České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Řízení modelu vodní elektrárny automatem CompactLogix

Praha, 2009

Autor: Marek Harenczyk

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady (literaturu, projekty, SW atd.) uvedené v přiloženém seznamu.

V Praze dne _____ _____

podpis

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu mé diplomové práce Ing. Jindřichu Fukovi a Ing. Jiřímu Hanzlíkovi za připomínky a poznámky k práci. Dále bych rád poděkoval rodičům a všem, kteří mě při práci podporovali.

Abstrakt

Hlavním cílem diplomové práce bylo připojení modelu vodní elektrárny k programovatelnému automatu od firmy Rockwell Automation v učebně Allen-Bradley. Společně s programem řízení byla vytvořena vizualizace pro ovládání modelu.

Model vodní elektrárny představuje systém přečerpávací elektrárny. Je osazen průmyslovými akčními členy a senzory, splňuje požadavek na napájení z bezpečného napětí 24 V.

Model umožňuje prioritní předávání řízení, mezi PAC, počítačem s programem Matlab a lokálním ovládacím panelem.

Součástí práce jsou i demonstrační programy pro výuku programovatelných automatů.

Abstract

The main goal of this master thesis is realization of the connection water power plant model with controller from Rockwell Automation Company in the Laboratory Allen-Bradley. Together with program is created Visualization for control this model.

Model represents control of water power plant. The model
satisfies requirements for secure voltage supply and is equipped by industrial sensors
and actuators. PAC, PC with Matlab and control panel are able to control the model, with defined priority.

The thesis also contains demo programs for PAC education.

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická

Katedra řídicí techniky

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student: **Bc. Marek Harenczyk**

Studijní program: Elektrotechnika a informatika (magisterský), strukturovaný
Obor: Kybernetika a měření, blok KM1 - Řídicí technika

Název tématu: **Řízení modelu vodní elektrárny automatem CompactLogix**

Pokyny pro vypracování:

1. Popište základní vlastnosti programovatelného automatu CompactLogix firmy Rockwell Automation a panelu operátora PanelView Plus.
2. Pomocí automatu řiďte modernizovaný model vodní elektrárny, který představuje systém s proměnným dopravním zpožděním. Zároveň zajistěte i připojení dalšího jednoduchého přípravku pro výuku programování.
3. Zajistěte uživatelskou obsluhu systému a vizualizaci pomocí panelu operátora a případně PC.
4. Zpracujte vzorové programy pro řízení a na jejich základě vytvořte zadání vhodných úloh pro studenty s tím, že dostanou podle složitosti úlohy vhodně připravené kostry programů.

Seznam odborné literatury:

Dodá vedoucí práce

Vedoucí: Ing. Jindřich Fuka

Platnost zadání: do konce zimního semestru 2008/2009

prof. Ing. Michael Šebek, DrSc.
vedoucí katedry

L.S.

doc. Ing. Boris Šimák, CSc.
děkan

V Praze dne 10. 9. 2007

Obsah

Seznam obrázků xi

Seznam tabulek xii

Seznam příloh xii

1. Úvod ..... - 1 -

2. Programovatelný automat ..... - 2 -

2.1. PLC, PAC princip funkce ..... - 3 -

2.2. Compactlogix 1768-L43 ..... - 4 -

2.3. Moduly I/O ..... - 5 -

2.3.1. Digitální vstupy ..... - 7 -

2.3.2. Analogové vstupy ..... - 7 -

2.3.3. Digitální výstupy ..... - 7 -

2.3.4. Analogové výstupy ..... - 8 -

2.3.5. Čítačové moduly ..... - 8 -

2.3.6. Speciální moduly ..... - 8 -

2.3.7. Komunikační moduly ..... - 8 -

2.3.8. Modul ukončující sběrnici ..... - 9 -

2.4. Sběrnice ..... - 9 -

2.4.1. Vnitřní sběrnice ControlBus ..... - 9 -

2.4.2. Vnější sběrnice ..... - 10 -

2.5. Software ..... - 12 -

2.5.1. RSLinx ..... - 12 -

2.5.2. RSLogix 5000 ..... - 12 -

2.5.3. RSView SE ..... - 12 -

3. Modely ..... - 13 -

3.1. Vodní elektrárna - 13 -
3.1.1. Popis modelu - 14 -
3.1.2. Čerpadlo - 15 -
3.1.3. Snímač výšky hladiny - 15 -
3.1.4. Ventily - 15 -
3.1.5. Turbínka a tachodynamo - 17 -
3.1.6. Přívodní potrubí - 17 -
3.2. Matematický popis dopravního zpoždění - 17 -
3.3. Připojení modelů - 19 -
3.3.1. Propojení signálů vodní elektrárny - 21 -
3.4. Servomotor - 21 -
3.4.1. Popis modelu servomotoru - 21 -
3.5. Polohovací zařízení - 23 -
3.5.1. Popis modelu - 23 -
3.5.2. Připojení signálů polohovacího přípravku - 25 -
4. Řízení a Vizualizace modelu vodní el. - 26 -
4.1. Režimy chodu modelu - 26 -
4.2. Softwarová konfigurace - 27 -
4.3. Panel operátora - 28 -
4.4. Připojení panelu, navázání procesních proměnných - 29 -
4.5. Popis programu - 32 -
4.5.1. Režimy řízení - 33 -
4.5.2. Řízení panelem - 34 -
4.5.3. Hybridní režimy - 35 -
4.5.4. Automatický režim - 37 -
4.6. PID regulace - 37 -

4.7. Výpis alarmů ..... - 39 -

5. Zadání ..... - 41 -

5.1. Zadání - Alarmová hlášení ..... - 41 -

5.2. Zadání - Regulace ..... - 41 -

5.3. Zadání - Vizualizace ..... - 42 -

6. Závěr ..... - 44 -

Seznam obrázků

1.1 Schéma připojení modelů v Laboratoři Allen-Bradley ..... -1-

2.1 Cyklus automatu ..... -3-

2.2 Struktura činnosti automatu ..... -3-

2.3 Řídicí jednotka CompactLogix 1768-L43 ..... -4-

2.4 Propojení napájecích zdrojů ..... -6-

3.1 Schéma přečerpávací elektrárny ..... -13-

3.2 Model vodní elektrárny ..... -14-

3.3 Čerpadlo ..... -15-

3.4 Senzor tlaku ..... -15-

3.5 Soustava ventilů ..... -16-

3.6 Soustava turbínka tachodynamo ..... -16-

3.7 Propojení signálů ..... -19-

3.8 Rozmístění reléového přepínače a napájecího zdroje ..... -20-

3.9 Servomechanismus ..... -22-

3.10 Polohovací zařízení ..... -24-

3.11 Vnitřní zapojení obvodu řízení polohovacího zařízení ..... -24-

4.1 Rozšířené konektory ..... -26-

4.2 Ovládací panel modelu vodní elektrárny ..... -27-

4.3 Nastavení připojených modulů.....-28-

4.4 Panel operátora PanelView Plus 700.....-28-

4.5 Vytvoření Shortcut.....-29-

4.6 Navázání procesních proměnných od kontroléru s vizualizačními prvky.....-30-

4.7 Reakce na zadání hodnoty.....-31-

4.8 Nahrání runtime projektu do panelu operátora.....-31-

4.9 Hlavní okno vizualizace.....-34-

4.10 Zadávací klávesnice.....-34-

4.11 Obrazovka pro výběr a nastavení hybridních režimů .....-36-

4.12 Obrazovka nápovědy .....-36-

4.13 Nastavení PID bloku .....-37-

4.14 Průběh regulované hladiny.....-38-

4.15 Průběh regulovaných otáček turbínky.....-39-

4.16 Vyřešení výpisu alarmů .....-40-

4.17 Vypsání alarmů .....-40-

Seznam tabulek

2.1 Osazení rámu včetně napájení.....-6-

3.1 Připojení signálů od Vodní elektrárny,serva nebo polohovacího přípravku .....-20-

3.2 Zapojení signálů vodní elektrárny.....-21-

3.3 Zapojení signálů servomotoru.....-22-

3.4 Zapojení signálů polohovací přípravek.....-25-

4.1 Signály *A* a *B*.....-27-

5.1 Procesní proměnné pro detekci alarmových stavů.....-41-

5.2 Procesní proměnné pro vizualizaci.....-43-

Seznam příloh

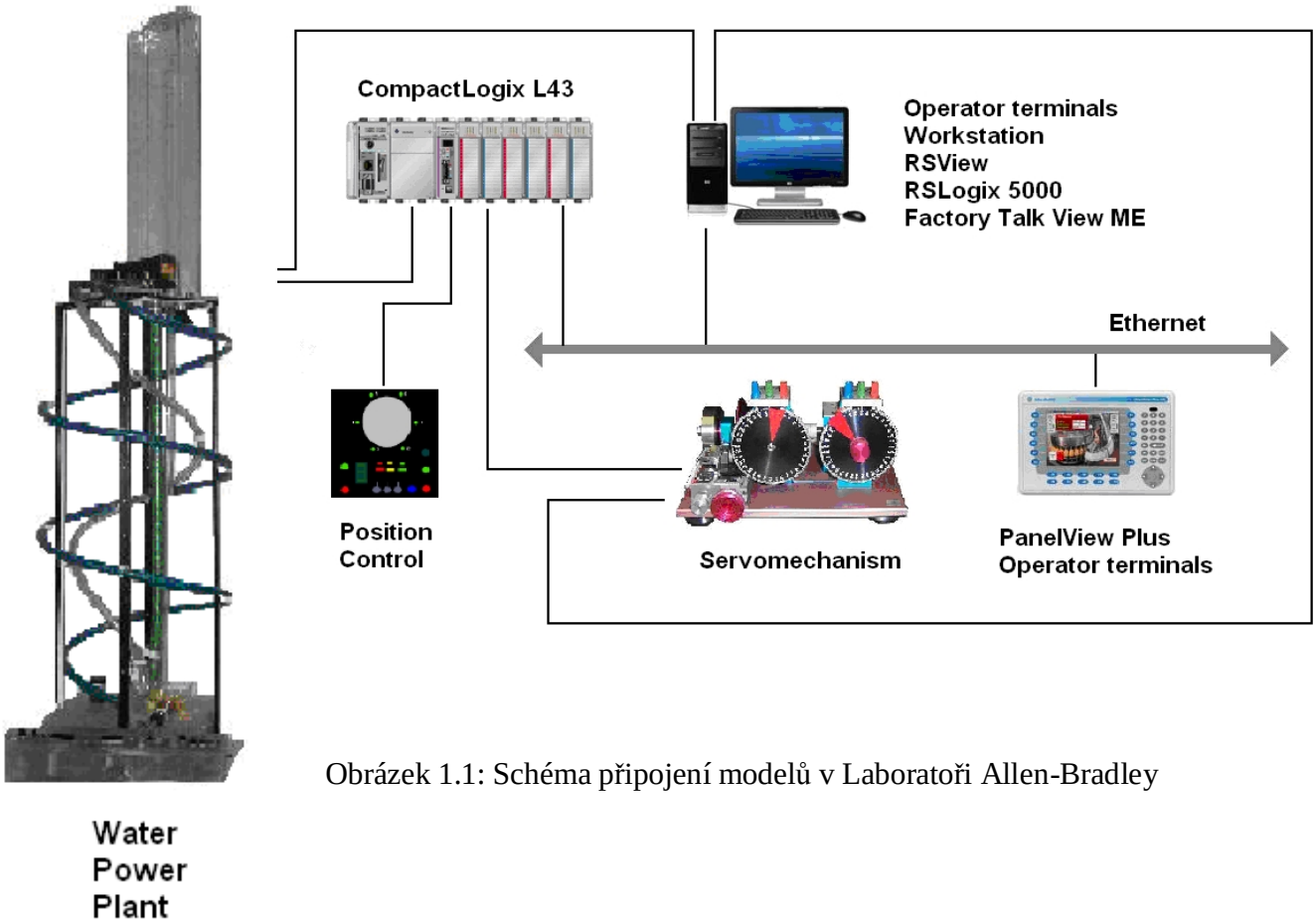
č.1 Literatura..... - 45 -

č.2 Seznam procesních proměnných ..... - 46 -

č.3 Obsah CD..... - 49 -

1. Úvod

Cílem diplomové práce bylo řízení rekonstruovaného modelu vodní elektrárny s novou řídicí jednotkou. Model bylo již možné řídit pomocí počítače v prostředí Simulink výpočetního nástroje Matlab. Součástí práce bylo připojení modelu vodní elektrárny k programovatelnému automatu firmy Rockwell Automation (Allen-Bradley) CompactLogix se vstupy a výstupy Compact I/O s procesorem 1768-L43 a následné řízení tohoto modelu společně se zobrazováním průběhu řízení na panelu operátora PanelView Plus 700. Schéma propojení je patrné z Obr. 1.1. Práce má tři základní části: připojení modelu k programovatelnému automatu, řízení modelu vodní elektrárny a vizualizace pomocí nástroje PanelView. Součástí práce bylo také připojení modelu servomechanismu a rekonstrukce a připojení polohovacího přípravku. V závěru této práce jsou uvedeny příklady zdrojových kódů s různou obtížností. Tyto příklady budou sloužit jako podpora při výuce předmětů v laboratoři Allen-Bradley na katedře řídicí techniky ČVUT FEL.



Obrázek 1.1: Schéma připojení modelů v Laboratoři Allen-Bradley

2. Programovatelný automat

Programovatelný automat označovaný zkratkou PLC (Programmable Logic Controller), která je pro modernější typy automatů nahrazována za novější PAC (Programmable Automation Controller), je průmyslový automat určený k řízení v reálném čase. Periferie automatu jsou uzpůsobeny pro napojení na technologické procesy, tím je umožněno rychlejší nasazování řídicí techniky a tedy automatizování procesů. Původní PLC byly konstruovány pouze s lokálními vstupy a výstupy s omezenými možnostmi komunikace. Pomocí těchto automatů bylo možné řídit jen procesy s binárními vstupy a výstupy, tedy pouze diskrétní úlohy. Což omezovalo jejich použití při řízení složitějších systémů.

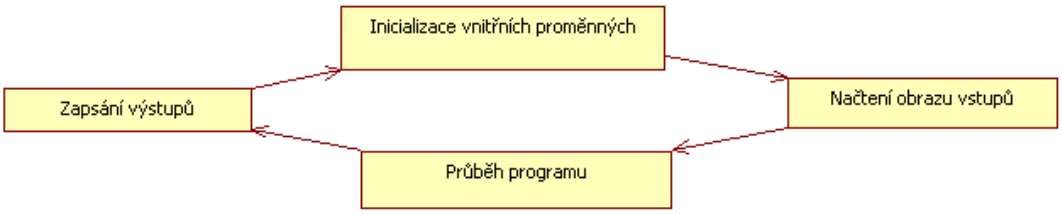
Vzhledem k rozvoji polovodičových prvků mohly být digitální vstupy a výstupy doplněny o další typy vstupů a výstupů. Nyní je tedy možné využít programovatelné automaty například ke spojitému řízení, řízení přes internet s využitím webového modulu, vlastní diagnostice, archivaci naměřených dat, řízení pomocí regulátoru PID atd.

Programovatelné automaty rozdělujeme na dvě skupiny - *kompaktní* a *modulární*. Kompaktní systém je zařízení, které v sobě obsahuje CPU (Central Procesor Unit), vstupy, výstupy a základní podporu komunikace. Rozšiřitelnost těchto systémů je omezena. Oproti tomu modulární systém můžeme sestavit pouze z potřebných I/O a speciálních modulů, tyto moduly jsou zpravidla umístěny na DIN liště. Modulární systém je možné dále rozšiřovat, tím je umožněno sestavení automatu, který bude obsahovat pouze komponenty potřebné k řízení daného projektu.

Centrální procesorová jednotka je jádrem programovatelného automatu určujícím jeho výkonnost, každý programovatelný automat má jeden hlavní procesor, ve kterém se zpracovává hlavní program. Pokud se jedná o víceprocesorovou jednotku, další procesory jsou hlavnímu podřízené a starají se o komunikaci po vnitřní sběrnici, vstup, a výstupy nebo například o matematické výpočty. Na rychlosti a počtu procesorů pak závisí vlastní výkonnost systému, která rozhoduje o době délky trvání cyklu.

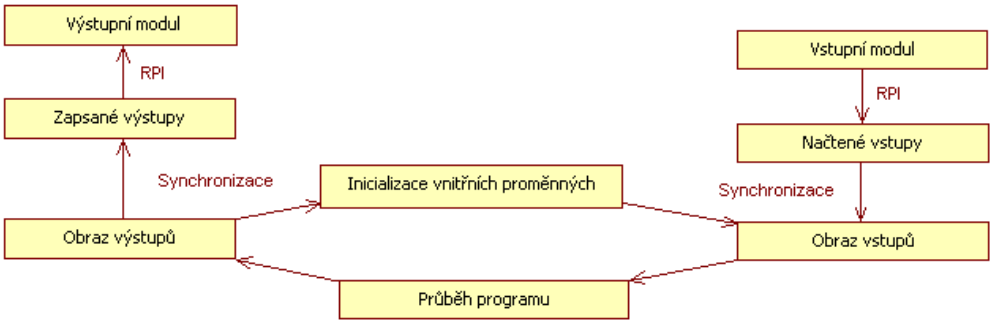
2.1. PLC, PAC princip funkce

Činnost PLC většinou probíhá v cyklech viz Obr. 2.1. V první fázi nastává nejprve čtení vstupů a ve druhé fázi je zpracováván vlastní program. Ve třetí části cyklu jsou vypočtené výstupy vyslány na výstup. Ve zbytku cyklu probíhá režie systému (aktualizace systémových proměnných) a komunikace. Mezi PLC řadíme například automaty řady SLC 500, MicroLogix 1764, PLC 5 nebo Simatic S7-300**.** Tyto automaty nabízejí také možnost opustit průběh cyklu jednoduchým přerušením.



Obrázek 2.1 Cyklus PLC

U PAC není toto schéma většinou přesně dodrženo. Vzhledem k možnosti běhu více úloh jsou vstupy a výstupy zapisovány cyklicky s volitelnou periodou v řádech jednotek až stovek ms. Dvouprocesorové automaty umožňují řízení multiúlohových systémů, spouštění periodických úloh (např. pro PID instrukce), úloh vyvolaných událostmi, běh kontinuálních úloh. Pokud je nutné zajistit synchronizaci vstupních a výstupních dat, je nutné upravit program, aby pracoval jako na Obr. 2.2. Načtená data jsou na začátku každé úlohy kopírována do jiné části paměti kde během výpočtu nemůže dojít k jejich změně. Obdobně výstupy jsou z pomocné paměti kopírovány do výstupů až na konci zpracování úlohy. Mezi automaty PAC patří např. ControlLogix 1756 a zde použitý CompactLogix 1768.



Obrázek 2.2 Struktura činnosti automatu

2.2. Compactlogix 1768-L43

Nový řídicí systém Allen-Bradley CompactLogix L43 nabízí rozšířenou škálovatelnost a integrované schopnosti řízení pohybu. Jelikož řídicí systém CompactLogix L43 dokáže řídit až šestnáct os pomocí měničů frekvence, je ideální pro výrobce strojů pro malé až středně velké aplikace. Řídicí systém L43 je nadstavbou platformy Logix Control Platform, která těmto malým aplikacím, řízeným systémem CompactLogix L43, přinesla integrované schopnosti pro pohyb a distribuované řízení v rozsáhlých aplikacích.

ControlLogix umožňuje souběžné zpracovávání více úloh. 1768-L43 podporuje ucelenou řadu sítí DeviceNet, ControlNet a Ethernet/IP, tím je umožněn plynulý tok informací od malých aplikací, až po řízení celých podniků. U této platformy již není potřebná baterie. Pro zálohování programu v RAM paměti, což usnadňuje údržbu.

Obr.2.3: Řídicí jednotka CompactLogix 1768-L43

Do modulu lze zasunout paměťovou kartu CompactFlash, na kterou je možné ukládat programy nebo firmware. Projekty se archivují v paměti, odkud je možné je přenést do jiného programovatelného automatu. CompactLogix má stejné jádro typu Logix a stejné algoritmy řízení pohybu, síťovou technologii a komunikační služby jako řídicí jednotky Allen-Bradley ControlLogix a SoftLogix.

CompactLogix podporuje 38 začleněných pohybových instrukcí a předem nastavených parametrů řízení pohybu, které jsou také u řídicích jednotek ControlLogix. Je zde také používán programovací software RSLogix 5000, takže je možné přecházet s totožnou aplikací mezi jednotlivými typy řídicích jednotek Logix bez nutnosti dalšího upravování kódu.

2.3. Moduly I/O

U modulárních programovatelných automatů je, jak již bylo výše zmíněno, možné rozšíření PLC díky takzvaným modulům. Každý určitý model nějakým způsobem rozšiřuje využitelnost programovatelného automatu a je tak možné sestavit optimální automat pro danou technologii. V Tab. 2.1 je vypsán seznam všech vstupních a výstupních modulů připojených ke kontroléru CompactLogix 1768-L43.

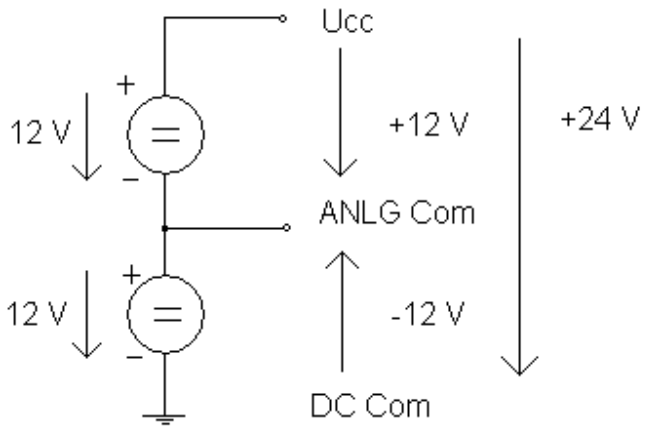
Nové moduly, které dokáží provádět aktualizaci vstupů/výstupů na pozadí během jedné milisekundy, jsou kompatibilní s řídicími jednotkami Allen-Bradley CompactLogix a vyznačují se patentovanou konstrukcí, která nevyžaduje instalaci do přístrojového šasí. Všechny nové moduly řady Compact I/O se vyznačují unikátní konstrukcí typu pero-drážka, která umožňuje jejich vzájemné spojování se zajištěním polohy. Tím je dosaženo takového stupně modularity, který uživatelům umožňuje vytváření a přizpůsobování různých sestav tvořených až 30-ti moduly řady Compact I/O. Toto konstrukční řešení rovněž znamená, že I/O moduly je možno instalovat do panelu pomocí dvou montážních šroubů nebo pomocí kolejnice na DIN lištu.

Moduly řady Compact I/O umožňují čelní vyjímání a zasouvání, které zkracuje dobu potřebnou pro počáteční sestavení systému, a vyznačuje se vysokou hustotou uspořádání I/O svorek, které snižuje požadavky na prostor v panelu. Každý I/O modul lze individuálně vyjímat z jeho umístění za účelem výměny, která se provádí, včetně unikátní vestavěné vyjímatelné svorkovnice opatřené bezpečnostním krytem a určené k připojování I/O snímačů a akčních členů.

Programovatelný automat je navíc osazen dvěma komunikačními moduly, jsou to moduly pro komunikaci přes Ethernet/IP a DeviceNet.

Napájení výstupních modulů a panelu operátora je zajištěno dvěma 12-ti voltovými zdroji napětí XP PLC model: AED36US12 (viz Obr. 2.4). Aby bylo možné ovládat motorek polohovacího přípravku v obou směrech, je analogová zem (*ANLG Com*) v místě propojení zdrojů.

Pozor: spojením analogové a digitální země (*DC Com*) se zkratuje spodní zdroj. Proto jsou moduly napájeny podle Tab. 2.1.



Obrázek 2.4: Propojení napájecích zdrojů

Slot	0	1	2	3	4	5
CompactLogix	1769-HSC	1769-IQ16	1796-OB16	1769-IF8	1769-OF8V	1769-IQ6XOW4
Kladná svorka napájení modulu	vlastní	-	Ucc	-	vlastní	Ucc
Záporná svorka napájení modulu	vlastní	DC Com	DC Com	ANLG Com	DC NEUT nezapojen	ANLG Com

Tabulka 2.1: Osazení rámu včetně napájení

- 1769-HSC High speed counter
- 1769-IQ16 Digital Input
- 1769-OB16 Digital Output
- 1769-IF8 Analog Input
- 1769-OF8V Analog Output
- 1769-IQ6XOW4 Relay IN/OUT

2.3.1. Digitální vstupy

Obecně vstupní moduly slouží u programovatelného automatu k tomu, aby mohl program reagovat na změny v řízeném procesu. Jsou řešeny tak, aby bez jakéhokoliv úpravy bylo možné připojit libovolný průmyslový vstupní signál. Vstupní signály jsou filtrovány, tím se např. omezí vliv odskočení kontaktu nebo šumu. Optickými členy jsou logické obvody galvanicky odděleny a chráněny proti jejich zničení v důsledku nežádoucích přechodových jevů. Signalizace stavu vstupů je provedena až po průchodu signálu přes vstupní logiku a ochrany oranžovou diodou.

Jsou určeny pro přijímání signálů o pouze dvou úrovních napětí. Těmito vstupy je tedy možné diagnostikovat například zapnutí či vypnutí přístroje, impulsní snímání otáček, či jakékoliv čítání impulsů s délkou větší než 2 ms. Modul má označení 1769-IQ16 DC a jedná se o vstupní jednotka typu sink/source 16 × 24 V, rozdělených na dvě skupiny po osmi. V naší aplikaci byla zvolena orientace sink, tj. společná svorka je připojena k mínus pólu externího stejnosměrného zdroje.

2.3.2. Analogové vstupy

Slouží například pro připojení signálů od snímačů tlaku, teploty, průtoku nebo rychlosti. Důležitou součástí je A/D převodník. Speciální typy jsou určeny pro termočlánky nebo odporové teploměry. Modul připojený ke kontroléru má označení 1769-IF8 a obsahuje 8 analogových vstupů, programově konfigurovatelných. Každý vstup má jak proudovou, tak napěťovou svorku.

2.3.3. Digitální výstupy

Logickými obvody je zpracována hodnota výstupního signálu. Výstupní indikátor zobrazuje stav výchozího signálu. Optická jednotka izoluje vnitřní logiku od napájení a výstupní driver připojujeí požadované napětí na výstupní svorky modulu. Tento druh výstupů je opět dvoustavový, takže s jeho pomocí můžeme ovládat například semafory, vypínače nebo digitální ventily. Modul digitálních výstupů připojený na vnitřní sběrnici má označení 1769-OB16 DC, jedná se o 16-ti kanálovou výstupní jednotku typu source 24 V s proudovou zatížitelností až 1 A.

2.3.4. Analogové výstupy

Pomocí analogových výstupů můžeme řídit jakýkoliv akční člen spojitým signálem. Například servopohony, proporcionální ventily, atd. U tohoto druhu výstupů je opět nutný D/A převodník. Analogové výstupy rozdělujeme na napěťové a proudové, které ještě dále dělíme na aktivní (napájeny přímo z automatu) a pasivní (musí mít vlastní zdroj proudu). Použitý analogový modul má označení 1769-OF8V a jedná se o osmi kanálovou výstupní jednotku.

2.3.5. Čítačové moduly

Tento modul slouží k přijímání rychlých vstupních signálů („obyčejný“ digitální vstupní modul by signály ignoroval jako šum). Dokáže načítat signály o různých velikostech a různé periodě. Námi použitý modul má označení 1769-HSC a dokáže čítat do frekvence 1 MHz.

2.3.6. Speciální moduly

Pro řízení technologického procesu nemusí stačit pouze výše zmíněné moduly. Proto tato další skupina zahrnuje takové technologie, které dokáží specificky pracovat s potřebnými druhy signálů a jejich nahrazení v programu by bylo zbytečně komplikované. Existuje mnoho nejrůznějších druhů těchto speciálních modulů, mezi ně například patří moduly pro snímání pneumatických výstupů, moduly pro CCD kamery, moduly pro fuzzy logiku a fuzzy regulaci.

Mezi speciální moduly lze zařadit i kombinovaný vstupně výstupní modul 1769-IQ6XOW4, který má 8 stejnosměrných vstupů typu sink/source a zároveň čtyři reléové výstupy do 2,5 A.

2.3.7. Komunikační moduly

Díky těmto modulům je umožněno vytváření distribuovaných řídicích systémů. Moduly slouží pro komunikaci s podřízenými, souřadnými i nadřízenými systémy. Jsou to například komunikace se vzdálenými moduly vstupů a výstupů, operátorskými panely, inteligentní senzory, dalšími PLC a PC. K vnitřní sběrnici jsou jak již bylo napsáno, připojeny dva komunikační moduly, a to moduly pro komunikaci přes Ethernet a DeviceNet.

2.3.8. Modul ukončující sběrnici

Modul 1769-ECR zakončuje sběrnici Compact I/O. Toto zakončení musí být nainstalováno na poslední rozšiřující kartu.

2.4. Sběrnice

Sběrnice je skupina signálových vodičů, rozdělitelná na skupiny řídicích, adresových a datových vodičů v případě paralelní sběrnice nebo sdílení dat a řízení na společném vodiči (nebo vodičích) u sériových sběrnic. Sběrnice má za účel zajistit přenos dat a řídicích povelů mezi dvěma a více elektronickými zařízeními. Přenos dat na sběrnici se řídí stanoveným protokolem.

V případě modulární architektury elektronického zařízení nebo počítače je sběrnice po mechanické stránce vybavena konektory uzpůsobenými pro připojení modulů.

2.4.1. Vnitřní sběrnice ControlBus

Sběrnicový systém ControlBus využívá modelu producent-konzument při přístupu k modulům. Architektura sběrnice vychází ze sítě ControlNet. Obě tyto průmyslové sítě provádějí požadavky na komunikaci periodickým koordinovaným přístupem každého ze zařízení ke sběrnici metodou CTDMA (Concurrent Time Domain Multiple Access). Každý z modulů má ke sběrnici rovnocenný přístup bez ohledu na to zda jde o procesor či I/O modul. Jde o paralelní sběrnici, kde jsou namísto stanic (uzlů - nódů) sítě připojeny moduly, zasunuté do šasi.

U používaného PAC se nejedná o plnohodnotnou sběrnici ControlBus, ale o sběrnici Compact I/O, která je díky nižšímu počtu pinů pomalejší, na tuto sběrnici je možné napojit I/O moduly směrem doprava od kontroléru. Rychlejší sběrnice je u tohoto typu kontroléru umístěna směrem doleva, kam lze umístit komunikační modul (např. Ethernet IP) nebo speciální modul pro řízení pohybu. Ten pak může přes optickou sběrnici Sercos ovládat až čtyři servoosy.

2.4.2. Vnější sběrnice

ControlNet

Je vhodný pro aplikace vyžadující nepřetržité řízení a monitorování, nebo pro aplikace používající velké množství vzdálených vstupů a výstupů. Jedná se o novou generaci datové sítě, je produktem firmy Rockwell Automation. Tato síť má přenosovou rychlost 5 Mb/s a umožňuje zasílat časově kritická data deterministicky a opakovaně. Chod sítě není ovlivněn změnou počtu připojených zařízení. ControlNet umožňuje určit časový okamžik, kdy byla data odeslána a tento okamžik se nemění při připojování a odpojování zařízení. Sběrnice má patentovanou metodu přístupu, která podporuje deterministický přenos časově kritických vstupních a výstupních dat. Datům, jako například programovým příkazům, je přidělena nižší priorita (nemohou proto narušit přenos časově kritických dat). Četnost přenosu dat jednotlivých uzlů nebo vstupních a výstupních modulů je nastavitelná uživatelem. Díky pokrokovému přístupu producent/konzument, může být každý uzel producent, konzument, nebo obojí. Časově kritická data jsou přenášena vysokorychlostním spojením, ostatní pomocí klient-server. Jeden uzel vysílá data, která mohou být přečtena ve více uzlech, což je efektivnější než například již zmíněný master-slave (je komunikace pouze mezi dvěma uzly z nichž jeden je nadřízený tomu druhému).

DeviceNet

DeviceNet je standardní otevřená síť založená na komunikačním protokolu CAN (Controller Area Network), což garantuje vysokou spolehlivost sítě. Spolehlivost je zajištěna vysokou odolností proti rušení a dostupností integrovaných obvodů, které jsou vyráběny řadou celosvětových výrobců (Motorola, Intel, Siemens, atd.). CAN byl původně vyvinut pro automobilový průmysl. Jedná se o protokol umožňující přenos dat na nejnižší úrovni snímačů a akčních členů. V případě poruchy umožňuje snadnou diagnostiku a možnost výměny vadného zařízení za provozu.

Při použití sítě DeviceNet získáme cenově příznivé řešení pro připojení jednotlivých zařízení k síti, možnost využití celé řady inteligentních zařízení od mnoha dodavatelů a rozšíření komunikační schopnosti o Master/Slave a Peer-to-Peer (P2P nebo klient-klient je označení architektury počítačových sítí, ve které spolu komunikují přímo jednotliví klienti). DeviceNet byla vytvořena tak, aby umožňovala dvě základní funkce. Přenos dat v reálném čase, orientovaný na řízení použitím I/O zpráv, a přenos informací nižší priority (například parametry konfigurace zařízení) použitím explicitních zpráv.

Ethernet/IP

Ethernet/IP (Ethernet Industrial Protocol) vznikl ve snaze využít sítě Ethernet v řídicí technice. Je to jeden z široce používaných standardů v průmyslových aplikacích, který je stoprocentně kompatibilní s Ethernetem TCP/IP podle normy IEEE 802.3. Využívá neupravené vrstvy komunikačního modelu od fyzické až po aplikační vrstvu. Hlavní výhodou je možnost využití standardních technických a programových prostředků Ethernetu pro konfigurování a ovládání automatizačních prostředků.

Časově nekritická data jsou uspořádána do dlouhých packetů a jsou odesílána mezi dvěma stanicemi s využitím protokolu TCP/IP. Oproti tomu časově kritické zprávy jsou zasílány přes protokol UDP/IP. Spojením těchto dvou protokolů vznikl jeden, který oba zastřešuje, je to protokol CIP (Common Industrial Protocol).

Hlavní přednosti sítě Ethernet/IP spočívají v uceleném systému přenosu dat systémem producent-konzument, koexistence s dalšími úlohami řešenými v síti Ethernet a využití možnosti použít standardní síťové komponenty pro rychlosti 10 Mb/s, 100 Mb/s a 1 Gb/s.

DeviceNet, ControlNet a Ethernet/IP využívají stejných knihoven, takže jednotná aplikační vrstva umožňuje propojení komunikační struktury přes různé sítě jednotným protokolem CIP.

2.5. Software

2.5.1. RSLinx

RSLinx je kompletní komunikační server poskytující připojení pro širokou škálu aplikací Rockwell Software jako RSLogix 5/500/5000, RSView 32, FactoryTalk View Site Edition a FactoryTalk Transaction Manager s procesory Logix. Pracuje tedy s fyzickými kartami a porty. Obsahuje drivery pro práci s programovatelnými automaty, drivery pro práci s kartami u PC a panely operátora Panel View. RSLinx může podporovat více aplikací současně, může tedy komunikovat s různými zařízeními na mnoha různých sítích. Patří zároveň mezi nejoptimálnější OPC a DDE servery pro řídicí techniku. Užívá se tedy k nahrávání programů do automatu, nahrávání z automatu, simulacím v emulátoru, nebo nahrávání vizualizací do panelu operátora.

2.5.2. RSLogix 5000

RSLogix 5000 Enterprice je vývojový software určený pro práci s platformami Logix firmy Rockwell Automation: ControlLogix, CompactLogix, FlexLogix, SoftLogix 5800 a DriveLogix. V programu RSLogix 5000 je možné vyvíjet software v různých režimech, které je možné navzájem kombinovat. RSLogix podporuje programování ve strukturovaném textu, reléové žebříčkové schéma *LD* (ladder diagram), funkční bloková schémata *FBD* (Function Block Diagram), funkce a sekvenční diagramy. Je také možné přeložení programů ze starších verzí určených například pro SLC 500 nebo PLC 5.

2.5.3. RSView SE

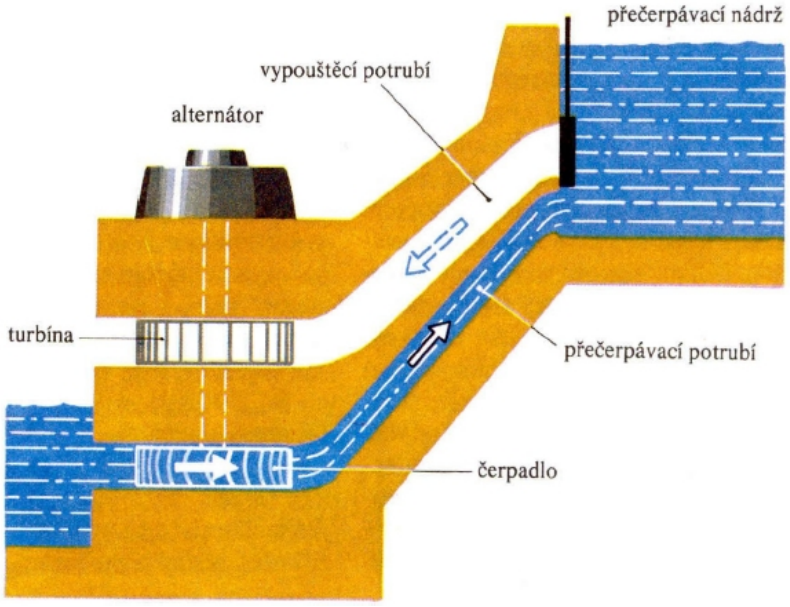
RSView SE je vizualizační software, který komunikuje s RSLinx přes Advanced DDE. Obsahuje již rozsáhlou knihovnu, v které se nachází mnoho objektů zobrazujících vypínače, motory a mnoho dalších v průmyslu používaných zařízení. Tyto objekty jsou napojeny na nódy určující adresu portů vstupu či výstupu, díky tomu je při spuštění vizualizace možné na počítači sledovat průběh technologického procesu. Pro tuto práci byl použit vizualizační nástroj FactoryTalkView Studio-Machine Edition, který umožňuje tvorbu runtime vizualizací.

3. Modely

Modely jsou umístěny v laboratoři Allen-Bradley, kde slouží zde pro podporu výuky předmětů teorie řízení a programovatelných automatů na katedře řízení techniky.

3.1. Vodní elektrárna

V České republice jsou realizovány tři přečerpávací vodní elektrárny, a to Vodní dílo Dalešice, Dlouhé stráně a Vodní elektrárna Štěchovice. Tyto elektrárny společně s vodními elektrárnami obecně patří do skupiny špičkových zdrojů energie. Špičkové zdroje energie jsou určeny k pokrytí poptávky v různých fázích dne, kdy se odběr elektrické energie mění. Přečerpávací vodní elektrárna se skládá ze dvou nádrží spojené spádovým potrubím. Přes noc je pomocí energie z elektrorozvodné sítě voda z dolní nádrže přečerpávána do horní, v noci se tedy elektrárna chová jako spotřebič. Pokud vznikne v elektrorozvodné síti nedostatek energie přes den, je voda z horní nádrže řízeně pouštěna přes turbínu do dolní nádrže a energii začne dodávat (stane se zdrojem). V prvních přečerpávacích elektrárnách byly dva okruhy, jeden pro čerpání energie (čerpadlo + elektromotor) a druhý pro její výrobu (turbína + alternátor). Ve dnešních přečerpávacích elektrárnách je okruh pouze jeden a to alternátor s turbínou, pro čerpání vody je nutno přepnout alternátor, aby pracoval jako synchronní elektromotor a turbína se změní na čerpadlo. Pro změnu funkce přečerpávací elektrárny postačí jen několik málo minut. Účinnost elektrárny tohoto typu se pohybuje okolo 80% bez přihlédnutí k tomu, že veškerá voda se musí nejdříve načerpat.



Obrázek 3.1: Schéma přepouštěcí elektrárny

3.1.1. Popis modelu

Model vodní elektrárny napodobuje princip přepouštěcí elektrárny, ale jeho hlavním úkolem je simulovat proměnné dopravní zpoždění. Dopravní zpoždění je ovlivněno výškou hladiny a průtočnou plochou ventilů.

Jak je patrné z funkce přečerpávací elektrárny, je model tvořen dvěma plastikovými nádržemi viz Obr. 3.2. Pomocí odstředivého čerpadla je voda pumpována ze spodní nádrže do horní přímým přívodním potrubím. Hladina kapaliny v horní nádrži je snímána tlakovým senzorem výšky hladiny, který je umístěn na dně zásobníku. Model obsahuje dvě spádová potrubí o rozdílné délce, voda je odpouštěna přes čtyři ventily. Dva z těchto ventilů jsou proporcionální PV (umožňující plynulou regulaci průtoku) a dva ventily jsou digitálními DV (pracující pouze v režimu otevřeno/zavřeno). Dvojice digitálního a proporcionálního ventilu jsou napojeny každá na jedno spádové potrubí přivádějící kapalinu na lopatky Peltonovy turbíny. Na průhledné potrubí, které simuluje spád vrchní vody, jsou připojeny ventily s označením PV2 a DV2. K potrubí modré barvy, které odpovídá spíše proudění spodní vody, jsou připojeny ventily PV1 a DV1. Účinnost turbíny je pro spodní vodu mnohem menší než pro vrchní vodu, přibližně 30% ku 70%. Délka dopravního zpoždění je tím kratší, čím je vyšší úroveň hladiny a velikost průtočné plochy ventilů.

Otáčky turbíny jsou měřeny tachodynamem. Model je schopen pracovat ve třech režimech řízení (ruční ovládání, řízení pomocí počítače s programem Matlab a Real Time Toolboxem nebo pomocí programovatelného automatu).

Obrázek 3.2: Model vodní elektrárny

3.1.2. Čerpadlo

Použité odstředivé čerpadlo se v závislosti na vstupním napětí chová jako zdroj tlaku. Vzhledem k tomu, že kapalina načerpaná pomocí čerpadla je ve vodním sloupci nad čerpadlem, dochází pro konstantní napětí k ustálení výšky hladiny i bez odběru. Výška hladiny v horní nádrži je kvadraticky úměrná napájecímu napětí čerpadla. Pokud výška hladiny v horní nádrži překročí hranici 75 cm (~ 8 V napájení při uzavřených ventilech) začne kapalina volně přetékat zpět do spodní nádrže přepadem, který vytváří přirozené odsávání vody. Rozsah řídicího napětí čerpadla je 0-10 V, který je pro účely vizualizace přepočten na 0-100%.

Obrázek 3.3: Čerpadlo

3.1.3. Snímač výšky hladiny

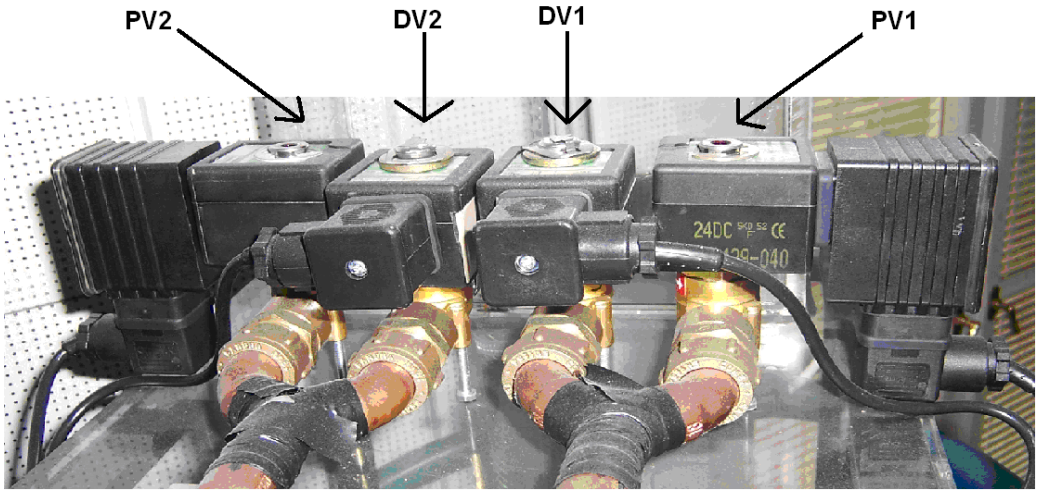
Snímač je zabudován do dna horní nádrže, jak již bylo zmíněno, jedná se o tlakový snímač, jehož výstupní signál je přímoúměrný výšce hladiny. Jako snímač výšky hladiny je použita vestavěná sonda LMP 331 s tlakovým čidlem DSP 401. Snímaný signál je v rozsahu 0-10 V, který je přepočtený pro účely vizualizace na skutečnou hodnotu výšky hladiny 0-750 mm.

Obrázek 3.4: Senzor výšky hladiny

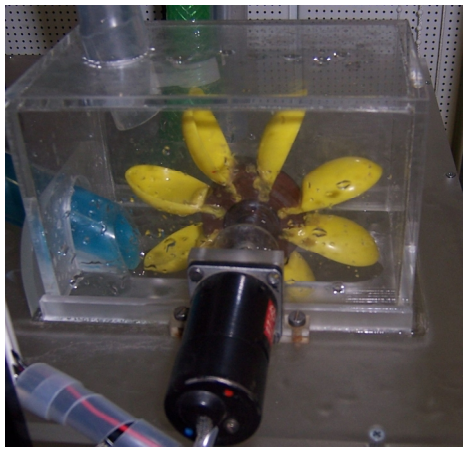
3.1.4. Ventily

Ventily jsou sdruženy tak, aby ke každé odtokové hadici byl připojen jeden proporcionální a jeden digitální ventil (viz Obr. 3.5). Proporcionální ventil je tvořen solenoidem s řídicí jednotkou, která zajišťuje postupné otevírání a zavírání ventilu. Při nulovém napájecím napětí je průtočný průřez minimální a naopak. Proto je pro uvedení modelu do klidového stavu (kapalina neproudí, ventily jsou zavřené) nutné přivést na jejich svorky nulové napájecí napětí. Digitální ventily pracují opačně, tak aby při nulovém napájecím napětí byly otevřené a umožnily

tak rychlejší odtok kapaliny z horního zásobníku, než je při samotném neběžícím čerpadlu. Digitální ventil obsahuje jednodušší řídicí jednotku a má pouze dva stavy (otevřeno a zavřeno). Řídicí signály jsou pro analogové ventily v rozsahu 0-10 V, které jsou dále přepočítávány pro účel vizualizace na 0-100%. Řídicí signál digitálních ventilů má rozsahy 0-12 V, ve vizualizaci má pak stavy 0 a 1.



Obrázek 3.5: Soustava ventilů



Obrázek 3.6: Soustava turbínka tachodynamo

3.1.5. Turbínka a tachodynamo

Turbínka konstrukčně připomíná Peltonovu turbínu, na její lopatky jsou přivedeny dvě přívodní hadice s různým spádem (viz Obr. 3.6). Tento druh turbíny je nejefektivnější při velkém tlaku přívodní kapaliny proudící tečně na obvod turbíny. U přečerpávacích elektráren je standardně používána Francisova turbína, která je určena pro střední a větší průtoky a spády. Třetím nejzákladnějším druhem je Kaplanova turbína, která je přetlaková axiální turbína. Kaplanova turbína je vhodná pro malé spády s proměnným velkým průtokem. Výstupní signál z generátoru je značně zašuměný a pohybuje se v rozsahu 0-10 V, dále přepočteno stejně jako u čerpadla.

3.1.6. Přívodní potrubí

Spádové potrubí je na modelu realizováno dvojicí hadic o různém sklonu a délce. Jedná se o soustavu s proměnným dopravním zpožděním, protože jeho velikost závisí na vstupní rychlosti vody do hadice. Ta je závislá na druhé odmocnině z výšky hladiny v horním zásobníku.

3.2. Matematický popis dopravního zpoždění

Výstupní rychlost kapaliny a vytékající množství kapaliny v závislosti na výšce hladiny je vidět ze vztahů

$$c_1(t) = m_1 \sqrt{2gH_v(t)} \qquad (1)$$
$$c_2(t) = m_2 \sqrt{2gH_v(t)}$$

$$q_1(t) = c_1(t) S_{v1} \qquad (2)$$
$$q_2(t) = c_2(t) S_{v2}$$

kde

c rychlost vytékající kapaliny přes dvojice ventilů [ms^{-1}]

$m_{1,2}$	ztrátový koeficient upravující rychlost průtoku kapaliny přes ventily [-]
g	gravitační zrychlení [ms^{-2}]
H_v	výška hladiny v horním zásobníku [m]
S_v	výtoková plocha ventilů [m^2]
q	množství odtékající kapaliny [m^3s^{-1}]

Množství kapaliny přitékající směrem od čerpadla je q_0, vzorec platí pouze pro $H_v \geq 0$

$$q_0 = S_p k_2 \sqrt{k_1 (u_1 - u_0)^2 - H_v} \tag{3}$$

kde

q_0	množství přitékající kapaliny do nádrže [m^3s^{-1}]
S_p	plocha průřezu přívodního potrubí [m^2]
u_1	napájecí napětí čerpadla [V]
u_0	napětí odpovídající nulové hladině kapaliny v nádrži [V]
k_1	konstanta čerpadla
k_2	konstanta přívodního potrubí

Diferenciální rovnice popisující výšku hladiny v horním zásobníku je zapsána ve vztahu

$$S_h \frac{dH_v(t)}{dt} = q_0(t) - q_1(t) - q_2(t) \tag{4}$$

kde

S_h	plocha hladiny v horním zásobníku [m^2]

Množství kapaliny vytékající z potrubí na lopatky turbínky lze vyjádřit ze vztahu

$$c_{12}(t) = a_1 T_{d1}(t) + c_1(t) \tag{5}$$

$$c_{22}(t) = a_2 T_{d2}(t) + c_2(t)$$

kde

a	zrychlení kapaliny [ms^{-2}]

Výpočet dopravního zpoždění je pak

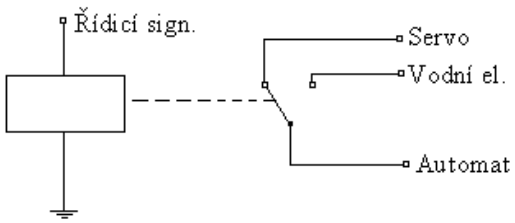
$$T_{d1}(t) = A_{p1}c_{12}^2(t) + B_{p1}c_{12}(t) + C_{p1} \qquad (6)$$
$$T_{d2}(t) = A_{p2}c_{22}^2(t) + B_{p2}c_{22}(t) + C_{p2}$$

kde

A, B, C	jsou konstanty závislosti dopravního zpoždění na vstupních vlastnostech vtékající kapaliny do potrubí v závislosti na sklonu a konstrukci odtokových potrubí [s^3m^{-2},s^2m^{-1},s]
T_d	dopravní zpoždění [s]

3.3. Připojení modelů

K programovatelnému automatu je připojen model vodní elektrárny, model servomechanismu a polohovací přípravek. Vzhledem k většímu počtu analogových vstupů u modelu vodní elektrárny, bylo zapotřebí umožnit přepínání mezi vstupy na základě řízení modelů. Přepnutí analogových vstupů je provedeno sepnutím relé, tak aby byly přednostně připojeny signály od servomechanismu viz Obr. 3.7.



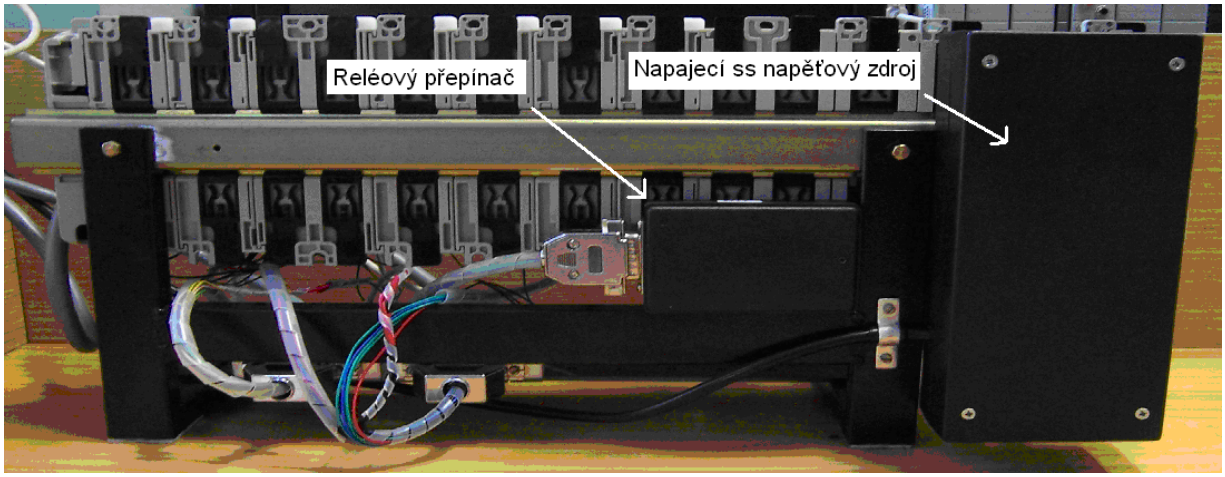
Obrázek 3.7: Propojení signálů

Přepínací obvod obsahuje dvě relé, která mohou dohromady přepínat čtyři páry kontaktů. Obvod je umístěn na zadní straně stojanu (viz Obr. 3.8). Při řízení vodní elektrárny, nebo polohovacího přípravku je třeba tyto vstupy přepnout přivedením logické jedničky na

adresu *Local.7.O.Data.3*, tato hodnota sepne reléový spínač a k automatu budou připojeny signály podle Tab. 3.1. V závorce je u každého signálu uvedeno číslo pinu konektoru, 15. adresa je zem připojená k ANLG Com.

Rele1,2(1,8)	Rele out1 (2)	Rele out2 (5)	Rele out3 (9)	Rele out4 (12)
0	Mdout (3)	PotP (6)	Msout (10)	PotD (13)
1	PV2s (4)	Cerpadlos (7)	PV1s (11)	Analog. výstup polohy (14)

Tabulka 3.1: Připojení signálů vodní elektrárny, servomechanismu nebo polohovacího přípravku



Obrázek 3.8: Rozmístění reléového přepínače a napájecího zdroje

3.3.1. Propojení signálů vodní elektrárny

Adresa I/O karty	Význam	PIN konektoru
Local:7:I.Data.3	A	16
Local:7:I.Data.4	B	15
Local:7:I.Data.0	ONs	17
Local:7:I.Data.1	DV1s	10
Local:7:I.Data.2	DV2s	11
Local:7:O.Data.0	ON	18
Local:7:O.Data.1	DV1	3
Local:7:O.Data.2	DV2	4
Local:7:O.Data.3	Rele1	-
Local:7:O.Data.3	Rele2	-
Local:5:I.Ch0Data	Hladina	6
Local:5:I.Ch1Data	Generator	7
Local:5:I.Ch2Data	Cerpadlos (rele 2 out)	12
Local:5:I.Ch3Data	PV1s (rele 3 out)	8
Local:5:I.Ch4Data	PV2s (rele 1 out)	9
Local:6:O.Ch0Data	Cerpadlo	5
Local:6:O.Ch1Data	PV2	2
Local:6:O.Ch2Data	PV1	1
ANLG Com	ANLG Com	14

Tabulka 3.2: Zapojení signálů vodní elektrárny

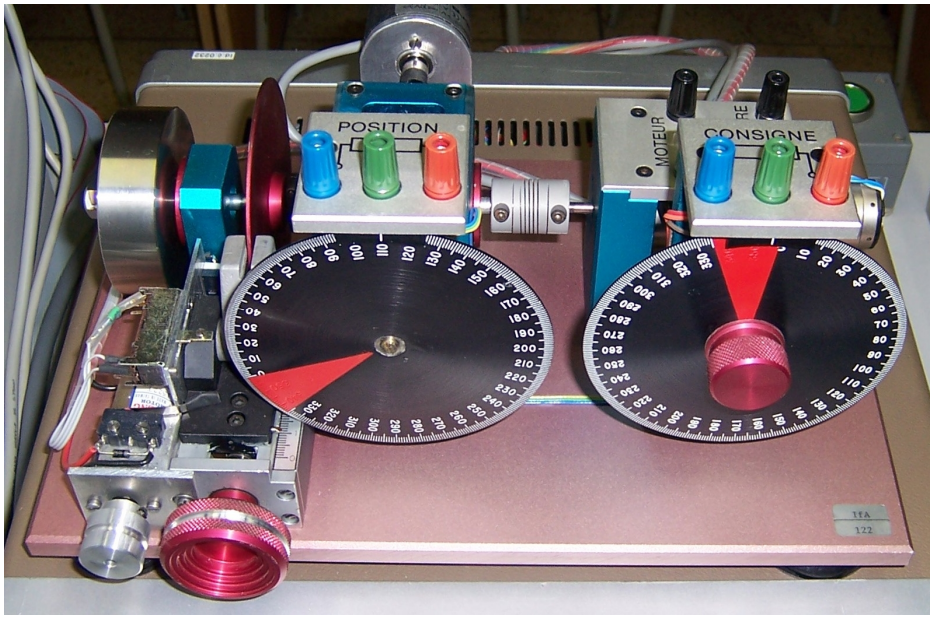
Signály s koncovkou s, např. DV1s , jsou určeny pro monitorování výstupních signálů při přechodech mezi režimy.

3.4. Servomotor

3.4.1. Popis modelu servomotoru

Při popisu modelu využívám citací z bakalářské práce Alexandra Cillera [1]. Jedná se o servomechanismus s proměnným magnetickým tlumením (viz Obr. 3.9). V pravé části modelu je umístěn motor s tachodynamem. Na hřídeli je pružná spojka, která spojuje pomocí převodovky (s převodem 1:60) rychlou a pomalou hřídel. Rychlá hřídel má na svém konci vyměnitelný disk, který je k dispozici v různých velikostech s různými momenty setrvačnosti. Model je též vybaven dvěma ukazateli ve formě rotujících číselníků. Ukazatel č.1 zobrazuje úhel

natočení pomalé hřídele a zároveň je spojen s potenciometrem s přerušením dráhy kolem polohy 0°, měřící v rozsahu od 0° do 360°, který je využit pro snímání výstupního úhlu natočení. Ukazatel č.2 slouží k zadávání požadovaného úhlu natočení, resp. otáček hřídele. Je využíván pro ruční řízení rychlosti a úhlu natočení servomechanismu. Magnetický disk, jež se nachází mezi zatěžovacím kotoučem a ložiskem, může být brzděn v nastavitelném rozmezí mezi 0 až 20 mm.



Obrázek 3.9: Servomechanismus

Adresa I/O karty	Význam	PIN konektoru
Local:2:I.InputStateA0-	A	21
Local:2:I.InputStateB0-	B	22
Local:2:I.InputStateZ0-	Z	23
HSC A0+	napájení	20
HSC B0+	napájení	20
HSC Z0+	napájení	20
Local:5:I.Ch7Data	TD	3
Local:5:I.Ch6Data	PotS	1
Local:5:I.Ch5Data	PotD (rele 4 out)	6
Local:5:I.Ch4Data	PotP (rele 2 out)	5
Local:5:I.Ch3Data	Msout (rele 3 out)	4
Local:5:I.Ch2Data	MDout (rele 1 out)	2
Local:6:O.Ch7Data	MSin	8
Local:6:O.Ch6Data	Mdin	9
Local:7:O.Data.5	Source	15
ANLG Com	ANLG Com	7,10,11

Tabulka 3.3: Zapojení signálů servomotoru

3.5. Polohovací zařízení

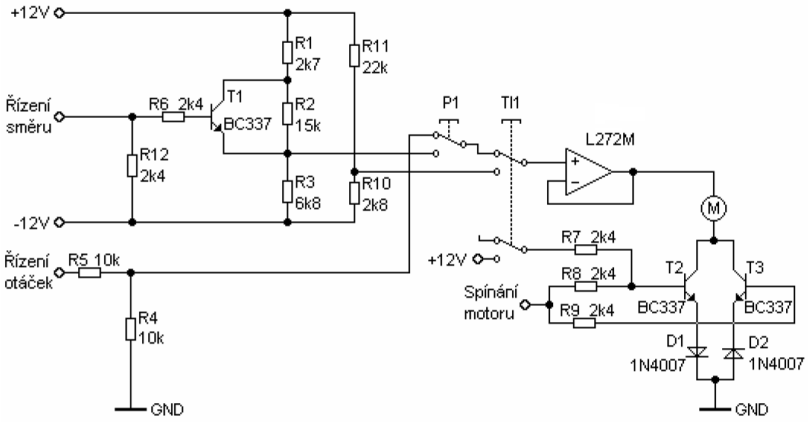
3.5.1. Popis modelu

Při popisu modelu využívám citací z diplomové práce Milana Karáska [2], kde je popsán návrh a realizace zapojení celého přípravku. Přípravek je vidět na Obr. 3.10. Hlavním prvkem polohovacího přípravku je otočný kotouček, který se může otáčet oběma směry. Poloha kotoučku je snímána šesti optickými závorami rozmístěnými po jeho obvodě. Optické závory TCST 2000 jsou složené z jedné infračervené LED diody a fototranzistoru. Na kotoučku je umístěna štěrbina, která představuje směr natočení. Při snímání optickou závorou se detekuje buď štěrbina, nebo clona. Zde byla vybrána detekce štěrbinou, která je úspornější z hlediska proudového odběru. Při průchodu štěrbiny přes optickou závoru je na příslušný výstup přípravku odeslána logická jednička a rozsvítí se indikační LED dioda příslušné pozice. Chod motorku je řízen dvěma digitálními signály. Jeden je určen k řízení směru otáčení, druhý spouští a vypíná motor. Model obsahuje sadu tlačítek a přepínačů, jejichž prostřednictvím se ovládá řídicí program v automatu. Je možno zvolit jeden ze tří způsobů řízení:

- zadat požadovanou polohu
- spustit a zastavit řízení
- simulovat poruchu.

Pro účely ladění řídicích algoritmů je možno spustit pohon kotoučku i přímo na modelu a to nezávisle na řídicím automatu. Proto, aby byl automat schopen i bez modulů rychlých vstupů registrovat změny výstupů ze senzorů, je rychlost otáčení kotoučku menší než jedna otáčka za sekundu. Přepínač P1 volí mezi digitálním řízením směru otáčení a analogovým řízením otáček motoru. Tlačítko Tl1 spouští chod motorku nezávisle na automatu. K realizaci monitorovacího signálu byl použit obvod L272M, který obsahuje dva výkonové operační zesilovače, schopné dodat proud až 1 A. Tento obvod vydrží i případné napěťové špičky generované stejnosměrným motorkem při jeho spínání.

Obrázek 3.10: Polohovací přípravek



Obrázek 3.11: Vnitřní zapojení obvodu řízení polohovacího zařízení

3.5.2. Připojení signálů polohovacího přípravku

Adresa I/O karty	Význam
Local:1:I.Data.0	červené tlačítko Stop
Local:1:I.Data.1	zelené tlačítko Start
Local:1:I.Data.2	zelené tlačítko Program
Local:1:I.Data.3	žluté tlačítko Manual
Local:1:I.Data.4	červené tlačítko Servis
Local:3:I.Data.5	bitový přepínač
Local:3:I.Data.6	bitový přepínač
Local:3:I.Data.7	bitový přepínač
Local:3:I.Data.8	modré tlačítko
Local:3:I.Data.9	výstup ze senzoru, poz. 1
Local:3:I.Data.10	výstup ze senzoru, poz. 2
Local:3:I.Data.11	výstup ze senzoru, poz. 3
Local:3:I.Data.12	výstup ze senzoru, poz. 4
Local:3:I.Data.13	výstup ze senzoru, poz. 5
Local:3:I.Data.14	výstup ze senzoru, poz. 6
Local:3:I.Data.15	volné tlačítko
Local:4:O.Data.0	chod motoru
Local:4:O.Data.1	směr otáčení motoru
Local:4:O.Data.2	zelené LED Program
Local:4:O.Data.3	žlutá LED Manual
Local:4:O.Data.4	červená LED Servis
Local:4:O.Data.5	displej segment a
Local:4:O.Data.6	displej segment b
Local:4:O.Data.7	displej segment c
Local:4:O.Data.8	displej segment d
Local:4:O.Data.9	displej segment e
Local:4:O.Data.10	displej segment f
Local:4:O.Data.11	displej segment g
Local:4:O.Data.12	displej segment h
Local:4:O.Data.13	zelená LED
Local:4:O.Data.14	červená LED
Local:5:I.CH5Data (rele 4 out)	analogový výstup polohy
Local:6:O.CH2Data	analogové řízení otáček
GND	GND

Tabulka 3.4: Zapojení signálů polohovací přípravek

4. Řízení a Vizualizace modelu vodní el.

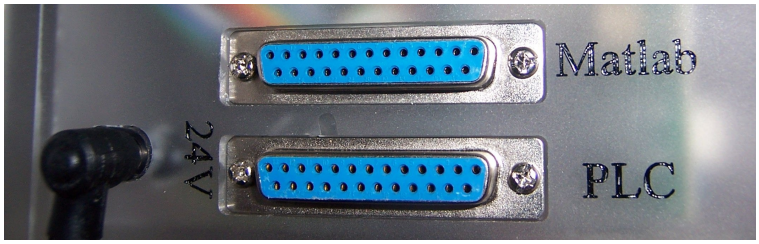
4.1. Režimy chodu modelu

Řídicí deska, která je v tomto modelu použita, byla původně navržena pro aplikaci spojených nádrží. Po připojení na napájení se řídicí deska nachází v pohotovostním stavu (nereaguje na vstupní signály, ani žádné nevysílá) a očekává příchod signálu *ON*. Po příchodu signálu *ON* přechází model do jednoho ze tří základních stavů:

- *Manuální řízení,*
- *Řízení pomocí PC s programem Matlab,*
- *Řízení programovatelným automatem.*

- *Ruční ovládání s návratem*

Model předá řízení stavu s vyšší prioritou - nejvyšší prioritu řízení má obsluha automatem, nižší prioritu řízení má PC-Matlabem a nejnižší prioritu má manuální řízení. Deska ještě umožňuje další dva kombinované stavy Matlab-manuál a PAC-manuál. Do těchto stavů deska přechází ze stavů řízení Matlabem nebo programovatelným automatem trojnásobným stisknutím tlačítka *ON* na řídicí desce modelu (viz Obr. 4.2) v intervalu kratším než 2 sekundy. Zpětný přechod se provede dvojím stisknutím tlačítka *ON* v intervalu dvou sekund. Tyto stavy slouží pro demonstraci ručního řízení při náběhu technologie s možností zpětného beznárazového přepnutí na řízení PC nebo automatem. Díky této skutečnosti bylo potřebné rozšíření konektorů z 15-ti na 25-ti pinový konektor (viz Obr. 4.1), abychom obsáhli i všechny monitorovací signály.



Obrázek 4.1: Rozšířené konektory

Obrázek 4.2: Ovládací panel modelu vodní elektrárny

Řídicí místo, ze kterého je model ovládán, je indikováno rozsvícením příslušné LED diody na řídicím panelu modelu. Pro zjištění aktuálního řídicího místa slouží signály *A* a *B* dle Tab. 4.1.

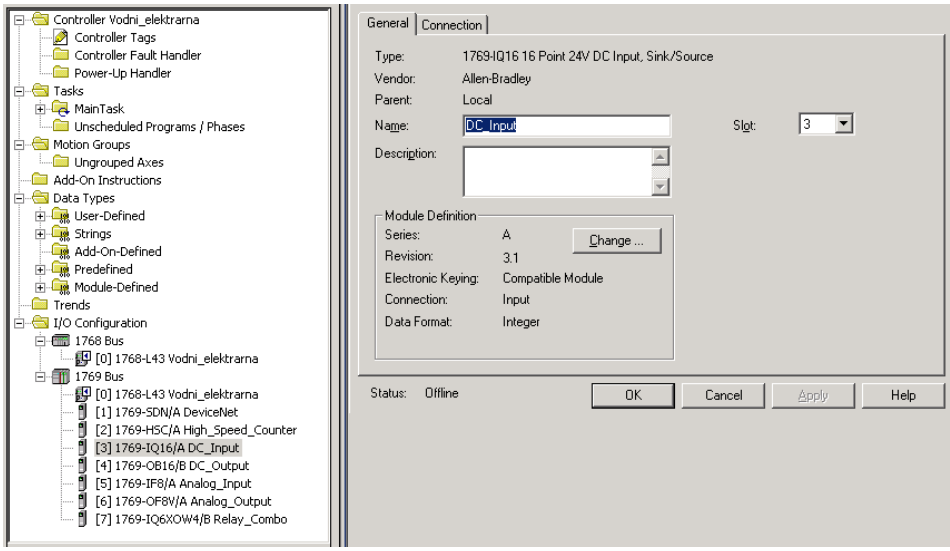
Řídicí místo	A	B
Manuální	1	1
Matlab	1	0
PLC	0	1

Tabulka 4.1: Signály *A* a *B*

4.2. Softwarová konfigurace

V prostředí RSLogix 5000 byla vytvořena „hardwarová” konfiguraci. Ve které byly nastaveny adresy jednotlivých modulů, typy modulů, jejich revize a označení. Tím byl získán přístup k jednotlivým vstupům a výstupům z programu automatu. Pro každý I/O modul byla nastavena doba RPI (request packet interval), tj. čas po kterém se budou aktualizovat vstupní a výstupní hodnoty z jednotlivých karet. Modulům byly stanoveny rozsahy vstupních a výstupních signálů.

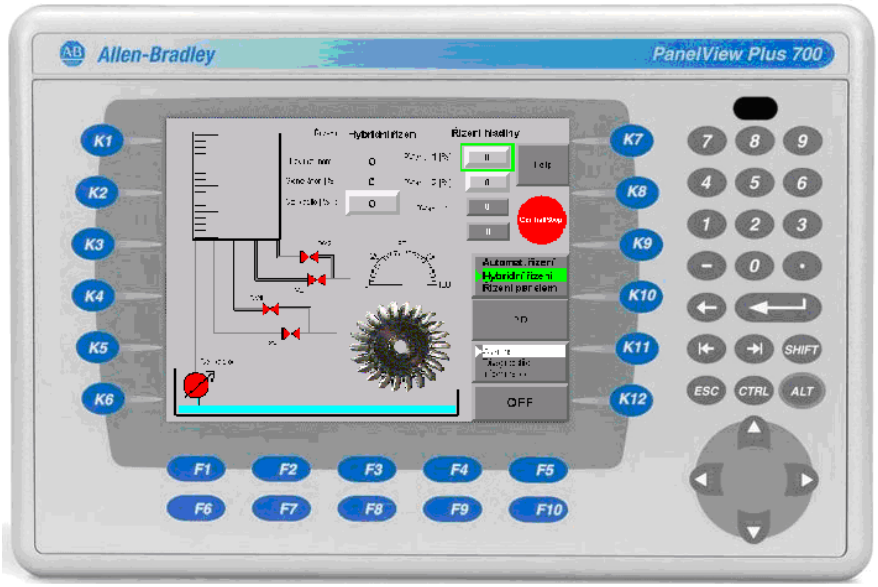
Hardwarová konfigurace je provedena pro všechny vstupní a výstupní moduly, tak aby ji bylo možné po vymazání vlastního programu využít pro řízení ostatních připojených modelů.



Obrázek 4.3: Nastavení připojených modulů

Na Obr. 4.3 je vidět nastavení modulu digitálních vstupů *1769-IQ16*, ten je umístěn na pozici 3 za řídicí jednotkou. Verze modulu je 3.1 a zvolený název pro snadnější orientaci *DC_Input*.

4.3. Panel operátora



Obrázek 4.4: Panel operátora PanelView Plus 700

Vizualizační panel (viz Obr. 4.4) určený pro operátorská stanoviště v průmyslovém řízení, který byl použit v této práci, verze tohoto panelu je 3.20.

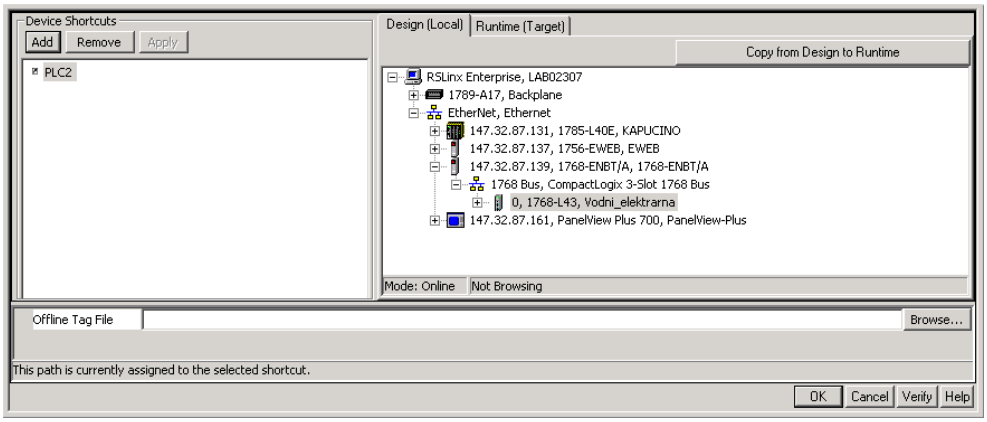
Specifikace panelu:

- Komunikační porty pro Ethernet a RS-232
- Dva USB porty pro myš a klávesnici
- Napájení 24V DC
- CompactFlash slot pro přenos a uložení souborů

Model PanelView Plus CE s vnitřní CompactFlash obsahuje otevřený operační systém Windows CE a flash paměti. Díky tomu může být v panelu operátora nahráno několik různých vizualizací, které můžeme snadno přepínat. Nahrání již uložené vizualizace se provede přes tlačítko *Load* a poté spuštění vybrané aplikace přes *Run*.

4.4. Připojení panelu, navázání procesních proměnných

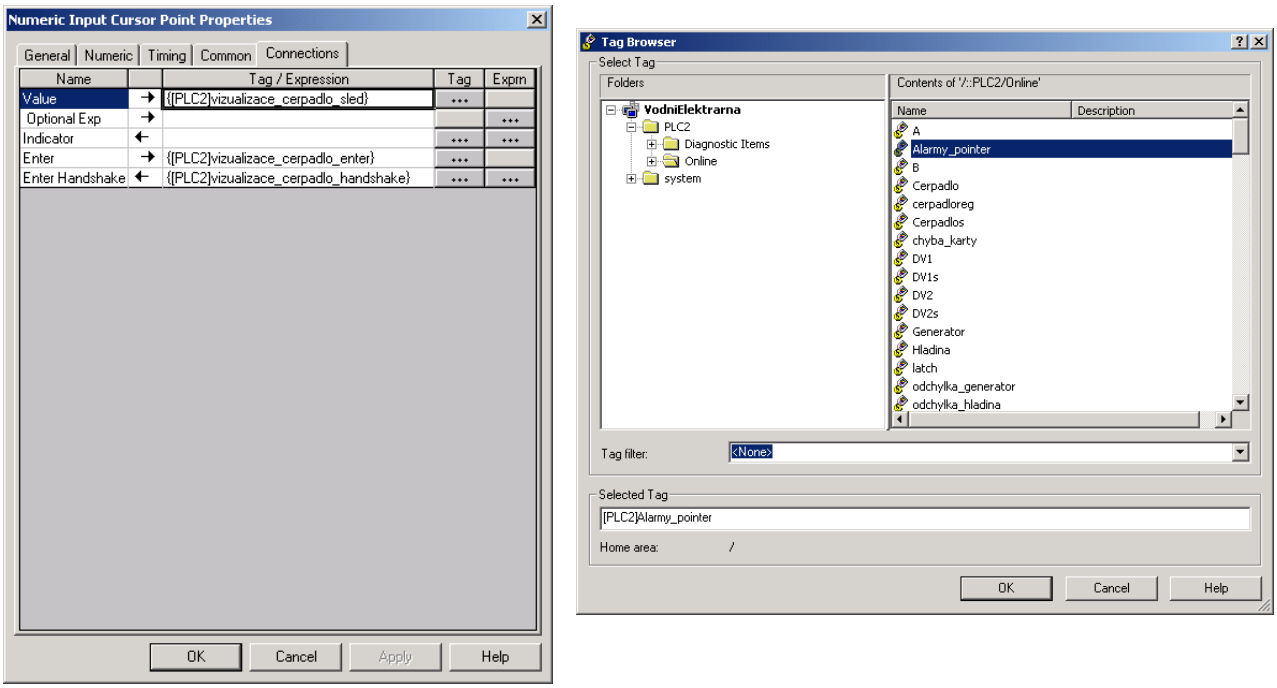
Panel je připojen do sítě Ethernet, byla mu přidělena IP adresa 148.32.87.161. Pomocí nástroje Factory Talk byl vytvořen protokol pro komunikaci mezi vizualizací a programovatelným automatem s využitím procesních proměnných tzv. „tagů“ (viz Obr. 4.5), kde je vidět vytváření zkratky (*Shortcut)* s názvem *PLC2*, do kterého budou nahrány procesní proměnné z rídicí jednotky *1768-L43 Vodni_elektrarna*.



Obrázek 4.5: Vytvoření Shortcut

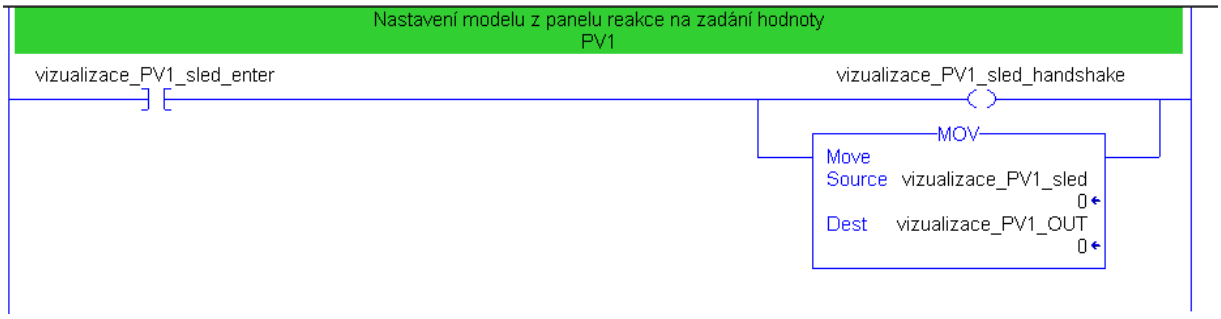
Vlastní provázání komunikace se provádí přes objekty, kterým se příslušné procesní proměnné zapíší do odpovídajících kolonek (*value,indicate, enter, enterhndshake*, atd.), podle Obr. 4.6. U některých kolonek je možné nahradit procesní proměnnou malým skriptem (označeno *Exprn*), obsahujícím booleovskou logiku a základní matematické operace mezi procesními proměnnými.

Pokud je do PAC nahrán program obsahující nové procesní proměnné, je nutné před znovuvytvořením Shortcut program Factory Talk Machina Edition restartovat, to platí pro ladění vizualizace.

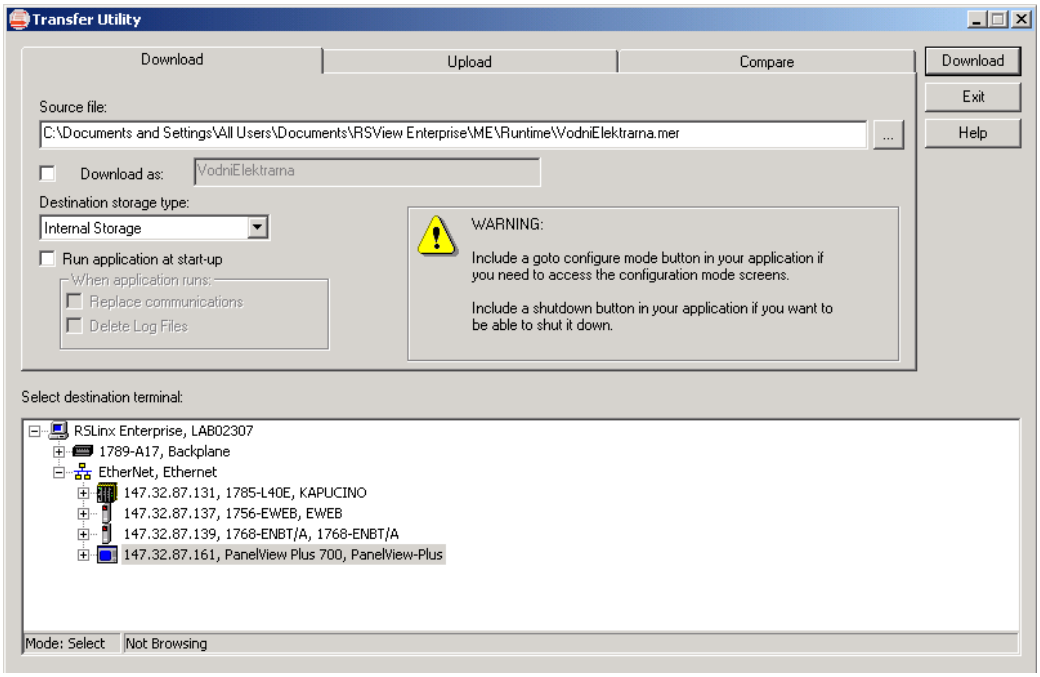


Obrázek 4.6: Navázání procesních proměnných od kontroléru s vizualizačními prvky

V levé části Obr. 4.6 je vidět připojení tří procesních proměnných, díky nimž je možné reagovat na hodnoty zadané pomocí vizualizace. Vizualizační prvek zobrazuje hodnotu *Value*, *Enter* indikuje zadání nové hodnoty a *Enter Handshake* je potvrzení pro vizualizaci, že kontrolér akceptuje příchod *Enteru* (viz Obr. 4.7), zároveň s odesláním signálu *Enter_Handshake* uložíme zadanou hodnotu jako *OUT*, určenou pro další využití.



Obrázek 4.7: Reakce na zadání hodnoty



Obrázek 4.8: Nahrání runtime projektu do panelu operátora

Na Obr. 4.8 je vidět nahrávání runtime aplikace (soubor s koncovkou *.mer) do vizualizačního panelu na IP adrese 147.32.87.161. Při vytváření runtime aplikace je důležité zachovat verzi panelu, která je v tomto případě 3.20.

4.5. Popis programu

Pro vývoj aplikace byl použit software RSLogix 5000 a FactoryTalk ME. V programovacím prostředí RSLogix 5000 byl vytvořen program *Vodni_elektrarna.ACD*, ve kterém je implementována kompletní logika aplikace. V prostředí FactoryTalk ME byla vytvořena vizualizace *VodniElektrarna.mer*. Oba tyto programy jsou na přiloženém CD.

Celá aplikace je programována v žebříčkovém diagramu a skládá se z několika podprogramů pro snadnější čtení kódu. Jsou zde podprogramy pro inicializaci, kontrolu karet automatu, vizualizaci, řízení modelem, panelem operátora, automatem, čtení vstupů a zápis výstupů. Přes veškeré snahy není možné od sebe všechny tyto části oddělit a tak se v některých podprogramech části kódu prolínají. Zde je seznam podprogramů se stručným popisem jejich funkce:

Alarmy:
- kontrola výšky hladiny
- definované stavy kdy by se měla otáčet turbínka

Kontrola:
- kontrola chyb karet automatu

Inicializace:
- připojení vstupních analogových signálů přepnutím reléového přepínače
- nahrání inicializačních konstant regulátorů (*kp,ki,kd* a žádaná hodnota)
- resetování alarmů a pointeru zásobníku

Manual:
- monitorování hodnot v režimu manuál (*cerpadlosled -> cerpadlo*), aby při změně z manuálního režimu došlo k beznárazovému přepnutí

Nacteni (pokud je chyba karet, je tento podprogram zakázán):
- načte obraz vstupů (např. hodnotu z reléového vstupu na adrese *Local:7:I.Data.1* přidělí monitorovací procesní proměnné *DV1s*)

Panel:

- reakce na zadání hodnot panelem
- logika pravomocí uživatele a automatu v jednotlivých režimech
- v režimu kdy je to povoleno přepočte hodnotu *OUT* a pošle ji na výstupní procesní proměnnou (např. procesní proměnné *PV1* přidělí hodnotu *vizualizace_PV1_OUT*)
- přechody mezi režimy (detekcí náběžných hran)
- výpočet žádané hodnoty pro *PID* při hybridním řízení

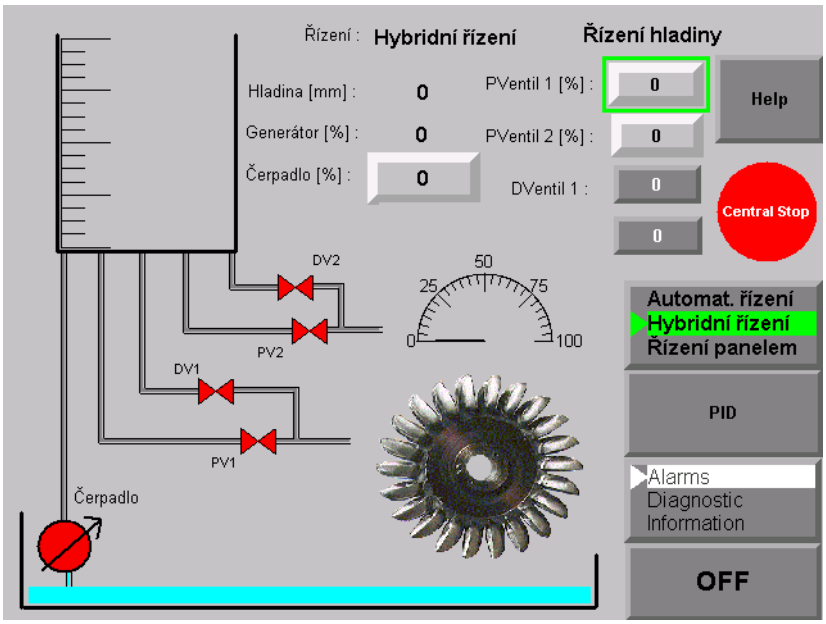
Regulator:
- cyklické spouštění instrukce *PID* regulátoru
- sekvenční řízení v automatickém režimu

Vizualizace:
- přepočítávání vstupních hodnot pro účely vizualizace
- logika výběru režimů řízení přes menu
- centrální vypínání modelu

Vypis (pokud je chyba karet, je tento podprogram zakázán):
- vypsání obrazu výstupů (např. hodnotu procesní proměnné DV1 pošle na adresu *Local:7:O.Data.1* reléového výstupu)

4.5.1. Režimy řízení

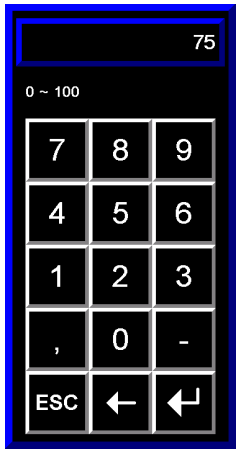
Pokud se model nachází v režimu manuálního řízení nebo řízení automatem, chová se vizualizace pouze jako vzdálené zobrazovací zařízení. Tlačítko *Central Stop* je jediná funkce, která při spuštěném manuálním režimu (tj. model byl zapnut manuálně) předá řízení automatu. Pokud model ovládáme automatem, stisknutím tlačítka *Central Stop* model vypneme. Pokud je systém ve speciálním manuálním stavu (tj. po převzetí řízení trojitým stisknutím tlačítka *ON* na ovládacím panelu modelu) nelze model vypnout (model to neumožňuje) a stisknutí tlačítka *Central Stop* bude ignorováno. Vizualizace umožňuje v rámci stavu řízení automatem přepnutí mezi třemi stavy řízení: *Automat. řízení*, *Hybridní řízení* a režimu *Řízení panelem*. Hybridní řízení je dále ještě rozděleno na tři podrežimy viz. 4.4.2.



Obrázek 4.9: Hlavní okno vizualizace

4.5.2. Řízení panelem

Režim řízení panelem je obdoba manuálního řízení přes ovládací panel modelu, je tedy možné ovlivňovat otevření jednotlivých ventilů a výkon čerpadla. Digitální ventily je možné přepnout jedním stisknutím příslušného tlačítka, nebo u analogových ventilů zapsáním hodnoty v procentech na číselné klávesnici (viz Obr. 4.10). Při využití vizualizace na počítači, je možné tuto hodnotu jak zapsat numericky na fyzické klávesnici počítače, tak i pomocí myši na klávesnici na monitoru. Výkon čerpadla je ovlivňován analogicky.



Obrázek 4.10: Zadávací klávesnice

4.5.3. Hybridní režimy

Hybridní řízení znamená to, že model je částečně řízen z panelu a částečně z automatu. V tomto režimu je v závislosti na nastavení žádané hodnoty hladiny, nebo otáček turbínky a konstant PID regulátorů *kp*, *ki* a *kd*, automatem udržována řízená veličina na žádané hodnotě (tyto hodnoty jsou zadavatelné v režimu Hybridní řízení po stisknutí tlačítka *PID*).

- *Řízení hladiny*
- *Řízení turbínky PV1*
- *Řízení turbínky PV2*

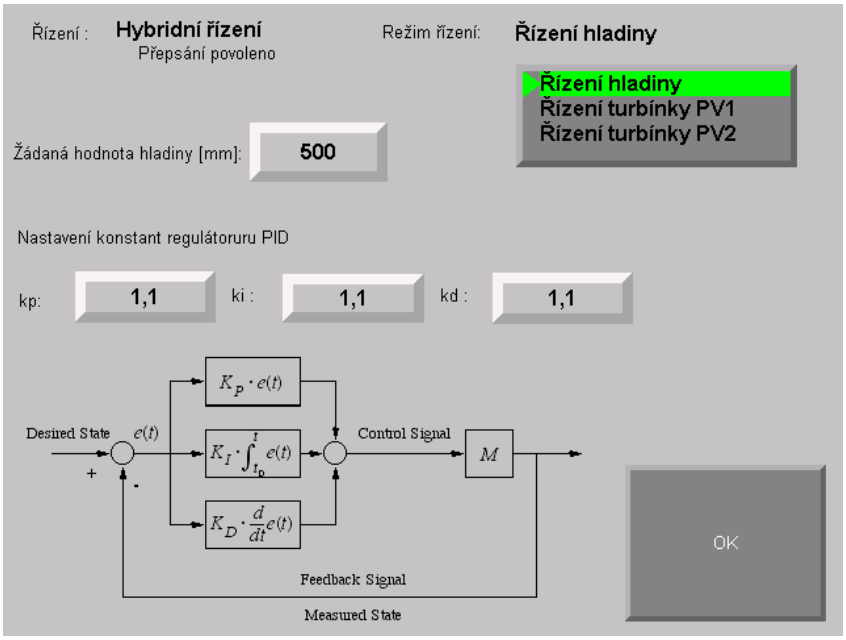
Pro režim *Řízení hladiny* je uživateli umožněno ovládání proporcionálních a digitálních ventilů, a výška hladiny je regulována na žádanou hodnotu čerpadlem.

Režimy *Řízení turbínky PV1* a *Řízení turbínky PV2* jsou téměř totožné s tím rozdílem, že je regulátorem ovládán vždy proporcionální ventil a žádanou veličinou jsou otáčky turbínky. Uživatel pak může ovlivňovat výkon čerpadla. Digitální ventily jsou otevřené.

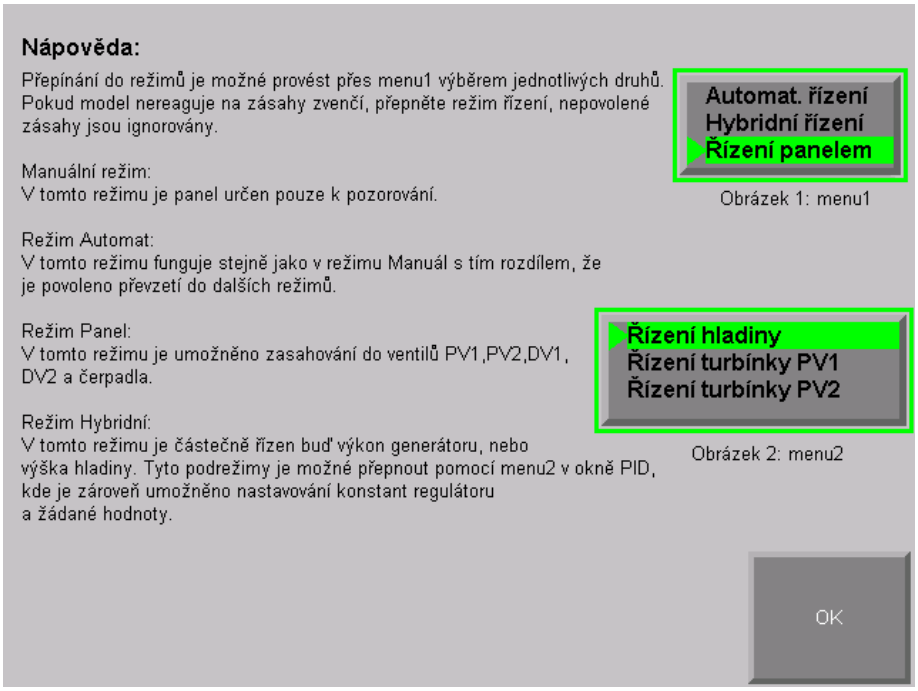
Tyto režimy slouží k ladění konstant regulátorů u SISO (Single Input Single Output) systémů.

- výška hladiny, výkon čerpadla
- otáčky turbínky, pootevření ventilu PV1
- otáčky turbínky, pootevření ventilu PV2

Konstanty regulátorů jsou uloženy pro řízení v automatickém režimu i pro znovuspuštění hybridních režimů řízení.



Obrázek 4.11: Obrazovka PID pro nastavování hybridních režimů



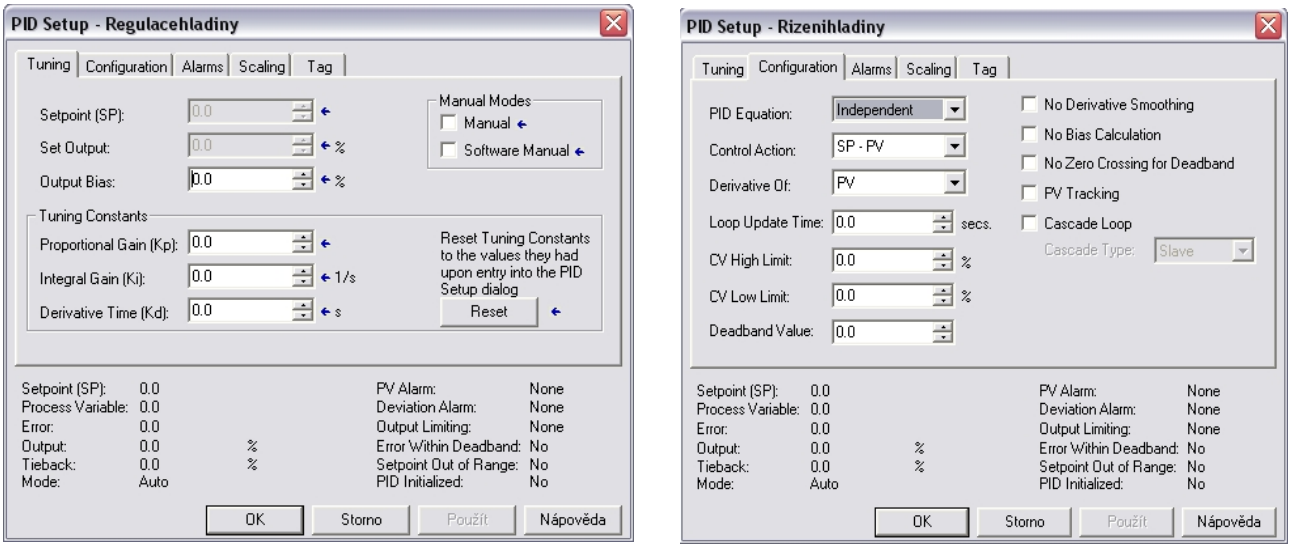
Obrázek 4.12: Obrazovka nápovědy

4.5.4. Automatický režim

Tento režim je připraven jako sekvenční „výrobní“ proces. V tomto režimu nejdříve sleduje automat nastavené hodnoty (jak z manuálního režimu, tak i z ostatních režimů) ventilů a čerpadla. Jestliže hladina v horní nádrži nedosahuje předem nastavenou hodnotu 500 mm, je tato hodnota nastavena jako žádaná hodnota hladiny, v opačném případě je žádaná hodnota vypočtena jako přírůstek 10% ke stávající výšce hladiny. V tomto okamžiku se ventily uzavřou a hladina se ustálí na požadované hodnotě. Následně se nastaví žádaná hodnota otáček turbínky na 50%. Po odeznění přechodového jevu je hodnota žádané hodnoty hladiny o 10% snížena.

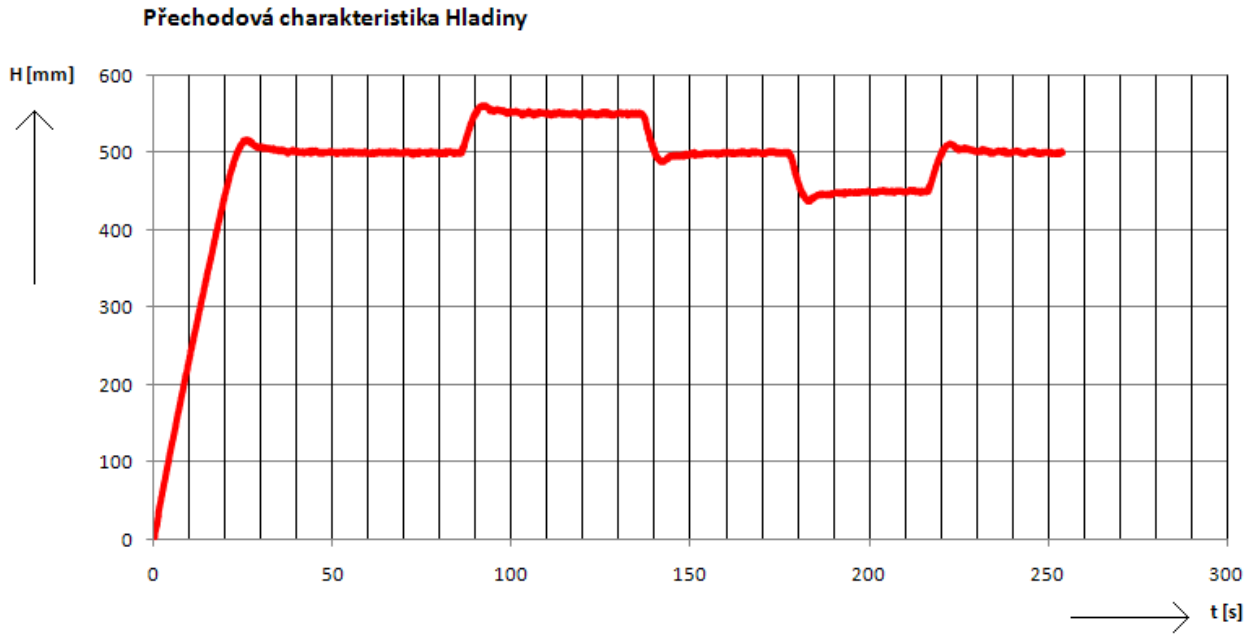
4.6. PID regulace

Instrukce PID musí být periodicky spouštěna, do bloku jsou přivedeny konstanty regulátoru, řídicí veličina, řízená veličina a žádaná hodnota (viz Obr. 4.13). Na Obr. 4.14 je vidět výsledek regulace hladiny (žádaná hodnota 500 mm +/- 50 mm). Na Obr. 4.15 je vidět průběh otáček turbínky (žádaná hodnota otáček 50% +/- 5%), kde byla žádaná hodnota značně zašuměná kvůli relativně velkému tření hřídele.

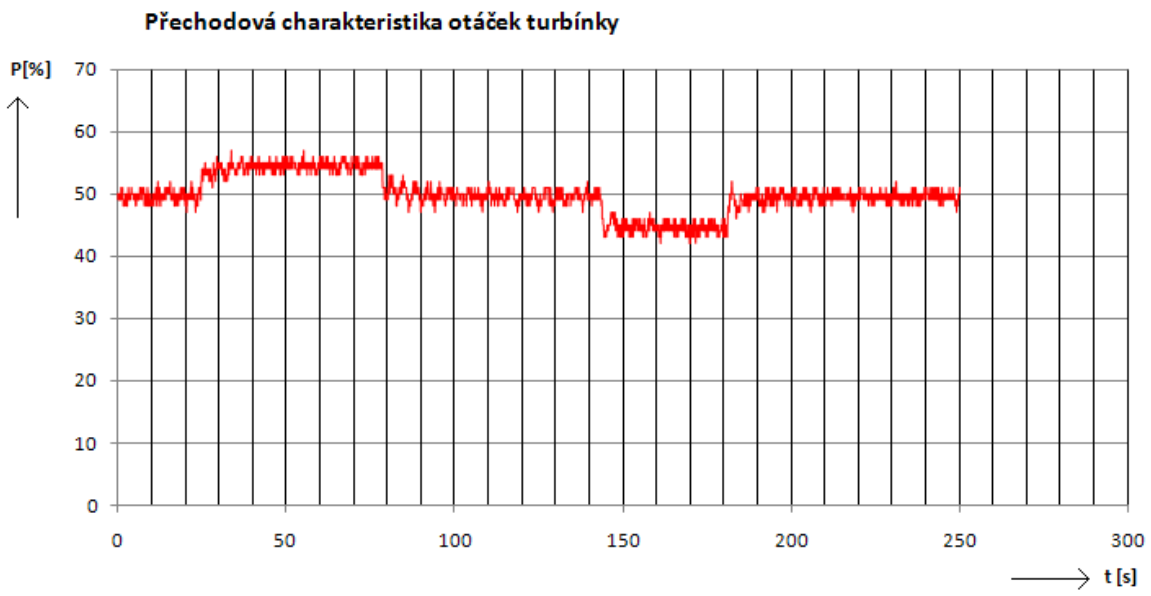


Obrázek 4.13: Nastavení PID bloku

Nastavení bloků PID regulátoru (viz Obr 4.13) bylo provedeno následujícím způsobem, hodnota *Setpoint* (*SP*) odpovídá žádané hodnotě, hodnota *Process Variable* (*PV*) je řízená veličina a *Control Variable* (*CV*) odpovídá řídicí veličině. Konstanty *Kp, Ki* a *Kd* jsou pak konstanty regulátoru PID. Hodnota Control Action *SP-PV* odpovídá řízení systému topení, tuto hodnotu lze zaměnit za *PV-SP* chlazení, systém s tímto chováním se ale v této aplikaci nevyskytuje.



Obrázek 4.14: Průběh regulované hladiny

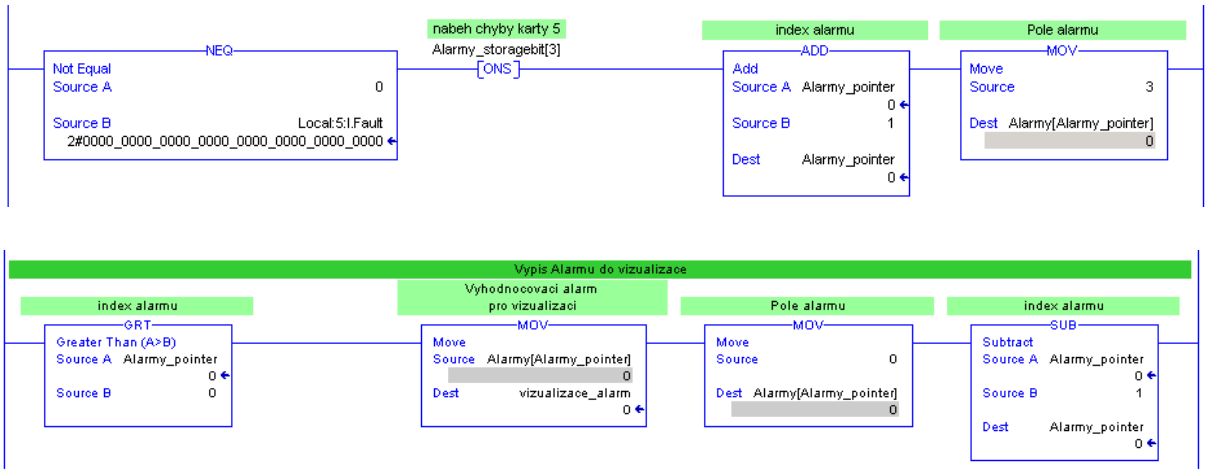


Obrázek 4.15: Průběh regulovaných otáček turbínky

4.7. Výpis alarmů

V každém cyklu je možné vyslat pouze jeden alarm. V případě, že by v průběhu jednoho cyklu došlo ke dvěma situacím vyvolávajících alarm, pozorovatel by viděl pouze ten druhý. Z tohoto důvodu bylo vytvořeno pole integer *Alarmy[Alarmy_pointer]*. Toto pole je při inicializaci prázdné, plné nul. Pokud je splněna podmínka alarmu, pointer se zvýší o jedna a na novou pozici v poli se zapíše číslo označující detekovaný alarm. Na konci cyklu je provedena kontrola, zda je ukazatel v poli nulový. Pokud ne, vypíše se hodnota, na kterou pointer ukazuje a jeho hodnota se sníží o jednu (viz Obr. 4.16). Tím jsou postupně vypsány všechny alarmy a žádný se neztratí.

Na proměnnou *vizualizace_alarm* je navázán výpis alarmů ve vizualizaci, tak aby při výskytu alarmu při běhu programu mohl být alarm vypsán společně s časem, kdy byl příjem rozpoznán viz Obr. 4.17.



Obrázek 4.16: Vyřešení výpisu alarmů

Obrázek 4.17: Vypsání alarmů

5. Zadání

5.1. Zadání - Alarmová hlášení

Na základě řešení alarmů v podprogramu *kontrola*, kde jsou „odchytávány“ chyby jednotlivých I/O karet, vytvořte další alarmy, které budou následně detekovány ve vizualizaci. Při vyskytnutí alarmového stavu, pointer zvyšte o 1 a umístěte do pole *Alarmy[Alarmy_pointer]* hodnotu, která bude jedinečná pro daný alarmový stav. Pro detekci alarmových stavů využijte procesní proměnné z Tab. 5.1.

Alarmy:

- detekce příliš vysoké hladiny

- netočící se turbína

- vypnutý model

- detekce příliš dlouhého času, kdy běží čerpadlo na 100% (např. 10 minut)

Vizualizace_hladina_sled	int	sledování/zadávání
Vizualizace_generator_sled	int	sledovani generator
ONs	bool	sledování zapnutí modelu
Vizualizace_cerpadlo_sled	int	čerpadlo

Tabulka 5.1: Procesní proměnné pro detekci alarmových stavů

5.2. Zadání - Regulace

Vytvořte cyklicky spouštěnou instrukci pro výpočet řídicí veličiny (cyklicky spouštějte instrukci PID). Vymyslete průběh řízení v režimu Automat (*vizualizace_rizeni_sled* = 0) v podprogramu *regulace* tak, aby při přepnutí režimů řízení na režim automat došlo k beznárazovému přepnutí, tj. aby hodnota hladiny a otáček turbínky zůstala zachována. Poté zvyšte žádanou hodnotu hladiny o 10% (pokud je hodnota nižší než 450 mm, stanovte žádanou hodnotu na 500 mm, taktéž i pokud je hodnota hladiny větší než 650 mm) a nechte odeznít

přechodový jev a zvyšte žádanou hodnotu otáček turbínky o 10% (pokud je hodnota otáček menší než 40% stanovte žádanou hodnotu na 50%, taktéž i pokud je hodnota otáček turbínky větší než 60%). Po odeznění přechodového jevu žádané hodnoty opět snižte a celý proces opakujte cyklicky. Hodnoty časovačů nastavte tak, aby přechodové jevy stihly odeznít.

Do bloku PID zadejte žádanou hodnotu (*Setpoint*), řízenou veličinu (*Process Variable*) a řídicí veličinu (*Control Variable*).

Doporučení: konstanty regulátorů si nejprve odlaďte samostatně a až následně je začněte kombinovat s dalším řízením.

Poznámka: řídicí signály od příslušných regulátorů přiveďte na procesní proměnné dle:

regulace PV1 - *pv1reg*

regulace PV2 - *pv2reg*

regulace čerpadla - *cerpadloreg*

Pro takto přivedené výstupy regulátorů je vyřešeno přepínání režimů, v opačném případě budete muset testovat režimy dodatečně a stávající logiku odmazat.

5.3. Zadání - Vizualizace

V programu FactoryTalkView Studio ME vytvořte vizualizaci pro řízení modelu vodní elektrárny, tak aby bylo možné v režimu řízení panelem (*vizualizace_rizeni_sled* = 3) ovládat akční členy zadáním číselné hodnoty. Napojte vizualizační členy na procesní proměnné viz Tab. 5.2.

ONs	bool	sledování zapnutí modelu
vizualizace_alarm	int	alarm do vizualizace
vizualizace_centralstop	bool	centrální vypnutí
vizualizace_cerpadlo_D	bool	sledování/zadávání
vizualizace_cerpadlo_enter	bool	enter
vizualizace_cerpadlo_handshake	bool	potvrzení
vizualizace_cerpadlo_sled	int	čerpadlo
vizualizace_DV1_sled	bool	sledování/zadávání
vizualizace_DV1_sled_enter	bool	enter
vizualizace_DV1_sled_handshake	bool	potvrzení
vizualizace_DV2_OUT	bool	potvrzené zadání
vizualizace_DV2_sled	bool	sledování/zadávání
vizualizace_DV2_sled_enter	bool	enter
vizualizace_DV2_sled_handshake	bool	potvrzení
vizualizace_generator_D	bool	Otáčky turbínky>0
vizualizace_generator_sled	int	generator
vizualizace_hladina_D	bool	hladina > 0
vizualizace_hladina_sled	int	sledování/zadávání
vizualizace_hladina_sled_enter	bool	enter
vizualizace_hladina_sled_handshake	bool	potvrzení
vizualizace_hlaseni	int	asi uz není
vizualizace_PV1_D	bool	PV1>0
vizualizace_PV1_sled	int	sledování/zadávání
vizualizace_PV1_sled_enter	bool	enter
vizualizace_PV1_sled_handshake	bool	potvrzení
vizualizace_PV2_D	bool	PV2>0
vizualizace_PV2_sled	int	sledování/zadávání
vizualizace_PV2_sled_enter	bool	enter
vizualizace_PV2_sled_handshake	bool	potvrzení
vizualizace_rizeni_sled	int	režim řízení
vizualizace_selector	int	sledování/zadávání
vizualizace_selector_enter	bool	enter
vizualizace_selector_handshake	bool	potvrzení

Tabulka 5.2: Procesní proměnné pro vizualizaci

6. Závěr

Programovatelný automat CompactLogic byl umístěn na stojan s nově vytvořeným napájecím zdrojem, připevněnými konektory a reléovým přepínačem vstupních analogových signálů. K programovatelnému automatu byly připojeny modely vodní elektrárny, servomechanismu a opravený polohovací přípravek. Automat byl připojen k síti Ethernet. Panel operátora je napájen ze zdroje 24 V pro I/O moduly, byl umístěn na pro něj specielně vytvořený stojan a připojen k sítí Ethernet.

Podařilo se naprogramovat PAC tak, aby spolupracoval s vizualizačním panelem. Na panelu operátora se zobrazují veličiny v požadovaných rozsazích a je možné panelem ovládat řízený proces, jak bylo určeno v zadání. Vizualizaci je možné spustit na panelu operátora nebo na PC. Řízení modelu vodní elektrárny je provedeno PID regulátory.

Součástí práce byla také příprava zadání a koster programů pro podporu výuky předmětů v laboratoři Allen-Bradley. Pro tento účel byly z kódu hotových programů odmazány příslušné části, které jsou určeny k vypracování. Programy a příslušné vizualizace určené pro řešení studenty jsou na přiloženém CD společně s jejich popisem.

Do budoucna je možné upravit algoritmus programu a řídit vodní elektrárnu například pomocí Schmidtova predikátoru, který by měl zrychlit odezvu zařízení. Ve stávající sestavě je ještě nezapojený komunikační modul DeviceNet, je tedy možné připojit další systémy pomocí vzdálených vstupů a výstupů. Stejně tak je možné rozšířit vizualizaci například o přihlašování uživatelů, průběžné ukládání a vykreslování průběhu regulace nebo ukládání alarmových hlášení do databáze. Aplikaci mohou být přidány další režimy řízení, například: automat bude sledovat průběh regulace z manuálního řízení a bude ho schopen opakovat.

Příloha č.1: *Literatura*

[1] CILLER, Alexandr. *Servomechanismus s proměnným tlumením*, Praha, 2007. Bakalářská práce

[2] KARÁSEK, Milan. *Příprava projektově orientované výuky řídicích systém*ů. Praha, 2002. Diplomová práce

[3] HANZLÍK, Jiří. *Distribuovaný řídicí systém s automaty Rockwell Automation*. Praha, 2008. Diplomová práce

[4] JANEČEK, Milan. *Model systému s dopravním zpožděním*. Praha, 2007. Bakalářská práce

[5] Wikipedie, otevřená encyklopedie <http://cs.wikipedia.org>

[6,7] Software od firmy Rockwell Automaition, Allen-Bradley

<http://www.rockwellautomation.com/>,<http://www.ab.com>

[8] ČVUT FSV katedra hydrologie,< http://storm.fsv.cvut.cz>

Příloha č.2: *Procesní proměnné*

název systémové proměnné	**datový typ**	**význam**
A	bool	signál A
Alarmy	int[100]	pole alarmů
Alarmy_storagebit	bool[64]	pole ons alarmů
Automat_ons1	bool	ons pro fáze řízení automatem
Automat_ons2	bool	ons pro fáze řízení automatem
Automat_ons3	bool	ons pro fáze řízení automatem
Automat1	timer	časovač fází automatu
Automat2	timer	časovač fází automatu
Automat3	timer	časovač fází automatu
B	bool	signál B
Cerpadlo	int	čerpadlo
cerpadloreg	int	řídicí veličina regulátoru
Cerpadlos	int	sledování čerpadla
DV1	bool	digi. ventil 1
DV1s	bool	sledování digi. ventilu 1
DV2	bool	digi. ventil 2
DV2s	bool	sledování digi. ventilu 2
Generator	int	generátor
Hladina	int	hladina
chyba_karty	bool	chyba některé z karet I/O
ON	bool	zapnutí modelu
ONs	bool	sledování zapnutí modelu
ons2	bool	ons
ons3	bool	ons
PIDtimer	timer	časovač spouštění instrukce PID
PV1	int	analog. ventil 1
pv1reg	int	řídicí veličina regulátoru
PV1s	int	sledování analog. ventil 1
PV2	int	analog. ventil 2
pv2reg	int	řídicí veličina regulátoru
PV2s	int	sledování analog. ventil 2
Rele1	bool	relé 1
Rele2	bool	relé2
RizeniGeneratoru1	PID	regulátory
RizeniGeneratoru2	PID	regulátory

RizeniHladiny	PID	regulátory
vizualizace_alarm	int	alarm do vizualizace
vizualizace_centralstop	bool	centrální vypnutí
vizualizace_cerpadlo_D	bool	sledování/zadávání
vizualizace_cerpadlo_enter	bool	enter
vizualizace_cerpadlo_handshake	bool	potvrzení
vizualizace_cerpadlo_OUT	int	potvrzené zadání
vizualizace_cerpadlo_sled	int	čerpadlo
vizualizace_DV1_OUT	bool	potvrzené zadání
vizualizace_DV1_sled	bool	sledování/zadávání
vizualizace_DV1_sled_enter	bool	enter
vizualizace_DV1_sled_handshake	bool	potvrzení
vizualizace_DV2_OUT	bool	potvrzené zadání
vizualizace_DV2_sled	bool	sledování/zadávání
vizualizace_DV2_sled_enter	bool	enter
vizualizace_DV2_sled_handshake	bool	potvrzení
vizualizace_generator_D	bool	generator >0
vizualizace_generator_sled	int	generator
vizualizace_hladina_D	bool	hladina > 0
vizualizace_hladina_ons	bool	ons
vizualizace_hladina_sled	int	sledování/zadávání
vizualizace_hladina_sled_enter	bool	enter
vizualizace_hladina_sled_handshake	bool	potvrzení
vizualizace_hybrid_ons	bool	ons
vizualizace_hybrid_ons2	bool	ons
vizualizace_hybrid_ons3	bool	ons
vizualizace_hybrid_ons4	bool	ons
vizualizace_hybrid_ons5	bool	ons
vizualizace_konst_D	real	sledování/zadávání
vizualizace_konst_D_enter	bool	enter
vizualizace_konst_D_handshake	bool	potvrzení
vizualizace_konst_I	real	sledování/zadávání
vizualizace_konst_I_enter	bool	enter
vizualizace_konst_I_handshake	bool	potvrzení
vizualizace_konst_P	real	sledování/zadávání
vizualizace_konst_P_enter	bool	enter
vizualizace_konst_P_handshake	bool	potvrzení
vizualizace_PV1_D	bool	PV1>0
vizualizace_PV1_OUT	int	potvrzené zadání
vizualizace_PV1_sled	int	sledování/zadávání
vizualizace_PV1_sled_enter	bool	enter

vizualizace_PV1_sled_handshake	bool	potvrzení
vizualizace_PV2_D	bool	PV2>0
vizualizace_PV2_OUT	int	potvrzené zadání
vizualizace_PV2_sled	int	sledování/zadávání
vizualizace_PV2_sled_enter	bool	enter
vizualizace_PV2_sled_handshake	bool	potvrzení
vizualizace_rizeni_pomocna	int	OUT pro selector1
vizualizace_rizeni_pomocna2	int	OUT pro selector1
vizualizace_rizeni_sled	int	režim řízení
vizualizace_rizeni2_sled	int	režim hybridního řízení
vizualizace_selector	int	sledování/zadávání
vizualizace_selector_enter	bool	enter
vizualizace_selector_handshake	bool	potvrzení
vizualizace_selector_PID	int	sledování/zadávání
vizualizace_selector_PID_enter	bool	enter
vizualizace_selector_PID_handshake	bool	potvrzení
vizualizace_trubka1	bool	trubka za dvojicí PV1,DV1
vizualizace_trubka2	bool	trubka za dvojicí PV2,DV2
vizualizace_zadana_hodnota	int	sledování/zadávání
vizualizace_zadanahodnota	int	přepočtená hodnota pro PID
zadanahodnota_generator_H2	int	set point
zadanahodnota_generator_H3	int	set point
zadanahodnota_hladinaPID	int	set point

Příloha č.3: *Obsah CD*

Diplomová práce:

DP_2009_harenczyk_marek.pdf

Vodni_elektrarna.ACD

VodniElektrarna.mer

Zadání:

Vodni_elektrarnaZadani1.ACD

Vodni_elektrarnaZadani2.ACD

VodniElektrarnaZadani.mer