

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMATIZACE A INFORMATIKY

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMATION AND COMPUTER SCIENCE

APLIKACE SERVOPOHONU S ASYNCHRONNÍM MOTOREM PRO ŘÍZENÍ DIVADELNÍ TOČNY

SERVO APPLICATION WITH ASYNCHRONOUS ELEKTROMOTOR FOR THEATER
TURNTABLE CONTROL

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

MICHAL DRLÍK

VEDOUcí PRÁCE
SUPERVISOR

ING.TOMÁŠ MARADA,Ph.D.

BRNO 2009

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automatizace a informatiky

Akademický rok: 2008/2009

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Michal Drlík

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Aplikovaná informatika a řízení (3902R001)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Aplikace servopohonu s asynchronním motorem pro řízení divadelní točny.

v anglickém jazyce:

Servo application with asynchronous motor for theater turntable control.

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Cílem práce je ve spolupráci s firmou PROSOTON s.r.o. provést modernizaci řízení divadelní točny pomocí systému BeckHoff.

Cíle bakalářské práce:

Seznam odborné literatury:

[1] <http://www.beckhoff.com/>

[2] <http://www.hw.cz>

[3] Firemní dokumentace firmy PROSOTON s.r.o.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Tomáš Marada, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2008/2009.

V Brně, dne 12.11.2008

L.S.

LICENČNÍ SMLOUVA

(na místo tohoto listu vložte vyplněný a podepsaný list formuláře licenčního ujednání)

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá aplikací měření polohy divadelní točny a její polohovou regulací. Jedná se o nasazení standardních regulátorů na stávající divadelní točnu, která musí splňovat veškeré bezpečnostní a provozní požadavky a musí být jednoduše ovladatelná. Řídicí systém točny má být modulárně složen tak, aby v případě poškození jednotlivých komponent mohly být nahrazeny bez programových zásahů. Navržená koncepce bude realizována v reálném provozu, a to v divadle Jána Palárika v Trnavě. Pro tuto práci bude vytvořen model, na kterém budou prezentovány jednotlivé části a algoritmy řízení točny.

ABSTRACT

This bachelor thesis focuses on the application of measuring the location of theater turntable and its regulation of position. The standard regulators were applied to present theater turntable, which has to fulfil all safety and operation requirements and it has to be operated simply. Drive control system should be modularly composed, so that in case of damage of individual component it could be replaced without any programme intervention. Designed conception will be implemented in operation in the theater of Jan Palarik in Trnava. A model will be created for this thesis, so that every single part and algorithm could be presented.

PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych poděkovat panu Ing. Tomášovi Maradovi, Ph.D., který mě metodicky vedl v mé bakalářské práci a dal mi cenné informace. Dále děkuji firmě Prosoton, s.r.o., která mě umožnila zrealizovat zadaný projekt v divadle.

Obsah:

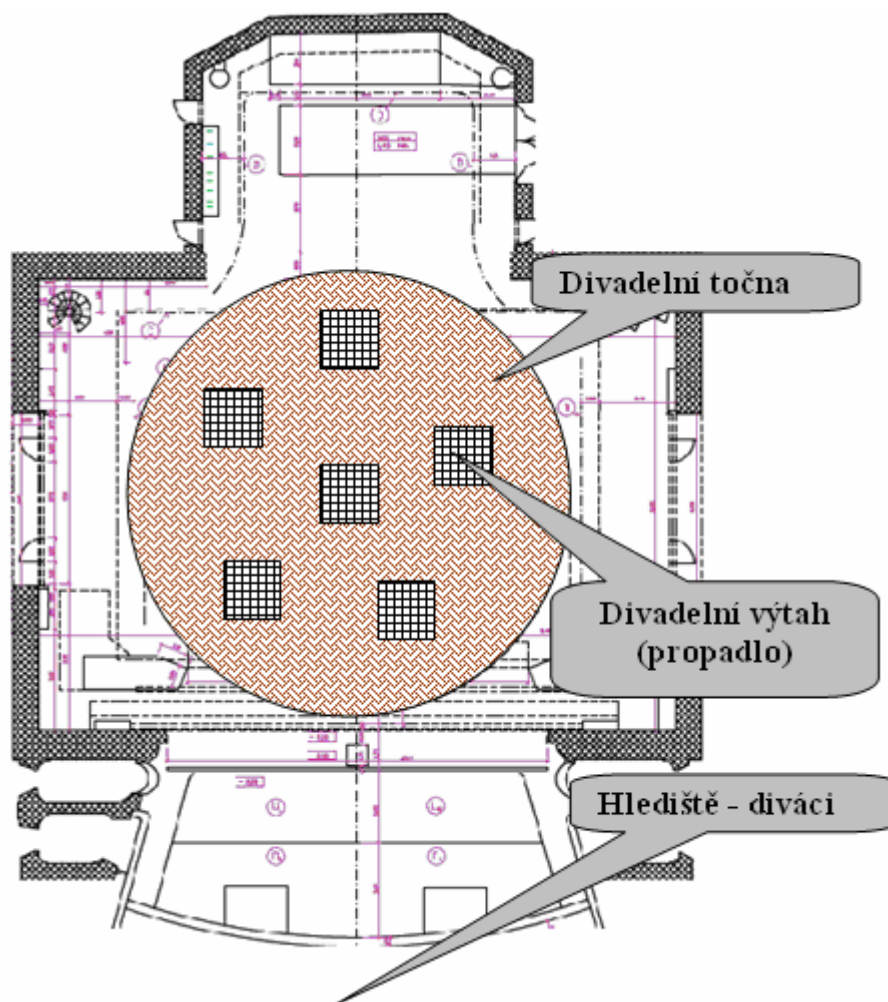
1	Úvod	11
2	Použití divadelní točny	13
3	STávající koncepce točny v divadle	15
3.1	Ward Leonardovo soustrojí	15
3.2	Kroužkový elektromotor	17
3.3	Ovládací pult	19
3.4	Informace o poloze	20
4	nové řízení točny	21
4.1	Zadání investora a uživatele	21
4.2	Rozvodna	21
4.3	Pohon	22
4.4	Frekvenční měnič	25
4.5	Rychlostní zpětná vazba	27
4.6	Snímání polohy	30
4.7	Kódy rotačních snímačů	31
4.7.1	Popis Binárního kódu	31
4.7.2	Popis Grayova kódu	32
4.8	PLC	34
4.9	Modulární schéma systému	39
4.10	Strojní část	40
4.10.1	Výpočet statické zátěže točny	40
4.10.2	Výpočet dynamické zátěže točny	40
4.10.3	Výpočet obvodu točny	40
4.10.4	Převodový poměr čelní převodovky	41
4.10.5	Výpočet obvodu hnacího kola	41
4.10.6	Výpočet obvodové rychlosti točny	41
4.11	Složení převodovky	42
4.12	Regulace	43
4.13	Výpočet rychlostního a polohového regulátoru PID	44
4.14	Zobrazení	48
4.15	Komunikace PLC s panelem	51
5.	Zdrojový kód programu	53
6.	Vizualizace HMI	55
7.	Finanční rozpočet	57
8.	Závěr práce	59
	Seznam použité literatury	61
	Přílohy	63
	Obsah přiloženého DVD:	66

1 ÚVOD

Firma Prosoton, s.r.o., která se zaměřuje na modernizaci divadel v oblasti měření a regulace mě umožnila, abych navrhl nový systém řízení divadelní točny, kde budou použity nové technologie. Toto řešení musí být sériově opakovatelné pro různé mechanické platformy divadelních točen. Systém musí být ekonomicky výhodný a ovládání jednoduché pro uživatele. Cílem je navrhnout řízení točny včetně výpočtů mechanických a elektrických veličin pro točnu v divadle Jána Palárika v Trnavě. Točna bude ovládána buď z lokálního pultu nebo bude její ovládání zakomponováno do ovládacího pultu celé jevištní technologie.

2 POUŽITÍ DIVADELNÍ TOČNY

Divadelní točna obr.1. je součástí podlahy jeviště, na kterém vystupují účinkující. Na půdorysu je zobrazena pevná část jeviště a pohyblivý střední kruhový rotační segment. Ten se používá k otáčení dekorací a herců na hlavním jevišti podle okamžitých potřeb inscenátorů. Točna má ve své konstrukci řadu otvorů s poklopy pro mobilní výtahy. Výtahy jsou pevně spojeny spolu s točnou obr.2. Tyto mobilní výtahy jsou velice efektní pro diváka, neboť při otáčení točny zvedají herce nebo kulisy na jeviště. Často se tohoto efektu používá při scénách jako jsou „zjevení Boha, let andělů do nebe.“ Mobilní výtah je slangově označován jako „osobní propadlo“.



Obr.1.: Půdorys divadla [1]

Mobilní výtah je upevněn pod točnou pomocí aretačních šroubů. Výtah je poháněný asynchronním elektromotorem a řízený pomocí frekvenčního měniče. Ovládací prvky jsou umístěny uvnitř výtahu. Napájení výtahu je provedeno pomocí kroužkových sběračů, které jsou upevněny ve středu točny.



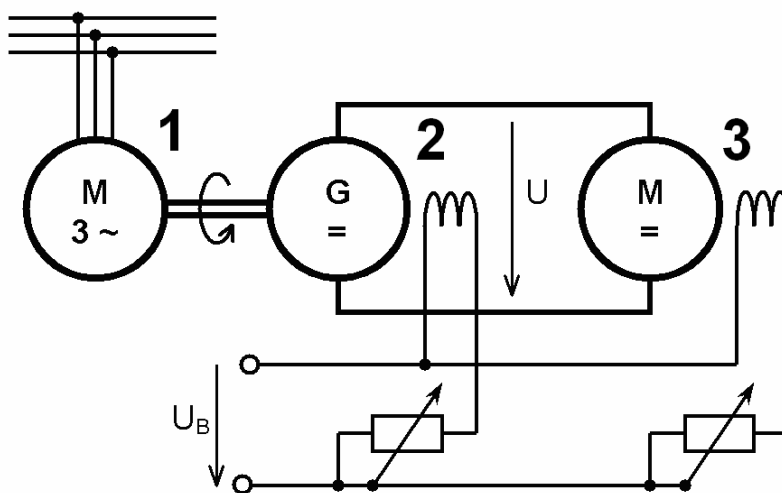
Obr.2.: Mobilní výtah umístěný v točně

3 STÁVAJÍCÍ KONCEPCE TOČNY V DIVADLE

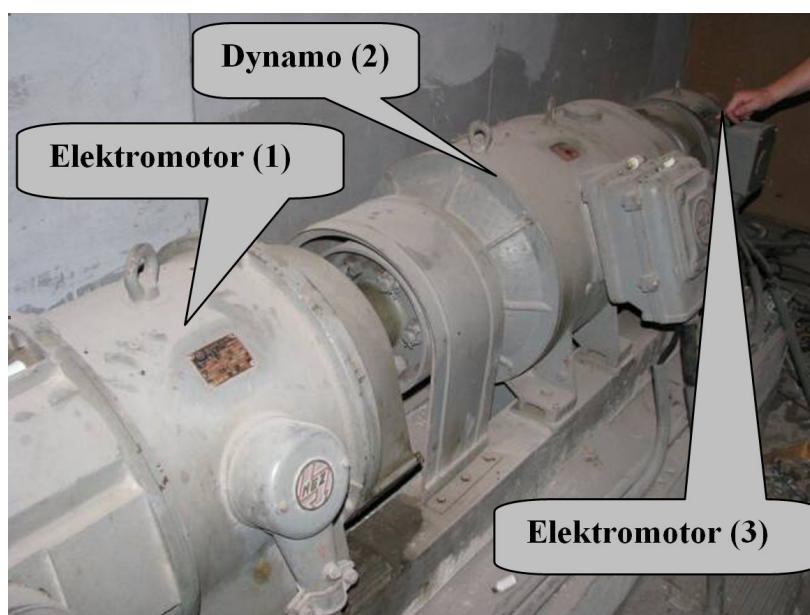
Divadlo Jana Palárika prochází postupnou rekonstrukcí, doposud byly stejnosměrné pohony napájeny z Ward Leonardova soustrojí. Nyní budou nahrazovány novými pohonovými jednotkami a asynchronními elektromotory. Tyto elektromotory jsou řízeny pomocí frekvenčních měničů. Jako další technologie pro regulaci v divadlech se dříve používalo také nasazení kroužkových asynchronních elektromotorů. Touto technologií se dosahovalo regulace otáček elektromotoru změnou momentových charakteristik.

3.1 Ward Leonardovo soustrojí

Ward Leonardovo soustrojí je soustrojí, které bylo patentováno v roce 1891. Používalo se před nástupem polovodičové techniky. Bylo nejrozšířenějším systémem, který umožňoval dostupnými prostředky tehdejší doby ovládat pohon libovolného výkonu. Jednalo se v podstatě o elektromechanický zesilovač - rotačně řízený měnič, který byl zdrojem regulovaného DC napětí. Skládal se z velkého střídavého elektrického elektromotoru - zdroje energie (1), velkého stejnosměrného dynama (2) - zdroje proměnného napětí pro pohony (3) a často pomocného dynama - zdroje budicího napětí pro velké dynamo.



Obr.3.: Ward Leonardovo soustrojí [2]



Obr.4.: Ward Leonard – trnavské divadlo

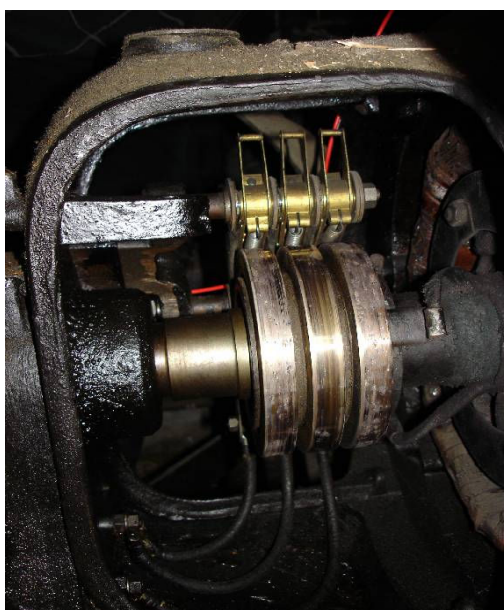
Na obr.4. je Ward Leonardovo soustrojí, které se nachází v trnavském divadle. Na pravém konci soustrojí je pomocné dynamo pro buzení hlavního dynama (na schématu obr.3. označeno jako U_B). V tomto konkrétním případě je buzení pohonových elektromotorů obstaráno z cizího zdroje – rotačního měniče bez regulace.

Princip řízení spočíval v tom, že změnou budicího proudu dynama malého výkonu bylo ovládáno výstupní napětí dynama velkého výkonu. Proto je někdy toto soustrojí označováno jako zesilovač.

3.2 Kroužkový elektromotor

Kroužkový asynchronní elektromotor má namísto klasického elektromotoru s kotvou nakrátko vyvedené vinutí přes tři kroužkové sběrače z elektromotoru na svorkovnici. Pomocí rezistorů je možné regulovat momentovou charakteristiku stroje. Při používání tohoto druhu řízení se projevují některé nedostatky.

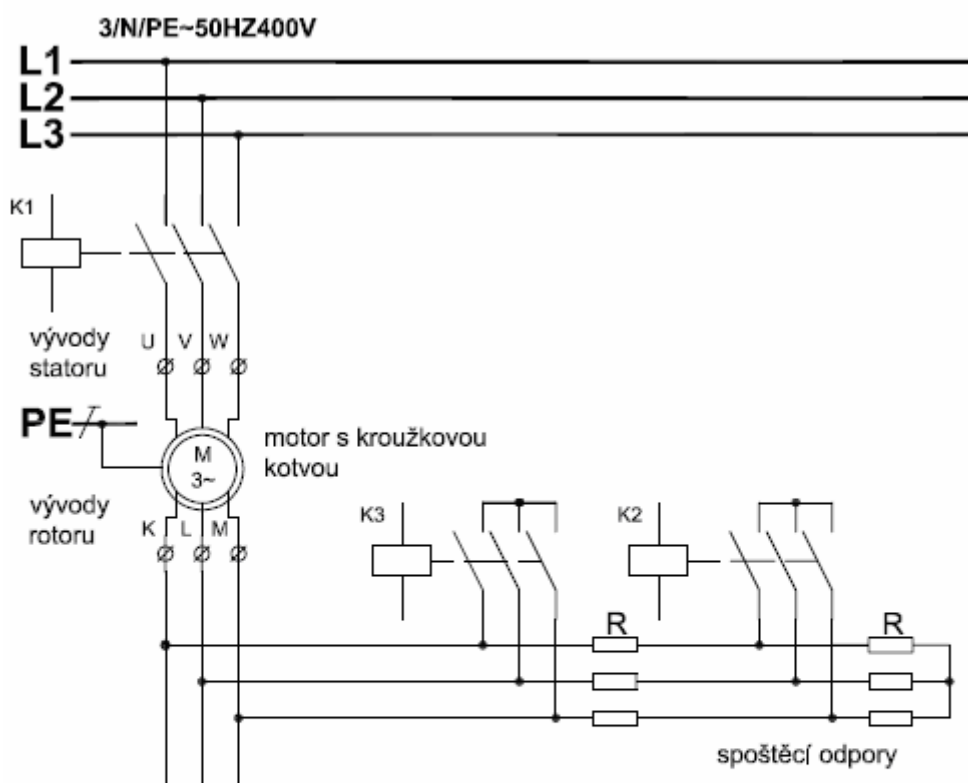
Hlavním nedostatkem je, že výsledné otáčky závisí na funkci okamžité zátěže a nastavené momentové charakteristice. Zvyšováním rotorového odporu se zvyšuje i skluz a tím i ztráty. Regulace není efektivní a má malý regulační rozsah. Provedení kroužkového čtyř pólového asynchronního elektromotoru je na obr.5.



Obr.5.: Kroužkový asynchronní elektromotor

Tato regulace není efektivní, je nestabilní a má omezený regulační rozsah. Na obr.5. jsou vidět tři sběrače rotorového vinutí.

Na obr.6. je znázorněn popis funkce kroužkového elektromotoru. Stykačem K2, K3 volíme momentovou charakteristiku stroje. Pokud jsou oba stykače v klidové poloze, znamená to, že rotorový proud prochází všemi rozběhovými odpory. Přepínáním odporů v rotorovém obvodu ovlivňujeme záběrový moment elektromotoru a záběrový proud elektromotoru. Pokud je elektromotor v klidu, je v rotoru zapojen odpor s nejvyšší impedancí. Při rozběhu rotoru dochází k největšímu skluzu. Vysoká rotorová impedance omezuje záběrový proud a zvyšuje záběrový moment. Na momentové charakteristice se pohybujeme doprava. V okamžiku, kdy v daných otáčkách dochází k poklesu momentu sepnutím stykače K2 snížíme odpor v rotoru a přepneme tímto elektromotor na strmější momentovou charakteristiku. Po rozběhnutí se sepne stykač K3, který vyblokuje poslední sekci odporů. Poté se elektromotor chová jako elektromotor s kotvou nakrátko.



L1,L2,L3

U,V,W

K,L,M

Stykač K1

Stykač K2

Stykač K3

- přívodní fáze do systému

- vstupní fáze statoru

- vstupní fáze rotoru

- spuštění motoru

- rychlost motoru

- rychlost motoru

Obr.6.: Schéma regulace elektromotoru [3]

3.3 Ovládací pult

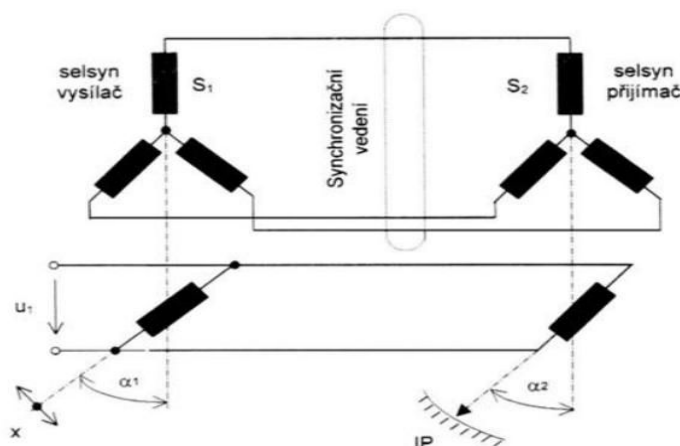
Na ovládacím pultu byl obvykle instalován pákový přepínač, který pomocí stykačů řadil odpory do obvodu a tím plynule reguloval chod elektromotoru. V pultu byly instalovány další ovládací prvky pro všechna divadelní zařízení. Ovládací pult byl umístěn v prostorách jeviště tak, aby bylo na dané zařízení vidět.



Obr.7.: Stávající pult točny

3.4 Informace o poloze

Snímání polohy točny a její zobrazení v místě obsluhy bylo řešeno pomocí selsynu. Selsyn je střídavý rotační stroj nazývaný „elektrická hřídel“. Jedná se o asynchronní elektromotor s vinutou kotvou. Napájením cívek rotoru se v dutině selsynu vytváří střídavé magnetické pole. Magnetické pole v cívkách rotoru indukuje střídavé napětí o stejné frekvenci, ale s fázovým posuvem, který je úměrný úhlu natočení obr.8. Tento jev způsobuje shodné natočení rotoru v druhém selsynu. Vyhodnocením natočení se získává údaj o natočení rotoru vůči výchozí poloze. V rámci jedné otáčky má údaj absolutní charakter, který se cyklicky opakuje s každou otáčkou. Toto zapojení bývá nazýváno indikátorové zapojení selsynů.



Obr.8.: Schéma selsynu [4]



Obr.9.: Selsyn přijímač - vysílač [4]

V ose točny byl umístěn vysílač obr.9. (první selsyn), který snímal aktuální polohu točny 0°-360°. V ovládacím pultu byl osazen přijímač (druhý selsyn), který byl mechanicky spojen s ukazatelem se stupnicí. Stupnice ukazovala skutečnou polohu točny. Zastavení na zvolené poloze bylo záležitostí obsluhy. Obsluha rovněž regulovala rychlost pomocí pákového přepínače.

4 NOVÉ ŘÍZENÍ TOČNY

Po osobní konzultaci s uživatelem vyplynulo následující zadání pro točnu.

4.1 Zadání investora a uživatele

- 1) Jednoduché ovládání.
- 2) Regulace točny od 0-1m/s obvodové rychlosti.
- 3) Automatická jízda na polohu s přesností 0,5°.
- 4) Možnosti jízdy na polohu zprava nebo zleva.
- 5) Volná jízda točny vpravo nebo vlevo.
- 6) Plynulá změna rychlosti (obsluhou).
- 7) Zobrazení aktuální polohy ve stupních.
- 8) Možné budoucí rozšíření o bezdrátový pult.
- 9) Možné budoucí rozšíření o ovládání osobních propadel ze stejného pultu.

Nově navržený systém řízení točny pro divadla Jána Palárika v Trnavě je navržen z dílů běžně používaných v automatizaci.

4.2 Rozvodna

Rozvodna je umístěna v prostoru pod jevištěm. Rozvaděč je umístěn namísto stávajícího rozvaděče. Je osazen jisticími, spínacími a regulačními prvky pro řízení pohybu točny dle výkresu č.Trnava0903. Ovládací pult je instalován v levém portále.

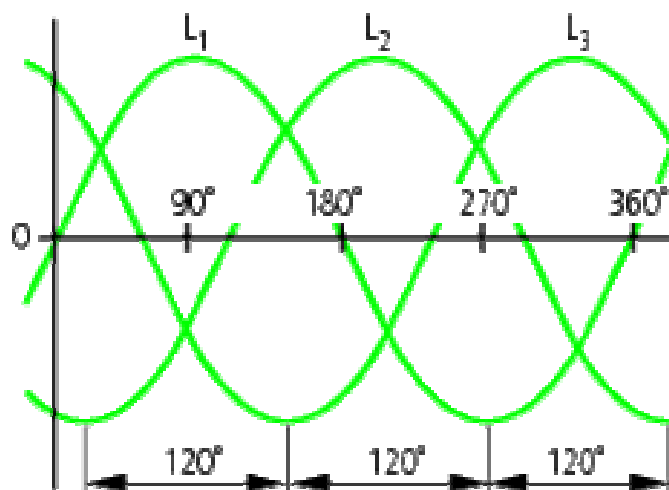
<i>Popis části</i>	<i>Technické parametry</i>
Název rozvaděče	RMT
Prostředí	Normální
Krytí	IP 54/20
Přívod	3x230V/400V 64A TNS
Přívodní kabel	Cyky 4x10
Velikost	2000x600x400 [mm]

Tab.1.: Základní údaje o rozvaděči

Elektroinstalace provedením a uložením musí splňovat normu ČSN 72 0802, která se týká požární bezpečnosti staveb a dále normy DIN VDE 0295 IEC 60228 a DIN VDE 0207, které popisují provedení instalací.

4.3 Pohon

Jako pohon točny je navržen třífázový 4 pólový asynchronní elektromotor s čelní převodovkou. V třífázovém asynchronním elektromotoru jsou vinutí uspořádána tak, aby mezi nimi byl posuv $120^\circ/p$ (p = počet pólových párů). Připojením k síťovému napětí se v elektromotoru vytváří točivé magnetické pole obr.10. [5].



Obr.10.: průběh tří fází [5]

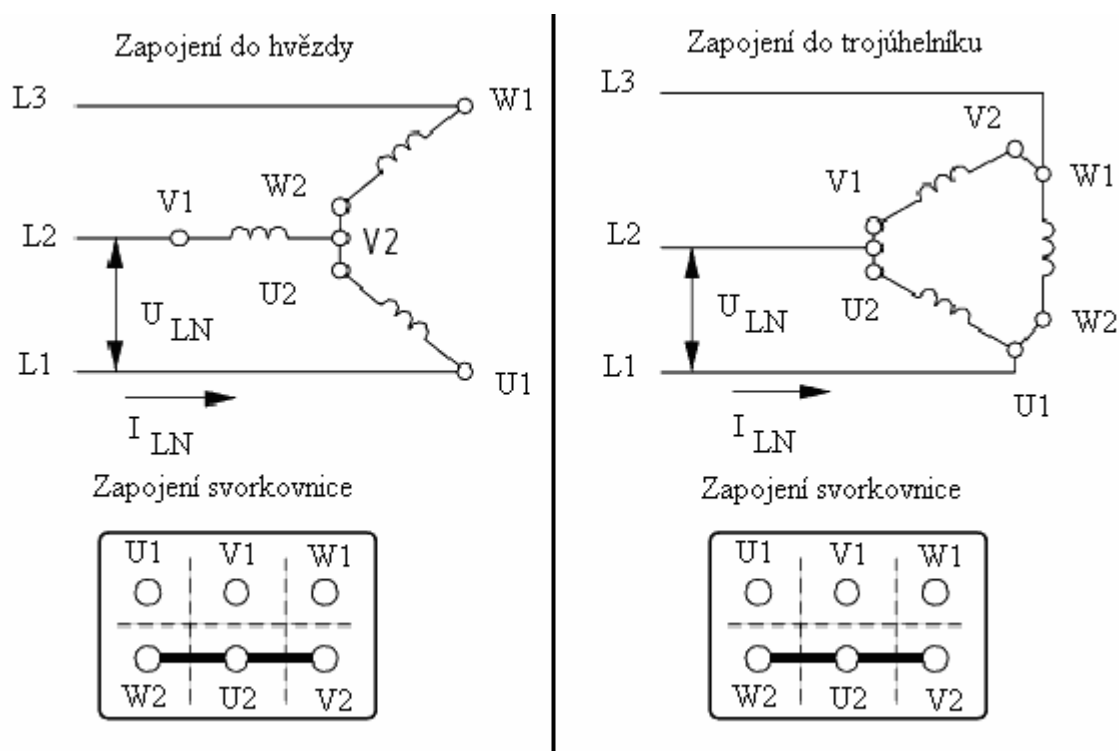
Působením elektromagnetické indukce se ve vinutí vytváří magnetické točivé pole a tím vzniká točivý moment. Maximální rychlost elektromotoru závisí na frekvenci napájecího napětí a počtu pólů elektromotoru. Podle vztahu (1) vypočteme maximální otáčky elektromotoru při určité frekvenci. Kde n_s je točivé pole rotoru [ot/min], f - frekvence sítě (Hz), p - počet pólových dvojic [5].

$$n_s = \frac{f \cdot 60}{P} \quad (1)$$

Asynchronní elektromotor, který je provozován na prázdko, nemůže dosáhnout synchronních otáček. Rozdíl mezi synchronní rychlostí a rychlostí rotoru se označuje jako skluz. Skluz elektromotoru vypočteme podle níže uvedeného vzorce podle (2). Kde S je skluz elektromotoru [%], n_s - točivé pole rotoru [ot/min], n - otáčky rotoru [ot/min].

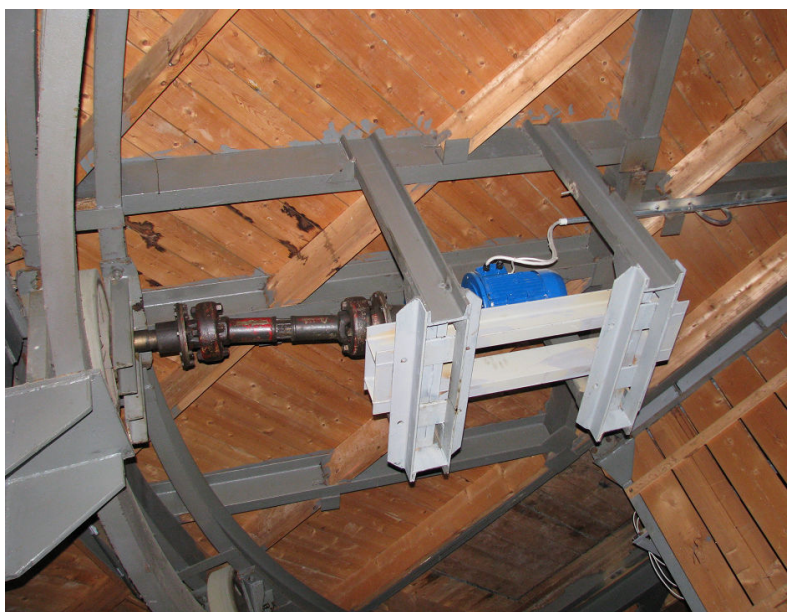
$$s = \frac{n_s - n}{n_s} \cdot 100 \quad (2)$$

Připojení asynchronního elektromotoru se provádí pomocí šesti šroubových svorek. Rozlišujeme mezi dvěma typy základního zapojení elektromotoru. Zapojení do hvězdy a zapojení do trojúhelníku.



Obr.11.: Zapojení elektromotoru do hvězdy a do trojúhelníku [5]

Na točně jsou instalovány dva elektromotory. Jsou usazeny osově symetricky z důvodů kompenzace radiálních sil. Tyto elektromotory jsou instalovány poblíž obvodu točny a pohání hnací kola obr.12. Převod krouticího momentu na točnu je realizován třením hnacích kol, které se odvalují po dráze pevně spojené s konstrukcí podlahy. Elektrická energie je do elektromotorů přenášena pomocí kroužkových sběrače od firmy Wampfler obr.13.



Obr.12.: Usazení elektromotoru na točně



Obr.13.: Kroužkový sběrač Wampfler [6]

Asynchronní elektromotor bude použit pro jeho běžnou dostupnost, nízké nároky na údržbu, cenu i vyhovující dynamické parametry ve spojení s frekvenčním měničem, který bude použit pro plynulou regulaci otáček motoru. Na jednom z elektromotorů je upevněná brzda, která slouží k blokování samovolného pohybu točny v případě, kdy nejsou motory zapnuty. Brzda je umístěna na zadním štítu elektromotoru. Parametry elektromotoru, který je použitý pro danou aplikaci jsou uvedeny v Tab.2.

Popis části	Technické parametry
Typ	ILA7113-4AA
Jmenovitý výkon	4kW
Otáčky	1440
$\cos \varphi$	0.83
Jmenovitý proud	26.5A
Napětí	400V
Váha	31kg
Účinnost	85%
Krouticí moment	26,5 Nm

Tab. 2.: Parametry elektromotoru

4.4 Frekvenční měnič

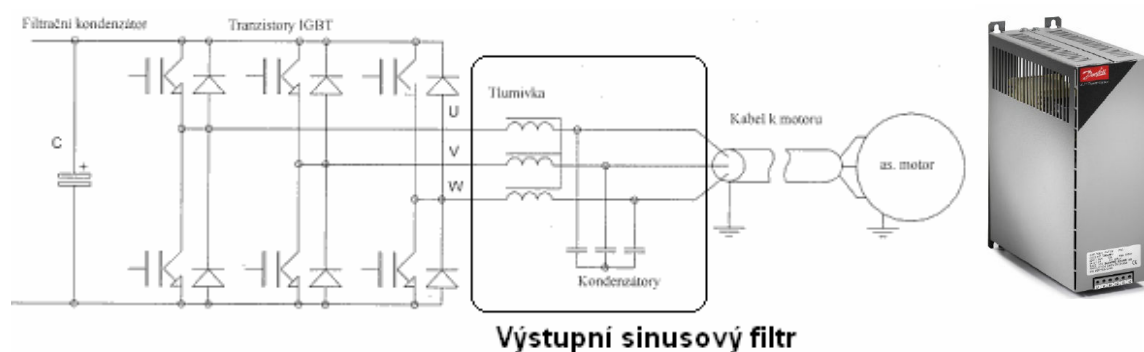
Pro regulaci elektromotorů je použit frekvenční měnič od firmy Danfoss. Jedná se o moderní měnič s vektorovou regulací. Typ měniče je FC 302. Všechny frekvenční měniče od firmy Danfoss jsou vybaveny tlumivkami na výstupu usměrňovače, které snižují harmonické zkreslení přibližně o polovinu. Tlumivky na výstupu usměrňovače zajišťují dlouhou životnost kondenzátorů ve stejnosměrném meziobvodu.



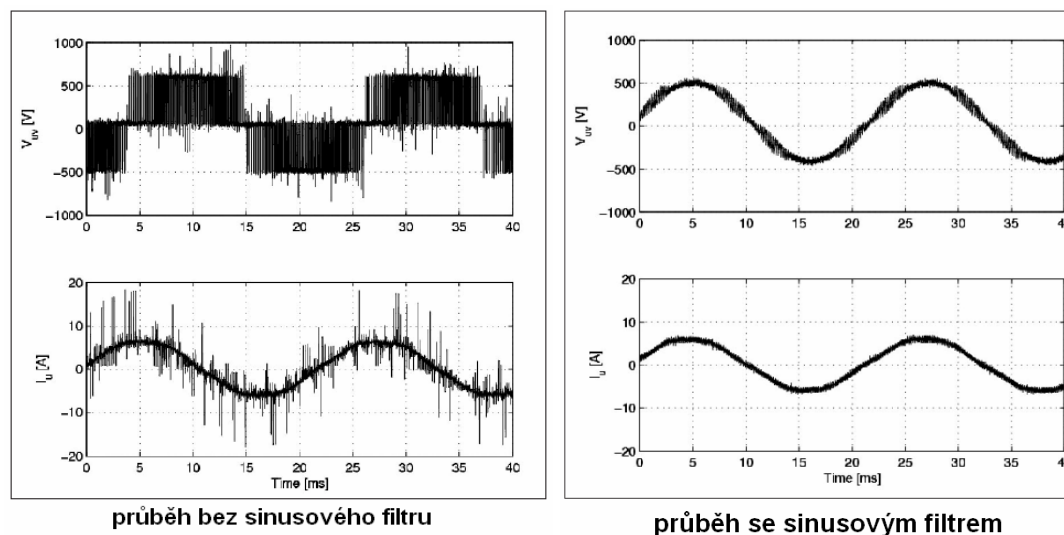
Obr.14.: Frekvenční měnič Danfoss [9]

K měniči je možné dodat harmonické filtry AHF 010 a AHF 005. Tyto filtry nabízejí vynikající účinnost při odstraňování harmonického zkreslení. Účinnost filtrů při odstranění harmonických zkreslení je až 98%. Na obr.16. jsou zobrazeny výstupní průběhy z frekvenčního měniče. Je jednoznačné, že výstupní průběh se sinusovým filtrem je kvalitnější. Použitím harmonických filtrů se zhorší elektrická bilance pohonu, ale zcela

odpadá nutnost použít stíněné kabely k elektromotorům. Tak odpadá riziko zvýšeného vyzařování elektromagnetického rušení. Sinusový filtr je zapojen do obvodu hned za měnič kmitočtu. Výhodou je také velké snížení hluku elektromotoru. Frekvenční měnič je řízen digitálním signálem Start, a analogovým vstupem $\pm 5V$ pro žádanou hodnotu rychlosti.



Obr.15.: Sinusový filtr [7]

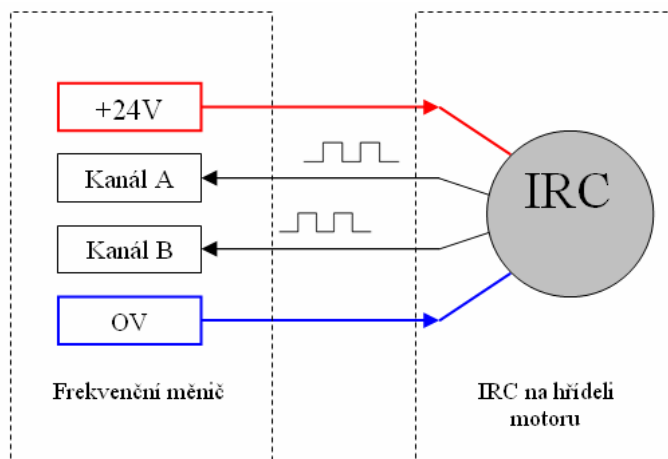


Obr.16.: Výstupní průběh z frekvenčního měniče [7]

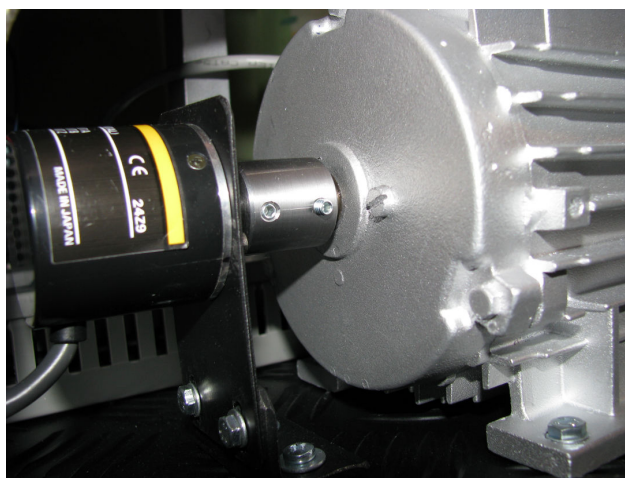
K frekvenčnímu měniči je připojen brzdý odpor, který slouží k odvodu nadbytečné energie při brzděném (generátorickém) procesu motoru točny. Připojením brzděného odporu je možné využít vyšší napětí v meziobvodu během brzdění.

4.5 Rychlostní zpětná vazba

Z důvodů precizního řízení rychlosti pohonu je použito vektorové řízení asynchronního elektromotoru se zavedenou zpětnou vazbou. Zpětná vazba je realizována pomocí inkrementálního rotačního snímače typ E6B2-C s 24V výstupem. Výstup snímače je připojen přímo do digitálních vstupů frekvenčního měniče obr.17. Rozlišení snímače je 2000 impulzů na otáčku. Výhodou použití inkrementálního snímače je jeho nízká pořizovací cena a malá poruchovost. Rozlišovací schopnost je pro tuto aplikaci zcela dostačující.

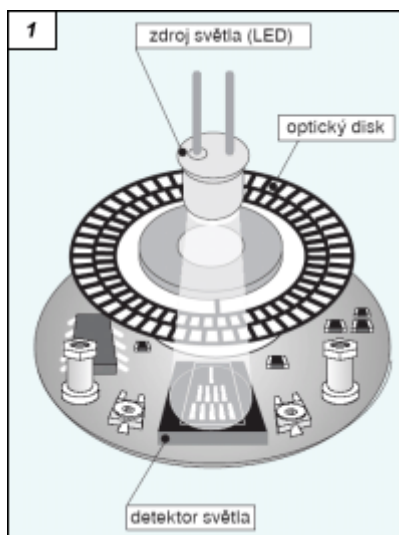


Obr.17.: Připojení IRC k frekvenčnímu měniči



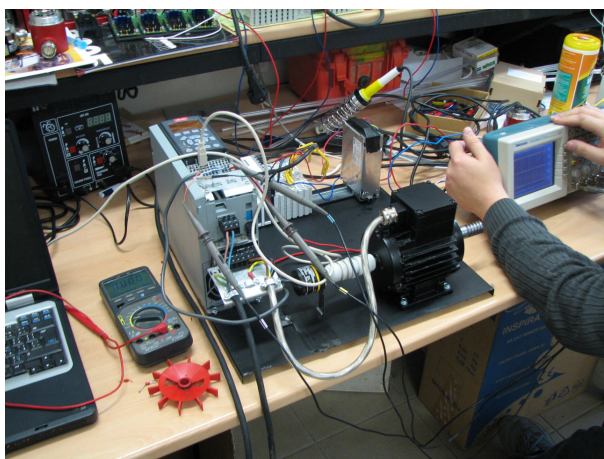
Obr.18.: Inkrementální snímač E6B2-C umístěný na modelu točny

Na obr.19. je zobrazen příklad kódového kotouče a jeho detail. Optické značky na obvodu kotouče tvoří průhledné a neprůhledné segmenty, které při otáčení kotouče přerušují světelný paprsek snímáný např. fotodiodou. Napětí fotodiod je zpracováno komparátorem a signál je dále tvarován jednoduchým Schmittovým klopným obvodem pro zlepšení strmosti hran. Údaj o poloze osy snímače je pouze relativní.

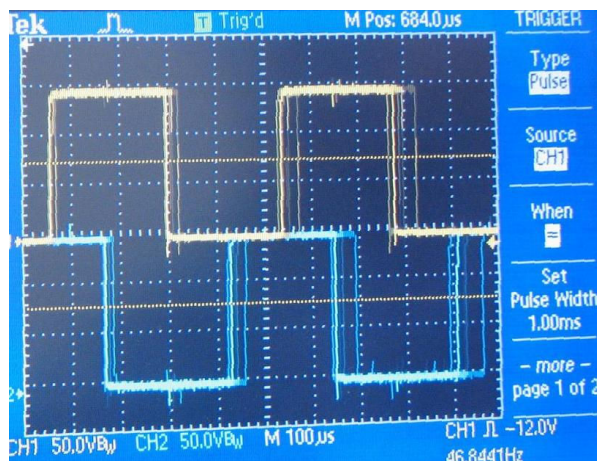


Obr.19.: Inkrementální snímač - detail [8]

Na rozdíl od absolutního snímače polohy (ARC snímače) nemůže inkrementální snímač (IRC snímač) poskytnout úplnou informaci po zapnutí systému. Vzhledem k použití IRC snímače v rychlostní zpětné vazbě tyto nevýhody nejsou podstatné. Použití snímače IRC je proto nevýhodné pro snímání polohy a v divadelní praxi je proto méně používaný. Inkrementální snímač má dva výstupní kanály. Označujeme je jako A a B. Mezi kanály je posun o půl periody z důvodů informace o směru otáčení. Při realizaci modelu točny jsem ověřil výstup z inkrementálního snímače pomocí osciloskopu obr.20. Je zřejmé, že mezi kanály A a B je posun o půl periody obr.21.



Obr.20.: Experimentální měření inkrementálního snímače



Obr.21.: průběh inkrementálního snímače

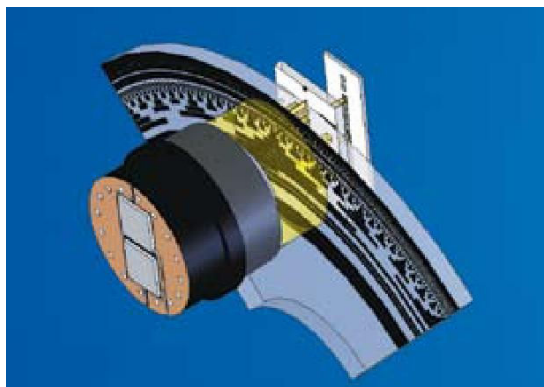
4.6 Snímání polohy

Pro snímání polohy točny je použit absolutní snímač polohy typ CH58 od firmy TR-electronic. Snímač je usazen v ose točny a má rozlišení 25 bitů. Tato hodnota je rozdělena na dvě části. Prvních 15 bitů je informace, která udává rozlišení na jednu otáčku. Zbývajících 10 bitů udává počet otáček. V aplikaci trnavské točny je z 15 bitů využito pouze spodních 12 bitů (LSB). Absolutní číslo je převedeno v řídicím systému na úhlové stupně. Hodnota polohy, která je přenášena do PLC pomocí komunikační sběrnice SSI, je v Gray kódu.

Absolutní snímač je složen z mechanické převodovky obr.22. a optického kola obr.23. Optické kolo má tolik stop, jaké je rozlišení snímače na jednu otáčku. Každá stopa má svůj snímač. Výstupem z tohoto snímače je binární slovo, které dává absolutní údaj o poloze hřídele. Ve snímači je umístěna převodovka, která má rovněž instalované rotační snímače. Tyto snímače počítají počet otáček. Použité čidlo CH58 má 8192 impulzů na otáčku a 4096 otáček. Čidlo je plně programovatelné. Jeho výstup je možné nastavit na binární nebo Grayův kód. Rovněž je možné programově nastavit rozlišení na jednu otáčku a rozlišení na počet otáček. V této aplikaci je snímač nastavený jako jednootáčkový.



Obr.22.: Absolutní snímač - převodovka [9]



Obr.23.: Absolutní snímač – kódový kotouč [9]

4.7 Kódy rotačních snímačů

Rotační snímače používají dva typy kódů.

4.7.1 Popis Binárního kódu

Binární kód je velmi náchylný na generování tzv. hazardních stavů. Při přechodu z binárního stavu 01 na nejbližší následující stav 10 může být na kotouči krátce generován stav 00. Hazardní stav způsobuje nejen nedokonalé provedení kolečka snímače, ale i optické jevy jako jsou odraz, ohyb nebo stín světla. Stejným způsobem mohou poruchy nastat i při přenosu signálu elektrickým zařízením. Nejčastější poruchy jsou přeslechy sousedních kanálů, vliv indukčnosti a kapacit reálných prvků. Pravděpodobnost náhodných nebo i systematických vzniků hazardů je tím větší, čím větší rozlišení má snímač. Uvedené hazardní stavy se musí řešit v elektronice snímače.



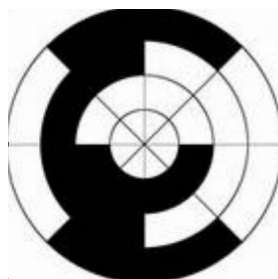
Obr.24.: Binární kód [10]

Sektor	Snímač 1	Snímač 2	Snímač 3	Snímač 4	Úhel
1	log. 0	log. 0	log. 0	log. 0	0° to 22,5°
2	log. 0	log. 0	log. 0	log. 1	22,5° to 45°
3	log. 0	log. 0	log. 1	log. 0	45° to 67,5°
4	log. 0	log. 0	log. 1	log. 1	67,5° to 90°
5	log. 0	log. 1	log. 0	log. 0	90° to 112,5°
6	log. 0	log. 1	log. 0	log. 1	112,5° to 135°
7	log. 0	log. 1	log. 1	log. 0	135° to 157,5°
8	log. 0	log. 1	log. 1	log. 1	157° to 180,°
9	log. 1	log. 0	log. 0	log. 0	180° to 202,5°
10	log. 1	log. 0	log. 0	log. 1	202,5° to 225°
11	log. 1	log. 0	log. 1	log. 0	225° to 247,5°
12	log. 1	log. 0	log. 1	log. 1	247,5° to 270°
13	log. 1	log. 1	log. 0	log. 0	270° to 292,5°
14	log. 1	log. 1	log. 0	log. 1	292,5° to 315°
15	log. 1	log. 1	log. 1	log. 0	315° to 337,5°
16	log. 1	log. 1	log. 1	log. 1	337,5° to 360°

Tab.3.: Tabulka stavů binárního kódu [10]

4.7.2 Popis Grayova kódu

Princip Grayova kódu je v tom, že při přechodu jednoho slova ke druhému se vždy mění hodnota pouze jednoho bitu. Toto pravidlo je u všech slov v celém rozsahu. Prvotní použití Grayova kódu je v reléových obvodech, kde svůj stav měnilo pouze jedno relé v celém bloku z důvodu nižších proudových nárazů. Později se tento kód začal využívat v rotačních snímačích. Při realizaci tohoto kódu se vyhneme hazardním stavům, které by mohly v tomto případě nastat u binárního kódu.



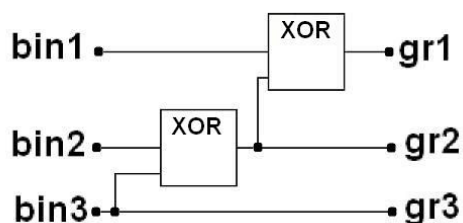
Obr.25.: Grayův kód [10]

Sektor	Snímač 1	Snímač 2	Snímač 3	Úhel
1	log. 0	log. 0	log. 0	0° to 45°
2	log. 0	log. 0	log. 1	45° to 90°
3	log. 0	log. 1	log. 1	90° to 135°
4	log. 0	log. 1	log. 0	135° to 180°
5	log. 1	log. 1	log. 0	180° to 225°
6	log. 1	log. 1	log. 1	225° to 270°
7	log. 1	log. 0	log. 1	270° to 315°
8	log. 1	log. 0	log. 0	315° to 360°

Tab.4.: Tabulka stavů binárního kódu [10]

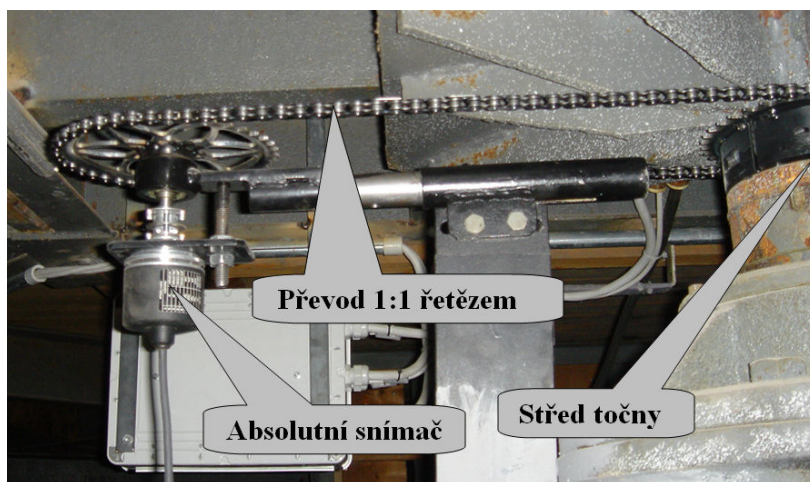
V případě že instalovaný snímač nemá možnost přepnutí do Grayova kódu, je možné signál převést pomocí logických hradel XOR podle obr.26.

Kanál A	Kanál B	XOR
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0



Obr.26.: převod kódu pomocí XOR

V aplikaci točny je zvolen snímač s výstupem ve formátu Grayova kódu. Na obr.27. je fotografie točny v trnavském divadle. U této konstrukce nelze snímač polohy osadit přímo do středu točny. Je zde použit převod 1:1 ozubeným řetězem mimo střed.



Obr.27.: Uchycení snímače – trnavské divadlo

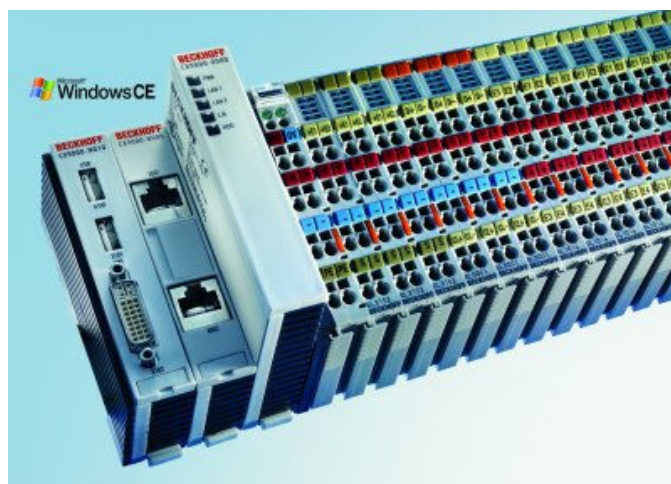
U modelu točny obr.28. je zobrazen absolutní snímač polohy, který je usazen do středu točny.



Obr.28.: Uchycení absolutního snímače - model

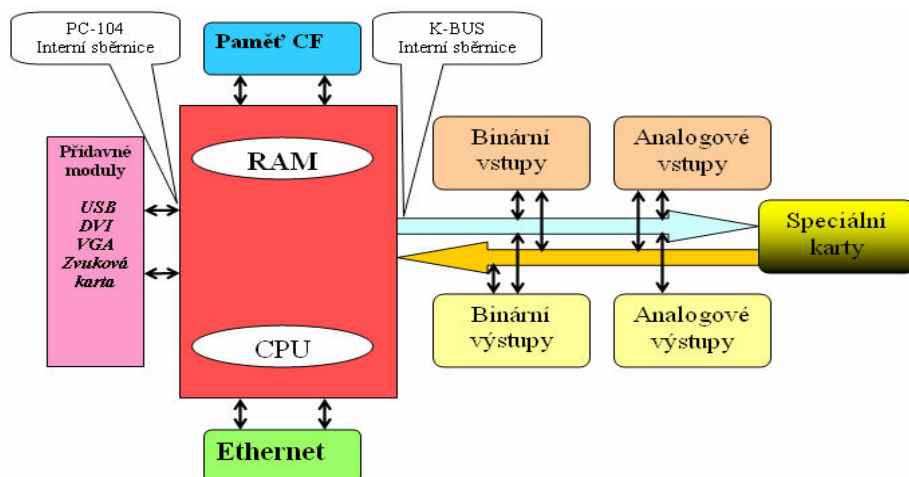
4.8 PLC

Embedded PC CX9001 Beckhoff obr.29. je kompaktní embedded PC s procesorem Intel IXP420 s technologií Xscale a kmitočtem 533MHz. Připojení k IO modulům, je integrováno přímo v modulu CPU. CX9001 je k dispozici ve dvou základních verzích: jedna verze pro IO moduly se sběrnici K-Bus, druhá verze pro IO moduly se sběrnici E-Bus. CX9001 zahrnuje CPU, interní paměť compact flash formátu I a II s kapacitou 16MB nebo 32MB, paměť RAM s kapacitou 64MB nebo 128MB a paměť NOVRAM (Non-Volatile Random Acces Memory). Paměť NOVRAM o velikosti 128Kb si tedy uchovává obsah i po vypnutí systému. Jednotka CX9001 má jedno síťové rozhraní, dva konektory RJ45 jsou připojeny do interního switchu.



Obr.29.: PLC CX 9001 [11]

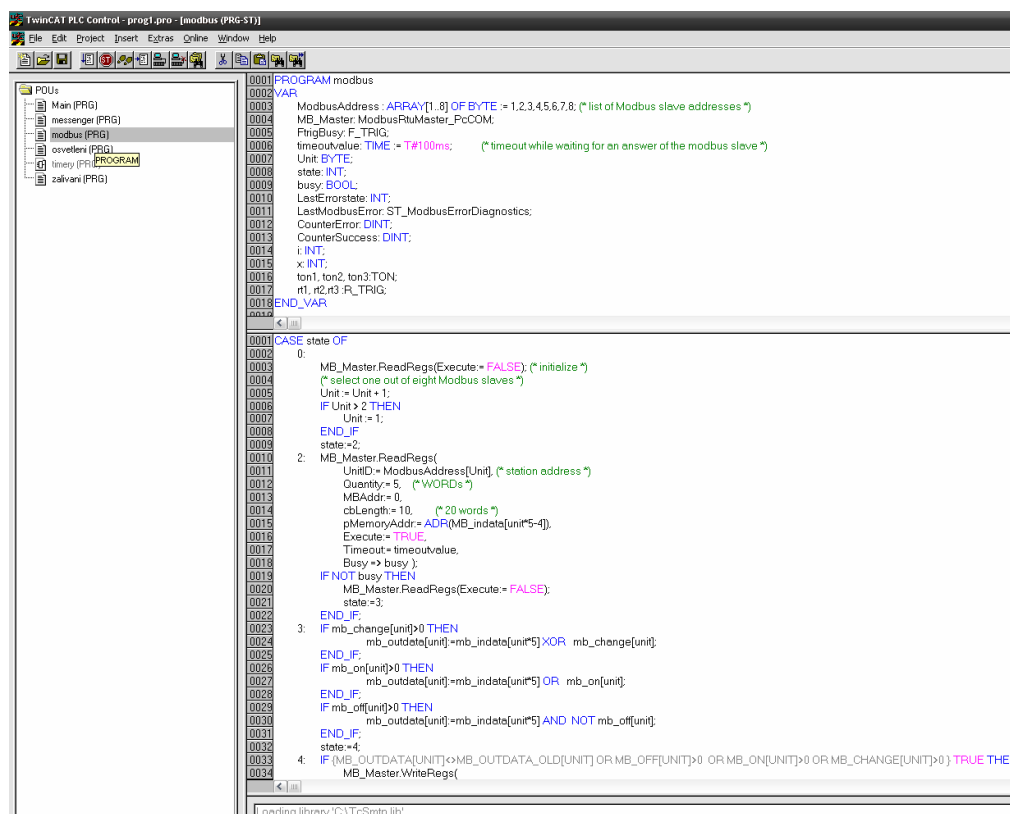
CX9001 má integrovanou sběrnici PC104. Pomocí této sběrnice lze systém rozšířit modulem s rozhraním pro připojení DVI nebo VGA monitoru a dvěma USB porty pro klávesnici a myš. Další možností rozšíření jsou moduly s rozhraními RS232, RS422, RS485 a modul se zvukovou kartou. IP adresa PLC modelu točny je 192.168.0.122



Obr.30.: Modulové schéma PLC

Embedded PC CX9001 pracuje s operačním systémem Windows CE 5.0. Funkce PLC a NC řízení zajišťuje real-time jádro TwinCAT NC-PTP RunTime (NC-PTP = Numerical Control Point to Poit). Výkon systému CX9001 dostačuje pro řízení 2 NC os v reálném čase. Vytížení CPU a celkový čas zpracování všech procesů lze monitorovat. Vývojové prostředí TwinCAT není možné spustit na Windows CE. Programování a konfigurace CX9001 se provádí přes rozhraní ethernet externím PC s nainstalovaným TwinCAT vývojovým prostředím. TwinCAT (The Windows Control Automation Technology). Software TwinCAT je rozdělen na 2 základní části: TwinCAT Runtime a TwinCAT vývojové prostředí. TwinCAT Runtime je real-timové jádro, které umožňuje vykonávat funkce PLC a NC v reálném čase na platformě PC s operačními systémy Windows NT, Windows CE, Windows 2000, Windows XP embedded, Windows XP. PC s funkcemi PLC se nazývá soft PLC. TwinCAT Runtime nahrazuje standardní hardwarové PLC a NC moduly. Výhodou je, že TwinCAT Runtime pracuje na otevřené architektuře PC a využívá její velké výpočetní kapacity. TwinCAT Runtime běží v reálném čase se základním taktem 1ms, který lze snížit až na 50μs. Přesnost taktu je ±5μs. Na jednom PC je možné nastavit až 4 TwinCAT Runtime, to znamená, že je možné spustit na jednom PC 4 PLC programy. S každým z těchto programů lze pracovat nezávisle. Tato vlastnost je využívána u složitých technologických celků nebo strojů. TwinCAT vývojové prostředí je modulární editační software. Základními částmi jsou TwinCAT PLC Control, TwinCAT Systém Manager a TwinCAT ScopeView.

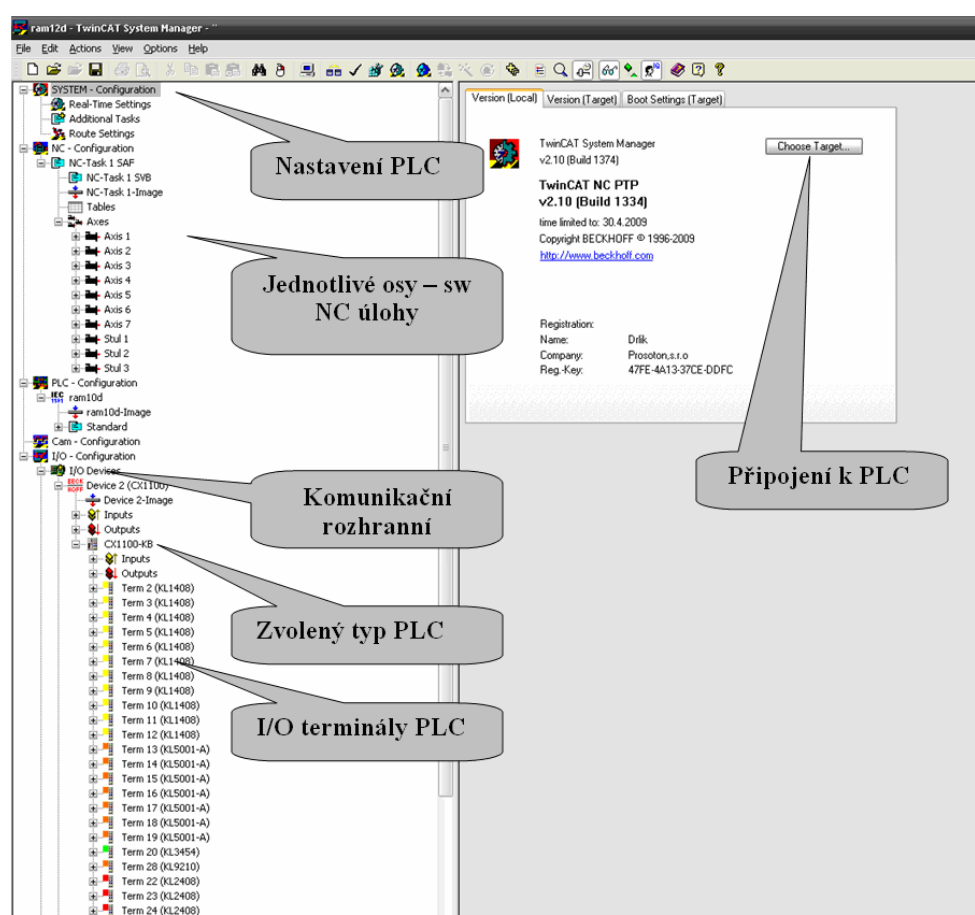
- *TwinCAT PLC Control*: Modul TwinCAT PLC Control obr.31. je určený pro zápis programu podle normy IEC-61131-3 ve strukturovaném textu (ST), funkčních blocích (FBD), instrukčním listu (IL), sekvenčním zápisu (SFC) a funkčním grafu (CFC). Jednotlivé části programu mohou být zapsány v různých zápisech. Volba typu zápisu programu závisí na zvyklostech programátora případně na vhodnosti pro danou aplikaci.



Obr.31.: *TwinCAT PLC Control*

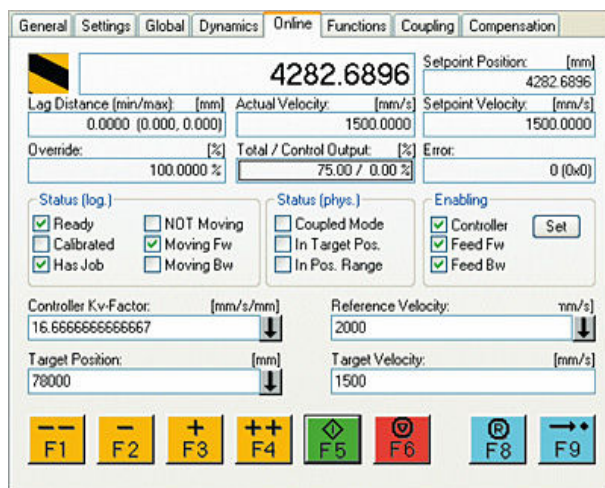
PLC program lze rozdělit do 4 na sobě nezávislých časově spouštěných úloh (tasky) s definovanými prioritami spouštění. Periodu spouštění lze nastavit v rozsahu 50 μ s až stovky ms. Perioda záleží na typu aplikace a použitém hardware řídicího systému. PLC Control má integrovány funkce pro vyhledávání chyb v programu, kontrolu vzájemného přepisu paměťových oblastí, editační a dokumentační funkce pro práci se zdrojovým kódem programu. Umožňuje on-line sledování programu, online zápis změn do programu bez nutnosti zastavit jeho vykonávání, krokování programu po jednotlivých cyklech nebo jednotlivých příkazech.

- *TwinCAT System Manager*: Modul TwinCAT System Manager obr.32. je určený pro hardwarovou konfiguraci. Jsou zde nakonfigurovány propojení mezi PLC projektem a IO moduly. Dále umožňuje automatické načtení IO modulů, přístup do registrů jednotlivých IO modulů, nastavení komunikací a jejich diagnostiku, on-line sledování hodnot na IO modulech a diagnostiku chyb. TwinCAT System Manager podporuje režim Free Run. Tento režim umožní zápis hodnot na výstupy IO modulů bez nutnosti vytvoření nebo spuštění PLC programu. Free Run se využívá při oživování nových zařízení nebo lokalizaci poruch.



Obr.32.: *TwinCAT – System Manager*

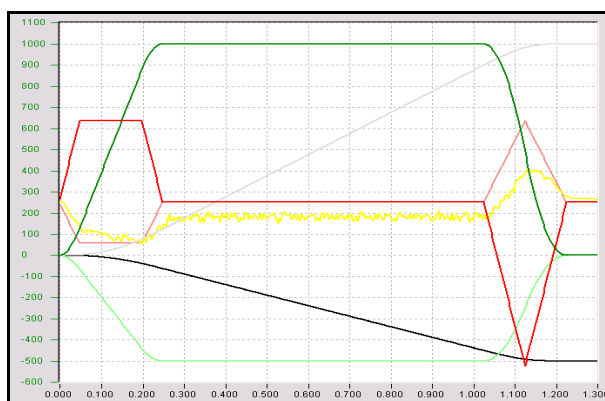
Součástí TwinCAT System Manageru je modul NC řízení. NC řízení je obecný nástroj, kterým lze konfigurovat parametry reálného pohybu v technologii obr.33. Každý řízený pohyb v technologii je v NC řízení reprezentován NC osou. NC osa má nastavení pro snímač polohy (encoder), výkonový prvek (frekvenční měnič, servo, karta pro krokové motory, karta pro DC motory, řízení dvou-rychlostního motoru) a pro regulátor (P, PI, PID a jejich modifikace).



Obr.33.: NC řízení

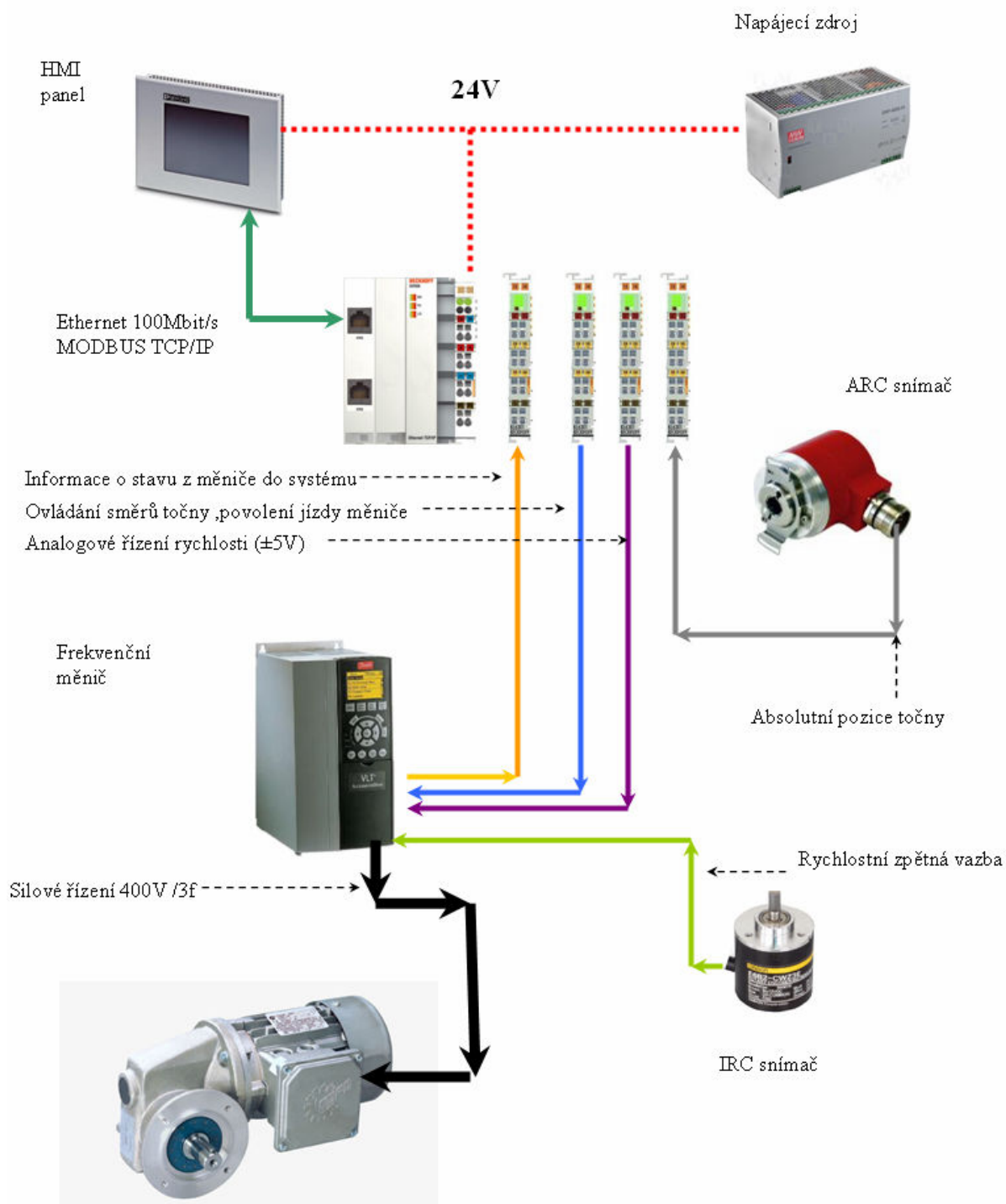
Každá NC osa má dialogové okno pro testování funkčnosti osy bez nutnosti spustit PLC program. Testování lze provádět buď manuálním spouštěním NC osy, nebo lze využít přednastavené režimy pro absolutní a relativní pohyb, krokování, reverzní sekvence. Tyto režimy jsou nezbytné při nastavování parametrů jednotlivých NC os.

- *TwinCAT ScopeView*: Modul TwinCAT ScopeView je softwarový osciloskop obr.34. Umožňuje monitorování průběhu jednotlivých proměnných v čase. Proměnné je možné zobrazit v jednom grafu, nebo je rozdělit do několika grafů. Graf je následně možné analyzovat. Pro nastavení správných parametrů NC osy je grafické znázornění nezbytným krokem.



Obr.34.: Scope View

4.9 Modulární schéma systému



Obr.35.: Modulární schéma systému

4.10 Strojní část

4.10.1 Výpočet statické zátěže točny

Statická zátěž představuje hmotnost, kterou můžeme točnu zatížit, pokud je točna v klidovém stavu.

Statická zátěž podlahy 500kg/m^2

Průměr točny 12,4 m

$$S = \Pi \cdot r^2$$

$$S = 3.14 \cdot 38,44$$

$$S = 120,7 \text{ m}^2$$

Plocha točny je $120,7 \text{ m}^2$

$$S_z = 120,7 \cdot 500$$

$$S_z = 60350 \text{ kg}$$

Statické zatížení točny je 60,4 tun.

4.10.2 Výpočet dynamické zátěže točny

Dynamická zátěž představuje hmotnost, kterou můžeme na točnu zatížit, pokud bude točna v pohybu.

Dynamická zátěž podlahy 100kg/m^2

Průměr točny 12,4 m

$$S = \Pi \cdot r^2$$

$$S = 3.14 \cdot 38,44$$

$$S = 120,7 \text{ m}^2$$

Plocha točny je $120,7 \text{ m}^2$

$$D_z = 120,7 \cdot 100$$

$$D_z = 1207 \text{ kg}$$

Dynamické zatížení točny je 1,2 tun.

4.10.3 Výpočet obvodu točny

Průměr točny 12,4m

$$O = 2\Pi \cdot r$$

$$O = 6,28 \cdot 6,2$$

$$O = 38,93 \text{ m}$$

Obvod točny je 38,93m.

4.10.4 Převodový poměr čelní převodovky

Otáčky elektromotoru 1440 ot/ min

Převodový poměr čelní převodovky 1:25

$$P_p = 1440/25$$

$$P_p = 57,6 \text{ ot/min}$$

Sekundární strana převodovky je 57,6 ot/min

4.10.5 Výpočet obvodu hnacího kola

Hnací kolo má průměr 350mm

$$O = 2\pi \cdot r$$

$$O = 6,28 \cdot 17,5$$

$$O = 110 \text{ cm}$$

Obvod hnacího kola je 110 cm .

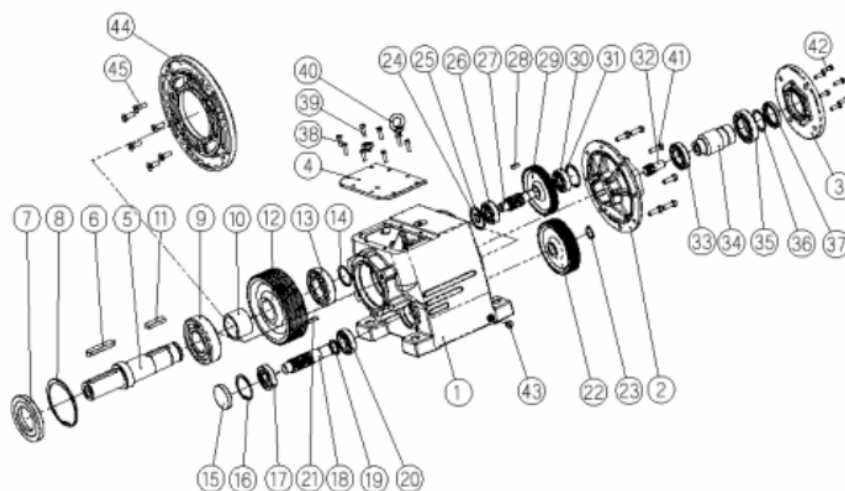
4.10.6 Výpočet obvodové rychlosti točny

$$\frac{57,6 \cdot 1,1}{60} = 1,056 \text{ m/s}$$

Výchozí parametry:

- Průměr točny: 12,4m
- Výkon elektromotoru: 2x 4kW
- Maximální otáčky elektromotoru: 1440 ot/min
- Převodový poměr čelní převodovky: 1:25
- Průměr odvalujícího se kola po točně 35cm
- Statické zatížení točny 100 kg/m²
- Dynamické zatížení točny 500 kg/m²
- Rychlost točny 1m/s obvodové rychlosti

4.11 Složení převodovky



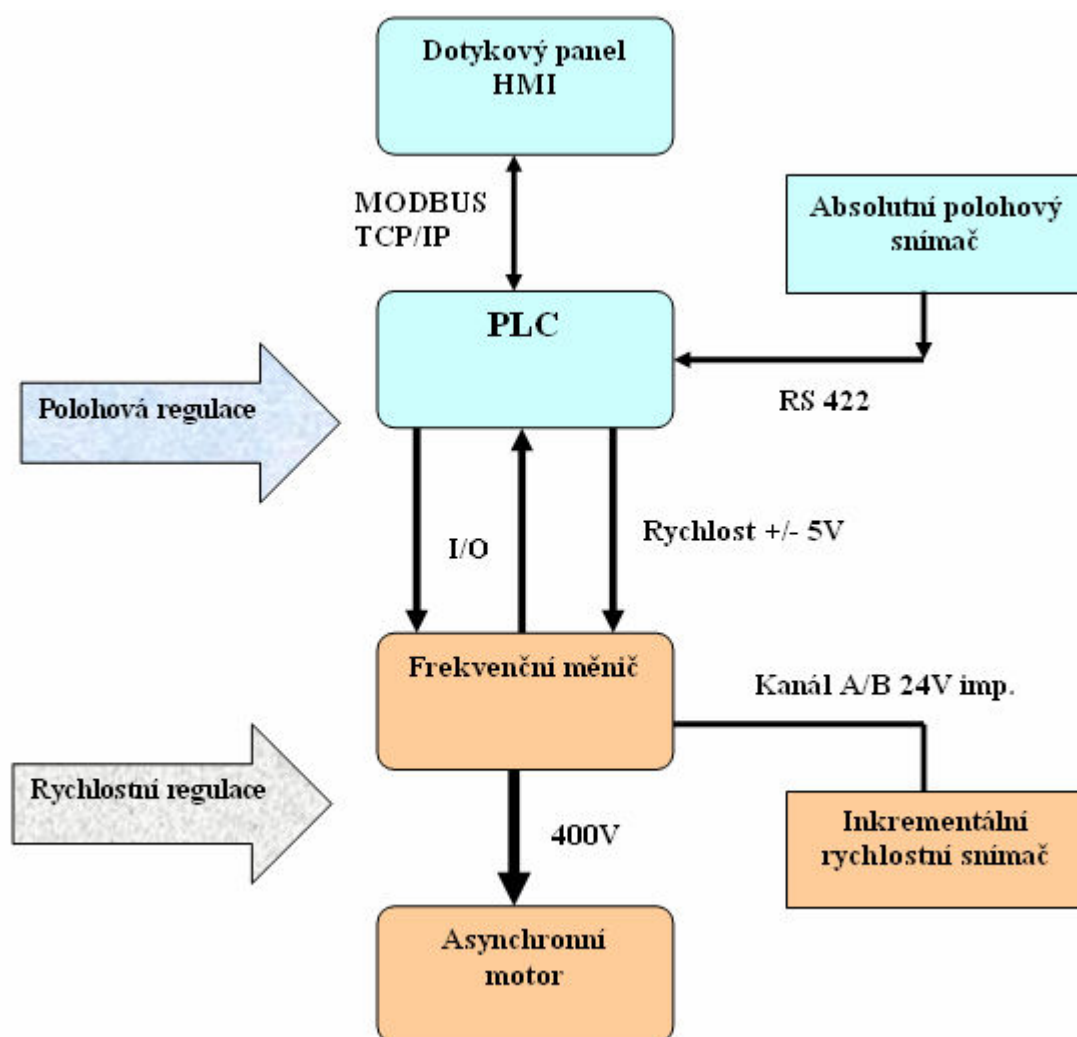
Obr.36.: Složení převodovky [16]

POZICE	NÁZEV	POZICE	NÁZEV	POZICE	NÁZEV
1	Skříň	16	Pojistný kroužek	31	Pojistný kroužek
2	Víko II	17	Ložisko	32	Pastorek I
3	Příruba elektromotoru	18	Hřídel s pastorkem III	33	Ložisko
4	Horní víko	19	Distanční kroužek	34	Spojka
5	Výstupní hřídel	20	Ložisko	35	Ložisko
6	Pero	21	Pero	36	Pojistný kroužek
7	Gufero	22	Kolo II	37	Gufero
8	Pojistný kroužek	23	Pojistný kroužek	38	Šroub
9	Ložisko	24	Pojistný kroužek	39	Odvzduš. zátka
10	Distanční kroužek	25	Pojistný kroužek	40	Závěsné oko
11	Pero	26	Ložisko	41	Šroub
12	Kolo	27	Hřídel s pastorkem	42	Šroub
13	Ložisko	28	Pero	43	Zátka DIN908
14	Pojistný kroužek	29	Kolo I	44	Příruba výstupní
15	Víčko NBR	30	Ložisko	45	Šroub

Tab.3: Komponenty převodovky [16]

4.12 Regulace

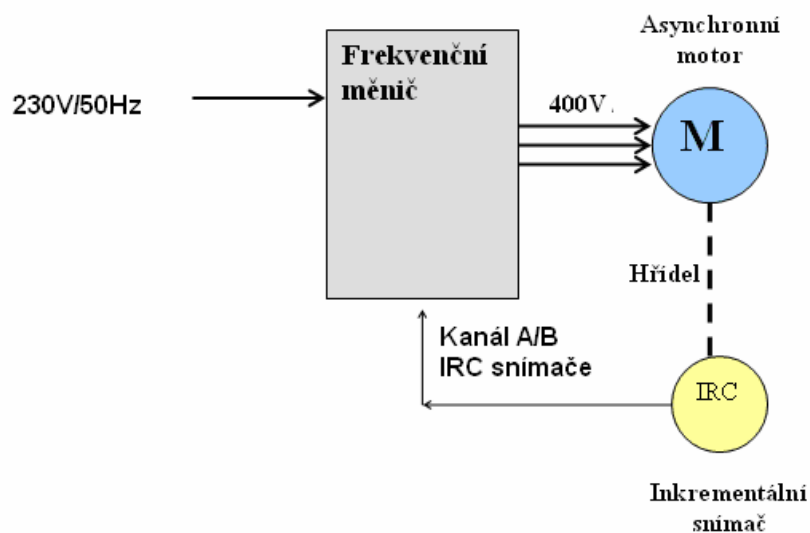
Celý systém se skládá ze dvou regulátorů obr.37. Rychlostní regulace je realizovaná pomocí PID regulátoru, který je implementován do frekvenčního měniče. Polohová regulace je realizovaná pomocí softwarového NC modulu.



Obr.37.: Blokové schéma regulačních smyček

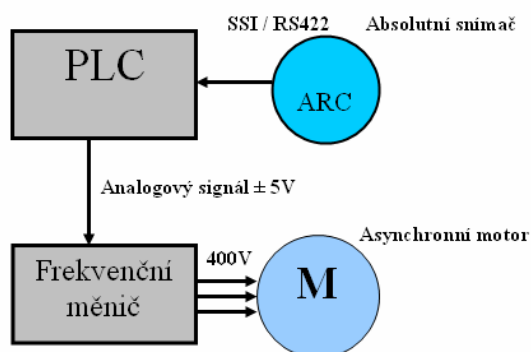
4.13 Výpočet rychlostního a polohového regulátoru PID

Rychlostní regulace probíhá mezi elektromotorem, frekvenčním měničem a inkrementálním snímačem.

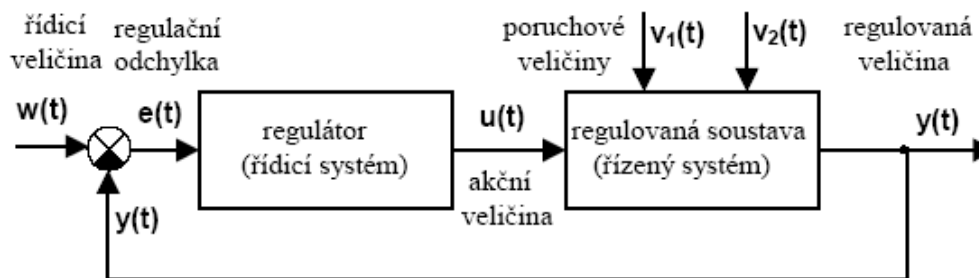


Obr.38.: Modulární schéma rychlostní vazby

Polohová regulace probíhá mezi absolutním snímačem (osa točny), PLC a frekvenčním měničem.



Obr.39.: Modulární schéma polohové vazby

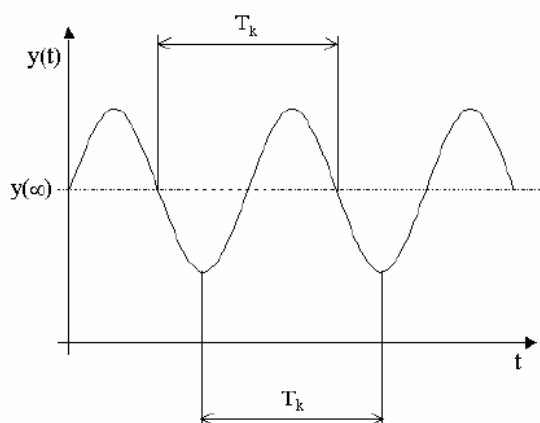


Obr.40.: Blokové schéma regulátoru [12]

$y(t)$	regulovaná veličina – udržuje se na požadované veličině
$w(t)$	žádaná veličina – její hodnota má dosáhnout regulovaná veličina
$e(t)$	regulační odchylka – žádaná veličina-regulovaná veličina
$u(t)$	akční veličina – určuje regulační zásah
$v(t)$	poruchová veličina

- *Regulátor P*: Proporcionální regulátor P je základním regulátorem. Přesnost regulace závisí pouze na jeho zesílení. U regulovaných soustav vyšších řádů může nastat překmitnutí regulované veličiny. Překmitnutí regulované veličiny je možné snížit zesílením regulátoru. Snížení zesílení způsobuje větší regulační odchylku. Regulátor je nejčastěji používán pro astatické soustavy, u je přípustná trvalá regulační odchylka. Proporcionální regulátory nejsou vhodné pro soustavy, které mají setrvačnou hmotu.
- *Regulátor I* : Integrační regulátor umožňuje odstranit regulační odchylku. Je vhodný pro statické soustavy bez setrvačnosti. Zesílení regulátoru je možné nastavit na vyšší hodnoty, aniž by hrozilo rozkmitání soustavy. Regulátor je dále vhodný pro soustavy 1 řádu.
- *Regulátor PD* : Proporcionálně derivační regulátor je vhodný tam, kde v soustavě vyhovuje i regulátor P. Výhodou regulátoru PD je rychlejší regulace celé soustavy, což se projevuje utlumením rychlejších překmitů soustavy. Pomocí tohoto regulátoru je možné snížit řád regulace a tím tak zvýšit stabilitu celého regulačního obvodu
- *Regulátor PI* : Proporcionálně integrační regulátor je nejpoužívanějším regulátorem. Je možné ho použít téměř univerzálně. Regulátor PI umožňuje úplně odstranit regulační odchylku a zvyšuje stabilitu regulačního obvodu. U soustav vyšších řádů je zapotřebí zmenšovat zesílení. Používá se u kmitavých soustav vyšších řádů.
- *Regulátor PID* : Proporcionálně integračně derivační regulátor aplikujeme tam, kde PI regulátor není dostačující. PID regulátor rychleji tlumí překmity regulované veličiny.

Pro výpočet regulátoru byla zvolena Ziegler-Nicholsova metoda. Touto metodou se regulátor seřizuje podle kritického zesílení. Principem této metody je dovést obvod na mez stability. Pokud je obvod na mezi stability, získáme optimální nastavení regulátoru. Při nastavování regulátoru nejdříve vyřadíme integrační (I) a derivační (D) složku regulátoru. Zvyšujeme zesílení r_0 a tím přivedeme obvod na mez stability. Zesílení r_0 na mezi stability se nazývá kritické zesílení r_{0k} . Na mezi stability kmitá regulátor netlumenými kmity. Velmi důležité je změřit dobu kmitu a z ní určit kritickou periodu T_k . Pomocí parametrů r_{0k} a T_k zjistíme optimální hodnoty pro regulátor, které najdeme v níže uvedené tabulce Tab. 4. [12].



Obr.41.: Určení kritické periody [12]

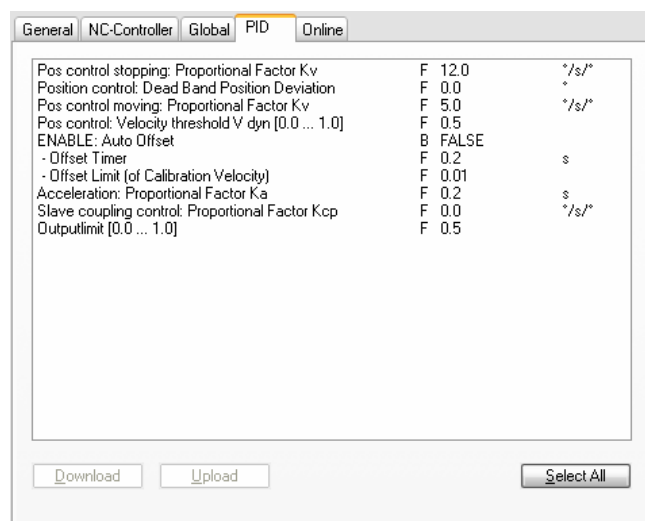
Typ regulátoru	r_0	T_i	T_d
P	$0,5 r_{0k}$	--	--
PI	$0,45 r_{0k}$	$0,83 T_k$	
PD	$0,4 r_{0k}$	--	$0,05 T_k$
PID	$0,6 r_{0k}$	$0,5 T_k$	$0,12 T_k$
I	--	$2 T_k$	--

Tab.4: Seřízení podle Ziegler - Nicholse [12]

Vypočítané hodnoty PID regulátoru podle Ziegler-Nicholsna byly dosazeny do nastavení regulátoru ve frekvenčním měniči obr.42 a do P regulátoru v NC úloze obr.43.

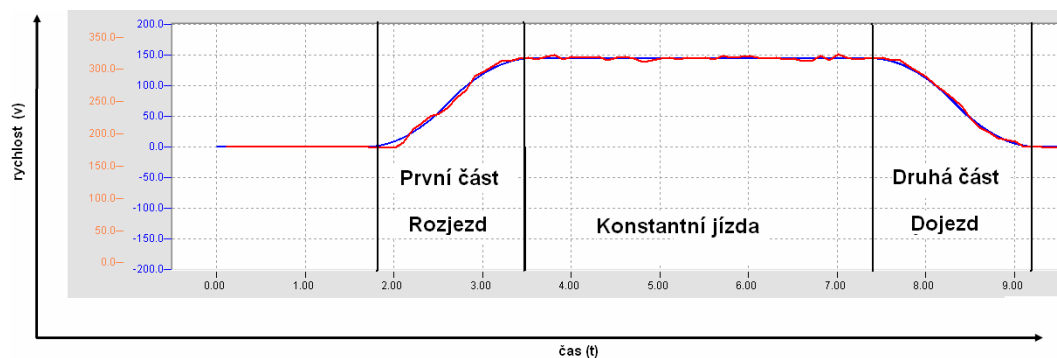
ID	Name	Setup 1	Setup 2	Setup 3	Setup 4	Factory Setup	Unit
700	Speed PID Feedback ...	24V encoder	24V encoder	24V encoder	24V encoder	24V encoder	
702	Speed PID Proportional...	0.100	0.015	0.015	0.015	0.015	
703	Speed PID Integral Time	100.0	8.0	8.0	8.0	8.0	ms
704	Speed PID Differentiat...	50.0	30.0	30.0	30.0	30.0	ms
705	Speed PID Diff. Gain Li...	2.5	5.0	5.0	5.0	5.0	
706	Speed PID Lowpass Fil...	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	ms
707	Speed PID Feedback ...	1.6001	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	
708	Speed PID Feed Forwa...	0	0	0	0	0	%

Obr.42.: Skutečné nastavení PID regulátoru frekvenčního měniče



Obr.43.: Nastavení regulace P regulátor

Po dosazení vypočítaných hodnot P regulátoru NC úlohy obr. 43. byla v programu Scope View ověřena odezva regulované soustavy. Na obr.44 je zobrazen průběh žádané hodnoty modrou barvou a skutečnou hodnotu červenou barvou.



Obr.44.: Regulace na polohu

4.14 Zobrazení

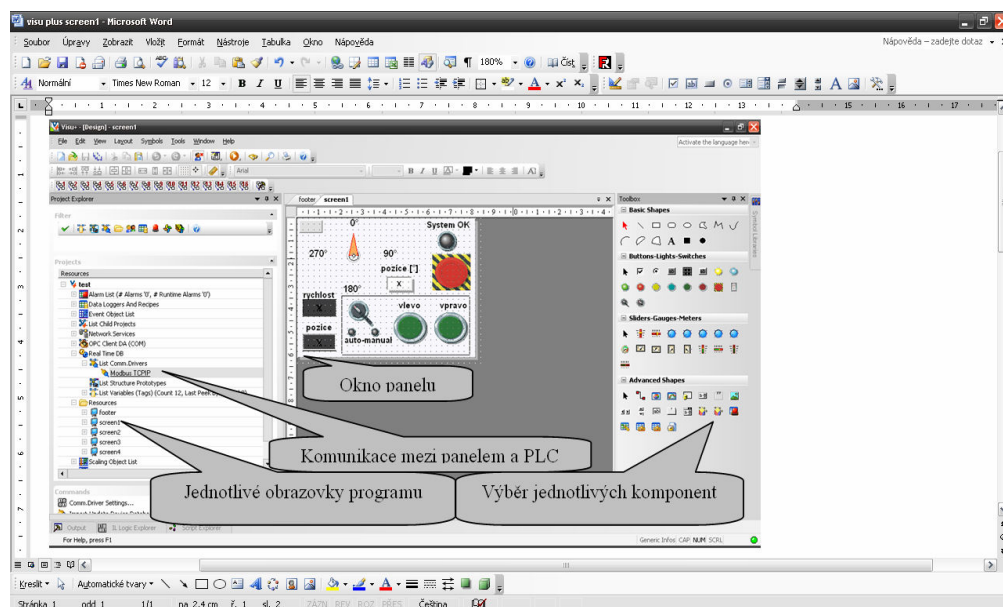


Obr.45.: Dotykový panel TP06S [13]

Pro zadávání a zobrazování hodnot je použit 6-ti palcový barevný dotykový HMI obr.45. Panel je v průmyslovém provedení a je umístěn v hliníkovém ovládacím pultu, který je navržen jako přenosný. Po technickém a ekonomickém zhodnocení je zvolen panel od firmy Phoenix Contact typ TP06S. Napájení panelu je 24V ss. Rozlišení panelu je 320x240 pixelů. Výkonová část obsahuje procesor RISC ARM9 CPU 200 MHz s 64 MB operační pamětí. V pultu je instalovaný flash disk s kapacitou 32 MB.

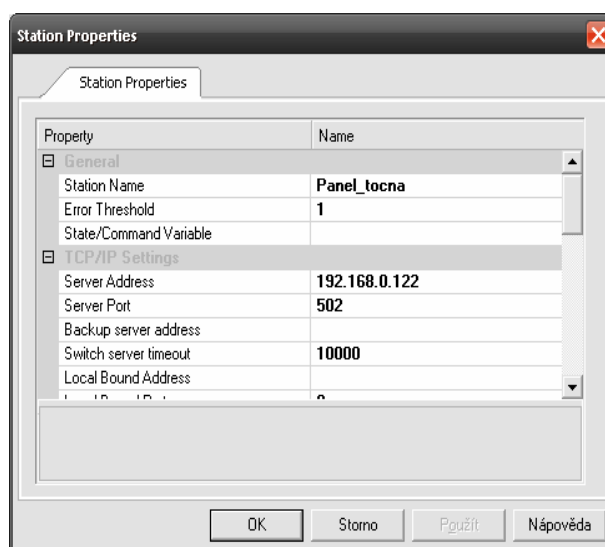
Komunikační rozhraní je ethernet s protokolem MODBUS TCP/IP. V panelu je instalován operační systém Windows CE 5.0 s vývojovým prostředím pro grafickou a komunikační část Visu+. V programu je k dispozici celá řada grafických komponent, které je možné použít pro danou aplikaci.

V případě bezdrátové varianty pultu je možné pult napájet akumulátory. Komunikaci lze realizovat pomocí Wi-Fi. Vývojový software Visu+ v 1.2 obr.46. pro panel TP06S je možný získat zdarma na stránkách firmy Phoenix Contact. Vývojové prostředí umožňuje vytvoření HMI aplikace do panelu, nastavení adres jednotlivých prvků a nastavení komunikačního rozhraní s PLC.



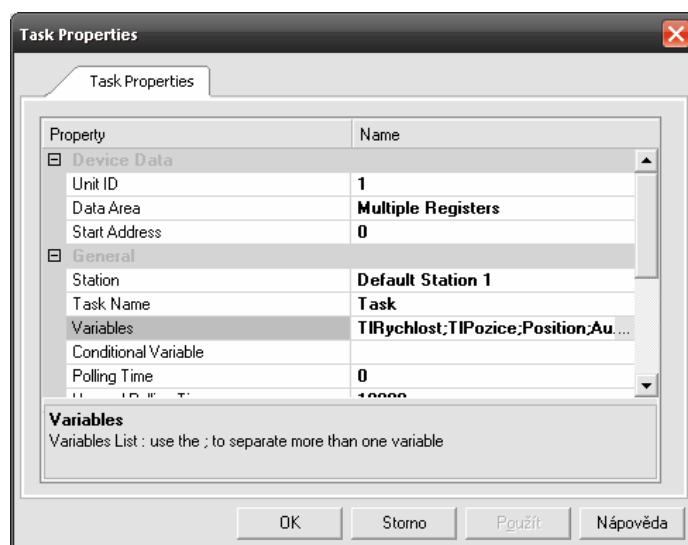
Obr.46.: Program Visu+

Pro aplikaci točny je zvoleno komunikační rozhraní MODBUS TCP/IP obr.47. Nastavení síťového rozhraní lze zadat IP adresou (192.168.0.122) nebo jménem počítače (např. panel_1). Ostatní síťové nastavení je v defaultní konfiguraci.



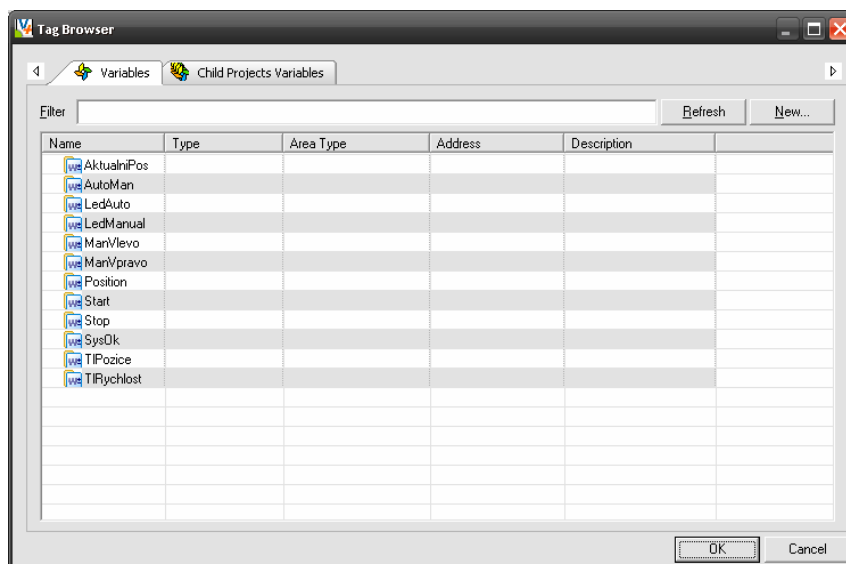
Obr.47.: Nastavení IP adresy

Po nastavení IP adresy vytvoříme tzv. Task, ve kterém definujeme jednotlivé proměnné obr.48.



Obr.48.: Nastavení jednotlivých proměnných

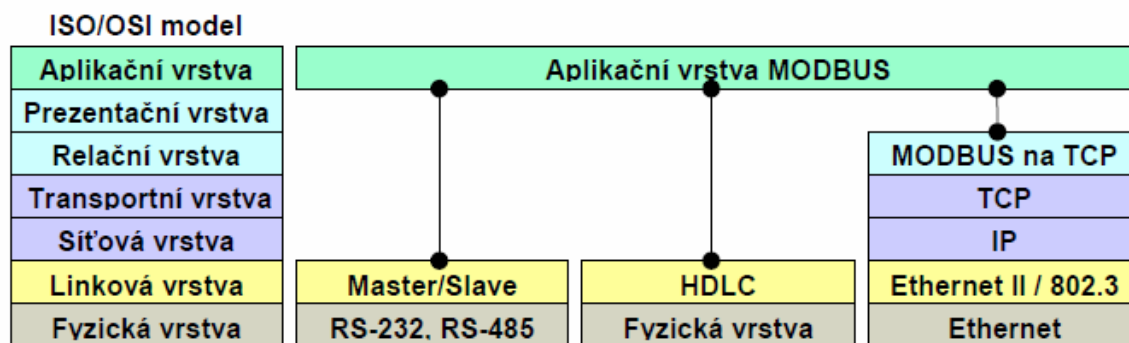
Proměnné v programu jsou řazeny pod sebou obr.49. Je důležité zachovat sled po sobě jdoucích proměnných. Modbus Server, který je spuštěn na PLC, čte data z HMI a zapisuje je do datového pole v PLC. Tato komunikace probíhá i v opačném směru.



Obr.49.: Proměnné

4.15 Komunikace PLC s panelem

Pro komunikaci mezi panelem a PLC je použito rozhraní Ethernet a protokol TCP/IP. Protokol MODBUS TCP byl vyvinut v roce 1979 společností Modicon. Komunikační protokol je na úrovni ISO/OSI modelu obr.50., která umožňuje komunikovat formou Klient-server. V současné době je Modbus podporován u sériových linek RS485, RS422, RS232, a také na rozhraní Ethernet TCP/IP. Komunikace probíhá metodou požadavek – odpověď [14].



Obr.50.: ISO/OSI model [14]

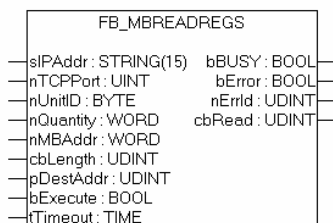
Kód udává serveru jaký druh operace má provést. Rozsah je od 1 do 255, přičemž 128-255 jsou vymezeny pro oznámení chybového hlášení. Pokud klient pošle serveru požadavek, očekává od něj odpověď. Mohou nastat tyto situace:

- Jestliže server přijme požadavek, ale nastane chyba CRC, nevrací se žádná hodnota a na straně klienta dojde k překročení času určeného pro odpověď (time-out).
- Jestliže server nepřijme žádný požadavek z důvodů komunikační chyby, není tedy vrácena žádná odpověď, Opět na straně klienta dojde k time-out.
- Jestliže server přijme bezchybně data, ale není schopen je zpracovat, vrátí klientovi zápornou odpověď s udáním chyby.
- Jestliže server přijme bezchybně data, je schopný je zpracovat, pošle nazpět normální odpověď [14].

Podporované datové typy protokolu jsou následující:

- Bit (1Bit): velikost 1 bit
- Word (2Byte Unsigned Integer): 16 bit (hodnota 0 až 65535)
- Int (2Byte Signed Integer): 16 bit (hodnota -32767 až +32767)
- Long 1.type (4Byte Signed Integer): 32 bity

V PLC programu je použitý FB (funkční blok) obr.51. z komunikační knihovny TcModbusSrv.lib, který zajišťuje komunikaci. Jeho struktura je následující:



Obr.51.: Funkční blok MODBUS v programu TwinCAT

- sIPAddr IP adresa panelu
- nTCPPort port, MODBUS_TCP_PORT
- nUnitID ID číslo, v případě komunikace TCPIP musí být 255
- nQuantity množství přenesených dat
- nMBAAddr počáteční adresa pro čtení v panelu
- cbLength arrDat, zjistí počet bytu které má číst
- pDestAddr adresa datového pole kam se zapisují
- bExecute na náběžnou hranu blok přečte data z panelu
- tTimeout time-out pro komunikaci
- bBUSY TRUE - blok právě komunikuje
- bError TRUE - chyba komunikace
- nErrId specifikuje chybu komunikace
- cbRead počet byte které právě čte

Pro komunikaci mezi panelem a PLC jsou deklarovány následující proměnné:

Panel-PLC

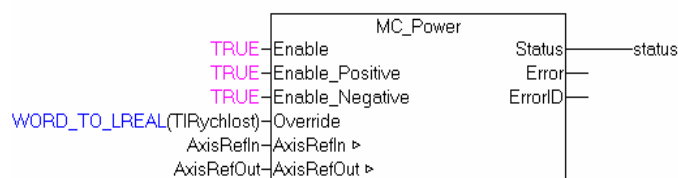
- TIRychlost zvolená rychlost (max 100%)
- TIPozice zvolená pozice (0-360°)
- AutoMan přepíná mezi manuálním pohybem a jízdou na polohu
- ManVlevo přijede na pozici zleva
- ManVpravo přijede na pozici zprava
- SysOk systém je v pořádku
- Stop stop zařízení

PLC-Panel

- Position pozice točny
- LedAuto přepnuto na automatický režim
- LedManual přepnuto na manuální režim

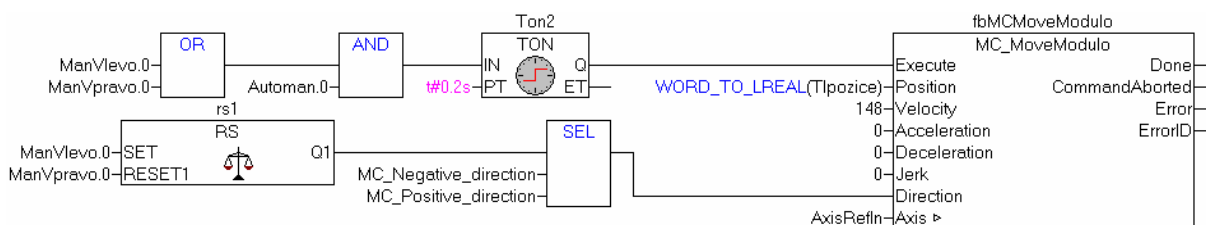
5. ZDROJOVÝ KÓD PROGRAMU

Blok MC_Power obr.52. je určen pro povolení pohybu osy. Vstup označený *Enable* nabudí motor na nulovou rychlost a maximální moment. Vstupy *Enable_positive* a *Enable_negative* povolují pohyb v kladném a záporném směru jízdy. Hodnota *Override* definuje maximální rychlost osy v %. Vstupní proměnné *AxisRefIn* a *AxisRefOut* jsou datové struktury, které propojují NC řízení s funkčními bloky z knihovny TcMc.lib. Tyto proměnné jsou stejné pro všechny používané funkční bloky, které se týkají řízení osy. Výstupní bit *Status* dává informaci o tom, že je osa připravená k pohybu. Výstupní bit *Error* signalizuje obecnou chybu. Výstupní hodnota *Error ID* specifikuje číslo chyby.



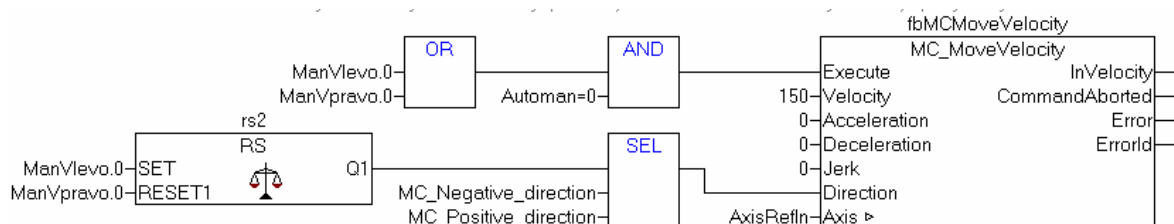
Obr.52.: Funkční blok MC_Power

Funkční blok MC_MoveModulo obr.53. řídí polohování osy v úhlových stupních. Polohování je spuštěno náběžnou hranou vstupního bitu *Execute*. Vstupní proměnná *Position* definuje požadovanou pozici. Vstupní proměnná *Velocity* definuje rychlost otáčení osy. Vstupní proměnné *Acceleration*, *Deceleration* a *Jerk* mají nulovou hodnotu. Hodnoty těchto proměnných definuje NC řízení. Vstupní proměnná *Direction* volí směr pohybu osy. Výstupní proměnná *Done* signalizuje korektní dokončení pohybu. Výstupní proměnná *CommandAborted* signalizuje přerušení pohybu. Výstupní bit *Error* signalizuje obecnou chybu. Výstupní hodnota *Error ID* specifikuje číslo chyby.



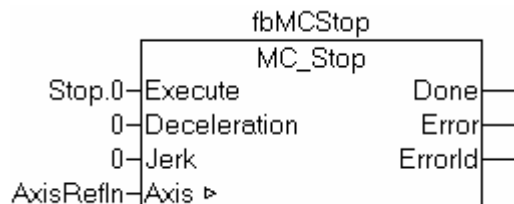
Obr.53.: Pohyb osy - auto

Funkční blok MC_MoveVelocity obr 54. řídí volnou jízdu točny. Volná jízda je spuštěna náběžnou hranou vstupního bitu *Execute*. Vstupní hodnota *Velocity* zajišťuje maximální otáčky osy. Vstup *Direction* volí směr pohybu osy. Vstupní proměnné *Acceleration*, *Deceleration* a *Jerk* mají nulovou hodnotu. Hodnoty těchto proměnných definuje NC řízení. Vstupní proměnná *Direction* volí směr pohybu osy. Výstupní proměnná *CommandAborted* signalizuje přerušení pohybu. Výstupní bit *Error* signalizuje obecnou chybu. Výstupní hodnota *Error ID* specifikuje číslo chyby.



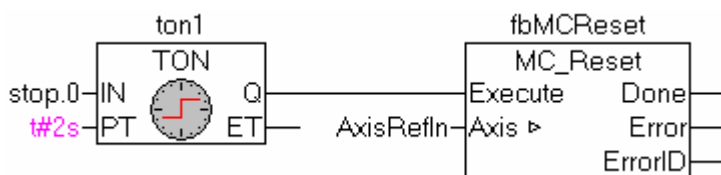
Obr.54.: Pohyb osy – manuál

Funkční blok MC_Stop obr.55. umožní přerušení pohybu před dojetím na danou polohu, nebo zastavení volné jízdy točny. Vstupní proměnné *Deceleration* a *Jerk* mají nulovou hodnotu. Výstupní proměnná *Done* signalizuje korektní dokončení pohybu. Výstupní bit *Error* signalizuje obecnou chybu. Výstupní hodnota *Error ID* specifikuje číslo chyby.



Obr.55.: Zastavení osy

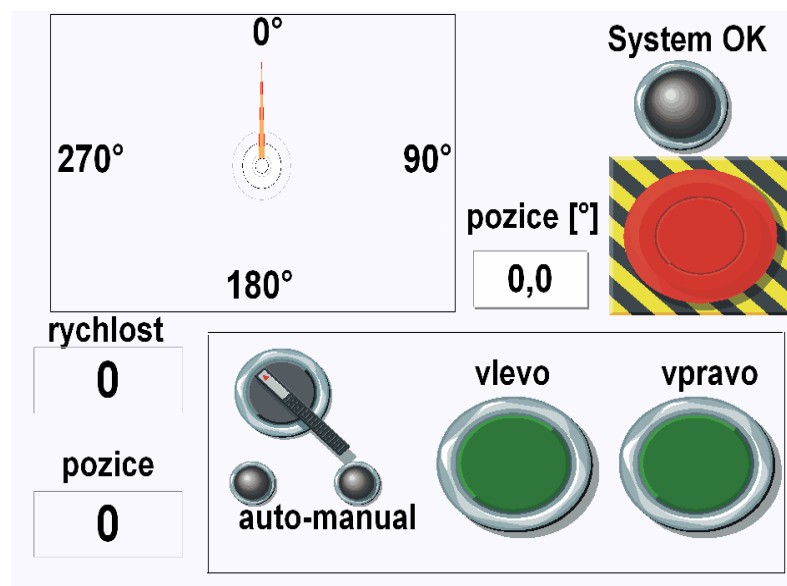
Funkční blok MC_Reset obr.56. provede reset případné chyby NC úlohy. Výstupní proměnná *Done* signalizuje korektní dokončení pohybu. Výstupní bit *Error* signalizuje obecnou chybu. Výstupní hodnota *Error ID* specifikuje číslo chyby.



Obr.56.: Reset osy

6. VIZUALIZACE HMI

Podle zadaných požadavků uživatele musí systém umožňovat volnou jízdu točny a jízdu točny na zadanou pozici. Aplikace HMI byla vytvořena v prostředí Visu+ s ohledem na jednoduchost ovládání pro uživatele. Jednotlivé kroky spuštění systému jsou následující: Po zapnutí hlavního vypínače se na ovládacím pultu rozsvítí kontrolka stavu *Zapnuto*. Počkáme, až bude systém připraven. Jakmile se spustí program na panelu obr.57., v pravém horním rohu se zobrazí hlášení *Systém OK*, které signalizuje bezchybnou funkci zařízení.



Obr.57.: Ovládací panel

Pokud je systém v pořádku, zvolíme režim jízdy - automatický nebo manuální.

- **Manuální režim:** Stiskneme přepínač *Auto-manual* a nastavíme do polohy *manual*. Pod vypínačem se rozsvítí žlutá kontrolka a potvrdí jízdu v manuálním režimu. V manuálním režimu je možné nastavit maximální rychlost stisknutím tlačítka *Rychlost*. Rychlost je zadávána v procentech. Maximální navolená rychlost je 100% a představuje obvodovou rychlost točny 1m/s. Tlačítkem *Vlevo* nebo *Vpravo* zvolíme směr pohybu točny. Tlačítkem *Stop* točnu zastavíme. Na panelu je zobrazena pozice točny graficky a v úhlových stupních.

- Automatický režim: Pokud chceme točnu provozovat v automatickém režimu, zvolíme na přepínači režim *Auto*. Pod vypínačem se rozsvítí žlutá kontrolka a potvrdí jízdu v automatickém režimu. Stiskneme na ikonu *Rychlost* a navolíme požadovanou maximální rychlost od 0% do 100%. Stiskneme na ikonu *Pozice* a zadáme pozici od 0 do 360°. Nyní tlačítkem *Vlevo* nebo *Vpravo* zvolíme možnost jízdy točny zleva nebo zprava. Opět je možné během jízdy měnit maximální rychlost a popřípadě tlačítkem *STOP* točnu zastavit. Pokud stiskneme tlačítko *STOP* a zařízení ještě není na dané pozici, je možné opětovně zvolit směr jízdy a jízdu dokončit. Po opětovném zapnutí systému zůstanou předešlé navolené hodnoty zachovány v paměti.

7. FINANČNÍ ROZPOČET

<i>Rozvaděč pro točnu RMT1</i>			
Položka	počet	cena za mj	celkem za položku
Rozvaděč oceloplechový 2000x600x400	1	16 200 Kč	16 200 Kč
Montážní panel	1	420 Kč	420 Kč
Bočnice rozvaděče	2	320 Kč	640 Kč
Hlavní jistič LSN 50C/3	1	420 Kč	420 Kč
Hlavní stykač LC1D63	1	2 600 Kč	2 600 Kč
jistič točny LSN 32C/3	1	420 Kč	420 Kč
Jistič ovládaní LSN 6C/1	4	130 Kč	520 Kč
jistič propadla LSN16C/1	1	420 Kč	420 Kč
měníč točny 11KW FC301	2	16 500 Kč	33 000 Kč
MCB101 – IRC karta	1	3 200 Kč	3 200 Kč
Brzdny odpor 5kw	1	4 200 Kč	4 200 Kč
Usměrňovač 230V/190V pro brzdu	2	960 Kč	1 920 Kč
Pomocné relé -směrové	3	260 Kč	780 Kč
CX – Beckhoff 10110	1	42 150 Kč	42 150 Kč
Karta KL 5001	1	6 500 Kč	6 500 Kč
Karta KL 1408	3	2 500 Kč	7 500 Kč
Karta KL 2408	2	2 450 Kč	4 900 Kč
Karta KL 3201 analog +/-10V	1	3 200 Kč	3 200 Kč
Zdroj spínaný 24 V /6A	1	2 500 Kč	2 500 Kč
- pojistka trubičková T2,5A včetně držáku	1	120 Kč	120 Kč
Drobný montážní materiál	1	5900 Kč	5900 Kč
sestavení	1	6900 Kč	6900 Kč
Revize	1	1 300 Kč	1 300 Kč
Celkem rozvaděč			145 710 Kč

<i>ovládací pult pro točnu - P1</i>			
Položka	počet	cena za mj	celkem za položku
Krabice hliníková 35x20x7	1	4 200 Kč	4 200 Kč
Display Phoenix Contact TP06Color	1	15 220 Kč	15 220 Kč
ovladač s klíčem pro zapínání pultu	1	340 Kč	340 Kč
ovladač nouzového zastavení	1	420 Kč	420 Kč
klíček pro zapnutí Harmony	1	350 Kč	350 Kč
Konektor Etnernet -Neutrik	1	2 200 Kč	2 200 Kč
svorky 2,5mm	8	15 Kč	120 Kč
Popis	1	120 Kč	120 Kč
Kabel	1	400 Kč	400 Kč
Drobný montážní materiál	1	600 Kč	600 Kč
Sestavení	1	2 100 Kč	2 100 Kč
Celkem			26 070 Kč

8. ZÁVĚR PRÁCE

Tato bakalářská práce se zabývá regulací divadelní točny pomocí asynchronního elektromotoru s frekvenčním měničem. V první části práce popisují historii regulací točny pomocí kroužkových motorů, snímání polohy pomocí selsynů. V druhé části práce se zabývám požadavky investora divadla na nové řízení točny.

Navržený systém se skládá ze dvou asynchronních motorů, které pohání točnu. Motory jsou ovládány pomocí frekvenčního měniče. Frekvenční měnič pracuje s vektorovou regulací proudu a napětí a je řízen z PLC pomocí digitálních a analogových signálů.

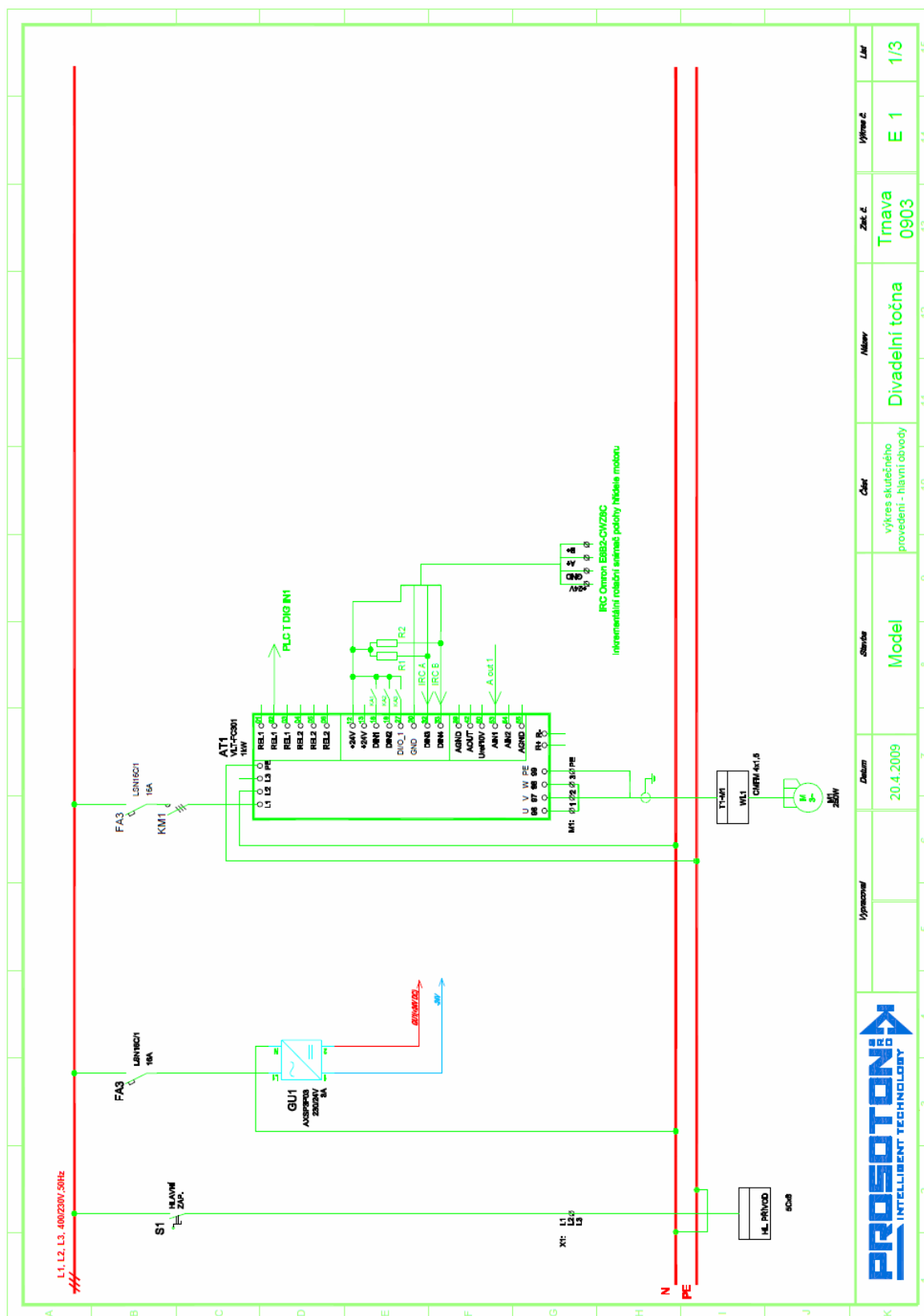
Regulace otáček motoru probíhá v uzavřené rychlostní regulační smyčce. Zpětná vazba mezi motorem a měničem pro rychlostní regulační smyčku je tvořena inkrementálním snímačem umístěným na hřídeli motoru. Polohová regulace je realizovaná v softwarovém modulu NC řízení. Zpětná vazba pro polohovou regulaci je tvořena absolutním snímačem, který je umístěn v ose točny. Rychlostní a polohové regulátory jsou vypočítány pomocí Ziegler-Nicholsonovy metody. HMI rozhraní tvoří dotykový panel, který komunikuje s PLC pomocí protokolu MODBUS TCP/IP.

Cílem této práce bylo navrhnout řešení řízení divadelní točny v divadle Jána Palárika v Trnavě a vytvoření jejího funkčního modelu, na kterém jsou prezentovány jednotlivé části a algoritmy točny. Během návrhu a realizace jsem se blíže seznámil s vybranými komponenty průmyslové automatizace. Dále jsem ověřil nasazení standardních regulátorů v praxi.

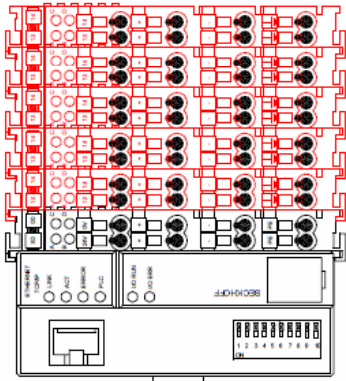
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] STÁTNÍ OPERA PRAHA. *Půdorys divadla* [online] 2004-2009 [cit 2.3.2009].
Dostupný z: <http://www.opera.cz/img/static/technicke_plany/tech_pudorys_jeviste.jpg>.
- [2] WIKIPEDIE. *Ward Leonardovo soustrojí, otevřená encyklopedie* [online]. 7.12.2008 [cit. 1.4.2009].
Dostupný z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Ward_Leonardovo_soustroj%C3%AD>.
- [3] SCHMID, D. a kol. *Řízení a regulace pro strojírenství a mechatroniku. 1.vyd.* Praha: Europa-Sobotáles cz. s.r.o., 2005. 420s. ISBN 80-86706-10-9.
- [4] ZČU v Plzni, *Rotační snímače* [online] 13.3.2009 [cit 20.3.2009]. Dostupný z: <http://home.zcu.cz/~formanek/mmvvyuka/Data/mereni_polohy/uvod.htm>.
- [5] MOELLER, *Elektronické spušťeče motorů a motory obecně.* [online] 2006 [cit 10.2.2009]. Dostupný z: <<http://www.moeller.cz/priruckazapojeni/drives002.html>>.
- [6] WAMPFLER, *Kroužkové sběrače.* [online] 2008 [cit 22.4.2009]. Dostupný z: <<http://www.usinenouvelle.com/expo/img/joints-tournants-000068582-4.jpg>>.
- [7] DANFOSS, *Frekvenční měnič.* [online] 2007 [cit 21.4.2009]. Dostupný z: <<http://www.danfoss.com/NR/rdonlyres/F3FA998D-ECBB-405E-ACC7-E2CD44184073/0/FC300.jpg>>.
- [8] ODBORNE ČASOPISY, *IRC.* [online] 2009 [cit 2.2.2009]. Dostupný z: <<http://www.odbornecasopisy.cz/imagesold/a0305601.gif>>.
- [9] REM-TECHNIK, *Absolutní rotační snímače.* . [PDF dokument]. 15.1. 2006. [cit. 9.3.2009]. Dostupný z: <http://www.rem-technik.cz/pdf/Fraba_Posital_katalog_CZ.pdf>.
- [10] SCHMACHTL, *Optické enkodéry.* [online] 9.6.2006 [cit 10.3.2009]. Dostupný z: <http://jonatan.spse.pilsedu.cz/~mazanec/opticke_ekodery.htm>.
- [11] BECKHOFF, *Plc.* [online] 2009 [cit 23.4.2009]. Dostupný z: <<http://www.drives.co.uk/news/images/Beckhoff%C3%90000%20PC.jpg>>.
- [12] BLAŽENKA, A. *Aplikace Ziegler-Nicholovy metody na diskrétní regulační obvody.* Brno, 2006. 51s., Bakalářská práce na Fakultě strojního inženýrství-Ústav automatizace a informatiky, Vedoucí diplomové práce Ing. Olga Davidová, Ph.D.
- [13] PHOENIX CONTACT, *HMI panel.* [online] 16.4.2009 [cit 21.2.2009]. Dostupný z: <<http://eshop.phoenixcontact.com/phoenix/logon.do?user=anonym&general=czen>>.

- [14] MODBUS, *Přehled protokolu MODBUS*. . [PDF dokument]. 26.5.2005. [cit. 9.3.2009]. Dostupný z: <home.zcu.cz/~ronesova/bastl/files/modbus.pdf>.
- [15] DYGER, *EtherCAT*. [online] 2007 [cit 21.3.2009]. Dostupný z:<http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=30321>.
- [16] TOS-ZNOJMO, *Převodovky*. [online] 15.9.2008 [cit 12.2.2009]. Dostupný z:<<http://www.tos-znojmo.cz/produkce/tnc/cz/index.htm>>.
- [17] MM PRŮMYSLOVÉ CENTRUM, *Bezpečné zastavení pohonu*. [online] 2009 [cit 9.4.2009]. Dostupný z: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/bezpecne-zastaveni-pohonu>>.
- [18] Elektro TZB. Webová stránka projektu [online]. Dostupné z: <<http://elektro.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=2953&h=301&pl=42>>.
- [19] ODBORNÉ ČASOPISY. Webová stránka projektu [online]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=28634>.
- [20] KADANÍK, P. *Řízení asynchronního motoru bez použití snímače rychlosti*. Praha, 2004. Disertační práce na FEL ČVUT Praha, Vedoucí disertační práce Doc.Ing.Jiří Javůrek, Csc.
- [21] BECKHOFF. Webová stránka projektu [online]. Dostupný z:<<http://www.beckhoff.com>>.



PLC T - Beckhoff
CX9001-1001



Význam		Datum		Stavba		Číslo		Měry		Změ. č.		Výkres č.		Lst	
		20.4.2009		Model		výkres skutečného provedení - sestava PLC		Divadelní točna		Tmava 0903		E 1		3/3	

OBSAH PŘILOŽENÉHO DVD:

- Bakalářská práce ve formátu Adobe Acrobat [PDF].
- Instalační program TwinCAT (pro PLC Beckhoff)
- Instalační program Visu+1.2 (pro HMI Phoenix Contact)
- Instalační program MCT10 (pro Frekvenční měnič FC 302)