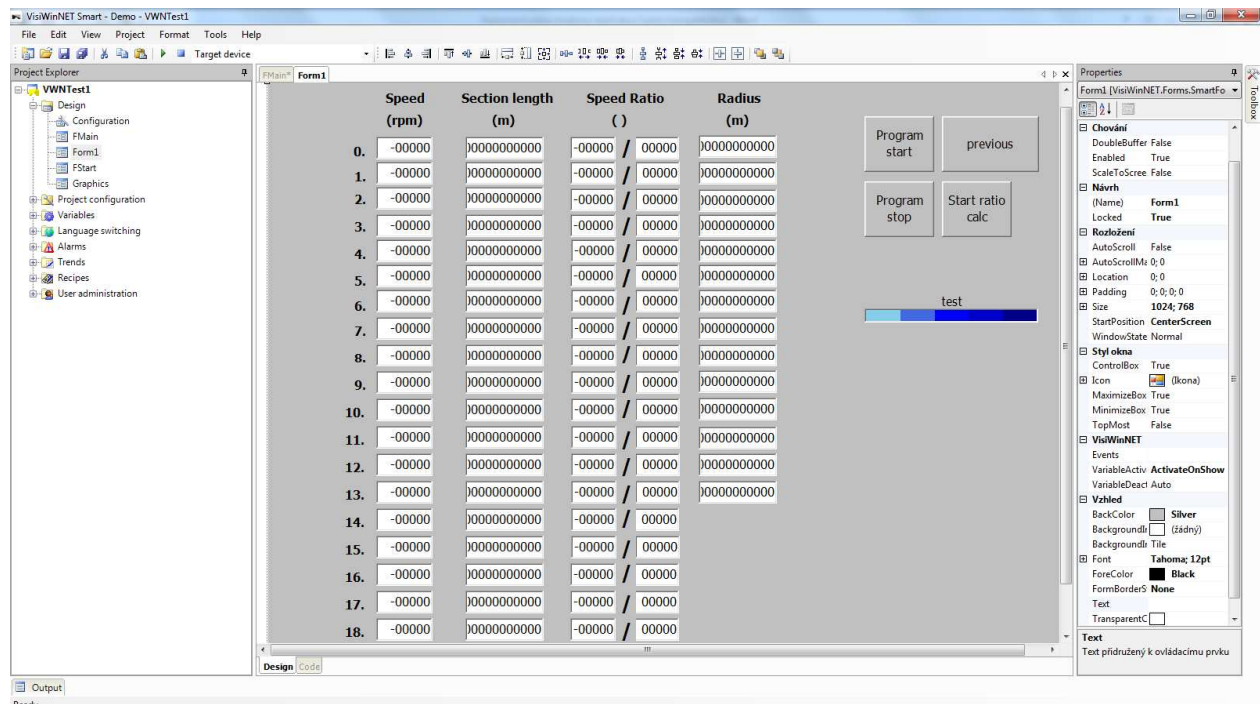


Start	- Start pohonů
Stop	- Stop pohonů
Direction	- směr otáčení pohonu dopředu nebo dozadu, aktivuje nápis Forward / Backward umístěný pod tlačítkem
Coupling	- aktivace / deaktivace vazby mezi MASTER a SLAVE pohony, pokud není sepnutá, otáčí se pouze MASTER pohon

Další důležité údaje poskytují diody zobrazující stav invertorů a celého systému:

- All drives ready - signálka sumárního stavu střídačů, svítí zeleně, pokud jsou všechny připraveny k provozu
- All drives enabled - signálka sumárního stavu střídačů, svítí zeleně, pokud jsou všechny připraveny k provozu
- No error - signálka sumárního stavu střídačů, ani jeden nehlásí žádnou poruchu
- Comm. Couplings- signálky stavu jednotlivých vazeb Master-Slave

Druhá obrazovka HMI je určena k provozu podvozku v automatické sekvenci a zobrazuje parametry nutné k zadání této sekvence. Na dvaceti řádcích jsou zde uvedené zleva otáčky, délka úseku, poměr otáček nebo poloměr trati, ze kterého se poměr otáček vypočítá a tlačítka pro start a stop programu. Je zde také speciální tlačítko pro výpočet poměrového čísla ze zadaného poloměru trati, který je potřeba udělat před startem sekvence pro dodržení maximální přesnosti dle zadání. Ukazatel aktuálního stavu výpočtu je umístěn pod tlačítky a reprezentuje stav pomocí grafického vodorovného baru.



Obr. [21.] Obrazovka 2 – zadávání automatické sekvence kladkového stavu

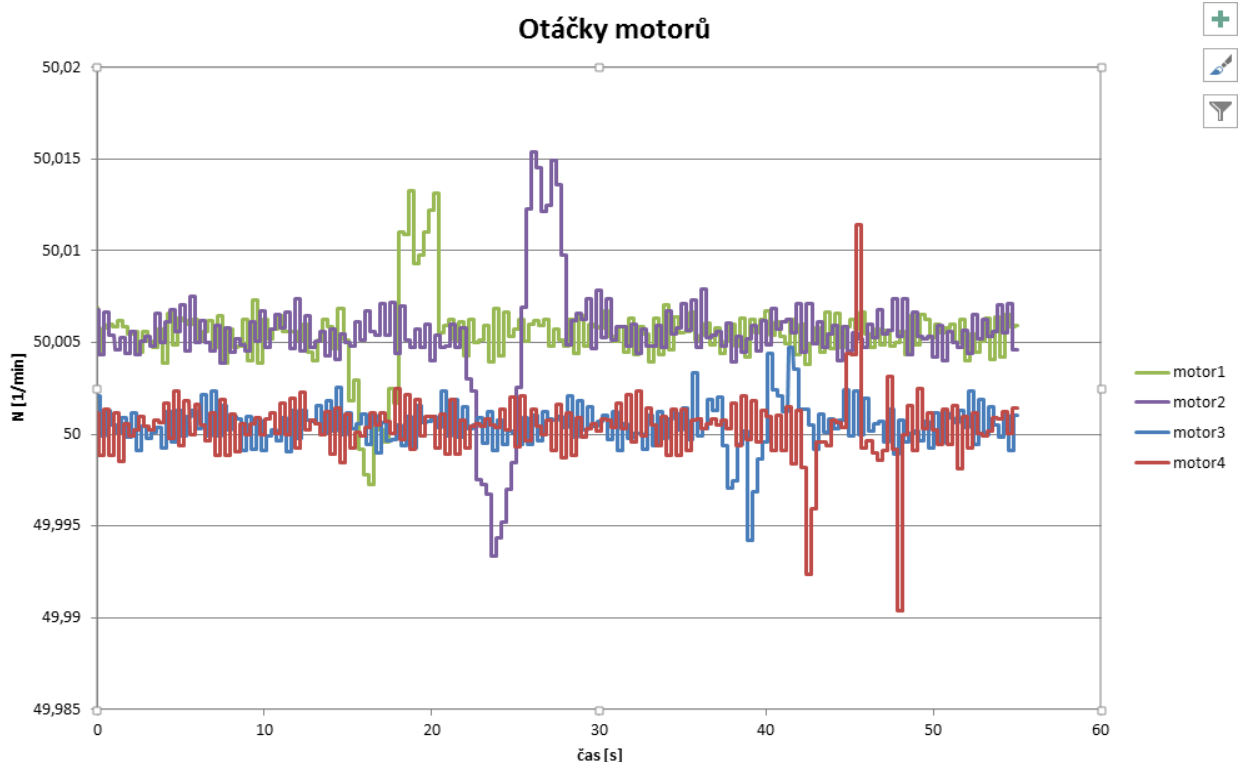


5 ZPROVOZNĚNÍ KLADKOVÉHO STAVU A MĚŘENÍ PRO OVĚŘENÍ NÁVRHOVÝCH PARAMETRŮ

Zprovoznění kladkového stavu probíhalo postupně od září roku 2016, kdy probíhaly testy dodaného HW zařízení a ladění a vývoj SW nezávisle na strojní připravenosti kladkového stavu, který v té době ještě sloužil k výuce na FS ČVUT v Praze v původní podobě, až do konce prosince 2016, kdy bylo možné celou sestavu vyzkoušet v reálném zatížení při provozu kladkového stavu s namontovaným zkušebním podvozkem.

Na kladkovém stavu proběhla dvě měření ve dvou fázích podle stavu kladkového stavu v laboratořích Ústavu automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel FS ČVUT v Praze.

Nejprve byly pohony změřeny samostatně bez zabudování do stolice, tak jak volně ležely na zemi, potom následovalo měření samotného kladkového stavu se servopohony připojenými ke kladkám a nakonec proběhlo měření s železničním podvozkem položeným na kladky. Měření na samotných pohonech bez kladek proběhlo pouze orientačně a jsou z něho omezené záznamy. Protože bylo toto měření z hlediska účelu celé práce nezajímavé, zaměřil jsem se na chování pohonů hlavně při zatížení. Při tomto měření bylo pouze ověřeno, že **pohony na prázdko mají pro přímý směr přesnost regulace otáček 0,01% v rozsahu 50 až 700 min⁻¹**. Tento záznam je uvedený na následujícím obrázku. Při tomto záznamu bylo zároveň vyzkoušená vazba mezi levou a pravou stranou podvozku a bylo ověřeno, že **rozdíl otáček kladek na pravé a levé straně podvozku splňuje požadavky na přesnost regulace dle zadání 1% v rozsahu 0,05 až 5 min⁻¹**.



Obr. [22.] Měření s pohony na prázdko bez montáže do kladkového stavu

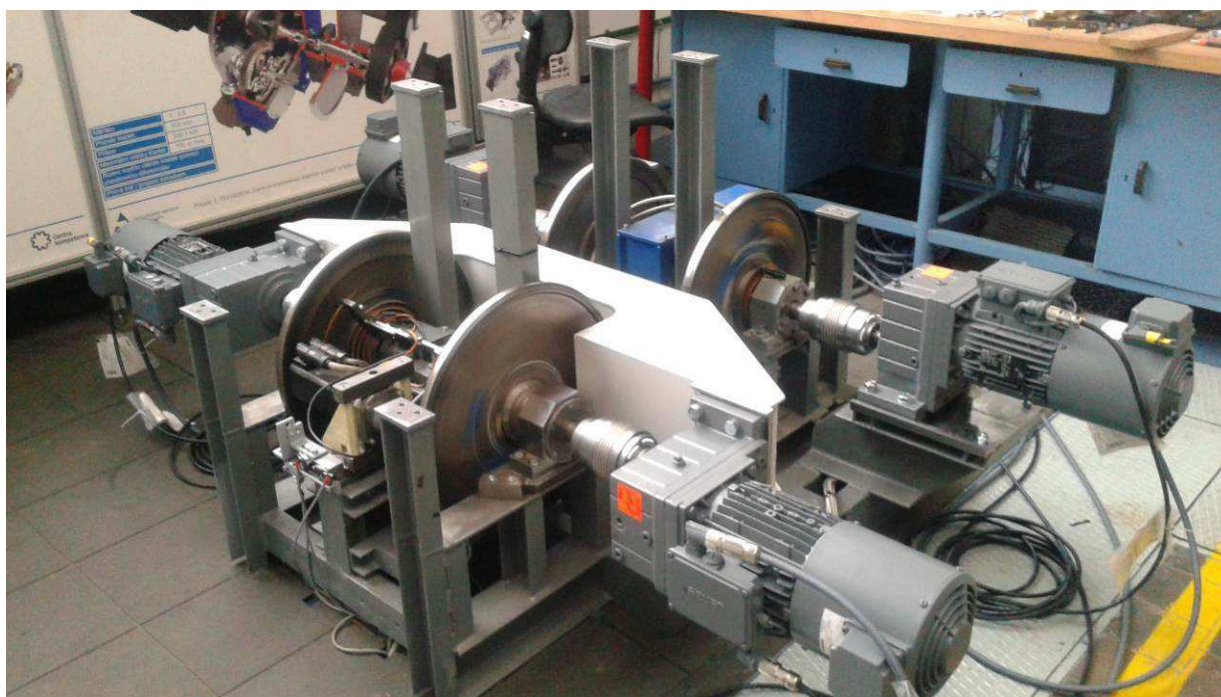


Výkyvy křivek mimo standardní meze jsou způsobené záměrným přibrzdováním jednotlivých os pomocí dřevěného nástroje a sledováním reakce regulátoru pohonů.

Na záznamech uvedených v dalších odstavcích jsou zobrazená měření již s pohony zabudovanými v kladkovém stavu pro otáčky postupně 100-200-400-600 min^{-1} v čase 0-30s pořízené externím měřením zapůjčeným z Ústavu přístrojové a řídicí techniky FS CVUT v Praze. Jednalo se o externí automat National Instruments Compact RIO-9073 266MHz a 4ks 100 μs vstupních karet NI9421 pro každou osu připojené k indukčním snímačům Pepperl+Fuchs, NBB5-18GM50-E2. Výpočet otáček probíhá v programu vytvořeném v prostředí LabView a je realizován na principu měření času mezi pulzy indukčního snímače 8 x za otáčku. Výstupní měřená hodnota otáček je poskytována 100 x za sekundu a referenční měření otáček tedy můžeme považovat za přesné.

5.1 MĚŘENÍ KLADKOVÉHO STAVU S INSTALOVANÝMI KLADKAMI

Jako úvodní měření bylo provedené měření po zabudování servo pohonů do stávající zkušební stolice bez instalace zkušebního podvozku. Na obrázku níže je vidět kladkový stav po zabudování servo pohonů na stávající konstrukci. Aby bylo možné připojit dvojici pohonů K2L a K2R do stávající konstrukce, bylo zapotřebí vyrobít pomocnou konstrukci, která se připevnila k základovému rámu a pomocí které se připevnila dva pohony otočené o 90°. Bez této konstrukce by nebylo pohony kam přichytit. Pomocná konstrukce má na fotografii světle šedou barvu. Jednotlivé pohony jsou připojeny k hřídeli kladek pomocí spojky ze svěrného spoje



Obr. [23.] Kladkový stav s instalovanými pohony bez podvozku



Na následujícím obrázku jsou vidět záznamy měření v čase provedená nejdříve pro 100 min^{-1} , 200 min^{-1} , následuje 400 min^{-1} a na závěr 600 min^{-1} . Pro potřeby experimentů jsou dle sdělení odpovědných pracovníků otáčky 600 min^{-1} dostatečné a není potřeba, i s ohledem na mechanické vlastnosti a pohyb zkušebního podvozku na kladkovém stavu, jej roztáčet více.

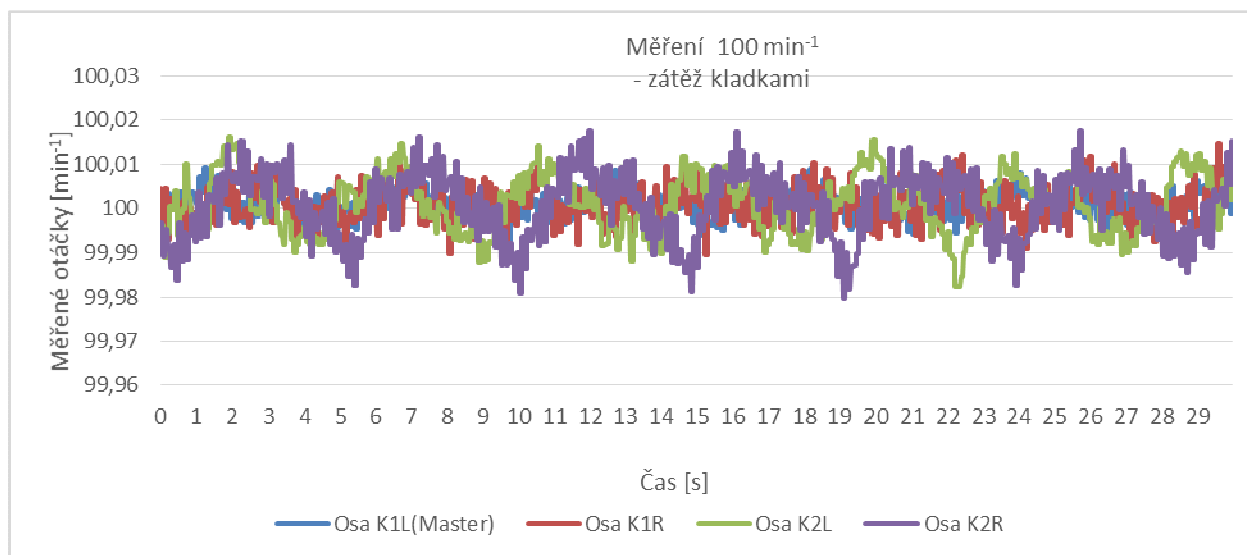
Na prvním záznamu při 100 min^{-1} je vidět, že měření otáček osciluje mezi 99,99 a 100,01 s občasným překmitem za tuto hranici o jednu setinu min^{-1} .

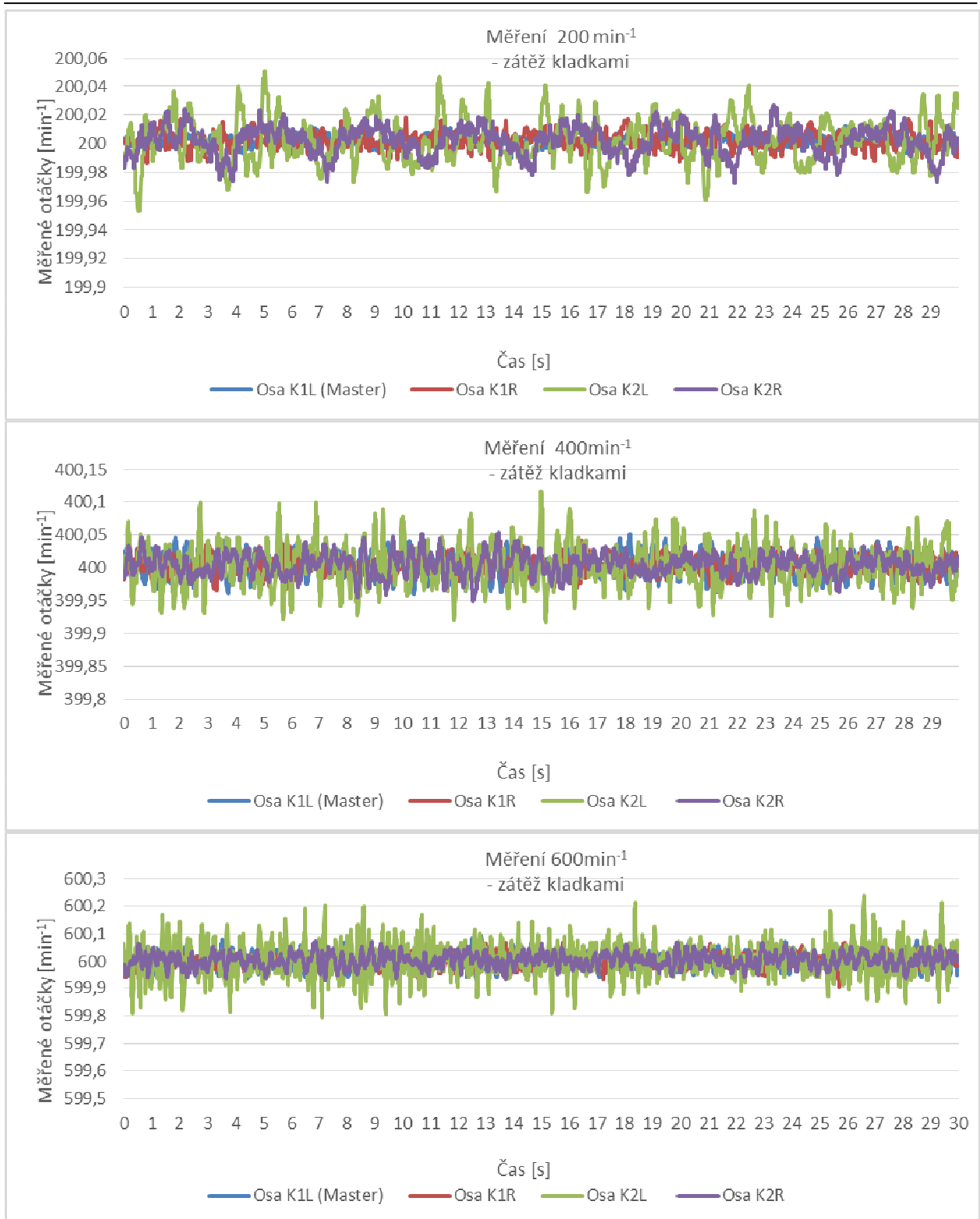
Na druhém záznamu při 200 min^{-1} je vidět, že měření otáček osciluje mezi 199,98 a 200,02 s občasným překmitem osy K2L za tuto hranici až o pět setin.

Na třetím záznamu při 400 min^{-1} je vidět tendence z předchozího záznamu, že měření otáček osciluje mezi 399,96 a 400,04 s občasným překmitem osy K2L za tuto hranici až o jednu desetinu min^{-1} .

Na závěrečném čtvrtém záznamu při 600 min^{-1} je vidět, že měření otáček osciluje mezi 599,94 a 600,06 opět s občasným překmitem osy K2L za tuto hranici až o dvě desetiny min^{-1} .

Z předchozích záznamů je patrné, že přesnost měření je v případě zatížení pohonů pouze kladkami bez zatížení železničním podvozkem v řádech setin otáček (do $0,1 \text{ min}^{-1}$) a **je tak téměř dodržena požadovaná přesnost měření dle zadání (0,01% v rozsahu 50 až 600 min^{-1})**. Jediná osa K2L ale vykazuje občasné výkyvy a nepatrně vyšší chybu měření otáček než ostatní osy a to vzhledem k totožnému nastavení konstant regulátoru všech střídačů lze přisuzovat buďto větší chybě měření na této ose nebo odchylku v HW výbavě osy K2L oproti ostatním osám, např. jinak navinutý motor, zvýšené hodnoty tření/nerovnosti ložiska.





Obr. [24.] Měření otáček kladkového stavu se zatížením pouze kladkami

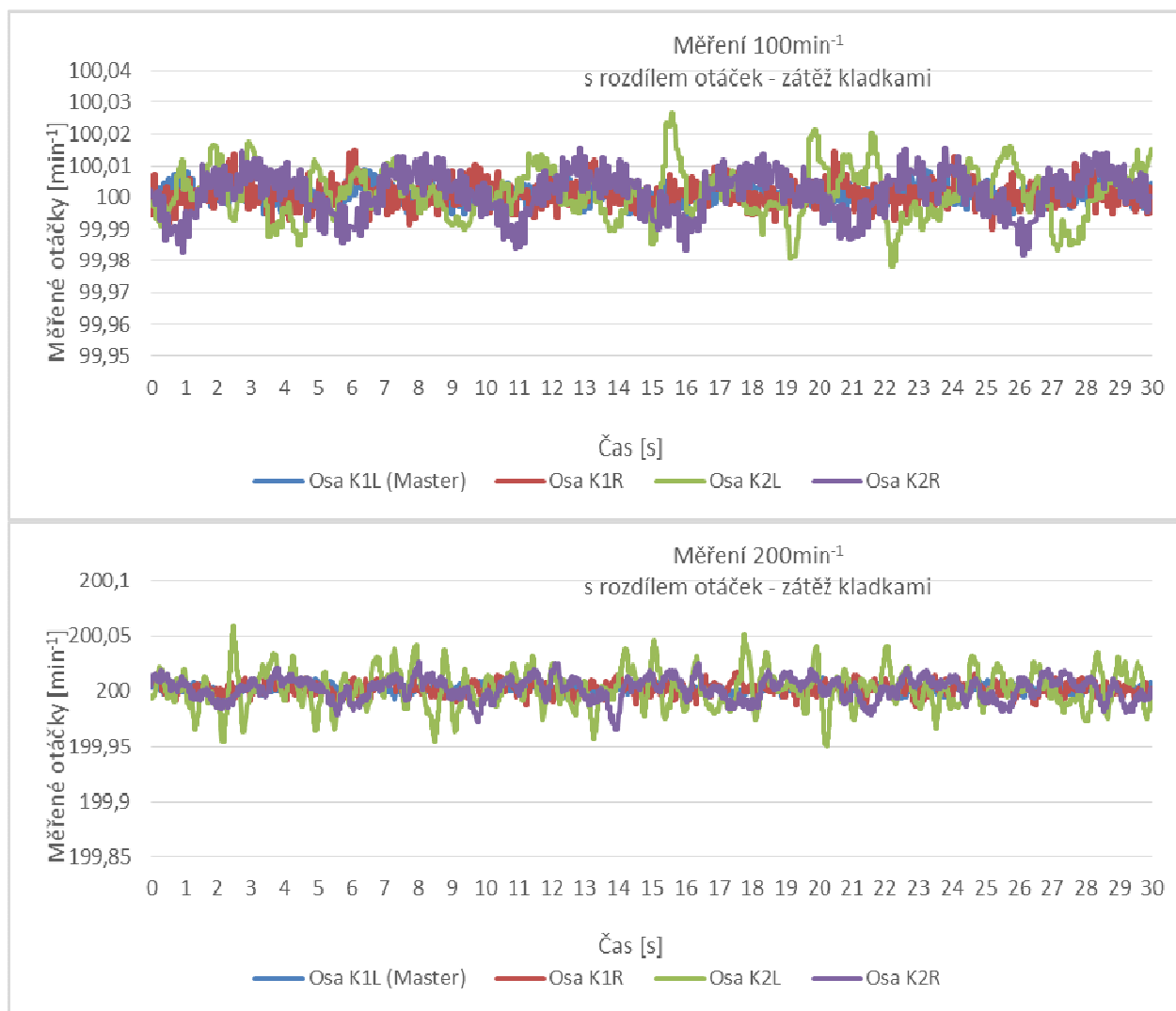
Na následujícím obrázku jsou vidět záznamy měření v čase provedené stejně jako v předchozím případě pro 100 min⁻¹, 200 min⁻¹, 400 min⁻¹ a 600 min⁻¹, ale tentokrát nejsou otáčky levé a pravé

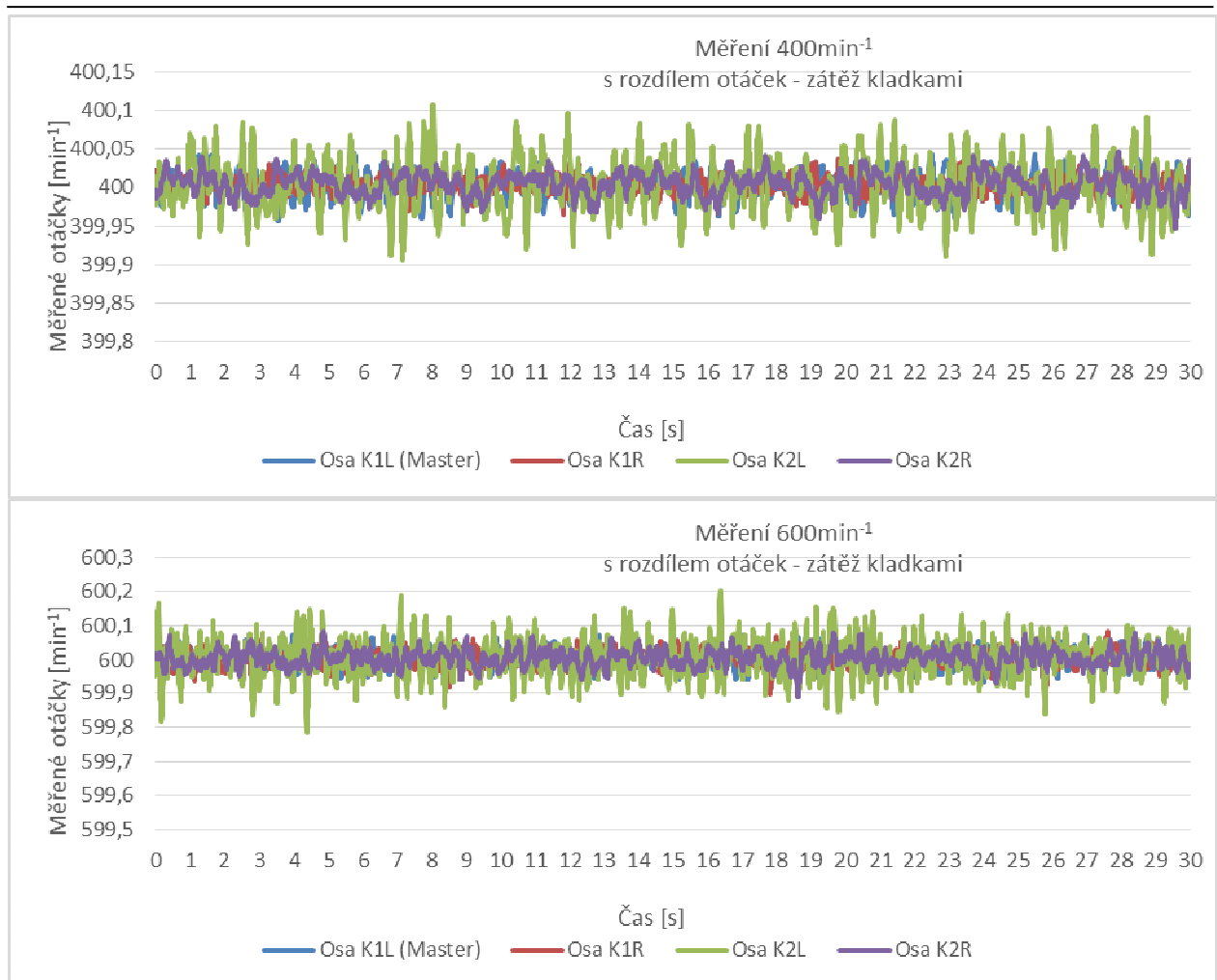


strany totožné. Pomocí poměrového zlomku byl nastavený poměr levé a pravé strany $10005/10000 = 1,0005$ a byla měřena odezva reálných otáček, zda odpovídají tomuto poměru nebo ne.

Bohužel již z prvního záznamu při 100 min^{-1} je vidět, že rozptyl měření otáček je velký, že změny v měření otáček na druhém desetinném místě vlivem definovaného poměru otáček levé a pravé strany nejsou žádným měřením zaznamenatelné a otáčky oscilují mezi 99,99 a 100,01 s občasným překmitem za tuto hranici o jednu setinu min^{-1} .

Obdobně to platí i pro následující měření, kdy pro 200, 400 a 600 min^{-1} je vidět, že měření otáček osciluje v hodnotách do jedné desetiny otáčky s občasným překmitem osy K2L za tuto hranici.



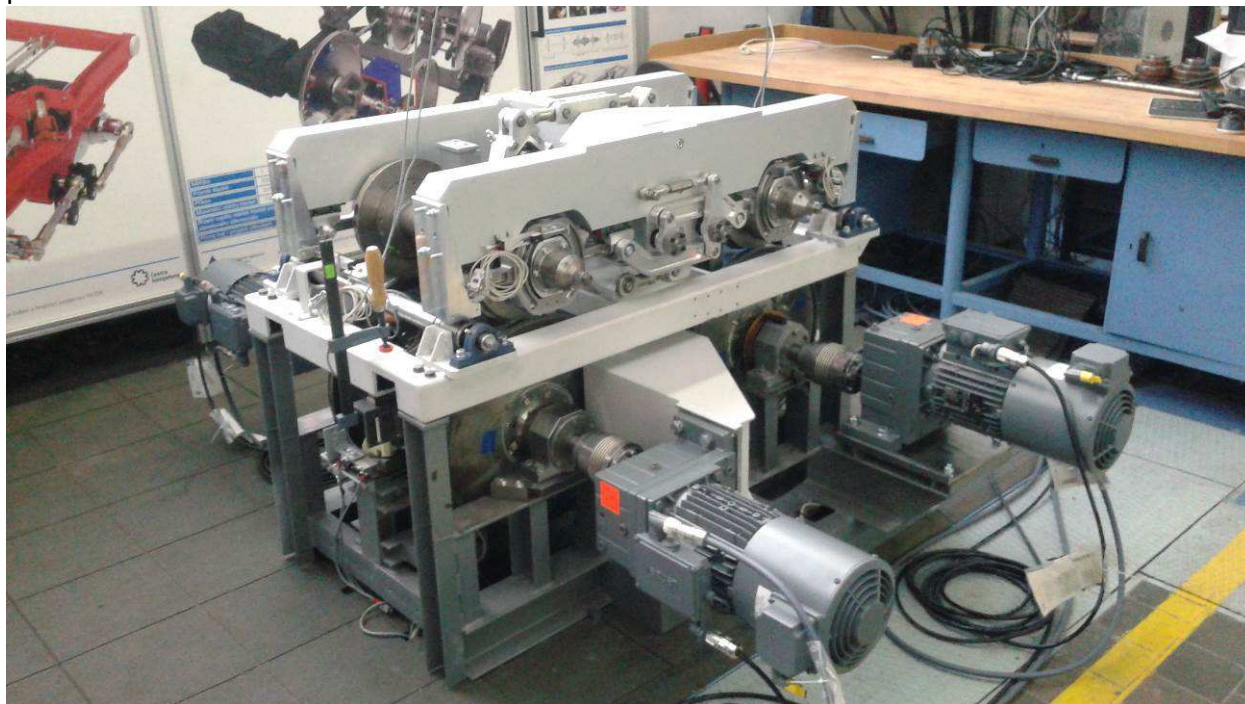


Obr. [25.] Měření otáček kladkového stavu s rozdílnými otáčkami



5.2 MĚŘENÍ KLADKOVÉHO STAVU S INSTALOVANÝMI KLADKAMI A ZKUŠEBNÍM PODVOZKEM

Jako druhé bylo provedené měření pohonů v zabudované stolici po instalaci zkušební podvozku. Na obrázku níže je vidět kladkový stav se zabudovanými pohony včetně zkušební podvozku.



Obr. [26.] Kladkový stav s instalovanými pohony a zkušebním podvozkem

Z následujících záznamů je zřetelné, že nepřesnost regulace je v případě zatížení pohonů kladkami a současně železničním podvozkem výrazně vyšší než bez něj a není dodržena požadovaná přesnost v řádu setin min^{-1} . Vlivem cyklického pohybu podvozku dochází z důvodu geometrie kladek k výraznému nárůstu zatížení pohonů při posuvech podvozku mimo střední dráhu koleje. Tento jev je způsobený zvyšujícím se rozdílem průměrů kladek mimo střední dráhu podvozku a dochází při něm k postupnému nárůstu smykového tření jedné strany nápravy a odlehčení strany druhé. Tato sekvence se neustále opakuje a v mezních stavech může docházet vlivem extrémního nárůstu tření až k odražení podvozku na druhou stranu.

Interní měření točivého momentu jednotlivých pohonů také prokázalo, že první náprava podvozku zatěžuje kladkový stav dvojnásobným zatížením než náprava druhá, což dokazují i záznamy měření otáček a nabízí se otázka, zda by se nedalo pomoci naladěním geometrie horší nápravy pomocí regulátoru, který by tak s vyšší pravděpodobností dosáhl požadované přesnosti regulovaných otáček kladkového stavu.

Na následujícím obrázku jsou vidět záznamy měření v čase provedená pro 100 min^{-1} , 200 min^{-1} , 400 min^{-1} a 600 min^{-1} .

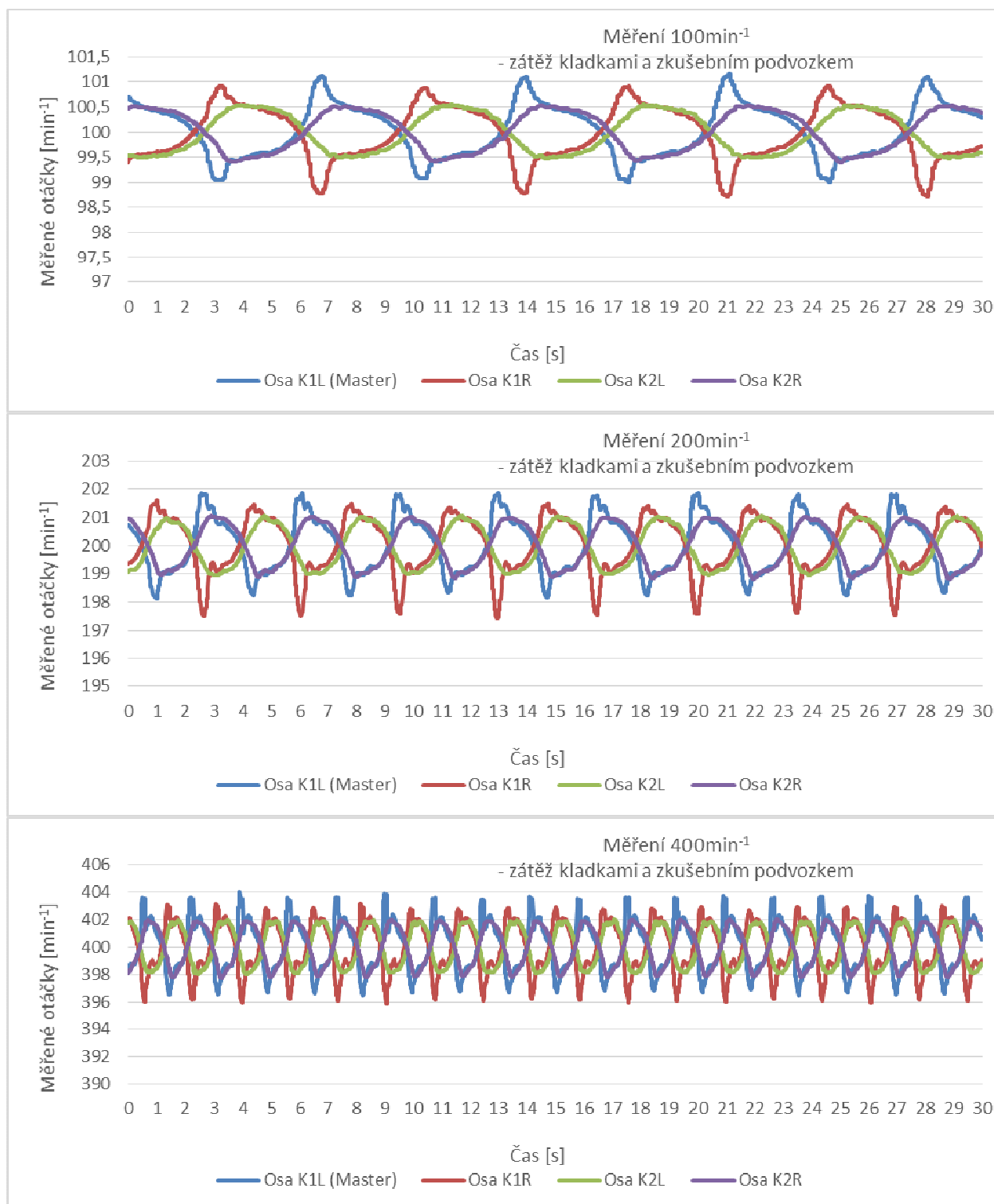
Na prvním záznamu při 100 min^{-1} je vidět, že měření otáček dvou pohonů jedné nápravy osciluje mezi $99,5$ a $100,5 \text{ min}^{-1}$, u druhé nápravy je ale oscilace otáček dvojnásobná a dosahuje hodnot mezi $99,0$ a $101,0 \text{ min}^{-1}$ a to je o dva řády horší přesnost než požaduje zadání.

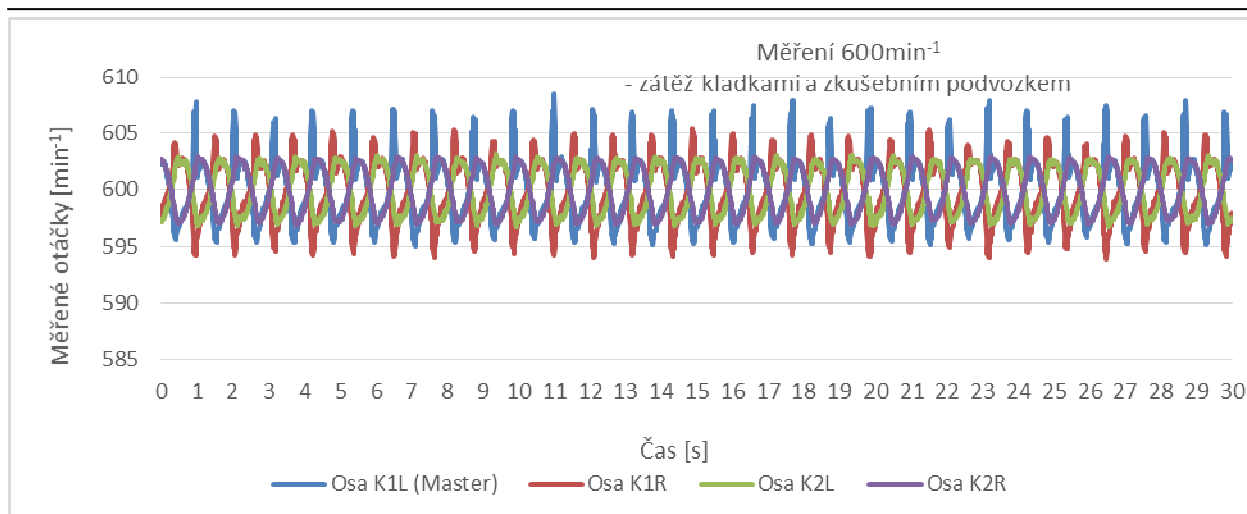
Na druhém záznamu při 200 min^{-1} je vidět, že měření otáček osciluje mezi $197,5$ a $202,0 \text{ min}^{-1}$.



Na třetím záznamu při 400 min^{-1} je vidět tendence z předchozího záznamu, měření otáček osciluje mezi $396,0$ a $404,0 \text{ min}^{-1}$.

Na závěrečném čtvrtém záznamu při 600 min^{-1} je vidět, že měření otáček osciluje mezi $594,0$ a $606,0 \text{ min}^{-1}$.





Obr. [27.] Měření otáček kladkového stavu se zatížením kladkami a zkušebním podvozkem

Z předchozích záznamů je patrné, že přesnost měření je v případě zatížení pohonů kladkami s železničním podvozkem 1% v rozsahu 100 až 600 min⁻¹ čemuž odpovídá oscilace otáček mezi 594,0 a 606,0 min⁻¹. **Naměřená hodnota je tedy o dva řády horší než požaduje zadání a není tak dodržena požadovaná přesnost měření dle zadání (0,01% v rozsahu 50 až 600 min⁻¹).**

Vzhledem k tomu, že zkušební podvozek byl poprvé instalován na kladkový stav 21.12 večer a měření proběhlo 22.12, nebylo možné si chování kladkového stavu se zkušebním podvozkem ověřit před samotným měřením a nebylo také možné provést nastavení regulátoru dle nějaké standardní metody využívané k nastavení. V rámci tohoto měření jsem se ještě snažil metodou pokus-omyl upravit chování regulátoru vhodným nastavením regulačních konstant, ale žádná z úprav nevedla ke zlepšení chování a vždy docházelo k postupnému zhoršování regulace a k vyšší oscilaci otáček kladkového stavu.

Z důvodu komezeného času pro měření daného hlavně spoluprací s externími pracovníky Ústavu přístrojové a řídicí techniky FS ČVUT v Praze, kteří zajišťovali sběr dat pro vyhodnocení měření otáček, se nebylo možné nastavení regulátoru věnovat podrobně. Pro ověření správnosti nastavení regulátoru bude nutné provést opakované nastavení regulátoru pomocí metody Ziegler-Nichols s cílem optimalizovat regulační konstanty a zpřesnit skutečné otáčky kladkového stavu se zatížením. Výsledek by měl potvrdit, zda nepřesná regulace byla způsobena nevhodně nastaveným regulátorem nebo vlastnostmi systému Lenze, který by v tomto případě nebyl schopen dosáhnout nabízené parametry vyžadované tendrovou dokumentací.



6 ZÁVĚR

Účelem této diplomové práce bylo nalézt a realizovat vhodný HW a vytvořit k němu SW pro ovládání experimentálního kladkového stavu na Ústavu automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel FS ČVUT v Praze. Podařilo se realizovat zadání, vytipovat vhodné zařízení pro náhradu pohonů stávajícího kladkového stavu, toto zařízení objednat, demontovat starý kladkový stav, provést nutné úpravy, vyrobit nové pomocné konstrukce a zabudovat vše do stávající konstrukce kladek (realizovali pracovníci Ústavu automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel FS ČVUT v Praze), vyprojektovat a vyrobit nový elektrický rozvaděč pro výkonovou a řídicí část, dále realizovat řídicí SW dle zadání. Přes nejrůznější komplikace se podařilo celé zařízení zprovoznit a provést zkoušky potřebné pro ověření jeho správné funkce a přesnosti regulace.

Čeho se zatím v této práci nepodařilo 100% dosáhnout je zejména přesnost regulace otáček kladek při zatížení zkušebním podvozkem, která není dodržena v hodnotách požadovaných zadáním - shodné otáčky všech 4 kladek s přesností 0,01% v rozsahu 50 až 700 min⁻¹. Po úvodním měření se přesnost v daném rozsahu otáček pohybuje okolo 1,00% a to je o dva řády horší hodnota, než bylo uvažováno.

Pro ověření správnosti nastavení regulátoru proběhne ještě v lednu 2017 opakované měření po nastavení regulátoru pomocí metody Ziegler-Nichols s cílem optimalizovat regulační konstanty a zpřesnit skutečné otáčky kladkového stavu se zatížením. Výsledek bude prezentován při obhajobě diplomové práce společně se státní závěrečnou zkouškou v únoru 2017.



7 SEZNAM POUŽITÝCH VELIČIN, ZKRATEK A SYMBOLŮ

Jmenovitý výkon.....	P [kW]
Jmenovité napětí.....	U [V]
Jmenovitý proud.....	I [A]
Jmenovitá frekvence.....	f [Hz]
Účinník.....	- [cosφ]
Moment setrvačnosti.....	J [kg.cm ²]
Točivý moment	M [Nm]
Otáčky motoru.....	N [min ⁻¹], [s ⁻¹]
Zrychlení.....	A [s ⁻²]

8 SEZNAM ZDROJŮ A LITERATURY

- [1] LENZE s.r.o., www.lenze.com, AC servo drives, AD series catalogue, obchodní nabídka 20853222 a technická dokumentace k dodávce, Uživatelská dokumentace Lenze PLC designer 3.12.0, Uživatelská dokumentace Lenze VisiWinNET Smart, Uživatelská dokumentace Lenze E70ACSM i700
- [2] J. KALIVODA, ČVUT, Parametry individuálních pohonů kladek, Zpráva KV Z14-09 v rámci projektu TAČR TE01020038 „Centrum kompetence drážních vozidel“ na pracovišti Ústavu automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel ČVUT v Praze, Fakulty strojní
- [3] R. Fuksa - D. Poklop, Projekt II. Systém pro přesnou regulaci rychlosti pro měření železničního podvozku
- [4] R. Fuksa - D. Poklop, Projekt III. Systém pro přesnou regulaci rychlosti pro měření železničního podvozku

9 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. [1.] Pohon původních kladek Zdroj (2)	10
Obr. [1.] Obr. 1 Pohon Kladek Zdroj (9).....	10
Obr. [2.] Pohon kladek schematicky Zdroj (2).....	11
Obr. [3.] Průmyslový systém Lenze Zdroj (1).....	13
Obr. [4.] Topologie řízení systému Lenze Zdroj (1).....	15
Obr. [5.] 3-D model nového zařízení se systémem Lenze Zdroj(2)	16
Obr. [6.] Blokové schéma zapojení servoinvertorů Lenze Zdroj (1).....	17
Obr. [7.] Uspořádání jednotlivých prvků v rozvaděči.....	18
Obr. [8.] Detailní zapojovací schéma pomocných obvodů.....	19
Obr. [9.] Detailní zapojovací schéma střídačů.....	20



Obr. [10.]	Pohledový výkres rozvaděče	21
Obr. [11.]	Fyzická podoba realizovaného rozvaděče.....	23
Obr. [12.]	Struktura programového prostředí PLC designer	27
Obr. [13.]	Okno parametrizace servo střídače	28
Obr. [14.]	Okno diagnostiky servo střídače	29
Obr. [15.]	Okno diagnostiky regulační smyčky	29
Obr. [16.]	Blok ovládání střídače i700 Zdroj (1).....	30
Obr. [17.]	Blok vektorové vazby střídače i700.....	33
Obr. [18.]	Blok ovládání a vektorové vazby střídače i700	35
Obr. [19.]	Routine(axes control) struktura programu	36
Obr. [20.]	Obrazovka 1 – ruční zadávání parametrů	41
Obr. [21.]	Obrazovka 2 – zadávání automatické sekvence kladkového stavu	42
Obr. [22.]	Měření s pohony na prázdko bez montáže do kladkového stavu	43
Obr. [23.]	Kladkový stav s instalovanými pohony bez podvozku	44
Obr. [24.]	Měření otáček kladkového stavu se zatížením pouze kladkami.....	46
Obr. [25.]	Měření otáček kladkového stavu s rozdílnými otáčkami.....	48
Obr. [26.]	Kladkový stav s instalovanými pohony a zkušebním podvozkem.....	49
Obr. [27.]	Měření otáček kladkového stavu se zatížením kladkami a zkušebním podvozkem...	51

10 SEZNAM TABULEK

Tab. [1.]	Specifikace elektro rozvaděče.....	22
Tab. [2.]	Blok ovládání střídače i700 – popis I/O Zdroj (1).....	32
Tab. [3.]	Blok vektorové vazby střídače i700 – popis I/O Zdroj (1)	34